

Kraków 4.10.2023

Dr hab. inż. Michał Kopacz,
Prof. instytutu
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
Ul. Wybickiego 7A
31-261 Kraków

**Recenzja rozprawy doktorskiej
pana mgr inż. Pawła Śliwińskiego
(doktorat wdrożeniowy)**

Kompozycja recenzji:

1. Uzasadnienie dla wykonania recenzji
2. Charakterystyka ogólna rozprawy doktorskiej
3. Wartość naukowa i merytoryczna pracy
4. Poprawność redakcyjna rozprawy
5. Uwagi krytyczne
6. Ocena końcowa.

1. Uzasadnienie dla wykonania recenzji

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Pawła Śliwińskiego została wykonana w związku z zawiadomieniem nr 40/07/D08/2023 Prorektora ds. Nauki Politechniki Wrocławskiej, prof. Tomasza Nowakowskiego oraz zleceniem Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, dr hab. inż. Roberta Króla, profesora uczelni z dnia 20.07.2023, które otrzymałem w dniu 30 lipca 2023 r. z prośbą o recenzję niniejszej rozprawy doktorskiej.

Dysertacja przedłożona do oceny mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

2. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska pana mgr inż. Pawła Śliwińskiego składa się z siedmiu rozdziałów budujących zasadniczą treść pracy oraz zbioru literatury. Wprowadzenie, analiza stanu wiedzy oraz cele pracy zostały sformułowane w pierwszych trzech rozdziałach. Rozdział 4, 5 i 6 stanowią prace eksperymentalne, metody analityczne, wyniki badań i opis wdrożeń. Rozdział siódmy stanowi podsumowanie i wnioski.



W rozdziale drugim Doktorant zaprezentował istniejący stan wiedzy w przedmiocie pracy. W rozdziale tym zdefiniowany został problem badawczy, zakres pracy oraz stosowane oznaczenia i skrót.

Rozdział trzeci obejmuje cele pracy. Celem głównym było, cyt. za Autorem „Opracowanie metody oceny efektywności maszyn i predykcyjnego utrzymania ruchu na podstawie danych z monitoringu samojezdnych maszyn górniczych”. Cele szczegółowe pracy związane są z opracowaniem metod monitoringu, diagnostyki oraz wskaźników na potrzeby oceny i raportowania efektywności pracy maszyn górniczych i ich określonych podzespołów w ramach szeroko rozumianego utrzymania ruchu w kopalniach rud miedzi.

W rozdziale czwartym scharakteryzowano przeprowadzone prace eksperymentalne w zakresie symulacji, eksperymentów laboratoryjnych, eksperymentów w warunkach dołowych, pozyskania i przygotowania danych do dalszych analiz.

Rozdział piąty obejmuje treści związane z metodami analizy danych w środowisku hurtowni danych, ocenę efektywności pracy sprzęgła bez i z systemem lock-up, ocenę pracy maszyn wierząco-kotwiących, elementy diagnostyki maszyn w zakresie ciśnienia oleju, pomiaru temperatury elementów układu przeniesienia napędu, diagnostyki uszkodzeń połączenia koła zamachowego z przekładnią ładowarki LKP i kończy się propozycją wzorcowego rejestru zdarzeń eksploatacyjnych.

W rozdziale szóstym zaprezentowano i scharakteryzowano wdrożenia metod i mechanizmów analityki danych pochodzących z systemów monitoringu maszyn górniczych.

Rozdział siódmy stanowi podsumowanie całości prac z wyszczególnieniem osiągnięć i wkładu Autora do dyscypliny naukowej: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

3. Wartość naukowa i merytoryczna pracy - wkład Doktoranta do dyscypliny naukowej

Recenzowana praca jest zbiorem przemyśleń i udokumentowanych wieloletnich doświadczeń Doktoranta, zdobytych w trakcie pracy w wielozakładowym przedsiębiorstwie górniczym, na stanowisku analitycznym. Jest to doktorat wdrożeniowy, którego wartość mierzę zasadniczo liczbą i skalą opracowanych i przydatnych dla firmy rozwiązań i działań mogących przyczynić się do poprawy efektywności realizowanych tam procesów i do wzrostu jej wartości.

Praca stanowi dokumentację rozlicznych eksperymentów, badań i analiz efektywności pracy wykonywanej przy pomocy maszyn górniczych jak i diagnostyki oraz monitoringu ich stanu, tudzież stanu technicznego wybranych podzespołów tychże maszyn. Autor wybiera do analizy grupy maszyn, których praca jest istotna w procesie wydobywczym rudy miedzi ale jednocześnie i takie, które są dla firmy odpowiednio cenne (chodzi o ich wartość pieniężną). I w tym sensie mogę uznać, że faktycznie zakres badań, analiz i eksperymentów udokumentowany w niniejszej pracy – zgodnie z tytułem pracy – stanowi pewien kompleks indywidualnych metod analizy danych pomiarowych, diagnostycznych generowanych przez systemy monitoringu i sterowania. Kompleksowość ta jednak nie ma charakteru uniwersalnego, nie ma też cech skalowalności na wszystkie maszyny nawet w tej samej firmie, ale jak myślę pewne składowe opracowanych metod



analizy danych diagnostycznych mogłyby być z powodzeniem stosowane również na innym gruncie aplikacyjnym. Stąd cenne i wartościowe w praktyce są spostrzeżenia Autora udokumentowane w tej pracy. Sam Autor pisze, że wdrożenie niektórych rezultatów badań i analiz w efekcie przyniosło i przynosi firmie określone korzyści organizacyjne i finansowe (przykład usprawnienia pracy ładowarki poprzez załączenie blokady lock-up oraz wprowadzenie tego jako standardu dla zakupywanych w ZG Lubin maszyn górniczych). Efekty działań diagnostycznych oraz analizy danych mają przynosić oszczędności w postaci niższych wydatków m.in. na zużywane paliwo czy też wydłużenie żywotności określonych podzespołów i całych maszyn. Oznacza to także niższe koszty napraw i serwisów zewnętrznych oraz większą dyspozycyjność maszyn, co przekłada się na poprawę efektów produkcyjnych.

Autor, jak sam otwarcie pisze, nie jest jedynym autorem całości udokumentowanych w tej pracy metod analizy i oceny danych diagnostycznych jak i sposobów ich raportowania (i to oświadczanie jest równie szczerze, co i cenne). Jednakże są wśród prezentowanych badań i takie, które są wyłącznie dziełem mgr inż. Pawła Śliwińskiego. Jak wspomina Autor, zamieszczony dorobek nie odnosi się do konkretnego, pojedynczego algorytmu ale stanowi w dużym stopniu autorskie osiągnięcie w zakresie integracji danych pochodzących z różnych systemów diagnostycznych na rzecz diagnostyki i monitoringu prewencyjnego, którego celem staje się zapobieganie awariom krytycznych podzespołów maszyn, istotnych w procesie produkcyjnym. W KGHM PM istnieje bardzo szeroka wiedza w tym zakresie, zarówno po stronie poszczególnych kopalń jak i Centrali, gdzie od wielu lat prowadzi się liczne prace wdrożeniowe, przy udziale jednostek naukowych, właśnie w zakresie wykorzystania danych diagnostycznych dla stworzenia użytecznych narzędzi analitycznych, repozytoryjnych i dla celów raportowania zarządczego (zarówno na poziomie decyzji strategicznych jak i operacyjnych i taktycznych). I z tego co wiem, mgr inż. Paweł Śliwiński był i jest często jednym z członków tych zespołów, które te prace realizują, dysponując rozległą wiedzą dziedzinową z różnych obszarów działalności firmy. Wspólnym mianownikiem prac analitycznych jest jednak detekcja cykli roboczych, prawidłowości i anomalii w procesach i stanie podzespołów maszyn, stanowiących asumpt do wnioskowania kognitywnego, tj. poznawczego. Wiele w tym zakresie wysiłku jest kierowane na zebranie danych, ich oczyszczenie, uporządkowanie, następnie agregację, i na koniec – po przetworzeniu do postaci użytecznej – wnioskowanie i raportowanie.

Autor potwierdza, że gromadzone dane z monitoringu maszyn górniczych są użyteczne po ich odpowiednim przetworzeniu i dostarczają wartość (szeroko rozumianą) poszczególnym decydentom, na różnych stopniach zarządzania w organizacji. Co mnie osobiście cieszy to fakt, iż Autor zauważył potrzebę analiz kontekstowych tj. oceny pracy maszyn górniczych w konkretnych warunkach podziemia zakładu górniczego, i że ta specyfika znajduje odwzorowanie w danych, a następnie w procesie wnioskowania, co ostatecznie czyni wykonane analizy i ich rezultaty – bardziej przydatnymi i wartościowymi.

Praca nie prezentuje jedynie suchych teoretycznych badań w zakresie prostej obróbki danych w programie MS EXCEL. Poprzedzają ją liczne eksperymenty dołowe i obserwacje in-situ (autor pisze o kilku eksperymentach przeprowadzonych na maszynach górniczych (np. z użyciem wozu odstawczego, wiertnicy, czy eksperymentalnej ładowarce z napędem elektrycznym, jest też spora dokumentacja zdjęciowa z tych eksperymentów), które dostarczyły odpowiednich danych do analiz. Na podstawie tych badań formułowano konkretne, praktyczne wnioski umożliwiające poprawę jakości eksploatacji ww. maszyn oraz realizację określonych korzyści pieniężnych.

Przykładowo sformułowano wytyczne do oceny i metodykę oceny stanu technicznego koronki wiertnicy, bazującą na analizie i wnioskowaniu z rozkładów statystycznych ciśnienia elementów układu roboczego w użytecznych przekrojach analitycznych oraz poprzez wykorzystanie metod agregacji danych (metody grupowania hierarchicznego dla poszerzonej analityki ciśnienia roboczego, czasu wiercenia).

Doktorant jest także autorem (współautorem) trzech metod identyfikacji cykli roboczych wozów odstawczych na bazie analizy wartości progowych w dwuwymiarowych rozkładach wybranych zmiennych oraz z wykorzystaniem drzew decyzyjnych i danych z monitoringu, będących elementami systemu wspierania operatora w zakresie antykolizji.

W zakresie badań diagnostycznych elementów maszyn mgr inż. Paweł Śliwiński zaprezentował metody oceny stanu silnika ładowarki, bazując na analizie zmian ciśnienia oleju, temperatury płynu chłodzącego, uszkodzeń tarczy flex-plate w układzie napędowym oraz koncepcję rejestru zdarzeń dla wybranych maszyn górniczych, wykorzystując do tego funkcjonalności hurtowni danych i technik text miningu do ekstrakcji informacji w zapisów sztygarskich formularza systemu eReport.

Do praktycznego stosowania w KGHM PM są wdrażane reguły interpretacji danych dla potrzeb oceny pracy maszyn górniczych na podstawie statystyk percentylowych wybranych zmiennych w raportach WEBI, reguły selekcji błędów w danych sygnalizowanych przez sterowniki cyfrowe silnika i skrzyni biegów, oraz definicje i procesy ETL dla wskaźników oceny procesu wiercenia otworów strzałowych i kotwienia.

4. Uwagi dotyczące organizacji pracy, uwagi o charakterze ogólnym i uwagi redakcyjne.

Praca posiada przejrzysty układ. Podział na część teoretyczną i praktyczną ma zastosowanie w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych, gdzie w pierwszej części zasadniczo prezentuje się aspekty teoretyczne analizowanego problemu naukowego, natomiast w części praktycznej – doświadczalnej dokumentuje się liczbowe uzasadnienia dla stawianych tez i przyjętych celów. Dobór zagadnień teoretycznych w zakresie omawianego problemu naukowego jest wystarczający. Przykłady eksperymentów, badań i analiz odpowiadają przyjętej tezie pracy i celom. Szata graficzna nie budzi większych zastrzeżeń.

Są jednak pewne uchybienia techniczne, redakcyjne, językowe, które przedkładam poniżej:

1. Powtarzającymi się błędami są tzw. „literówki” oraz błędy gramatyczne dotyczące przede wszystkim stosowania znaków interpunkcyjnych w zdaniach złożonych.
2. Nie brzmią najlepiej sformułowana potocznie typu „horyzont czasowy”, te warto zastąpić określeniami czas analizy, itp.
3. Stylistyka niektórych zapisów w tekście dysertacji. Strona 40. – ostatnie zdanie jest niezrozumiałe „Podejścia oparte na danych uczą się na podstawie historii i nie nakładają żadnych wymagań na modele ani na wiedzę ekspercką”. Inny przykład na stronie 72 Autor pisze, że ze względu na obszerność pracy, niską użyteczność analiz symulacyjnych (numerycznych), opis badań symulacyjnych nie został zamieszczony w pracy, a jednak Autor formułuje rozdział 4.1., choć krótki, ale jednak poświęcony tym zagadnieniom. W



mojej ocenie takich zapisów nie powinno być, bo to budzi tylko niepotrzebne pytania i wątpliwości.

4. Nieścisłości w zapisach niektórych treści; np. strona 22, w zdaniu „Dla maszyn, które są objęte monitoringiem, ustalono zakres wskaźników” należałoby dodać „kto ustalił, i co?”; zwłaszcza jeśli nie był to Autor pracy. Wskaźniki powinny być wykazane w tabeli wraz z jednostkami miary.
5. Opis i wskazania na źródła danych. W szczególności w przypadku tabel i rysunków brakuje jednorodności w sposobie przywoływania wymienianych źródeł danych. Są to części składowe rozdziału 2 - Stan wiedzy.
6. Nie wszystkie równania matematyczne zostały zapisane w tym samym stylu oraz nie wszystkie są numerowane, np. strony 30-33, 120, 152.
7. Strona 32, skrót „w.w.” nie został wytłumaczony w tekście, choć jak myślę Doktorantowi i osobom ze środowiska firmy i jej otoczenia jest powszechnie znany.
8. Autor wielokrotnie wspomina o rozwiązaniach optymalnych, bez podawania kryterium, funkcji celu, np. strona 33, strona 114.
9. Rysunek 2-11. Brak legendy dotyczącej kolorów na rysunku.
10. Strona 40. – ostatnie zdanie jest niezrozumiałe „Podejścia oparte na danych uczą się na podstawie historii i nie nakładają żadnych wymagań na modele ani na wiedzę ekspercką”.
11. Warto, aby wszystkie tabele i rysunki będące opracowaniem własnym Autora były podobnie sformatowane. Podobna uwaga dotyczy schematów blokowych.
12. Tabela 2.3. Zawartość tabeli nie świadczy o ewidencji zużycia materiałów, a jedynie zawiera „Materiał” i „Opis materiału”. Nie jest wiadomo co oznaczają zaznaczone na szaro wiersze w tej tabeli.
13. Na stronie 39 znajdują się powołania na rysunki 2.7 do 2.11, rysunki te są, jednak nieco inaczej oznaczone jednak ich zawartość merytoryczna jest niezgodna z opisem w tekście (to chyba pozostałość niesunięta po wcześniejszej, bardziej rozbudowanej wersji pracy).
14. Powołania na nazewnictwo wewnętrzne w organizacji, oddziały górnicze w sensie ogólnym powinny być pisane z małych liter, konkretne w zakładach górniczych, gdzie jest odwołanie do nazwy własnej – wielkimi literami.
15. Tabela 2.8. Pozycja 2.5 jest przekreślona, bez skomentowania tego faktu w tekście.
16. Tabela 2.9. Pozycja 5.3. została wyróżniona, bez skomentowania tego faktu w tekście.
17. Rysunek 2-21. Brak jest informacji na jaki dzień oraz za jaki okres te raporty dotyczą (np. 106 raportów/dobę).
18. Rysunek 4-3. Brak jest skali na rysunku.
19. Strona 76. Autor wspomina „po udanych testach laboratoryjnych”, nie jest jasne co to sformułowanie oznacza.
20. Rysunek 4-5 Rysunek jest niezrozumiały. Wymaga dodania opisu, legendy.

21. Rysunek 4-9. Brakuje opisu jednostek na osiach pionowych, w związku z tym jedynie można się domyślać, które dane są powiązane z osią lewą a które z prawą.
22. Strona 92: rysunki i opis są niezrozumiałe.
23. Rysunek 5-2 i 5-3: brak jest opisów osi.
24. Strona 99 – 101 wskaźniki wraz opisami i jednostkami warto zawrzeć w tabeli.
25. Rysunek 5-5. Wyniki na nim zawarte powinny być dołączone do Rysunku 5-4 np. poprzez dodanie osi prawej na rysunku. W obecnej postaci rysunek 5-5 zawiera znacznie mniej informacji niż rysunek 5-4 a jest większy.
26. Rysunki 5-12 i 5-13 są nieczytelne.
27. Strona 112. Błędnie zapisane zdanie: „Aktualnie populacja maszyn SWW w monitoringiem jest ograniczana 13 maszyn w O/ZG Lubin”.
28. Tabela 5-2 brakuje informacji jakiego okresu to oszacowanie dotyczy.
29. Rysunek 5-14 i 5-15 informacje powinny być zawarte w języku polskim.
30. Wyniki zawarte na rysunkach 5-16 i 5-17 nie zostały opisane w sposób wystarczający.
31. Rysunek 5-18. Algorytm powinien być opisany w punktach (nie po angielsku), także przy użyciu odwołań do numerów równań.
32. Rysunki 5-19, 5-25, 5-26: Brakuje informacji, kiedy i w którym miejscu dokonano pomiarów
33. Tabela 5-3. Brakuje wytłumaczenia skrótu „fs”
34. Rysunek 5-39. Brakuje opisów osi oraz wytłumaczenia liczb 1...13
35. Rysunek 5-45 i 5-46 brakuje informacji o okresie (np. stan na dzień)
36. Rysunek 5-47 powinien być wytłumaczony: tekst nie odpowiada rysunkowi, nie jest wiadome co oznaczają linie na rysunku.
37. Rysunek 5-49 nie jest czytelny.
38. Strona 150 -152 symbole nie zostały zawarte w indeksie skrótów i oznaczeń.
39. Rysunek 5-53 powinien być w języku polskim, zawarte odniesienia do równań nie istnieją np. Eq. (6). Podpis rysunku zawiera niepoprawnie dobrane wyrażenie „metodologia”.
40. Tabela 5.6 brakuje odniesienia do daty.
41. Rysunki 6-4 i 6-5 są nie czytelne.

Podsumowując myślę, że skorygowanie tekstu o wyżej wymienione wskazania poprawi czytelność pracy, jako że jest to rozprawa doktorska. Podobnie również, uzupełnienie słownika pojęć, czy też akronimów we wstępie do pracy, mogłoby pewne wątpliwości rozwiązać. Warto, aby wszystkie tabele i rysunki będące opracowaniem własnym Autora były podobnie sformatowane. Podobna uwaga dotyczy schematów blokowych. Powtórne czytanie i redakcja językowa niektórych treści jest również wskazana.



5. Uwagi krytyczne

5.1. Redakcja tytułu, tezy i celów pracy

Tytuł rozprawy

Redakcja tytułu pracy. Praca miałaby nie mniejszą wartość, gdyby z jej tytułu wyeliminować słowo „kompleksowa”. O kompleksowości udokumentowanych badań świadczy sam jej zakres. Kwestie wskazania na kompleksowość podejścia powinny mieć raczej miejsce w rozdziałach teoretycznych dysertacji.

Teza (hipotezy) badawcze

Na stronie 4, w zakresie definicji problemu, Autor odwołuje się najpierw do głównej hipotezy a potem, w ostatnim akapicie już do postawionej tezy. Pierwsze zdanie na stronie 4 nie jest poprawnie zdefiniowaną hipotezą, a bardziej celem pracy. W ujęciu klasycznym, w podsumowaniu pracy Autor powinien także odwołać się do postawionej tezy/hipotezy w sposób jednoznaczny, i napisać czy została ona wykazana czy też nie. Na obronę Doktoranta świadczy odwołanie, co prawda nie wprost, ale jednak, na str. 206 pracy (jest to odwołanie i komentarz do tematu i celu, a nie do hipotezy badawczej).

Cele pracy

Cele pracy, choć liczne, są w mojej ocenie wyartykułowane mało konkretnie. Na stronie 69 Autor pisze o głównym problemie badawczym, którym jest określenie wskaźników wspierających procedury eksploatacji..., następnie opracowanie metodyki i kryteriów selekcji zmiennych..., natomiast na następnej stronie formułuje już cel strategiczny, którym jest opracowanie metody kompleksowej oceny efektywności eksploatacji maszyn i predykcyjnego utrzymania ruchu. Następnie podaje jak rozumie on ocenę efektywności i predykcyjne utrzymanie ruchu. Dodatkowo, na stronie 33. Autor w pogrubionym tekście zawarł cel pracy, nie tożsamy z celami wykazanymi w rozdziale 3. „Cele ogólne i szczegółowe pracy”. Tutaj widziałbym uproszczenie poprzez zdefiniowanie celu głównego w postaci metody (metod oceny...) i celów szczegółowych pracy. To by pomogło na koniec odnieść się do nich z określeniem, czy zostały osiągnięte czy też nie.

5.2. Uwagi merytoryczne i metodyczne

1. Autor posiada bogatą wiedzę w zakresie analizowanego tematu, jednak swoje obserwacje powinien konfrontować w większym stopniu z wiedzą literaturową. Ponadto na stronie 12. istniejące odnośniki literaturowe [2-12] powinny być odniesieniami do liczby prac lub wypisaniem prac z ich opisem. Raczej preferuje się polemikę z indywidualnymi kwestiami podejmowanymi w badaniach na tle osiągnięć udokumentowanych w literaturze niż całym zakresem treści, wymienionym w kilku pozycjach jednocześnie. W tego typu analizie literatury warto posłużyć się wybraną metodą analizy np. opartą na diagramie Prisma – szerszy opis na stronie: <http://prisma-statement.org/prismastatement/flowdiagram.aspx>.
2. Autor wykazał oryginalną metodykę badawczą w kontekście podejścia do analizowanego problemu badawczego. Opisy części założeń, metodyki i wyników nie zostały jednak, w mojej ocenie, wykonane w odpowiedni sposób; czytelnik nie jest w stanie rozpoznać, które



wyniki, zaprezentowane w postaci głównie autorskich wykresów, zostały uzyskane na podstawie przytoczonych modeli matematycznych i wzorów. Brakuje także spójnego opisu parametrów w części metodycznej oraz w części, gdzie prezentowane są wyniki prac.

3. Nadmiar treści związanych z aspektami technicznymi. W mojej ocenie, w pracy występuje nadmiar teorii związanej z aspektami technicznymi, ruchowymi kopalni, grafiką związaną z maszynami górniczymi dla analizowanych eksperymentów i wdrożeń, natomiast stosunkowo mało uwagi poświęcono osiągnięciu możliwie wysokiej jakości i przejrzystości udokumentowanych analiz.
4. Analiza literaturowa dotyczy zasadniczo obszaru diagnostyki maszyn, przy czym największa liczba powołań dotyczy diagnostyki na podstawie pomiaru ciśnienia oleju oraz stanu cyfryzacji w górnictwie. Są to części składowe rozdziału 2: Stan wiedzy. Tutaj wydaje mi się, że ze względu na kompleksowy charakter pracy i jej zakres ujęty pod tytułem „kompleksowa ocena efektywności maszyn i predykcyjnego utrzymania ruchu” w szczególności właśnie te wątki – wg podejścia od ogółu do szczegółu - mogłyby być bardziej rozbudowane i wnikliwie przeanalizowane.

6. Ocena końcowa

Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty pracy: dobór zagadnień teoretycznych, osiągnięte użyteczne cele pracy, szeroki wachlarz udokumentowanych analiz oraz fakt, że Doktorant przedkłada do oceny rezultat doktoratu wdrożeniowego, stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Śliwińskiego spełnia w stopniu wystarczającym warunki określone Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668, a w szczególności art. 187 ust. 1 i 2) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów procedury związanej z nadaniem stopnia naukowego doktora.

Ponadto, życzę Doktorantowi wszelkiej pomyślności i dalszego rozwoju w zakresie zainteresowań naukowych i badawczych.

ZASTĘPCA DYREKTORA INSTYTUTU
DS. OGÓLNYCH


dr hab. inż. Michał Kopała
profesor IGSMiE PAN