

Warszawa, 03.11.2023r.

dr hab. inż. Andrzej Pochanke  
ul. Koszykowa 75m33  
00-662 Warszawa

RECENZJA  
Rozprawy Doktorskiej  
***Elektromagnetyczna pompa o programowalnej charakterystyce wydajności  
z synchronicznym silnikiem liniowym o magnesach trwałych***

Autor: mgr inż. Sebastian Bartel  
Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Kluszczyński  
Promotor pomocniczy: dr inż. Zbigniew Pilch

## I. PODSTAWA FORMALNA RECENZJI

Recenzja została sporządzona na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, dr. hab. inż. Macieja Sułowicza, profesora PK, będącego realizacją Uchwały nr 29/2023 Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej z dnia 20.09.2023 roku.

## II. ZAWARTOŚĆ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Przedstawiona do recenzji rozprawa zawiera 210 stron tekstu, rysunków oraz tablic i składa się z następujących części:

- wykaz oznaczeń,
- wstęp,
- siedem rozdziałów merytorycznych,
- podsumowanie,
- wykaz 81. pozycji literatury cytowanej w rozprawie.

Najistotniejszą część rozprawy stanowią jej rozdziały merytoryczne, których treści, z uwagi na charakter postawionego i rozwiązywanego zadania badawczego, można pogrupować w następujące zagadnienia:

- opracowanie koncepcji i realizacja fizyczna prototypu zintegrowanej pompy elektromagnetycznej,
- badania eksperymentalne i obliczeniowe na potrzeby określenia podstawowych właściwości pompy elektromagnetycznej jako siłownika elektromagnetycznego ze szczególnym naciskiem na utworzenia obwodowego modelu matematycznego z analitycznymi wyrażeniami siły elektromagnetycznej i siły elektromotorycznej,
- badania symulacyjne pracy pompy elektromagnetycznej dla wykazania jej zdolności do kształtowania charakterystyki wydajności przez zastosowanie wybranych strategii sterowania.

### III. SZCZEGÓŁOWY OPIS TREŚCI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

#### 1. Tytuł rozprawy

Tytuł rozprawy precyzyjnie oddaje problematykę i zadania zrealizowane w rozprawie. **Zdaniem recenzenta na podkreślenie zasługuje poprawne określenie *synchroniczny silnik liniowy o magnesach trwałych***. W rozprawie silnik ten stosowany jest do pracy z **komutacją elektroniczną** (zasilaniem) **zależną** od położenia biegnika (wówczas jest to rodzaj bezszczotkowego silnika prądu stałego) lub **niezależną** od położenia biegnika (wówczas jest to silnik skokowy).

#### 2. Rozdział 1, czyli Wstęp

We wstępie Doktorant przedstawia rys historyczny sposobów napędzania oraz przegląd i klasyfikację rozwiązań konstrukcyjnych pomp o napędzie elektrycznym. Przedstawia także typowe rozwiązania konstrukcyjne i klasyfikację silników skokowych. Synteza przedstawionych rozwiązań prowadzi Doktoranta do zaproponowania nowej koncepcji zintegrowanej, liniowej pompy elektromagnetycznej o ruchu liniowym.

Przyjęta do realizacji i badań koncepcja zakłada budowę pompy cylindrycznej, bezdrzeniowej o dziewięciu cewkach pierścieniowych tworzących komorę cylindryczną, wewnątrz której porusza się biegnik silnika wykonany z magnesu trwałego neodymowego i będący tłokiem pompy. Pozostałe elementy pompy, jak zawory wlotowy i wylotowy oraz wewnętrzny zawór zwrotny, istotne z hydraulicznego punktu widzenia, nie zostały uszczegółowione w koncepcji pompy.

Według przedstawionej koncepcji w konstrukcji realizowana jest integracja części elektromagnetycznej z częścią hydrauliczną przy wykorzystaniu nowoczesnych materiałów magnetycznych na magnes trwały i przy łatwej do realizacji konstrukcji modułowej umożliwiającej zastosowanie technologii druku 3D. Do zasilania elektrycznego pompy, dla realizacji wybranych algorytmów sterowania, przewidziano układy elektroniczne, które nie są przedmiotem rozprawy.

Zintegrowanie części elektromagnetycznej z częścią hydrauliczną w jedną kompaktową całość zmniejsza gabaryty pompy, upraszcza jej konstrukcję oraz zwiększa niezawodność działania. Niezależne sterowanie poszczególnymi modułami elektrycznymi stwarza szerokie możliwości w zakresie programowania pracy pompy. Zastosowanie w budowie pompy materiałów biokompatybilnych oraz optymalizacja gabarytowa jej konstrukcji stwarza szerokie możliwości w zakresie zastosowania tej pompy w obszarach medycznych.

**Zdaniem recenzenta przedstawiona integracja budowy oraz możliwość realizacji szerokiej gamy algorytmów sterowania (co wykazano w rozdziałach 7 i 8) przedstawionej pompy elektromagnetycznej stanowi oryginalną koncepcję rozwiązania urządzenia technicznego.**

#### 3. Rozdział 2, czyli cel pracy i tezy pracy

W tym miejscu zacytuję sformułowania zawarte w rozprawie:

*Celem pracy jest opracowanie koncepcji i projektu oraz budowa prototypu napędu elektromagnetycznej pompy zintegrowanej z elektrycznym silnikiem liniowym z magnesem trwałym, jak też stanowiska laboratoryjnego do badania jego właściwości w stanach statycznych i dynamicznych.*

Teza I: *Jest możliwe opracowanie nowej metody rozwiązania modelu matematycznego bezrdzeniowego elektrycznego silnika liniowego z magnesem trwałym oraz modelu matematycznego N-cewkowego napędu pompy elektromagnetycznej, która wykorzystuje do opisu rozkładu siły elektromagnetycznej działającej na tłok/biegnik funkcję aproksymującą (przybliżającą).*

Teza II: *Jest możliwe kształtowanie charakterystyki objętości przepompowanej cieczy oraz charakterystyki wydajności pompy elektromagnetycznej przez odpowiednią zmianę napięć zasilających cewki wzbudzenia.*

**Recenzent całkowicie zgadza się z celem i z tezami rozprawy, a drobny komentarz został przedstawiony w uwagach dyskusyjnych.**

#### 4. Rozdział 3, czyli opis budowy i działania prototypu pompy elektromagnetycznej

W rozdziale tym Doktorant przedstawił model przestrzenny wraz z kompletnymi wymiarami pompy hydraulicznej zintegrowanej z dziewięciocewkowym silnikiem liniowym o biegniku w postaci pierścieniowego magnesu trwałego z zaślepieniem środkiem pierścienia. Model stanowił podstawę wykonania prototypu pompy i był przedmiotem wszystkich, przedstawionych w pracy badań fizycznych, obliczeniowych i symulacyjnych.

Podane zostało także założenie, że podstawową strategią sterowania pracą opracowanego modelu będzie kolejne i niezależne zasilanie cewek stojana.

#### 5. Rozdział 4, czyli badania symulacyjne i laboratoryjne pompy elektromagnetycznej

Rozdział poświęcony jest badaniom symulacyjnym modelu rozkładu pola magnetycznego pompy oraz badaniom laboratoryjnym prototypu tej pompy. Badania zostały przeprowadzone w celach poznawczych i weryfikacyjnych. Doktorant, w szczególności:

- wykonał odpowiedni model pompy i przeprowadził analizę dwuwymiarową rozkładu pola magnetycznego, a na podstawie tej analizy wyznaczył zależność strumienia magnetycznego biegnika skojarzonego z cewką wzbudzenia w funkcji położenia biegnika oraz zależność siły elektromagnetycznej działającej na biegnik w funkcji położenia biegnika i prądu cewki wzbudzenia. Badania przeprowadził przy aktywacji prądowej pojedynczej cewki wzbudzenia,
- określił kryterium optymalizacyjne i dobrał optymalne wymiary geometryczne cewki z punktu widzenia siły działającej na biegnik. Uznał także, że najlepsze, z punktu widzenia ciągłości ruchu będzie załączanie sekwencyjne kolejnej cewki w chwili, gdy biegnik znajdzie się w centrum cewki wyłączanej,
- zbudował stanowisko pomiarowe do badania stanów statycznych i dynamicznych prototypu pompy elektromagnetycznej,
- przeprowadził badania pomiarowe statycznego rozkładu siły elektromagnetycznej działającej na biegnik oraz czasowego przebiegu siły elektromotorycznej indukowanej w uzwojeniu wzbudzenia strumieniem magnesu trwałego. Wyniki tych badań posłużyły do weryfikacji wyników badań symulacyjnych i obliczeń analitycznych,
- na podstawie przeprowadzonych symulacji, pomiarów i obliczeń opracował metodę analitycznego opisu rozkładu siły elektromagnetycznej działającej na biegnik w zależności od położenia biegnika i wartości prądu w cewce wzbudzenia oraz metodę analitycznego opisu przebiegu siły elektromotorycznej indukowanej strumieniem

magnesu trwałego w cewce wzbudzenia w zależności od położenia biegnika i od jego prędkości.

**Zdaniem recenzenta, oryginalnym osiągnięciem naukowym Doktoranta, opisanym w tym rozdziale, są opracowane aproksymują funkcje analityczne opisujące siłę elektromagnetyczną i siłę elektromotoryczną.**

#### 6. Rozdział 5, czyli matematyczny model obwodowy pompy elektromagnetycznej

W rozdziale 5. przedstawiony został matematyczny model obwodowy badanej pompy elektromagnetycznej jako jednocewkowego urządzenia elektromechanicznego o ruchu liniowym. W modelu tym siły wewnętrzne (elektromagnetyczna i elektromotoryczna) opisane zostały zależnościami analitycznymi wyznaczonymi w rozdziale 4.

Dla analizy pracy pompy Doktorant rozwiązywał równania modelu matematycznego z zastosowaniem modelu symulacji komputerowej zrealizowanego w środowisku MATLAB Simulink. W trakcie symulacji obserwował i badał przebiegi czasowe przyspieszenia, prędkości, położenia biegnika oraz prądy cewki wzbudzenia uzyskane dla kombinacji różnych wartości napięcia zasilania (podanego skokowo), początkowego położenia biegnika i wartości siły mechanicznej obciążenia. Uzyskane rezultaty są zgodne z ogólną wiedzą o pracy układu elektromechanicznego w ruchu liniowym, a to potwierdza, że opracowany model matematyczny pompy jest poprawny pod względem jakościowym. Weryfikacja pomiarowa przebiegu chwilowego położenia biegnika potwierdza poprawność modelu pompy także pod względem ilościowym.

W kolejnym fragmencie rozdziału Doktorant proponuje dwa uproszczenia równania obwodu elektrycznego: z pominięciem siły elektromotorycznej ruchu (czyli faktycznie z pominięciem sprzężenia elektromechanicznego) oraz przy pominięciu obwodu elektrycznego co oznacza, że ruch mechaniczny odbywa się pod wpływem statycznej siły wymuszającej (odpowiada to zasilaniu prądowemu obwodu elektrycznego). Dla tak przyjętych uproszczeń Doktorant dokonał porównania przebiegów odpowiednich wielkości fizycznych z ich przebiegami dla modelu bez uproszczeń i stwierdził, że takie uproszczenia nie skracają znacząco czasu obliczeń natomiast dają wyniki znacząco różniące się od wyników modelu bez uproszczeń.

**Rezultaty przedstawione w tym rozdziale potwierdzają poprawność opracowanego modelu matematycznego pompy elektromagnetycznej co jest dowodem słuszności Tezy I, a rezultaty rozwiązania modelu matematycznego za pomocą opracowanego modelu symulacji komputerowej pompy elektromagnetycznej pozwalają zastosować ten model symulacji do weryfikacji Tezy II (rozdziały 6, 7 i 8).**

#### 7. Rozdziały 6, 7 i 8, czyli badanie wpływu różnych strategii sterowania na charakterystykę wydajności pompy elektromagnetycznej

Doktorant przedstawił iteracyjny model symulacyjny 9. cewkowego napędu pompy elektromagnetycznej dla realizacji ruchu biegnika w całym zakresie długości pompy, dla obu kierunków przemieszczania się biegnika oraz dla różnych strategii sterowania (zasilania).

Co Doktorant rozumie pod pojęciem *różne strategie sterowania?*, tego nie definiuje w sposób jawny. Strategię sterowania można określić dopiero dla konkretnych wymagań. Natomiast, w przypadku ogólnym, można określić elementy

strategii, czyli czynniki, które wpływają na pracę i właściwości pompy elektromagnetycznej.

Według Doktoranta na strategię sterowania pracą pompy elektromagnetycznej wpływają następujące czynniki:

- sekwencje zasilania cewek wzbudzenia,
- sposób określania chwili przełączenia zasilania dla kolejnej sekwencji,
- wartość napięcia zasilającego cewki wzbudzenia.

Oczywiście, jak dla każdego urządzenia napędzanego silnikiem elektrycznym, właściwości ruchowe pompy elektromagnetycznej będą zależały od wartości obciążenia mechanicznego.

Chociaż Doktorant zauważa, że liczba cewek wzbudzanych dla realizacji ruchu może być różna (np. pojedynczo, parami lub nawet po trzy), to prezentowane wyniki symulacji dotyczą tylko sytuacji, gdy w stanie aktywacji pozostaje zawsze tylko jedna cewka.

Jeśli chodzi o sposób określania chwili przełączenia zasilania cewki (cewek) dla kolejnej sekwencji, Doktorant przyjął dwie strategie: chwila przełączenia zasilania zależna jest od położenia biegnika lub jest niezależna od jego położenia. Komutacja zależna od położenia biegnika jest charakterystyczna dla bezszczotkowych silników prądu stałego (tzw. BLDC), a niezależna – dla silników skokowych.

Przeprowadzono badania, polegające na rejestracji przebiegów czasowych położenia, prędkości i przyspieszenia biegnika, a także wydajności pompy.

**Uzyskane rezultaty potwierdziły zdolność opracowanego modelu, a zatem i obiektu fizycznego, do kształtowania charakterystyki wydajności pompy przez dobór odpowiedniej strategii sterowania zasilaniem cewek. W ten sposób została udowodniona Teza II.**

#### 8. Rozdział 9, czyli podsumowanie rozprawy doktorskiej

W rozdziale 8. Doktorant dokonał syntetycznego podsumowania Swoich osiągnięć, ze szczególnym naciskiem na rezultaty stanowiące dowód na osiągnięcie zaplanowanego Celu oraz postawionych Tez.

#### IV. OCENA TEMATYKI ROZPRAWY

Recenzent nie czuje się kompetentny w zakresie konstrukcji i właściwości pompy hydraulicznej o ruchu liniowym. Natomiast jest dostatecznie kompetentny w zakresie zagadnień z dyscypliny Elektrotechnika, a w szczególności maszyn elektrycznych oraz ich modeli matematycznych i symulacyjnych.

Ocena tematyki rozprawy przedstawiona zostanie w odniesieniu do wymagań stawianych w Ustawie : *Art. 187. 1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.*

**Zdaniem recenzenta mgr inż. Sebastian Bartel, poprzez dogłębną i skuteczną realizację rozwiązania postawionego zadania badawczego oraz zakresem i poprawnością prezentowanych w rozprawie doktorskiej rezultatów badawczych udowodnił, że ma dobrą, ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Elektrotechnika oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a to oznacza pozytywną ocenę tematyki rozprawy.**

## V. OCENA ORYGINALNOŚCI PRZEDSTAWIONEGO PROBLEMU

Na oryginalność przedstawionego i opracowanego zagadnienia należy spojrzeć w aspekcie technologicznym i matematycznym.

Przedstawiona i zrealizowana w postaci prototypu zintegrowana pompa elektromagnetyczna, choć złożona ze znanych elementów, jako całość stanowi rozwiązanie oryginalne. Świadczy o tym modułowa konstrukcja (możliwość składania pompy o dowolnej długości i dowolnej liczbie cewek), możliwość zastosowania prostej technologii w procesie produkcji i niezależność pracy cewek wzbudzenia stwarzająca możliwość realizacji szerokiej gamy strategii sterowania.

Oryginalność w aspekcie matematycznym polega na opracowaniu funkcji analitycznych aproksymujących rzeczywiste przebiegi siły elektromagnetycznej i siły elektromotorycznej. Ważne jest to, że wystarczy wyznaczyć te funkcje dla pojedynczej cewki wzbudzenia a zastosować dla całej pompy.

Na podkreślenie zasługuje, choć nie należy do grupy elementów oryginalnych, fakt budowy działającego poprawnie prototypu pompy elektromagnetycznej oraz stanowiska laboratoryjnego do badania jej właściwości statycznych i dynamicznych.

## VI. UWAGI DYSKUSYJNE

1. W sformułowanym celu zadania badawczego powinno być uwzględnione, że celem pracy jest zbadanie właściwości proponowanej koncepcji budowy zintegrowanej pompy elektromagnetycznej.

2. W Tezie I powinno się raczej powiedzieć o *nowym modelu matematycznym* zamiast o *nowej metodzie rozwiązywania modelu matematycznego*.

3. W Tezie I powinna być też mowa o *funkcji aproksymującej siłę elektromotoryczną*.

4. Sformułowanie Tezy II jest powszechnie oczywiste, co wynika z ponad 150 lat doświadczeń w zakresie badania i stosowania napędów elektrycznych.

5. Podjęcie decyzji o zastosowaniu do symulacji dwuwymiarowego rozkładu pola magnetycznego w konstrukcji przestrzennej wymaga, formalnego w tym przypadku, uzasadnienia.

6. Podpis pod rys.4.6. mówi: *Rozkład linii sił pola magnetycznego w pompie elektromagnetycznej z pojedynczą aktywowaną cewką wzbudzenia*, a w rzeczywistości brak jest linii pola magnetycznego wytworzonego przez tę cewkę.

7. Str.58 cały akapit: zdaniem recenzenta stwierdzenie, że *dla zapewnienia płynnego ruchu biegnika...cewka wzbudzenia musi być wyłączona w chwili, w której biegnik znajduje się w połowie długości cewki...(równocześnie) musi być aktywowana kolejna cewka* jest jedynie szczególnym przypadkiem zapewniającym płynność ruchu, do tego dalekim od ideału. Przebiegi pokazane na rys.4.12.c i rys.4.13.c wyraźnie pokazują, że przy wyborze punktu przełączenia zasilania dla tak określonego położenia biegnika nastąpi skokowe zadziałanie na biegnik siłą elektromagnetyczną. To, z kolei, wywoła tzw. pulsacje siły wymuszającej, a minimalizacja tych pulsacji jest zwykle jednym z kryteriów optymalizacji strategii sterowania. Zdaniem recenzenta lepszym punktem komutacji byłoby takie położenie biegnika, dla którego siła od cewki *wyłączanej* jest równa sile od cewki *załączanej*.

8. Str. 60. Czy nie słuszniejsze będzie zastosowanie kryterium całkowego z przebiegu siły w przedziale aktywacji cewki i przy uwzględnieniu uwagi nr 7. ?

9. Zdaniem recenzenta zrozumiałe jest uzasadnienie Doktoranta na temat wyższości metod analitycznych przy określaniu przebiegu funkcji nad metodami dyskretnego (tablicowanego) określenia tych funkcji (str.84). Skoro jednak zrobił, dla danej konstrukcji, analizę polową, to dla weryfikacji Swojego modelu matematycznego pompy mógł przedstawić wyniki wybranych symulacji modelu matematycznego, w którym zarówno siła elektromagnetyczna jak i siła elektromotoryczna byłyby przedstawione w postaci tabelaryzowanej.

10. Str. 96 i dalej. Zdaniem recenzenta informacja o sposobie określania współczynników funkcji aproksymującej przebieg siły elektromagnetycznej (i siły elektromotorycznej) są zbyt lakoniczne. Należało podać, przynajmniej, źródło z którego korzystał Doktorant.

11. W całej rozprawie Doktorant używa sformułowania *siła elektromotoryczna rotacji*. Recenzent rozumie źródło pochodzenie tego sformułowania, jednak dla uogólnienia i szczególnego zastosowania dla ruchu liniowego poprawniej byłoby używać określenia *siła elektromotoryczna ruchu*.

12. Str. 100. Z przeprowadzonej analizy rozkładu pola magnetycznego Doktorant otrzymał przebieg, w funkcji położenia biegnika, strumienia magnesu trwałego skojarzonego z cewką wzbudzenia. Nie szuka funkcji aproksymującej bezpośrednio dla tego przebiegu, lecz wyznacza tę funkcję przez całkowanie siły elektromagnetycznej określonej funkcją Kloss'a. Podejście to jest całkowicie poprawne, jednak zdaniem recenzenta, należałoby podać uzasadnienie lub źródło tego podejścia. Dodatkowo, zjawiska w polu magnetycznym, z analitycznego punktu widzenia, opisywane są zależnościami (opis uproszczony):  $f=BLi$  oraz  $e=BLv$ . Mając zatem już zdefiniowaną aproksymację siły elektromagnetycznej można jej zapis wprost wykorzystać do określenia funkcji siły elektromotorycznej.

13. Str.133 i 134. O ile model B pomijający siłę elektromotoryczną ruchu nie znajduje jakiegokolwiek uzasadnienia, o tyle model C zakładający zasilanie prądowe jest całkowicie uzasadniony w praktyce. Właściwości modelu C muszą się różnić od właściwości modelu A, z założenia.

14. Rys. 5.19. i 5.23. Proszę o wyjaśnienie, dlaczego biegnik silnika szybciej osiągnie pierwsze położenie zerowe w przypadku modelu A niż w przypadku modelu C? Wydaje się, że jest to sprzeczne z oczekiwaniami. Natomiast porównanie wyników modelu A i modelu B jest zgodne z oczekiwaniami.

## VII. OCENA OSIĄGNIĘTYCH REZULTATÓW

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska jest interesującym i oryginalnym opracowaniem naukowym ściśle zdefiniowanego zadania badawczego. Wszystkie rezultaty przedstawione w rozprawie są własnym osiągnięciem Doktoranta. Opracowany przez Doktoranta model i prototyp pompy elektromagnetycznej mogą być przedmiotem zarówno dalszych prac udoskonalających prototyp jak i badań eksperymentalnych i symulacyjnych.

**Postawiony cel pracy został osiągnięty, a Tezy zostały udowodnione.**

Rozprawę cechuje bardzo dobra szata graficzna.

## VIII. KONKLUZJA

Zamieszczone w recenzji uwagi nie mają najmniejszego wpływu na moją wysoką ocenę rozprawy doktorskiej. Tym bardziej, że w większości są to uwagi dyskusyjne mogące wynikać z subiektywnej oceny recenzenta.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Sebastiana Bartela zatytułowana *Elektromagnetyczna pompa o programowalnej charakterystyce wydajności z silnikiem synchronicznym liniowym o magnesach trwałych* zawiera opis rozwiązania oryginalnego zagadnienia badawczego (tak w aspekcie technicznym jak i naukowym), a zakres przeprowadzonych badań i osiągniętych rezultatów znacząco przekracza wymagania przewidziane dla prac doktorskich w Art. 187.2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2023 poz. 742 – tekst ujednolicony z dnia 08.03.2023r.) i **wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie do jej publicznej obrony.**

Jednocześnie, biorąc pod uwagę oryginalność problemu badawczego, metodyczność w podejściu przy planowaniu i prowadzeniu badań, kompleksowość potraktowania problemu badawczego (od koncepcji i fizycznej realizacji prototypu, przez modelowanie matematyczne i symulacyjne do uzyskania pełnej funkcjonalności modelu dla różnych sposobów sterowania) a także obszerność i dogłębność przeprowadzonych badań, **wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Sebastiana Bartela.**

