



**Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny**

im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu

**Wydział Mechaniczny**

Katedra Mechaniki Stosowanej i Mechatroniki

ul. Stasieckiego 54, 26-600 Radom

**Prof. dr hab. inż. Wojciech Blajer**

---

Radom, 18 września 2020 r.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej „**Sterowanie bezzałogowym statkiem powietrznym w fazie lądowania**”, wykonanej przez mgr inż. **Dariusza Nowaka** pod kierunkiem dra hab. inż. Tomasza Rogalskiego, prof. nzw. Politechniki Rzeszowskiej (promotor pomocniczy: dr hab. inż. Grzegorz Kopecki)

**Podstawa wykonania recenzji:** pismo RM-530-08-03/14/2020 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, dra hab. inż. Aleksandra Mazurkowa, prof. PRZ, z dnia 26 czerwca 2020 r.

### 1. Charakterystyka ogólna rozprawy

Recenzowana praca zawarta jest na 175 stronach. Pierwsze 10 stron to spis treści oraz wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów stosowanych w pracy, a ostatnie 15 stron to wykaz literatury cytowanej w tekście (129 pozycji) oraz streszczenia pracy w języku polskim i angielskim. Zawarta na 150 stronach merytoryczna część pracy podzielona jest na 7 rozdziałów i 5 dodatków. Treść ilustrowana jest ponad 100 rysunkami, zdjęciami i wykresami przedstawiającymi parametry lotu i sterowania analizowanych statków powietrznych. W poszczególnych rozdziałach poruszono następujące zagadnienia.

**Rozdział pierwszy** stanowi bardzo krótki, bo zaledwie 3-stronicowy wstęp, w którym Autor dokonuje syntezy wiedzy w zakresie sterowania bezzałogowymi statkami powietrznymi (BSP) oraz automatyzacji i niezawodności realizowanych przez nie misji. Recenzowana rozprawa skupia się na problemie automatycznego sterowania statkiem powietrznym w fazie lądowania. Na tle tych rozważań Autor formułuje cel swojej pracy, którym jest *opracowanie metody syntezy algorytmów sterowania, umożliwiających realizację procesu lądowania zarówno na lotnisku komunikacyjnym, jak i w innym terenie, z wykorzystaniem systemu wizyjnego*. Formułuje też tezę pracy o *możliwości*

*realizacji w pełni automatycznego procesu lądowania samolotu bezzałogowego* wyposażonego w odpowiednie układy lokalizacji i sterowania samolotem.

**Rozdział drugi** to obszerna (50-cio stronicowa) *analiza problemu automatycznego lądowania statków powietrznych*, a także *przegląd metod i podejść* stosowanych przy rozwiązywaniu tego problemu. Analiza ta i przegląd odwołują się do licznych pozycji literatury zagadnienia, zarówno pozycji szeroko dostępnych, w tym anglojęzycznych, jak pozycji o mniejszym zasięgu, publikacji i prac Autora oraz zespołu, w którym pracuje. Dokonana jest *analiza procesu lądowania* z przytoczeniem szeregu zależności służących do jego opisu, omówione są *systemy wspomagające* ten proces oraz *metody sterowania* stosowane w lotnictwie. Przegląd ten podsumowuje *metodyka projektowania lotniczych systemów sterowania*, która została zastosowana w pracy.

**Rozdział trzeci** przedstawia *koncepcję układu sterowania* przedstawionego w pracy, zweryfikowanego dla samolotów bezzałogowych dwu różnych klas. Pierwsza wersja algorytmów sterowania stosowana jest do opcjonalnie bezzałogowego samolotu MP-02A „Czajka”, realizującego lądowanie na betonowym pasie lotniska komunikacyjnego. Duga wersja odnosi się do małego samolotu bezzałogowego o masie ok. 7 kg, wykonującego lądowanie poza lotniskiem. Obie opracowane wersje algorytmów sterowania oparte są na metodach regulacji wykorzystujących regulatory PID i rozmyty system ekspertowy. Szczegółowo opisane są oba algorytmy sterowania.

**Rozdział czwarty** opisuje wizyjny pokładowy system pomiarowy, w którego skład wchodzi pomiar *odchylenia kąтового od ścieżki podejścia*, określenie *stopnia odchylenia samolotu* od osi pasa startowego oraz *określanie położenia samolotu* względem punktów nie będących światłami lotniskowymi.

W **rozdziale piątym** przedstawiona jest *synteza algorytmów systemu automatycznego lądowania*, z opisaniem tego algorytmu dla lądowania samolotu MP-02A na lotnisku komunikacyjnym oraz dla małego samolotu bezzałogowego na lotnisku nie wyposażonym w światła podejścia.

**Rozdział szósty** zawiera przeprowadzone *badania układu starowania umożliwiającego realizację automatycznego podejścia do lądowania*. Przedstawiono w nim badania układów sterowania orientacją przestrzenną - autopilotów samolotu MP-02A i samolotu Cularis oraz badania układów automatycznego sterowania podejściem do lądowania dla tych samolotów.

**Rozdział siódmy** to *podsumowanie* rozprawy *i wnioski końcowe*.

Merytoryczną część pracy kończy pięć dodatków. *Dodatek A* zawiera opis systemu bezzałogowego LOT (Latający Obserwator Terenu), *Dodatek B* opisuje system bezzałogowy MYSTERY, *Dodatek C* zawiera opis samolotu jako obiektu sterowania, *Do-*

*datek D* zawiera krótki opis wykorzystanego w pracy systemu wizyjnego, a *Dodatek E* przedstawia opis stanowiska badawczego.

## 2. Ocena podjętej tematyki i treści rozprawy

*Bezzałogowe statki powietrzne* (BSP), ang.: *unmanned aerial vehicles* (UAV), od dziesiątek lat znajdują szerokie zastosowanie w wojskowości, gdzie wykorzystywane są zwykle do celów zwiadowczych i rozpoznawczych, a czasem również jako element walki bezpośredniej. Stosowane są też przez policję i straż graniczną do obserwacji terenu i znajdowania osób lub pojazdów na określonym terenie. Coraz częściej pojawiają się również w różnych zastosowaniach cywilnych, przy obserwacjach terenu przez straż pożarną i mapowaniu terenu na potrzeby geodezyjne, a w rolnictwie i leśnictwie, przy diagnostyce upraw i drzewostanu. Bezzałogowe statki powietrzne rzadziej stosuje się jako tradycyjny środek transportu. Zakres ich zastosowań stale się jednak poszerza.

Loty bezzałogowe, wykonywane często na duże odległości (poza zasięg wzroku operatora), definiowane są zwykle jako *misje* opisujące ruch samolotu od początku kołowania na start, poprzez start i lot w celu wykonania zadania, a następnie do lotniska i lądowanie. Lot jest w tym sensie zaprogramowany i realizacja takiego *ruchu programowego* realizowana jest za pomocą odpowiedniego systemu sterowania. Operator jedynie nadzoruje stan systemu sterowania i lokalizuje statek powietrzny względem położenia zaprogramowanego. Może też mieć możliwość ewentualnego korygowania i zmiany misji lotu, przekazując odpowiednie sygnały i informacje do systemu automatycznego sterowania samolotem.

Systemy automatycznego sterowania lotem opisane za pomocą misji (programów ruchu) stanowią przedmiot badań wielu instytucji i zespołów badawczych na całym świecie. Badania takie, dotyczące systemów sterowania zarówno załogowych jak i bezzałogowych statków powietrznych, prowadzone są również w Katedrze Awioniki i Sterowania Politechniki Rzeszowskiej. W wyniku ich realizacji opracowano liczne rozwiązania dla lotnictwa. Niektóre z nich zostały wykorzystane i rozwinięte w trakcie badań na potrzeby ocenianej pracy, która tym samym *wpisuje się w ważny i aktualny trend badań nad zagadnieniami sterowania statków powietrznych*.

Oceniana praca skupia się na zagadnieniu *automatycznego lądowania* statków powietrznych, etapu lotu określanego w lotnictwie jako bardzo złożony i trudny, co potwierdza duża liczba wypadków lotniczych. Z tych względów *tematykę pracy należy ocenić jako aktualną i ważną, o istotnym znaczeniu poznawczym i aplikacyjnym*. W swojej pracy, Doktorant wskazał szereg ciągle nierozwiązanych lub niedostatecznie rozwiązanych zagadnień w tym zakresie. Przedmiotem pracy są wyniki jego prac w

pewnej mierze wypełniające te luki – **propozycje nowych efektywnych metod syntezy algorytmów sterowania umożliwiających realizację procesu lądowania**. Opis proponowanych przez siebie metod Doktorant zawarł w kolejnych rozdziałach rozprawy.

### 3. Uwagi szczegółowe

Pierwszy rozdział pracy to bardzo krótki, wręcz lakoniczny **Wstęp**. W mojej ocenie mógłby on być nieco poszerzony i uzupełniony chociaż o kilka stron zawierających podstawowe informacje dotyczące historii bezzałogowych statków powietrznych (BSP) i dronów oraz ich wojskowych i cywilnych zastosowań, zilustrowane kilkoma zdjęciami takich obiektów oraz odniesieniami do literatury i stron internetowych. Urządzenia tego rodzaju są obecnie wykorzystywane w wielu dziedzinach życia codziennego, a realizowane przez nie misje zawierają przecież zawsze fazę lądowania. Łatwiej udałoby się wówczas Autorowi uzasadnić cel jego pracy doktorskiej oraz elementy nowości i skuteczności jego metody syntezy algorytmów sterowania. **Proszę o krótkie uzupełnienie tych kwestii podczas obrony.**

Rozdział drugi, poświęcony analizie problemu automatycznego lądowania BSP oraz przeglądowi stosowanych metod i podejść, to z kolei bardzo obszerna, bo aż 50-cio stronicowa (1/3 całości) część pracy. **Klarowność, przejrzystość**, a czasami **poprawność** tych rozważań są jednak często bardzo **wątpliwe**. Przykładem może być analiza sił działających na samolot w locie ślizgowym (przy podejściu do lądowania), opisana na **str. 17-19** i zilustrowana na **rys. 2.3**. W założeniach tej analizy (str. 17) Autor napisał: ► „*kierunek ciągu jest zgodny z kierunkiem prędkości*”, ... nie jest to prawda i przeczy to ilustracji na **rys. 2.3**, ► „*kąt natarcia jest mały*”, ... dlaczego „mały”(?), lądując samolot leci z małą prędkością (na dużych kątach natarcia), ► „*podejście do lądowania charakteryzuje się niewielkim kątem toru lotu (... około 3 stopnie)*”, ... kąt toru lotu na **rys. 2.3** jest rzędu 40 stopni(!), ► na **rys. 2.3** ilustracja kąta natarcia jest niepoprawna, a siła nośna i siła oporu aerodynamicznego nie są do siebie prostopadłe, ► we wzorze (2.8) wprowadzono *współczynnik siły ciągu zespołu napędowego*, nie znam takiego pojęcia. W **Tab. 2.1** na str. 27 podano *współczynniki tarcia dla różnych rodzajów powierzchni pasa startowego*, **proszę o krótkie wyjaśnienie zawartych tam oznaczeń współczynników tarcia**. Na stronach **28-29** Autor opisał zależności wynikające z bliskości „*Ziemi*” (pisanej dużą literą). Używałbym raczej pojęcia bliskości *gruntu, podłoża* lub *ziemi* pisanej małą literą. Mała klarowność tych rozważań sprawiają, że czytanie treści Rozdziału 2 jest trudne i w istocie nużące. Tym niemniej Doktorant w miarę sprawnie i poprawnie dokonał potrzebnej mu dalej *analizy procesu lądowania*, a następnie opisał:   
▪ *systemy wspomagające realizację podejścia do lądowania*,   
▪ *układy pomiarowe na*

pokładzie samolotu bezzałogowego, ▪ możliwości wykorzystania sygnałów wizyjnych, ▪ wybrane metody sterowania stosowane w lotnictwie. Na zakończenie, opisał też problematykę zastosowań i badań lotniczych systemów sterowania. Z punktu widzenia recenzowanej pracy, najciekawszą i uzasadniającą dużą objętość opisu, wydaje się przede wszystkim podrozdział 2.5 zatytułowany: *Wybrane metody sterowania stosowane w lotnictwie*. Inne podrozdziały tego rozdziału mogłyby być istotnie skrócone.

Rozdział trzeci przedstawia zaproponowaną *koncepcję układu sterowania* bezzałogowym statkiem powietrznym w fazie lądowania, obejmującą zarówno duże BSL (samoloty) jak i obiekty niewielkich rozmiarów (małe BSL, drony). W pierwszym przypadku odnosi się to do samolotu MP-02A „Czajka” i procedury lądowania na lotnisku wyposażonym w betonowy pas startowy i system świateł podejścia do lądowania. Druga wersja algorytmów przystosowana została dla małego samolotu bezzałogowego o masie około 7 kg, wykonującego lądowanie w terenie (poza lotniskiem) oznaczonym tylko specjalnymi znakami poziomymi widocznymi z powietrza. Obydwa systemy BSL opracowane zostały w Katedrze Awioniki i Sterowania Politechniki Rzeszowskiej, a ich położenie względem ścieżki podejścia uzyskiwane jest na podstawie obrazu miejsca lądowania, wykorzystywanego następnie do wyznaczania wartości zadanych kątów orientacji przestrzennej samolotu oraz położenia „dźwigni mocy”. Obie wersje algorytmów sterowania oparte są na tych samych metodach regulacji, wykorzystujących *regulatory PID* i *rozmyty system ekspertowy*, różniącymi się tylko szczegółami wynikającymi z różnicy w dynamice tych statków powietrznych. Struktura tego systemu sterowania opisana jest na początku tego rozdziału i zilustrowana na rys. 3.1. Opisane zostały następnie układy sterowania orientacją przestrzenną samolotu MP-02A (kątami pochyleń i przechyleń) oraz małego (o masie 7 kg) motoszybowca Cularis. Jest to dobrze i zwięźle napisana część pracy, do której nie mam większych zastrzeżeń.

W rozdziale czwartym Doktorant opisał *wizyjny pokładowy system pomiarowy*, który został wykorzystany w badaniach zrealizowanych w pracy. Podstawowymi elementami tego systemu są kamera cyfrowa oraz mikroprocesorowy układ przeliczeniowy, które dostarczają dane/informacje o położeniu samolotu względem pasa startowego. W przypadku lądowania na pasie wyposażonym w światła lotniskowe, system wizyjny statku BSL wykrywa i śledzi światła wyznaczające oś pasa startowego. Informacje te pozwalają określić czy samolot znajduje się na zaprogramowanej ścieżce podejścia (czy też nad lub pod tą ścieżką) oraz określić odchylenie statku od osi pasa. Sposoby i szczegóły tych pomiarów oraz ich przetwarzania są szczegółowo i ze znanstwem opisane w podrozdziałach 4.1 oraz 4.2. Oprócz opisu słownego, uwagę zwraca czytelna i plastyczna ilustracja graficzna na rysunkach od 4.4 do 4.10. Rozdział kończy opis sposobu określania położenia samolotu względem punktów nie będących światłami lotniskowymi,

dla małego BSL mogącego startować/ładować na lądowisku. Podobnie jak w rozdziale trzecim, opis ten jest klarowny i dobrze zilustrowany na rysunkach od 4.16 do 4.20.

Rozdział piąty opisuje syntezę algorytmów automatycznego lądowania. Zaproponowany system jest rozmytym systemem ekspertowym posiadającym pięć wejść i cztery wyjścia. Jako wejścia przyjęto: 1-światła koloru czerwonego, których ilość określa położenie BSL względem ścieżki podejścia, 2-odchyłkę osi podłużnej płatowca od osi pasa startowego, 3-wysokość nad powierzchnią gruntu, 4-rzeczywistą prędkość podłużną oraz 5-różnicę pomiędzy kursem pasa startowego i kursem samolotu. Wyjściami systemu rozmytego są natomiast: zadane kąty 1-pochylenia i 2-przechylenia, 3-położenie przepustnicy oraz 4-wychylenie steru kierunku. Podczas obrony proszę o **wyjaśnienie następującej kwestii**. Dwa z tych czterech wyjść systemu rozmytego są zadanymi kątami pochylenia i przechylenia (kątowe położenie samolotu), a dwa określają sterowanie samolotem (ciąg zespołu napędowego i wychyleniem steru kierunku). Proszę o **do-precyzowanie** tych kwestii. Na stronach od 100 do 115 w miarę klarownie i ze znanstwem opisano te systemy automatycznego sterowania, zarówno dla samolotu MP-02A na pasie startowym wyposażonym w system świateł PAPI oraz świateł podejścia jak i dla małego samolotu bezzałogowego Cularis lądującego na lotnisku (w terenie) nie wyposażonym w światła podejścia.

Na 18 stronach rozdziału szóstego Doktorant przedstawił wybrane wyniki badań opracowanego systemu sterowania BSP w fazie lądowania. Wykazał istnienie możliwości bezpiecznej realizacji procesu lądowania z wykorzystaniem opisanych w pracy układów dostarczających informacji o położeniu samolotu względem punktu przyziemienia. Pierwszym etapem tych badań były testy symulacyjne, realizowane podczas syntezy algorytmów sterowania. Po ich implementacji do układów autopilota, w drugim etapie, realizowano badania typu hardware-in-the-loop. Trzecim, ostatnim etapem, były badania w locie, które ze względów finansowych, organizacyjno-prawnych i bezpieczeństwa zredukowano do niezbędnego minimum. Podobnie jak w całej pracy, badania te przeprowadzono dla dwóch obiektów różnych klas, opcjonalnie bezzałogowego samolotu MP-02A „Czajka” oraz małego samolotu bezzałogowego Cularis. W zakresie badania układów sterowania orientacją przestrzenną, w odniesieniu do autopilotów samolotów MP-02A i Cularis, stwierdzono poprawność działania poszczególnych komponentów systemu, a jakości sterowania kątami pochylenia i przechylenia oceniono jako akceptowalne. Podobne wnioski wysnuto po badaniach obu układów automatycznego sterowania podejściem do lądowania. W sumie cały rozdział 6 jest dobrze/poprawnie napisany i może być interesujący dla specjalistów automatycznego sterowania. Kilka kwestii budzi jednak moje wątpliwości, proszę o ich wyjaśnienie. ► Rys.6.14 przedstawia profil lotu podczas lądowania samolotu MP-02A. Jest tam pięć linii. Jedna linia,

H-wysokość samolotu nad gruntem wyrażona w [m], jest oczywista. Sensu czterech pozostałych: A, B, C, D – linii zmiany stanu świateł PAPI, wyrażonych również w [m], jednak nie rozumiem. ► Na rys.6.16 przedstawiono prędkość pionową samolotu podczas lądowania. W czasie 235 s prędkość ta jest chwilowo dodatnia (to samo jest na rys.6.24 dla czasu 125 s). Czy oznacza (symuluje?) to odbicie samolotu od pasa po przyziemieniu? ► Na rys.6.19 odchyłka boczna wyrażona jest przez [%] (procenty?).

Krótki rozdział siódmy to krótkie, 2.5 stronicowe *Podsumowanie i wnioski końcowe*. W istocie jest to jednak bardziej *podsumowanie* lub wręcz syntetyczny opis zawartości pracy niż *wnioski końcowe*, do których zaliczyć można jedynie ostatnie zdanie w trzecim od końca akapicie rozdziału. Proszę o jaśniejsze **sformułowanie** tych **wniosków końcowych** podczas obrony, a także **sformułowania** przez Doktoranta **najistotniejszych** jego **osiągnięć**.

Część merytoryczną pracy uzupełnia pięć dodatków, które omówiłem już krótko w pierwszym punkcie mojej recenzji. Niektóre fragmenty tych dodatków mogłyby być umieszczone w odpowiednich miejscach poszczególnych rozdziałów, co zdecydowanie podniosłoby klarowność i logikę przedstawianych wywodów.

#### 4. Inne uwagi: edytorskie i o mniejszym znaczeniu merytorycznym

W mojej ocenie, pod względem edytorskim, *praca napisana jest mało starannie*, co utrudnia jej czytanie, a czasem również rozumienie. Poniżej przedstawiam listę tych (mało istotnych) potknięć i niedociągnięć. Nie wymagam przy tym, by Doktorant ustosunkowywał się ani odpowiadał na te uwagi, chyba że wyraźnie tego zażądam.

- 1)  $5^1$  (strona 5, wiersz 1 od góry). W wykazie oznaczeń symbolem  $I$  oznaczono *momenty bezwładności samolotu*. Czy jest to macierz momentów bezwładności czy wartość pojedynczego momentu bezwładności?
- 2)  $6^6$ . Jest: „*siła ciężkości działająca na samolot*”, czemu nie *siła ciężkości samolotu*?
- 3)  $6^9$ . Jest: „*długość promienia krzywizny ...*”, a nie po prostu *promień krzywizny*.
- 4)  $6^{10}$ . Wiersz ten pojawił się przypadkowo (nie ma sensu w kontekście).
- 5)  $6^{18}/6^{25}$ . Pojawiają się dwa pojęcia: „*U rzeczywista prędkość lotu*”, niżej „*V prędkość lotu*”. Czym się różnią?
- 6)  $6_1$  (strona 6, wiersz 1 od dołu). Jako  $x_5$  oznaczono „*wektor równań kompletnie opisujący ruch samolotu*”. Sens tego określenia i jego zapis są mało zrozumiałe.
- 7)  $7_{12}$ . Symbolem  $\psi$  oznaczono/opisano *kurs samolotu*. Symbol ten kojarzy się raczej z kątem odchylenia.
- 8) W pracy, na przykład na stronach 14, 29, 49, 70, 79, 80, 90, 91, 97,98 i 141, przedstawiono wiele „pustych” miejsc, w nieuzasadniony sposób „rozdymających” treść.
- 9) **14-64**. Niewłaściwa numeracja rysunków w rozdziale 2. Na stronach od 15 do 50, rysunki numerowane są kolejno od rys. 2.1 do rys. 2.10, potem, na stronach od 53 do 57 pojawiają się rysunki od 2.20 do 2.25, na stronach od 58 do 60, rysunki od

- 2.15 do 2.17, a ostatni rysunek w tym rozdziale ma numer 2.26. Wygląda jakby powycinano i poprzestawiano części tekstu, bez renumeracji zawartych tam rysunków.
- 10) **13**<sup>11</sup>. Omawiając skład pracy, Autor pisze, że składa się ona z siedmiu rozdziałów i trzech dodatków. W rzeczywistości dodatków jest pięć.
  - 11) **14**<sup>3</sup>. Jest „*W trakcie jej wykonywania ...*” zamiast „*W trakcie jej wykonywania ...*”.
  - 12) **16**<sup>3</sup> (wcześniej **47**). Prędkość pionową oznaczono, dość nieszczęśliwie, jako  $h'$  podczas, gdy szereg innych rodzajów/składowych prędkości przez  $V$  z odpowiednim indeksem dolnym po prawej stronie.
  - 13) **16**<sup>9-10</sup>. Omawiając lądowanie Autor napisał, że „... *utrzymanie odpowiedniej prędkości podczas podejścia ... skraca dobieg i pozwala uniknąć lądowania z tzw. przelotem*”. „Przelot” kojarzy mi się raczej z miejscem przyziemienia samolotu, a nie długością dobiegu.
  - 14) **18**, **rys. 2.3**. Nieprawidłowo oznaczono kąt natarcia.
  - 15) **27**<sub>10</sub>. W określeniu „model abstrakcyjny układu rzeczywistego” przymiotnik „abstrakcyjny” wydaje się zbędny. Model w swojej istocie jest abstrakcyjny.
  - 16) **31**<sup>3-4</sup>. Napisano: „*Wartość kursu powinna być równa kierunkowi ... pasa startowego*”. Czy kurs może mieć „wartość” i czy ta wartość może być równa kierunkowi?
  - 17) **33**<sub>13</sub>. Autor napisał „... *od momentu podejścia do pełnego zatrzymania na pasie startowym ...*”. Co to jest „pełne zatrzymanie” samolotu.
  - 18) **40**<sup>10</sup>. Określenie: „... *informacje uzyskane bezpośrednio za pomocą wzroku, ...*” nie jest najszcześniejsze.
  - 19) **33-47**. Zawarte na tych stronach opisy: 2.2. Systemów wspomagających realizację podejścia do lądowania, 2.3. Układów pomiarowych na pokładzie samolotu bezzałogowego oraz 2.4. Możliwości wykorzystania sygnałów wizyjnych, są dość trudne do czytania i rozumienia.
  - 20) **47**<sub>3</sub>. „... *położenia kąтового samolotu (pochylenia, przechylenia, kursu)*”. Czy kurs określa położenie kątowe samolotu?
  - 21) **49**<sup>3</sup>. Autor napisał: „... *od momentu startu do pełnego lądowania*”. Co to jest „pełne lądowanie”?
  - 22) **51**<sub>11</sub>. Jest „*Derivaive*” zamiast „*Derivative*”.
  - 23) **59**<sub>1</sub>. Jest „... *krzywa Guasa*” zamiast „*krzywa Gaussa*”.
  - 24) **75**- . Numeracja rysunków w rozdziale 4 rozpoczyna się od numeru 4.3.
  - 25) **75**<sup>13</sup>. Jest „... *odległości ... statku od ...*”, powinno być chyba *odległość*.
  - 26) **78**<sub>1-2</sub>. Kończąc dość długi wywód Autor stwierdza: „*Takie usprawnienie pokładowego systemu wizyjnego będzie realizowane w trakcie przyszłych badań*”, jakby opisywał badania nie będące przedmiotem swojej pracy.
  - 27) **85**<sub>2</sub>. Brak akapitu/wcięcia.
  - 28) **93**<sup>1</sup>. Brak akapitu/wcięcia.
  - 29) **100**<sup>2</sup>. Pomiędzy słowami *lądowania* i *należy* nie powinno być przecinka.
  - 30) **120**<sub>6</sub>. Brak akapitu/wcięcia.
  - 31) **125**<sup>12</sup>. Określenie: „... *poziomej i pionowej odległości od ścieżki podejścia*.” nie jest najszcześniejsze.
  - 32) **135**<sup>7</sup>. Co to są „... *równania sił działających na statek powietrzny...*”? I czy można je „*wyprowadzać*”?
  - 33) **138**<sup>13-14</sup>. „*[Nowak latające laboratoria]*”. Czy jest to odwołanie do jakiejś pozycji literatury?



- 34) 141<sub>1</sub>. W treści jest odwołanie do rys.8.6. W pracy nie ma takiego rysunku.
- 35) 149<sub>1-2</sub>-150<sup>1</sup>. Doktorant napisał: „*Na środek ciężkości samolotu działa również siła grawitacji. Nie powoduje ona jednak powstawania zewnętrznych momentów sił względem tego punktu. Zatem, jej wpływ uwzględniany jest tylko w równaniach sił.*” Logika i merytoryczny sens tych trzech zdań są co najmniej wątpliwe. Jakie inne siły działają na środek ciężkości samolotu? Jeśli na środek ciężkości działa jakaś siła to oczywiście moment tej siły względem tego punktu jest równy zeru. Wpływ siły ciężkości będzie uwzględniany tylko w równaniach sił, gdy równania te formułowane będą w układzie odniesienia zaczepionym w środku ciężkości samolotu.
- 36) 151<sup>9-10</sup>. Co to są „...*równania kątów Eulera opisujące...*”?
- 37) 151<sup>12-13</sup>. „...*zależą od wartości kątów aerodynamicznych i...*”. Co to są „*kąty aerodynamiczne*”?
- 38) 154<sup>3-4</sup>. Co to są „*równania bilansowe*” z których wynikają podstawowe zależności kinematyczne i dynamiczne?

## 5. Ogólna ocena rozprawy

W mojej ocenie recenzowana rozprawa mgra inż. Dariusza Nowaka, *Sterowanie bezzałogowym statkiem powietrznym w fazie lądowania*, jest wartościowym wkładem do rozwoju efektywnych metod modelowania, symulacji i sterowania bezzałogowymi statkami powietrznymi (BSP). Istotnym dla oceny pracy jest fakt, że opracowane metody syntezy algorytmów sterowania umożliwiają wykonywanie lądowania BSP zarówno na pasie startowym (lotniska komunikacyjnego) wyposażonym w system świateł pozycyjnych jak i w innym terenie, a także przez różnego rodzaju statki powietrzne - dużego BSL (samolot) jak i BSL o małych rozmiarach (dron). Ta ogólność opisanych sformułowań jest bardzo istotnym elementem dla pozytywnej oceny pracy.

Niezależnie od dużych wartości merytorycznych, ocenę pracy obniża nieco mała staranność, precyzja i klarowność wywodów, a także sporo błędów i potknięć co utrudnia czytanie, a czasem również rozumienie pracy. Bardzo trudno jest też wydzielić z pracy to co jest osobistym wkładem Doktoranta, a co jest wynikiem pracy całego zespołu, w którym pracuje. Te wady i niedociągnięcia nie obniżają jednak istotnie mojej ogólnie pozytywnej oceny pracy.

## 6. Wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji pracy doktorskiej pt. „*Sterowanie bezzałogowym statkiem powietrznym w fazie lądowania*”, mogę stwierdzić, że jej autor, mgr inż. Dariusz Nowak, poprawnie sformułował i rozwiązał ważne zagadnienie techniczne, a przedstawiona praca ma wymaganą wartość naukową i odpowiada warunkom określonym w *Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach*

*i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 roku. Przygotowując rozprawę Doktorant wykazał się dużą wiedzą z zakresu dyscypliny *inżynieria mechaniczna*, dziedziny nauk *inżynieryjno-technicznych*. Uważam, że pokazał on tym samym, że jest dobrze przygotowany do prowadzenia samodzielnych badań naukowych. **Wnioskuje o przyjęcie recenzowanej rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza Nowaka i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

A handwritten signature in black ink, consisting of several stylized, overlapping strokes that form a unique, somewhat abstract mark.