

Dr hab. inż. Piotr Cheluszka, prof. PŚ

Gliwice, 3 stycznia 2025 r.

Politechnika Śląska

Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa  
i Automatyki Przemysłowej

Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa

Ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice

## RECENZJA

osiągnięć naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych w postępowaniu w sprawie  
nadania stopnia doktora habilitowanego dr Pavlo Krotowi  
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska,  
górnictwo i energetyka

### 1. Podstawa prawna

Niniejszą recenzję opracowałem na podstawie pisma Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka dr hab. inż. Bartosza Zajączkowskiego, prof. PWr z dnia 15.11.2024 r. (znak: RDND08/71/2024), w ślad za Uchwałą nr 50/03/RDND08/2024-2028 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka z dnia 13.11.2024 r., która powołała mnie na członka komisji habilitacyjnej w charakterze recenzenta.

Recenzję przygotowałem w oparciu o dokumentację w formie elektronicznej oraz wydrukowany egzemplarz monografii: Krot P. „*Dynamical models in condition monitoring of industrial machines*” dołączone do wniosku o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego z dnia 09.09.2024 r.

Ocenę osiągnięć dr Pavlo Krota dokonałem w oparciu o wymagania zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571).

Zgodnie z Art. 219, ust. 1 ww. Ustawy osoba ubiegająca się o nadanie stopnia doktora habilitowanego powinna spełniać następujące wymagania:

- 1) posiadać stopień doktora;
- 2) posiadać w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej:
  - a. 1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a, lub
  - b. 1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowym lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, lub

- c. 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;
- 3) wykazywać się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

## 2. Charakterystyka sylwetki Kandydata

Dr Pavlo Krot ukończył studia w 1989 r. na Dnieprzańskim Uniwersytecie Narodowym im. O. Honczara, na Wydział Fizyczno-Techniczny (Ukraina) uzyskując tytuł zawodowy magistra inżyniera elektromechanika. W międzyczasie, bo w roku 1988 Habilitant uzyskał dyplom tłumacza technicznego języka angielskiego na Wydziale Filologicznym ww. uniwersytetu.

Od ukończenia studiów Pavlo Krot pracuje w różnych jednostkach naukowych, zajmując różne stanowiska, m.in. inżyniera-badacza w Laboratorium Automatyki Przemysłowej w Katedrze Zautomatyzowanych Systemów Sterowania Wydziału Fizyczno-Technicznego Dnieprzańskiego Uniwersytetu Narodowego (DNU), wykładowcy i asystenta w Katedrze Informatyki Ekonomicznej i Systemów Zautomatyzowanego Sterowania DNU, starszego pracownika naukowego w Laboratorium Dynamiki Maszyn w Zakładzie Urządzeń Technologicznych i Systemów Sterowania, Zakładzie Procesów i Maszyn do Formowania Metali Instytutu Żelaza i Stali im. Z.I. Niekrasowa (IŻS) Narodowej Akademii Nauk Ukrainy (NANU), starszego pracownika naukowego w IŻS NANU. Podejmuje również własną działalność badawczą, będąc współzałożycielem i kierownikiem technicznym przedsiębiorstwa naukowo-produkcyjnego Exel Sp. z o.o. (Ukraina). Realizując wiele prac badawczo-rozwojowych dla przemysłu.

W latach 1989-1992 jest studentem studiów doktoranckich na DNU. Stopień doktora nauk technicznych Pavlo Krot uzyskuje w 1996 r. w Instytucie Problemów Modelowania w Inżynierii Energetycznej im. G.E. Pukhova Narodowej Akademii Nauk Ukrainy za rozprawę pt. „Symulacja matematyczna procesu przenoszenia energii mechanicznej od źródeł do narzędzi roboczych poprzez tarcie (na przykładzie walcarek)”. **Niniejszym spełniony został wymóg zawarty w Art. 219, ust. 1, pkt 1 Ustawy.**

W 2008 r. Wyższa Komisja Atestacyjna Ukrainy nadała dr Pavlo Krotowi tytuł naukowy starszego pracownika naukowego w dziedzinie budowa maszyn o specjalizacji maszyny hutnicze.

Do roku 2019 Habilitant zajmuje się głównie badaniami dla przemysłu metalurgicznego i energetycznego w zakresie dynamiki maszyn oraz diagnostyki stanu technicznego maszyn roboczych. Pełnił również funkcje konsultanta naukowego w różnego rodzaju firmach.

Od roku 2019 dr Pavlo Krot zatrudniony jest na stanowisku adiunkta w Katedrze Górnictwa Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej. W tym czasie obszarem zainteresowań Habilitanta są zagadnienia z zakresu monitorowania i diagnostyki mobilnych i stacjonarnych maszyn górniczych.

Dr Pavlo Krot jest autorem i współautorem 63 artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie o zasięgu krajowym i międzynarodowym, z czego 57 – po uzyskaniu stopnia doktora. Wyniki swoich prac badawczych prezentuje na konferencjach krajowych i zagranicznych (46 wystąpień), wygłaszając referaty, które w większości zostały opublikowane w materiałach konferencyjnych (40, z tego po uzyskaniu stopnia doktora 33). Jest autorem lub współautorem 9 rozdziałów w monografiach naukowych.

Za szczególnie ważny aspekt działalności naukowej Kandydata uznać należy udział, kierowanie i udział w charakterze konsultanta w projektach finansowanych ze środków krajowych

i zagranicznych: projektach realizowanych na zlecenie przemysłu (20), projektach międzynarodowych (6) oraz projektach krajowych – realizowane na Ukrainie (8). Habilitant jest współtwórcą 9 udzielonych patentów na rozwiązania będące wynikiem realizowanych przezeń prac badawczych oraz 4 wdrożeń wyników do zastosowań w przemyśle górniczym (KGHM) oraz metalurgicznym. Swoją wiedzę wykorzystuje we współpracy z wieloma firmami z Ukrainy, Niemiec, Rosji i Polski realizując prace badawczo-rozwojowe oraz sporządzając ekspertyzy na zlecenie przemysłu.

Kandydat jest laureatem nagród za działalność naukową Narodowej Akademii Ukrainy, Rektora Politechniki Wrocławskiej oraz przyznanych przez czasopisma naukowe w konkursach na najlepszą publikację (Best Paper Awards).

Habilitant jako nauczyciel akademicki bierze udział w kształceniu studentów i doktorantów realizując zajęcia dydaktyczne w formie autorskich wykładów i zajęć laboratoryjnych, międzynarodowych warsztatów oraz pełniąc funkcję opiekuna pomocniczego doktorantów. Jest ekspertem zespołu ds. oceny działalności dydaktycznej i naukowej pracowników Politechniki Lwowskiej.

Dr Pavlo Krot jest osobą znaną w środowisku akademickim, przemysłowym i biznesowym. Sylwetka Kandydata jest pozytywnie odbierana na forum krajowym (polskim i ukraińskim), oraz międzynarodowym – wśród naukowców zajmujących się badaniami w zakresie dynamiki i diagnostyki maszyn.

Kandydat posiada stopień Dyrektora Górniczego I stopnia.

**Stwierdzam, że dr Pavlo Krot posiada szeroką i ugruntowaną wiedzę z zakresu dynamiki maszyn, modelowania matematycznego i wykorzystania zaawansowanych narzędzi do analizy dla potrzeb diagnostyki technicznej maszyn roboczych stosowanych w różnych dziedzinach przemysłu, w tym w przemyśle wydobywczym.**

### **3. Ocena osiągnięcia naukowego Habilitanta**

#### **3.1. Charakterystyka osiągnięcia naukowego**

Osiągnięcia naukowe, o których jest mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy, Habilitant przedstawił w formie monografii w języku angielskim:

Krot P.: *“Dynamical models in condition monitoring of industrial machines”*

wydanej w Oficynie Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej w roku 2024 (ISBN 978-83-7493-279-0).

Monografia ta składa się z 9 rozdziałów, wykazu najważniejszych oznaczeń, streszczenia oraz spisu bibliograficznego. Całość liczy 340 stron. Spis literatury zawiera 431 pozycji, w tym 32 pozycje, których autorem lub współautorem jest Habilitant.

Monografia dotyczy niezwykle ważnych z punktu widzenia praktyki przemysłowej zagadnień obejmujących szerokie spektrum problemów diagnostyki stanu technicznego maszyn stosowanych w przemyśle ciężkim – hutniczym i górniczym. Maszyny te jako przykład typowych obiektów dynamicznie pracujących w niezwykle trudnych warunkach wynikających z czynników środowiskowych (wysoka temperatura, wilgotność, zapylenie) i/lub procesów technologicznych realizowanych z ich wykorzystaniem, podlegają działaniu silnych wymuszeń drgań i obciążeń dynamicznych. Tego rodzaju stan obciążenia prowadzi może do uszkodzeń o charakterze doraźnym lub częściej zmęczeniowym. Zapewnienie wysokiej trwałości i niezawodności tego rodzaju maszyn nie leży jedynie w sferze projektowania, optymalizacji konstrukcji

oraz jakości wytwarzania, lecz również szeroko rozumianej diagnostyki technicznej w trakcie ich eksploatacji. Istnieje więc potrzeba opracowywania i wdrażania zaawansowanych, najlepiej zautomatyzowanych, systemów monitorowania stanu technicznego maszyn oraz parametrów realizowanego przezeń procesu, które z odpowiednim wyprzedzeniem informować będą obsługę o narastających zmianach stanu technicznego oraz występowaniu uszkodzeń mogących być w konsekwencji źródłem niejednokrotnie poważnych awarii. Pozwoli to na ograniczenie skutków nieoczekiwanych, często nagłych awarii, prowadzących zazwyczaj do długotrwałych postojów całych ciągów technologicznych, strat związanych z potęgującymi się wadami produkcyjnymi, na skutek niestabilności działania maszyn (niemożności dotrzymania reżimów technologicznych), czy zagrożenia bezpieczeństwa pracy. Wczesne wykrywanie źródeł potencjalnych awarii pozwala przy tym na prowadzenie odpowiedniej gospodarki remontowej zapewniającej utrzymanie oczekiwanej dyspozycyjności maszyn. Systemy diagnostyczne, które są zdolne do analizowania i przewidywania zmian stanu technicznego maszyn na podstawie danych historycznych, predyktorów oraz monitorowania zmian cech reprezentujących stan dynamiczny maszyn stanowią dzisiaj rozbudowane narzędzia informatyczne zintegrowane z systemami detekcji, przesyłania, gromadzenia i przetwarzania danych. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż w wielu wypadkach już samo monitorowanie parametrów ich pracy (zbieranie i transmisja sygnałów z czujników) może stwarzać wiele problemów technicznych. Dotyczy to m.in. maszyn w górnictwie podziemnym, zwłaszcza maszyn samojezdnych (ładowarek, wozów odstawczych, wiertnic, czy wozów wierząco-kotwiących). Maszyny te pracując w ograniczonych przestrzeniach wyrobisk, a więc środowisku utrudniającym transmisję on-line sygnałów poza maszynę, ale również sprzyjającemu awariom systemów monitorowania, w wyniku np. uszkodzenia (zerwania) przewodów łączących czujniki z pokładową jednostką centralną.

Habilitant w przedłożonej monografii przedstawił swoje osiągnięcia badawcze w wyżej nakreślonym obszarze.

W rozdziale 1 omówione zostało tło stanowiące punkt wyjścia realizowanych badań. Scharakteryzowane zostały warunki pracy maszyn górniczych oraz hutniczych. Pokazano przykłady uszkodzeń eksploatacyjnych będących skutkiem nadmiernego obciążenia dynamicznego napędów maszyn roboczych oraz wybranych maszyn stosowanych w górnictwie, hutnictwie i przeróbce kopalin (przesiewacze).

Rozdział 2 zawiera uzasadnienie celowości podjęcia tematu. Autor wskazuje na brak jednolitych metod w zakresie diagnostyki maszyn roboczych ciężkich eksploatowanych w przemyśle metalurgicznym i górniczym. Choć istnieją normy ISO w zakresie pomiaru drgań, to nie mają one zastosowania dla tego rodzaju maszyn ze względu na zupełnie inny charakter pracy oraz obciążeń, jakim one podlegają w warunkach eksploatacyjnych. W rozdziale tym Habilitant dokonuje przeglądu rozwiązań w zakresie monitorowania parametrów pracy wybranych maszyn górniczych (pojazdów stosowanych w kopalniach podziemnych – ładowarek i wozów odstawczych oraz przesiewaczy), maszyn hutniczych (walcarek), jak również napędów wielosilnikowych stosowanych w maszynach górniczych (koparki wieloczerpakowe kołowe, maszyny TBM) i hutniczych. Dokonany został również skondensowany przegląd metod pomiaru parametrów charakteryzujących stan obciążenia dynamicznego maszyn oraz przetwarzania sygnałów. Ponieważ jednym z podstawowych podzespołów każdej maszyny jest napęd Autor monografii koncentruje się na diagnostyce przekładni zębatych oraz połączeń śrubowych (luzów).

Wiadomo, że istotnym narzędziem wspomagającym wnioskowanie z badań eksperymentalnych (w kontekście tej pracy – dotyczy to analizy sygnałów pomiarowych) są modele matematyczne badanego obiektu. Ważną rolę modelowania matematycznego zjawisk dynamicznych w diagnostyce maszyn dostrzega również Autor monografii, koncentrując swe badania również w tym obszarze. Formułując cele prowadzenia badań Habilitant wymienia m.in.:

- opracowanie modeli dynamicznych do diagnostyki luzów,
- analiza modalna wieloczłonowych układów maszynowych w celu wykrywania i unikania rezonansów,
- symulacja pracy maszyn.

Rozdział 3 poświęcony jest omówieniu zagadnień związanych z modelowaniem dynamiki maszyn. Dokonany został przegląd modeli dyskretnych, w tym o wielu stopniach swobody oraz modeli ciągłych. Poruszone zostały podstawowe zagadnienia związane z modelowaniem w dynamice, w tym problem stabilności układu. Omówiony został model matematyczny silnika DC oraz przekładni zębatej.

W rozdz. 4 Autor pracy omawia zagadnienie budowy modeli dynamicznych (modeli matematycznych) i ich wykorzystanie w systemach diagnostyki stanu technicznego wybranych maszyn górniczych (wozów LHD i HT, przesiewaczy wibracyjnych, obudowy ścianowej zmechanizowanej), wysokociśnieniowego stanowiska do badania rur wiertniczych (płuczkowych) oraz maszyn hutniczych (walcarek). Opisany jest system identyfikacji cyklu pracy górniczego wozu odstawczego, którego Habilitant jest współautorem (opracował algorytm). Opisane są tu wyniki badań, w których uczestniczył Habilitant. Należy podkreślić aplikacyjny charakter tych badań – Habilitant pokazuje konkretne przykłady rozwiązań w zakresie integracji autorskich modeli symulacyjnych z systemami monitorowania parametrów pracy maszyn, czy systemami wspomagającymi operatorów maszyn w ich sterowaniu. Wolno próbkowane sygnały ze stosowanych powszechnie systemów monitorowania parametrów pracy maszyn roboczych mogą posłużyć jako dane wejściowe do symulacji zjawisk przejściowych w napędach maszyn i na tej podstawie możliwe jest prognozowanie trwałości zmęczeniowej istotnych elementów tego rodzaju maszyn. Istnieje również możliwość optymalizacji na tej podstawie parametrów pracy maszyn w celu minimalizacji amplitudy drgań i liczby przeciążeń dynamicznych. Analiza w dziedzinie częstotliwości pozwala na wykrywanie uszkodzeń elementów maszyn oraz zmieniających się własności dynamiczne maszyny w wyniku przebiegającego procesu zużycia jej elementów.

Wnioski z prowadzonych badań pozwoliły na opracowanie procedur diagnostycznych oraz określenie wymagań w zakresie systemów pomiarowych niezbędnych dla automatycznej identyfikacji uszkodzeń i predykcji zużycia istotnych węzłów konstrukcyjnych maszyn.

Dużo uwagi Autor pracy poświęca maszynom hutniczym – walcarkom. Opisane są problemy związane ze sterowaniem tymi maszynami przez operatorów w celu uzyskania wymaganej jakości produkcji i przeciwdziałania wpływowi na tą jakość szkodliwych zjawisk dynamicznych towarzyszących procesowi walcowania metali. Omawiane są również zagadnienia związane z dynamiką napędów wielosilnikowych walcarek. Habilitant badał m.in. drgania „chatter”. Wnioski wynikające z analiz wyników uzyskanych z symulacji realizowanych z wykorzystaniem autorskich modeli dynamicznych posłużyły m.in. do opracowania oprogramowania wspomagającego operatorów walcarek w sterowaniu prędkością oraz poprawy efektywności sterowania napędami tych maszyn. Jak podkreśla Autor, niejednakowość charakterystyk mechanicznych silników napędowych jest źródłem nierównomierności rozdziału obciążenia na poszczególne napędy, a występowanie luzów w przekładniach zębatych jest przyczyną intensyfikacji drgań i występowania stanów rezonansowych. Mamy tu do czynienia z klasycznym problemem dynamiki napędów wielosilnikowych.

W kolejnym rozdziale (Rozdz. 5) Habilitant skupia się na opracowaniu instrumentarium dla potrzeb diagnostyki stanu technicznego maszyn. Opracowanie przyrządów pomiarowych dotyczy dwóch zagadnień – bezprzewodowego pomiaru momentu obrotowego na wale oraz pomiaru luzów. W pierwszym przypadku realizowany jest pomiar tensometryczny, a Autor

koncentruje się na zagadnieniu bezprzewodowego przesyłania danych. Drugi oparty jest na dwóch czujnikach prędkości i pomiarze przesunięcia czasowego. Autor przeprowadził eksperymenty numeryczne, w czasie których została przetestowana zaproponowana metoda pomiaru.

W rozdziale 6 Habilitant przedstawił możliwości wykorzystania zaawansowanych technik analizy stanów dynamicznych w diagnostyce maszyn roboczych. Wykorzystano w tym celu adekwatne modele dynamiczne oraz zaawansowane techniki analizy wyników symulacji. Autor pracy skupił się na praktycznym rozwiązaniu następujących problemów:

- monitorowania luzów w układach przeniesienia napędu w oparciu o obciążenie statyczne (moment obrotowy),
- monitorowania obciążeń dynamicznych z wykorzystaniem sygnału prądowego elektrycznych silników napędowych,
- diagnostyce luzów w połączeniach śrubowych i luzów promieniowych w łożyskowaniu wałów przekładni zębatych dużej mocy,
- diagnostyce luzowania się śrub w przesiewaczach wibracyjnych.

Dla potrzeb opracowania procedury diagnostycznej Autor pracy przeprowadził obszerne badania komputerowe, w których wykorzystał autorskie modele dynamiczne badanych układów mechanicznych. Badania symulacyjne pozwoliły na określenie relacji pomiędzy parametrami mierzonymi na rzeczywistym obiekcie i diagnozowanymi wielkościami reprezentującymi odpowiedź dynamiczną tego obiektu. Opracowane w ten sposób procedury diagnostyczne nie wymagają użycia dodatkowych czujników, a wystarczający jest pomiar np. wielkości prądu (jak to ma miejsce w przypadku monitorowania luzów, czy obciążeń dynamicznych w układach napędowych), czy też z wykorzystaniem niewielkiej liczby czujników, (np. akcelerometrów (jak to ma miejsce w przypadku diagnostyki luzów w łożyskach, czy luzowania się śrub w przesiewaczach)).

Należy podkreślić, iż interpretacja sygnałów pomiarowych i ocena na ich podstawie stanu technicznego kluczowych, dla niezawodnego działania, węzłów konstrukcyjnych maszyn poddawanych działaniu silnych wymuszeń drgań i obciążeń dynamicznych (traktowanych jako pa-  
sożytnicze, a w niektórych przypadkach, jak to ma miejsce w maszynach udarowych lub przesiewaczach, jako siła napędowa) nie byłaby możliwa bez wykorzystania adekwatnych modeli dynamicznych. Udowadnia to Habilitant prezentując w monografii wyniki swoich badań w tym zakresie. O wysokiej wartości opracowanych przez Habilitanta algorytmów diagnostycznych świadczy fakt, iż zostały one opatentowane.

Innym aspektem wykorzystania modelowania matematycznego zjawisk dynamicznych jest wykorzystanie wniosków płynących z tego rodzaju badań do sterowania pracą maszyn roboczych w celu ograniczenia negatywnych skutków zjawisk dynamicznych towarzyszących ich działaniu. W rozdz. 7 Autor pracy przedstawia wyniki własnych badań w tym zakresie obejmujących następujące zagadnienia:

- sterowanie drganiami „chatter” w walcarkach hutniczych,
- redukcja dynamiki skrętnej w układach napędowych maszyn przez odpowiednie sterowanie silnikiem elektrycznym,
- eliminacja wyginania czołowego końca blachy w procesie walcowania na gorąco (efekt „narty” lub „węża”),
- sterowanie zaworami upustowymi (bezpieczeństwa) stojaków hydraulicznych ścianowej obudowy zmechanizowanej podczas tąpnięcia.

Wnioski z przeprowadzonych badań legły u podstaw wytycznych co do sposobu sterowania maszynami w celu ograniczenia dynamiki lub niepożądanych skutków związanych z

występowaniem drgań lub nadmiernych obciążeń dynamicznych. Część z tych rozwiązań również zostało opatentowanych.

Rozdział 8 zawiera przykłady zastosowania wyników badań realizowanych przez Habilitanta w przemyśle. Autor przedstawił tu trzy aplikacje, z tego dwie dotyczą przemysłu metalurgicznego (procesu walcowania), a jeden – zarządzania utrzymaniem ruchu w fabryce. Wszystkie te rozwiązania bazują na wynikach prowadzonych przez Habilitanta badań w zakresie dynamiki maszyn roboczych.

System sterowania drganiami „chatter” ma na celu synchronizację drgań poszczególnych klatek walcowni w oparciu o przyjęte wskaźniki: odchylenie RMS poszczególnych częstotliwości głównej postaci drgań własnych od średniej dla wszystkich klatek oraz współczynnik korelacji drgań sąsiednich klatek. Wskaźniki te wyznaczone są na podstawie rejestrowanych przebiegów przyspieszenia drgań w każdej klatce. Jak wykazały wyniki uzyskane w walcowni, w której rozwiązanie to zostało zastosowane, opracowana metoda pozwala na wykrycie zjawiska rezonansu nawet o 8 s wcześniej niż amplituda widma. To wczesne wykrycie drgań „chatter” umożliwia ich stłumienie przy zmniejszeniu prędkości walcowania o mniej niż 1%. W przypadku tradycyjnych systemów monitorowania spadek ten dochodzi do 20%.

Drugim wdrożonym rozwiązaniem będącym wynikiem prac realizowanych przez Habilitanta jest system sterowania eliminujący efekt „narty” lub „węża”. Realizowane jest to przez indywidualne sterowanie napędami walców. Przeprowadzone badania symulacyjne wskazały, że aby zniwelować występujące różnice sztywności napędu walca dolnego i górnego i tym samym wyeliminować zróżnicowanie prędkości walców w chwili wejścia między nie blachy należy odpowiednio zróżnicować nastawy regulatorów prędkości. Analiza modalna umożliwiła określenie postaci własnych walcarki, dzięki czemu możliwe było określenie prędkości, jakich należy unikać w celu uniknięcia rezonansu. W efekcie wprowadzonych zmian w nastawach układu sterowania udział taśm ze zgięciem czołowym zmalał o 25%.

Skomputeryzowany System Zarządzania Utrzymaniem Ruchu (CMMS) oparty jest na akwizycji sygnałów o niskiej częstotliwości z napędów elektrycznych maszyn. Wykorzystuje się tu opracowaną przez Habilitanta metodę wyznaczania odpowiedzi dynamicznej na podstawie obciążenia statycznego. Na tej podstawie system szacuje zużycie elementów maszyn, co stanowi m.in. podstawę prowadzenia gospodarki częściami zamiennymi oraz gospodarki remontowej w zakładzie produkcyjnym.

Rozdział 9 zawiera podsumowanie przedstawionych badań. Jako przyszłe kierunki swoich badań Habilitant wskazuje:

- rozwój nieinwazyjnych metod wykrywania zużycia (luzów) w maszynach przemysłowych na podstawie danych wizyjnych zarejestrowanych przez standardowe kamery zainstalowane w dronach inspekcyjnych,
- opracowanie systemu kontroli ruchu ciężkich maszyn wibracyjnych oraz
- opracowanie systemu wspomaganie operatorów pojazdów zdalnie sterowanych lub pojazdów autonomicznych przeznaczonych do niebezpiecznych zastosowań górniczych w celu redukcji obciążeń dynamicznych.

### **3.2.Spostrzeżenia i kwestie wymagające wyjaśnienia**

Po zapoznaniu się z materiałem zawartym w monografii habilitacyjnej oraz Autoreferacie narzucają się następujące spostrzeżenia i kwestie wymagające wyjaśnienia:

### 3.2.1. Kwestie podstawowe:

- 1) Kandydat ubiega się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie naukowej „Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka”, tymczasem osiągnięcie naukowe dotyczy w dużej części maszyn hutniczych. W zakresie mechanizacji górnictwa Habilitant przesta-  
wił swoje osiągnięcia dotyczące modelowania ładowarek górniczych (LHD)/górnich  
wozów odstawczych (HT) (detekcja cyklu pracy, modelowanie napędu), przesiewaczy  
(model dynamiczny o 6 DOF) i obudowy ścianowej zmechanizowanej (modelowanie ob-  
ciążenia dynamicznego w wyniku impulsowego oddziaływania górotworu podczas tąpnię-  
cia). Nie jest to dla mnie zaskoczeniem, biorąc pod uwagę przebieg pracy zawodowej Ha-  
bilitanta, który tematyką maszyn górniczych zajmuje się dopiero od roku 2019, kiedy to  
rozpoczął pracę na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocław-  
skiej. Nie umniejsza to wiedzy i umiejętnościom badawczym Habilitanta, gdyż posiadane  
doświadczenie w zakresie diagnostyki maszyn roboczych oraz modelowania w dynamice  
z powodzeniem wykorzystuje w obszarze maszyn górniczych. Niemniej odpowiednia se-  
lekcja treści monografii mogła te proporcje w większym stopniu przesunąć w stronę ma-  
szyn stosowanych w górnictwie. Informacje potwierdzające zainteresowanie Habilitanta  
maszynami górniczymi znajdujemy w pkt. 4.4 Autoreferatu, w którym wskazane są kie-  
runki prac badawczych z tego zakresu, takie jak:
  - diagnostyka krążników przenośników taśmowych,
  - pomiary dynamiki młynów bębnowych, czy
  - analiza dynamiki młotów uderowych.
- 2) W autoreferacie wielokrotnie pada stwierdzenie: „*Moje badania...*”. Tymczasem cytowane  
źródła literaturowe z udziałem Habilitanta są w większości publikacjami wieloautorskimi.  
W monografii, spośród 32 publikacji z udziałem Habilitanta jedynym autorem jest w 9  
poz., zaś pierwszym autorem jest 11 poz. W Autoreferacie, w wykazie cytowanych publi-  
kacji autora jest 61 pozycji, z czego jedynym autorem jest w 6 poz., zaś pierwszym autorem  
w 12 poz. Wyjaśnienia wymaga więc wkład Habilitanta w te prace, których nie jest wy-  
łącznym autorem. Informacje takie, moim zdaniem, powinny się znaleźć w dokumentacji  
osiągnięcia naukowego Wnioskodawcy.

### 3.2.2. Kwestie dyskusyjne, pytania:

- 3) W rozdz. 3.5 przedstawiony jest model matematyczny napędu elektrycznego. Dlaczego  
Habilitant ograniczył się tu do przedstawienia opisu matematycznego silnika DC skoro w  
większości maszyn górniczych stosowane są silniki AC? Tam gdzie jest potrzebna regula-  
cja prędkości kątowej rozwiązuje się to z wykorzystaniem przemienników częstotliwości  
(np. w napędach posuwu kombajnów ścianowych).
- 4) Opisane w rozdz. 4.3.1 stanowisko do badania rur płuczkowych robi wrażenie raportu z  
pracy usługowej, której celem była modernizacja wadliwie działającego rozwiązania. Jaki  
był cel umieszczenia tego podrozdziału w pracy dotyczącej maszyn przemysłowych (z za-  
łożenia wykorzystywanych do produkcji), a nie stanowisk testowych, czy laboratoryjnych.
- 5) Rozdz. 4.3.2 (błędnie oznaczonym w pracy jako 4.3.1) Habilitant usiłuje wnieść coś no-  
wego do tematu zabezpieczenia ścianowej obudowy zmechanizowanej przed skutkami tąp-  
nięć. Już sam rysunek 4.40 wskazuje, że Habilitant nie do końca ma rozeznanie w temacie.  
Dlaczego pokazany jest akurat system podbierkowy z wypuszczaniem węgla z warstwy  
przystropowej za osłoną odzawałową (LTCC), a nie klasyczny układ z eksploatacją na  
pełną wysokość pokładu, w której stropnice sekcji obudowy mają kontakt ze stropem?



Należy zauważyć, iż problem zabezpieczenia stojaków przed zniszczenie na skutek wstrząsów górotworu i tupań jest badany w Polsce (i nie tylko) od dziesiątek lat. Świadczyć może również o tym dość obszerna literatura cytowana przez Habilitanta w monografii (około 20 pozycji). Powstało na ten temat wiele opracowań, w Polsce – m.in. w Głównym Instytucie Górnictwa, czy na Politechnice Śląskiej. Dla potrzeb analizy zjawisk dynamicznych w sekcjach obudowy ścianowej wykorzystywano już w przeszłości modele dynamiczne, mniej lub bardziej zaawansowane. Zawory upustowe znane i stosowane są również od wielu lat. Prezentowane przez Habilitanta nowe podejście do sterowania zaworami upustowymi (bezpieczeństwa) w mojej ocenie jest mało realne z punktu widzenia praktycznego. Jak Habilitant wyobraża sobie w praktyce detekcję wstrząsu z wyprzedzeniem 0.02-0.05 s, skoro czas narastanie obciążenia stojaków spowodowany rozładowaniem energii w czasie wstrząsu górotworu może wynosić od kilkunastu do kilkudziesięciu milisekund? Opracowanie „inteligentnego zaworu” współpracującego z czujnikami jest w mojej ocenie dość mgliste. Czy jeżeli czujnik przestanie działać, to zabezpieczenie (zawór) też?

- 6) W Rozdz. 5 Habilitant przedstawia autorskie rozwiązania w zakresie monitorowania momentu obrotowego wyposażonego w system komunikacji bezprzewodowej oraz urządzenia do pomiaru luzów kątowych bazującego na detekcji różnicy prędkości. Jest to trochę wyważanie otwartych drzwi. Istnieje szereg rozwiązań w zakresie pomiaru tego typu parametrów, które można z powodzeniem zaadaptować bez konieczności budowania od podstaw własnego układu pomiarowego. Oczywiście w wielu wypadkach standardowe urządzenia pomiarowe (np. momentomierze) nie są przydatne ze względów technicznych, lecz wiele firm jest w stanie zaprojektować i wykonać odpowiedni układ według konkretnych potrzeb techniczno-metrologicznych. Komunikacja bezprzewodowa pomiędzy czujnikiem zintegrowanym z nadajnikiem i stacjonarnym odbiornikiem znana jest chociażby z rozwiązań firmy Hottinger.
- 7) W rozdz. 6.1.2. Autor bada zależność pomiędzy obciążeniem statycznym  $M_{st}$  i wartością szczytową obciążenia dynamicznego  $M_{max}$ . Na str. 212 monografii Autor pisze, że „obciążenie wejściowe  $M_{st}$  ma zawsze rozkład normalny (Gaussa)”. Czy zostały przeprowadzone stosowne testy statystyczne potwierdzające hipotezę o normalności rozkładu?
- 8) Czy przebiegi prądowe w ocenie dynamiki napędów maszyn roboczych są miarodajne w ogólności (rozd. 6.2)? Habilitant w swojej pracy zajmował się głównie maszynami hutniczymi (walcarkami), których dynamika jest nieporównywalna chociażby z górnictwymi maszynami urabiającymi (np. kómbajnami chodnikowymi). Oczywiście przebiegi prądu silników są wskaźnikiem obciążenia tych maszyn, lecz czy odzwierciedlają one stan dynamiczny ich napędów? Czy z doświadczenia Habilitanta wynika, iż możliwe jest na podstawie zarejestrowanych przebiegów prądu doszukiwanie się istotnych informacji na temat dynamiki maszyn oraz realizowanego przezeń procesu roboczego, będącego często kluczowym źródłem wymuszeń drgań, jak to ma miejsce np. w przypadku maszyn urabiających?

### 3.3. Ocena osiągnięcia naukowego przedstawionego w monografii habilitacyjnej

Stwierdzam, że przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe Habilitanta udokumentowane w monografii jest unikatowym, kompleksowym opracowaniem wykorzystania modelowania w dynamice do diagnostyki stanu technicznego maszyn roboczych ciężkich. Treść pracy wskazuje na ogromną wiedzę Habilitanta z zakresu dynamiki układów mechanicznych, umiejętność wykorzystania zaawansowanych metod w analizie dynamiki oraz wnioskowania na podstawie wyników uzyskanych z symulacji komputerowych. Na podkreślenie zasługuje

również umiejętność zastosowania wyników prowadzonych badań w praktyce, to jest w diagnostyce maszyn roboczych stosowanych w różnych gałęziach przemysłu.

Dla realizacji celów badawczych Habilitant zaproponował autorskie metody diagnostyki maszyn, które w powiązaniu istniejącymi systemami monitorowania parametrów pracy maszyn pozwalają na przewidywanie potencjalnie groźnych stanów awaryjnych oraz predykcję stanu technicznego maszyn, bądź ich kluczowych podzespołów na podstawie sygnałów diagnostycznych dostępnych w systemach monitorowania. Habilitant dopracował się metod identyfikacji stanów dynamicznych na podstawie wolnozmiennych sygnałów z systemów monitorowania, np. w postaci przebiegów prądu zasilania silników napędowych. Opracował szereg algorytmów procedur diagnostycznych opartych na oryginalnych modelach dynamicznych, umożliwiających m.in. predykcję czasu życia maszyny, które zaimplementowane zostały programach użytkowych. Habilitant jest autorem algorytmów wykorzystywanych w oprogramowaniu systemów sterowania maszynami roboczymi pracującymi w przemyśle metalurgicznym, co świadczy o wysoce aplikacyjnym charakterze realizowanych badań.

Monografia wnosi nowe elementy wiedzy w zakresie analizy dynamiki maszyn roboczych ciężkich oraz wykorzystania modeli dynamicznych i narzędzi statystycznych w diagnostyce stanu technicznego maszyn górniczych, automatyzacji procesów technologicznych i systemach wspomaganie operatorów maszyn.

**Podsumowując stwierdzam, że osiągnięcie naukowe dr Pavlo Krota przedstawione w formie monografii pt. „*Dynamical models in condition monitoring of industrial machines*” stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, w zakresie diagnostyki maszyn górniczych.**

#### **4. Ocena aktywności naukowej Kandydata**

Analizując przedłożone do oceny dokumenty stwierdzam, że dr Pavlo Krot wykazuje się wysoką aktywnością naukową zarówno na polu krajowym (zwłaszcza w okresie przed zatrudnieniem Habilitanta na Politechnice Wrocławskiej), jak i międzynarodowym.

Po uzyskaniu stopnia doktora Kandydat był autorem i współautorem 106 opracowań naukowych, w tym 1 samodzielnie napisanej monografii, 9 rozdziałów w monografiach, 57 artykułów naukowych w periodykach krajowych (ukraińskich) i zagranicznych oraz 39 wystąpień konferencyjnych. W okresie tym Habilitant znacząco powiększył swój dorobek naukowy oraz odnotował duży progres swojej aktywności badawczej, czego przejawem jest ww. liczba publikacji naukowych i wystąpień konferencyjnych.

Przejawem wysokiej aktywności naukowej Habilitanta jest udział w 14 projektach badawczych – 6 projektach po roku 2019, finansowanych ze środków międzynarodowych (EIT Raw Materials) oraz 8 projektach krajowych (Narodowa Akademia Ukrainy), z czego w 6 był kierownikiem. Tematyka projektów realizowanych przez Kandydata od roku 2019 dotyczy szerokiego spektrum zagadnień związanych z górnictwem, m.in. inteligentnego, zintegrowanego systemu konserwacji maszyn, autonomicznych systemów monitoringu i sterowania dla zakładów górniczych, czy optymalizacji wentylacji kopalń opartej na skanowaniu 3D. O uznaniu wiedzy i doświadczenia Habilitanta w otoczeniu społeczno-gospodarczym świadczy fakt, iż był On wykonawcą 20 prac naukowo-badawczych (w 10 był kierownikiem) zleconych przez przemysł, głównie metalurgiczny (z Ukrainy, Kazachstanu, Rosji i Polski) oraz przeróbki rudy.

Kandydat do stopnia doktora habilitowanego swoją działalność naukową i dydaktyczną realizował w trzech ośrodkach naukowych, to jest:

- Instytucie Żelaza i Stali im. Z.I. Niekrasowa Narodowej Akademii Nauk Ukrainy – Laboratorium Dynamiki Maszyn oraz Zakładzie Procesów i Maszyn do Formowania Metali (Ukraina),
- Katedrze Informatyki Ekonomicznej i Systemów Zautomatyzowanego Sterowania Dnieprzańskiego Uniwersytetu Narodowego im. O. Honczara (Ukraina),
- Katedrze Górnictwa Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.

Po doktoracie swoją wiedzę Habilitant pogłębiał w czasie kilku krótkoterminowych staży naukowych odbytych w latach 2013-2014 w Laboratorium Technologii Kriogenicznych w Instytucie Fizyki Narodowej Akademii Nauk Ukrainy. Obejmowały one badania w zakresie rozwoju technologii kriogenicznej i urządzeń do hartowania w niskiej temperaturze.

Habilitant bierze aktywny udział w pracach komitetów redakcyjnych wielu czasopism międzynarodowych o zasięgu światowym. Pełnił On funkcję redaktora tematycznego (3 czasopisma), redaktora gościnnego (2 czasopisma), redaktora sekcji (1 czasopismo). Jest członkiem rady redakcyjnej w 6 czasopismach, a w roku 2015 był również redaktorem naukowym w wydawnictwie Trans Tech Publications. Był recenzentem 138 manuskryptów w 31 indeksowanych czasopismach naukowych.

Był członkiem komitetów naukowych i organizacyjnych 7 konferencji międzynarodowych organizowanych w Chinach i na Ukrainie.

Jest członkiem International Physics and Control Society oraz International Association of Applied Science and Technology.

Dorobek naukowy Habilitanta koncentruje się na zagadnieniach związanych z dynamiką maszyn, diagnostyką techniczną, wykorzystaniem modelowania i zaawansowanej analizy matematycznej dla potrzeb automatyzacji i optymalizacji procesów technologicznych i procedur diagnostycznych. Większość prac badawczych Habilitanta dotyczy maszyn pracujących w przemyśle hutniczym, gdzie Habilitant osiągnął wiele sukcesów aplikacyjnych (4 wdrożenia). Niektóre projekty realizował we współpracy z badaczami z innych ośrodków naukowych, takich jak: Instytut Fizyki NANU z Kijowa, Laboratorium Technologii Kriogenicznych z Kijowa, Politechnika Lwowska, czy Narodowy Uniwersytet Nafty i Gazu w Iwano-Frankowsku, we współpracy z którym Habilitant prowadził badania w zakresie monitoringu wiercenia w przemyśle naftowym i gazowniczym. Od roku 2019, w którym podjął pracę na Politechnice Wrocławskiej aktywnie uczestniczy w badaniach dotyczących górnictwa i maszyn górniczych. Należy się spodziewać, iż wiedza i umiejętności badawcze Kandydata wykorzystane zostaną z dużym powodzeniem w tym obszarze badawczym.

Aktywność badawcza Kandydata przekłada się również na wskaźniki bibliometryczne. Zarówno indeks Hirscha (WoS – 10, Scopus – 12), jak i liczba cytowań (WoS 214, Scopus – 394) świadczą o wysokim poziomie publikacji i dużym zainteresowaniu ludzi nauki.

Dorobek naukowy dr Pavlo Krota jednoznacznie identyfikuje Jego obszar zainteresowań badawczych.

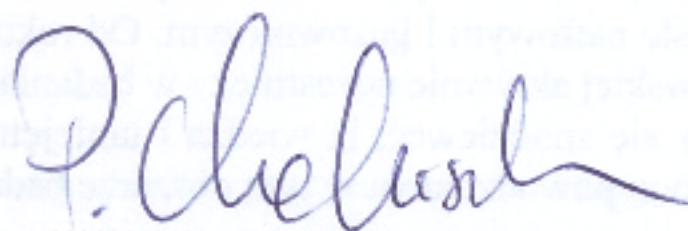
**Reasumując stwierdzam, że Habilitant wykazuje się istotną aktywnością naukową i spełnia wymagania w tym zakresie zawarte w Art. 219, ust. 1 Ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*.**

## 5. Wniosek końcowy

Po analizie osiągnięć naukowych oraz materiału dokumentującego przebieg pracy naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej, dorobek naukowy i aplikacyjny oraz aktywność naukową dr Pavlo Krota stwierdzam, że:

- 1) Habilitant uzyskał stopień doktora w 1996 r.,
- 2) monografia naukowa pt. *"Dynamical models in condition monitoring of industrial machines"* spełnia wymagania stawiane rozprawom habilitacyjnym i jest udokumentowaniem istotnych osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka w zakresie diagnostyki i modelowania dynamiki maszyn górniczych,
- 3) Kandydat po uzyskaniu stopnia doktora w 1996 r. znacznie powiększył swój dorobek naukowy publikując oryginalne wyniki swoich badań w czasopismach o zasięgu światowym, prezentując je na licznych konferencjach krajowych i międzynarodowych, jak również patentując oraz komercjalizując wyniki swoich prac. Aplikacyjny charakter realizowanych badań oraz szeroka współpraca z przemysłem sprawiły, że Habilitant stał się uznanym ekspertem w reprezentowanej przez siebie dyscyplinie naukowej.
- 4) Habilitant wykazuje się istotną aktywnością naukową prowadząc badania w różnych ośrodkach naukowo-badawczych oraz współpracując z naukowcami z kraju i zagranicy.

Mając powyższe na uwadze stwierdzam, że dr Pavlo Krot spełnia wymagania zawarte w Art. 219, ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571). Wnoszę tym samym o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów postępowania w sprawie o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.



Dr hab. inż. Piotr Cheluszka, prof. PŚ