

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej

Dr inż. Paweł Skruch

Wniosek o wszczęcie postępowania habilitacyjnego w
dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie
automatyka i robotyka

Autoreferat

Kraków, styczeń 2016

Spis treści

1	Uzyskane tytuły oraz stopnie naukowe	2
2	Informacje o zatrudnieniu	3
3	Wskazane osiągnięcie naukowo-badawcze	4
3.1	Wykaz publikacji dotyczących wskazanego osiągnięcia	4
3.2	Syntetyczny opis oryginalnych wyników zawartych w cyklu publikacji	5
3.3	Streszczenie publikacji składających się na wskazane osiągnięcie	17
4	Ogólny przegląd osiągnięć	21
4.1	<i>Impact Factor</i> oraz punktacja na podstawie list ministerialnych	22
4.2	Cytowania prac własnych	23
5	Wykaz pozostałych publikacji po uzyskaniu stopnia doktora inżyniera	24
5.1	Artykuły w czasopismach naukowych polskich i zagranicznych	24
5.2	Rozdziały w książkach i monografiach naukowych	25
5.3	Prace popularnonaukowe	25
5.4	Referaty na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych	26
6	Udział w projektach krajowych i zagranicznych	30
7	Oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	31
8	Seminaria	33
9	Recenzje	34
9.1	Recenzje artykułów w czasopismach	34
9.2	Recenzje książek	34
9.3	Recenzje rozdziałów do książek o charakterze monograficznym	34
9.4	Recenzje referatów konferencyjnych	35
10	Działalność dydaktyczna	36
10.1	Wykłady	36
10.2	Ćwiczenia laboratoryjne	36
10.3	Prowadzone prace inżynierskie	38
10.4	Prowadzone prace magisterskie	39
10.5	Recenzje prac inżynierskich	40
10.6	Recenzje prac magisterskich	41
11	Działalność organizacyjna w obszarze nauki i dydaktyki	42
12	Nagrody i wyróżnienia	43
A	Wykaz skrótów i oznaczeń	44

1 Uzyskane tytuły oraz stopnie naukowe

- **Doktor nauk technicznych w dyscyplinie automatyka i robotyka (2006)**

Rozprawa doktorska "Stabilizacja liniowych nieskończenie wymiarowych systemów oscylacyjnych", 2005 r., stron 114, poz. literatury 145, promotor prof. dr hab. inż. Wojciech Mitkowski, wszczęcie przewodu doktorskiego 24.04.2003 r., obrona 23.02.2006 r., nadanie stopnia przez Radę Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie 30.03.2006 r., praca wyróżniona.

- **Magister inżynier (2001)**

Studia wyższe magisterskie w latach 1996/97–2000/01 ukończone z wynikiem celującym na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie na kierunku Automatyka i Robotyka w zakresie automatyzacji procesów przemysłowych, praca dyplomowa "Optymalizacja kształtu", opiekun prof. dr hab. inż. Wojciech Mitkowski, obrona 21.05.2001 r., praca wyróżniona.

2 Informacje o zatrudnieniu

- **od 2007**

Adiunkt w Katedrze Automatyki i Inżynierii Biomedycznej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie.

- **od 2014**

Kierownik Działu Badań i Rozwoju w Centrum Technicznym Delphi w Krakowie. Grupa badawcza kierowana przez dra inż. Pawła Skrucha to zespół 16 pracowników (w tym 7 w stopniu doktora), który zajmuje się algorytmami sterowania dla systemów aktywnego bezpieczeństwa w samochodach, systemów wspomagania kierowcy oraz pojazdów autonomicznych.

- **2008 – 2014**

Kierownik grupy inżynierów w dywizji Elektronika i Bezpieczeństwo w Centrum Technicznym Delphi w Krakowie.

- **2007 – 2008**

Lider zespołu w dywizji Elektronika i Bezpieczeństwo w Centrum Technicznym Delphi w Krakowie.

- **2005 – 2007**

Samodzielny inżynier ds. testów systemów z oprogramowaniem w dywizji Elektronika i Bezpieczeństwo w Centrum Technicznym Delphi w Krakowie.

- **2001 — 2005**

Inżynier programista w dywizji Elektronika i Bezpieczeństwo w Centrum Technicznym Delphi w Krakowie.

- **1999 – 2000**

Asystent stażysta w Katedrze Automatyki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie.

3 Wskazane osiągnięcie naukowo-badawcze

Jako osiągnięcie wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki Autor wskazuje cykl 11 publikacji powiązany tematycznie pod tytułem:

”Modele niecałkowitego rzędu oraz konstrukcja i weryfikacja stabilizujących sprzężeń zwrotnych dla nieliniowych układów sterowania”.

Cykl składa się z 8 publikacji w czasopismach (w tym 6 publikacji w czasopismach wyróżnionych przez *Journal Citation Report*), 1 monograficznego rozdziału w książce oraz 2 prac opublikowanych w materiałach konferencyjnych. Autor wniosku jest samodzielnym autorem 7 prac w cyklu, zaś pozostałych 4 jest współautorem (szczegółowy opis wkładu pozostałych autorów we współautorskich publikacjach zawarty jest w osobnych oświadczeniach dołączonych do wniosku).

Cykl publikacji zawiera elementy, które należy rozważać jako oryginalny wkład osiągnięć Autora w rozwój nauk technicznych w dyscyplinie automatyki i robotyki. Są to:

- Modele matematyczne niecałkowitego rzędu dla superkondenatorów w postaci drabinkowych układów RC, ich identyfikacja i eksperymentalna weryfikacja;
- Modele matematyczne niecałkowitego rzędu dla procesów cieplnych zachodzących w budynkach, ich identyfikacja i eksperymentalna weryfikacja;
- Konstrukcja dynamicznych stabilizujących sprzężeń zwrotnych dla pewnej klasy układów dynamicznych opisanej przez macierzowo-wektorowe nieliniowe równanie różniczkowe pierwszego rzędu;
- Konstrukcja dynamicznych stabilizujących sprzężeń zwrotnych dla pewnej klasy układów dynamicznych opisanej przez macierzowo-wektorowe nieliniowe równanie różniczkowe drugiego rzędu;
- Konstrukcja sterowania ślizgowego ze skończonym czasem stabilizacji dla pewnej klasy układów dynamicznych opisanej przez macierzowo-wektorowe nieliniowe równanie różniczkowe pierwszego rzędu z zakłóceniami;
- Konstrukcja sterowania ślizgowego ze skończonym czasem stabilizacji dla pewnej klasy układów dynamicznych opisanej przez macierzowo-wektorowe nieliniowe równanie różniczkowe drugiego rzędu z zakłóceniami;
- Koncepcja podejścia sygnałowego do weryfikacji systemów dynamicznych implementowanych w systemach wbudowanych;
- Miara pokrycia testowego dla ciągłych systemów dynamicznych w procesie testowania i weryfikacji;
- Algorytm generowania przypadków testowych na podstawie modeli matematycznych;
- Koncepcja modelu jarzma testowego i jego implementacja umożliwiająca wykonywanie testów w czasie rzeczywistym.

3.1 Wykaz publikacji dotyczących wskazanego osiągnięcia

Na początku poszczególnych pozycji w nawiasach kwadratowych podane są akronimy publikacji. Własny udział procentowy podany jest w nawiasach okrągłych na końcu każdej pozycji.

1. [Skruch, 2016] Skruch, P.: *A terminal sliding mode control of disturbed nonlinear second-order dynamical systems*. Journal of Computational and Nonlinear Dynamics, 2016, doi: 10.1115/1.4032503.

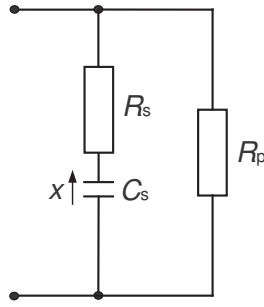
2. [Skruch *et al.*, 2015] Skruch, P., Długosz, M., Mitkowski, W.: *Mathematical methods for verification of microprocessor-based PID controllers for improving their reliability*. Eksploatacja i Niezawodność — Maintenance and Reliability, vol. 17, no. 2, pp. 327–333, 2015 (40 %).
3. [Długosz i Skruch, 2015] Długosz, M., Skruch, P.: *The application of fractional-order models for thermal-process modelling inside building*. Journal of Building Physics, 2015, doi: 10.1177/1744259115591251 (50 %).
4. [Skruch i Buchała, 2014] Skruch, P., Buchała, G.: *Model-based real-time testing of embedded automotive systems*. SAE International Journal of Passenger Cars — Electronic and Electrical Systems, vol. 7, no. 2, 2014 (80 %).
5. [Skruch, 2014a] Skruch, P.: *A complete deployment of model-based and real-time approaches in verification of production automotive embedded systems*. Proc. of the 5th AutoTest Technical Conference on 'Test of Hardware and Software in Automotive Development', 15–16.10.2014, pp. 145–152, Stuttgart, Germany.
6. [Skruch, 2014b] Skruch, P.: *Application of terminal sliding mode control to the stabilization of the indoor temperature in buildings*. Proc. of the 38th SIAM Southeastern Atlantic Section Conference, 29–30.03.2014, p. 64, Melbourne, Florida, USA.
7. [Mitkowski i Skruch, 2013] Mitkowski, W., Skruch, P.: *Fractional-order models of the supercapacitors in the form of RC ladder networks*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, vol. 61, no. 3, pp. 581–587, 2013 (50 %).
8. [Skruch, 2011a] Skruch, P.: *An educational tool for teaching vehicle electronic system architecture*. International Journal of Electrical Engineering Education, vol. 48, no. 2, pp. 174–183, 2011.
9. [Skruch, 2011b] Skruch, P.: *Stabilization of a class of MIMO nonlinear systems by dynamic feedback*. W: K. Malinowski, R. Dindorf (red.), *Postępy, automatyki i robotyki, część 1*, s. 559–570, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2011.
10. [Skruch, 2011c] Skruch, P.: *A coverage metric to evaluate tests for continuous-time dynamic systems*. Central European Journal of Engineering, vol. 1, no. 2, pp. 174–180, 2011.
11. [Skruch, 2010] Skruch, P.: *Feedback stabilization of a class of nonlinear second-order systems*. Nonlinear Dynamics, vol. 59, no. 4, pp. 681–692, 2010.

3.2 Syntetyczny opis oryginalnych wyników zawartych w cyklu publikacji

- **Modele matematyczne niecałkowitego rzędu dla superkondensatorów w postaci drabinkowych układów RC, ich identyfikacja i eksperymentalna weryfikacja**

Model superkondensatora w postaci elektrycznego układu RC jest przedstawiony na rys. 1. Głównym elementem w tym modelu jest pojemność C_s . Rezystancja R_s jest odpowiedzialna za powstające w układzie straty mocy przy przepływie prądu. Rezystancja równoległa R_p powoduje samorozładowanie się kondensatora. Dynamika zmian napięcia na elemencie pojemnościowym C_s może być opisana poprzez równanie różniczkowe niecałkowitego rzędu o następującej postaci

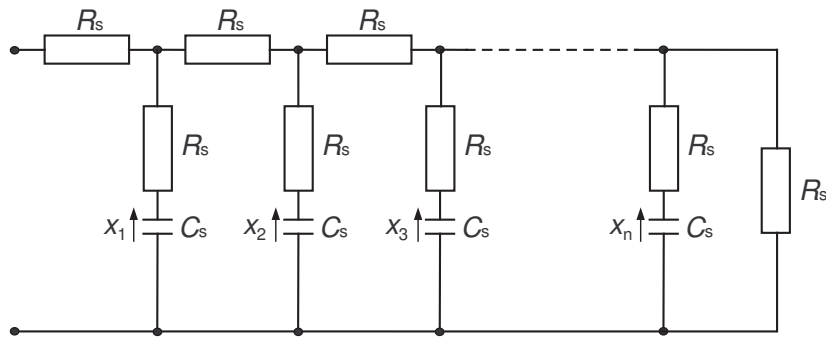
$$C_s R_s \frac{d^\alpha x(t)}{dt^\alpha} = -x(t) + u(t), \quad x(0) = x_0, \quad (1)$$



Rys. 1: Zastępczy model superkondensatora w postaci elektrycznego układu RC

gdzie $x(t) \in \mathbb{R}$ jest napięciem na okładkach kondensatora C_s w chwili $t > 0$, $\alpha \in (0, 1]$ oznacza rząd pochodnej ułamkowej na podstawie definicji Caputo, $x_0 \in \mathbb{R}$ jest zadany warunkiem początkowym. W pracy (Mitekowski i Skruch, 2013) Autor przeprowadził identyfikację parametrów modelu (1) poprzez szereg eksperymentów przy wykorzystaniu rzeczywistych superkondensatorów. Wyniki eksperymentalne zostały porównane z wynikami symulacyjnymi.

Zastępczy model superkondensatora w postaci drabinkowego (łańcuchowego) układu RC jest przedstawiony na rys. 2. Rozkład napięć na poszczególnych elementach pojemnościowych można



Rys. 2: Zastępczy model superkondensatora w postaci drabinkowego układu RC

opisać wykorzystując macierzowo-wektorowe równanie różniczkowe niecałkowitego rzędu o postaci

$$C_s R_s D \frac{d^\alpha \mathbf{x}(t)}{dt^\alpha} = \mathbf{A} \mathbf{x}(t) + \mathbf{B} u(t), \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \quad (2)$$

gdzie $\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_n(t)]^T \in \mathbb{R}^n$, $\mathbf{x}_0 \in \mathbb{R}^n$, $u(t) \in \mathbb{R}$, $t > 0$, $\alpha \in (0, 1]$, $t > 0$,

$$D = \begin{bmatrix} 3 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 3 & -1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 3 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -1 & 3 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -1 & 3 \end{bmatrix}_{n \times n}, \quad (3)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & -2 \end{bmatrix}_{n \times n}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}_{n \times 1}. \quad (4)$$

Identyfikacja parametrów modelu (2) została przeprowadzona przez Autora na rzeczywistych superkondensatorach. Zastosowana metodologia oraz szczegółowe wyniki są zawarte w pracy (Mitekowski i Skruch, 2013).

- **Modele matematyczne niecałkowitego rzędu dla procesów cieplnych zachodzących w budynkach, ich identyfikacja i eksperymentalna weryfikacja**

Model dynamiki zmian temperatury w pomieszczeniu, w którym jest zamontowane urządzenie grzewcze w postaci kaloryfera może być opisany za pomocą jednej z poniższych transmitancji:

$$G(s) = \frac{b_1 s^{\beta_1}}{a_1 s^{\alpha_1} + a_2 s^{\alpha_2}} \quad (5)$$

lub

$$G(s) = \frac{b_1 s^{\beta_1}}{a_1 s^{\alpha_1} + a_2 s^{\alpha_2} + a_3 s^{\alpha_3}}, \quad (6)$$

gdzie $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \in \mathbb{R}$ i $\beta_1 \in \mathbb{R}$ oznaczają wartości rzędu dla pochodnych ułamkowych na podstawie definicji Caputo, zaś $a_1, a_2, a_3 \in \mathbb{R}$ i $b_1 \in \mathbb{R}$ są rzeczywistymi parametrami transmitancji. Sygnałem wejściowym w przypadku obydwu transmitancji jest temperatura kaloryfera, a sygnałem wyjściowym jest temperatura w danym punkcie pomieszczenia.

Praca (Długosz i Skruch, 2015) zawiera szczegółowy opis eksperymentów wykonanych kamerą termowizyjną oraz procedur identyfikacyjnych, w oparciu o które zostały wyznaczone parametry modeli (5) i (6) wraz z wartościami rzędu pochodnych.

- **Konstrukcja dynamicznych stabilizujących sprzężeń zwrotnych dla pewnej klasy układów dynamicznych opisanej przez macierzowo-wektorowe nieliniowe równanie różniczkowe pierwszego rzędu**

Rozważmy pewną klasę układów sterowania opisaną przez macierzowo-wektorowe równanie różniczkowe postaci

$$\mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{G}(\mathbf{x}) = \mathbf{H}(\mathbf{x})\mathbf{u}(t), \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \quad (7)$$

przy czym $\mathbf{x}(t) = [x_1(t) x_2(t) \dots x_n(t)]^T$, $\mathbf{x}(t) \in \mathbb{X} \subset \mathbb{R}^n$ w dowolnej chwili czasu $t > 0$ jest n -elementowym wektorem stanu o elementach rzeczywistych, $\mathbf{u}(t) = [u_1(t) u_2(t) \dots u_r(t)]^T$, $\mathbf{u}(t) \in \mathbb{U} \subset \mathbb{R}^r$ jest r -elementowym wektorem sterowania o elementach rzeczywistych, $\mathbf{x}_0 \in \mathbb{R}^n$ jest zadany warunkiem początkowym, \mathbb{X} jest rzeczywistą przestrzenią stanu, \mathbb{U} jest rzeczywistą przestrzenią sterowań, $\mathbf{F} : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n \supset \Omega \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}^{n \times n}$, $\mathbf{G} : \mathbb{R}^n \supset \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$ i $\mathbf{H} : \mathbb{R}^n \supset \Omega \rightarrow \mathbb{R}^{n \times r}$ są macierzami, których elementy są nieliniowymi funkcjami o wartościach rzeczywistych, tzn. $\mathbf{F}(\boldsymbol{\xi}, \boldsymbol{\eta}) = [f_{ij}(\boldsymbol{\xi}, \boldsymbol{\eta})]_{n \times n}$, $\mathbf{G}(\boldsymbol{\xi}) = [g_i(\boldsymbol{\xi})]_{n \times 1}$, $\mathbf{H}(\boldsymbol{\xi}) = [h_{ik}(\boldsymbol{\xi})]_{n \times r}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, r$, $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ jest pewnym otoczeniem zera ($\mathbf{0} \in \mathbb{R}^n$). Wyjście $\mathbf{y}(t) \in \mathbb{R}^r$ dla takiego systemu definiujemy za pomocą całki krzywoliniowej liczonej wzdłuż odcinka z przestrzeni \mathbb{R}^n o początku w punkcie $\mathbf{0}$ i końcu w punkcie $\mathbf{x}(t)$, tzn.

$$\mathbf{y}(t) = \int_0^{\mathbf{x}(t)} \mathbf{H}(\boldsymbol{\xi})^T d\boldsymbol{\xi}. \quad (8)$$

W przypadku, gdy $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^{n \times r}$ formuła (8) przybiera postać $\mathbf{y}(t) = \mathbf{H}^T \mathbf{x}(t)$.

Do stabilizacji układu (7) chcemy wykorzystać regulator o postaci

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K}(\mathbf{w}(t) + \mathbf{y}(t)), \quad (9)$$

przy czym $\mathbf{w}(t) \in \mathbb{R}^r$ stanowi rozwiązanie liniowego równania różniczkowego

$$\dot{\mathbf{w}}(t) + \mathbf{A}\mathbf{w}(t) = \mathbf{B}\mathbf{u}(t), \quad \mathbf{w}(0) = \mathbf{w}_0, \quad (10)$$

gdzie $\mathbf{w}_0 \in \mathbb{R}^m$, $\mathbf{K} \in \mathbb{R}^{r \times r}$, $\mathbf{K} = \mathbf{K}^T > 0$ jest macierzą dodatnio określoną, $\mathbf{A} = \text{diag}[a_i]$, $\mathbf{B} = \text{diag}[b_i]$, $a_i > 0$, $b_i > 0$, $i = 1, 2, \dots, m$.

System po zamknięciu sprzężenia zwrotnego można opisać następującymi równaniami:

$$\mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{G}(\mathbf{x}) + \mathbf{H}(\mathbf{x})\mathbf{K} \int_0^{\mathbf{x}(t)} \mathbf{H}(\boldsymbol{\xi})^T d\boldsymbol{\xi} + \mathbf{H}(\mathbf{x})\mathbf{K}\mathbf{w}(t) = \mathbf{0}, \quad (11)$$

$$\dot{\mathbf{w}}(t) + (\mathbf{A} + \mathbf{BK})\mathbf{w}(t) + \mathbf{BK} \int_0^{\mathbf{x}(t)} \mathbf{H}(\boldsymbol{\xi})^T d\boldsymbol{\xi} = \mathbf{0}. \quad (12)$$

TWIERDZENIE 1 (Skruch, 2011b). Niech będzie dany system (11), (12), który ma dokładnie jeden zerowy punkt równowagi w otoczeniu Ω , gdzie funkcje $f_{ij}(\cdot, \cdot)$, $g_i(\cdot)$, $h_{ik}(\cdot)$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, r$ są ciągle z ciągłymi pierwszymi pochodnymi ze względu na każdą zmienną, macierz $\mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})$ jest nieosobliwa dla każdych $\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}} \in \Omega$, $\langle \mathbf{x}, \mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}) \rangle > 0$ dla każdych $\mathbf{x} \in \Omega \setminus \{\mathbf{0}\}$, $\dot{\mathbf{x}} \in \Omega$, $\langle \mathbf{x}, \mathbf{G}(\mathbf{x}) \rangle > 0$ dla $\mathbf{x} \in \Omega \setminus \{\mathbf{0}\}$ oraz $\mathbf{G}(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$. Wówczas zerowy punkt równowagi systemu (11), (12) jest lokalnie asymptotycznie stabilnym punktem równowagi w sensie Lapunowa.

Niech układ (7), (8) pracuje z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego z regulatorem określonym przez równanie

$$\mathbf{u}(t) = -\frac{1}{K(\mathbf{x}, \mathbf{w})}(\mathbf{w}(t) + \mathbf{y}(t)), \quad (13)$$

przy czym $\mathbf{w}(t) \in \mathbb{R}^r$ stanowi rozwiązanie liniowego równania różniczkowego

$$\dot{\mathbf{w}}(t) + \mathbf{A}\mathbf{w}(t) = \mathbf{B}\mathbf{u}(t), \quad \mathbf{w}(0) = \mathbf{w}_0, \quad (14)$$

gdzie $\mathbf{w}_0 \in \mathbb{R}^r$ jest zadany warunkiem początkowym, $K(\mathbf{x}, \mathbf{w}) = K_0 + \gamma \|\mathbf{w}(t) + \mathbf{y}(t)\|^2$, $\mathbf{A} = \text{diag}[a_i]$, $\mathbf{B} = \text{diag}[b_i]$, $\gamma > 0$, $K_0 > 0$, $a_i > 0$, $b_i > 0$, $i = 1, 2, \dots, r$.

Dynamika systemu zamkniętego będzie określona poprzez następujące równania:

$$\mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{G}(\mathbf{x}) + \frac{1}{K(\mathbf{x}, \mathbf{w})}\mathbf{H}(\mathbf{x}) \int_0^{\mathbf{x}(t)} \mathbf{H}(\boldsymbol{\xi})^T d\boldsymbol{\xi} + \frac{1}{K(\mathbf{x}, \mathbf{w})}\mathbf{H}(\mathbf{x})\mathbf{w}(t) = \mathbf{0}, \quad (15)$$

$$\dot{\mathbf{w}}(t) + \left(\mathbf{A} + \frac{1}{K(\mathbf{x}, \mathbf{w})}\mathbf{B} \right) \mathbf{w}(t) + \frac{1}{K(\mathbf{x}, \mathbf{w})}\mathbf{B} \int_0^{\mathbf{x}(t)} \mathbf{H}(\boldsymbol{\xi})^T d\boldsymbol{\xi} = \mathbf{0}. \quad (16)$$

TWIERDZENIE 2 (Skruch, 2011b). Niech będzie dany system (15), (16), który ma dokładnie jeden zerowy punkt równowagi w otoczeniu Ω , gdzie funkcje $f_{ij}(\cdot, \cdot)$, $g_i(\cdot)$, $h_{ik}(\cdot)$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, r$ są ciągle z ciągłymi pierwszymi pochodnymi ze względu na każdą zmienną, macierz $\mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})$ jest nieosobliwa dla każdych $\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}} \in \Omega$, $\langle \mathbf{x}, \mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}) \rangle > 0$ dla każdych $\mathbf{x} \in \Omega \setminus \{\mathbf{0}\}$, $\dot{\mathbf{x}} \in \Omega$, $\langle \mathbf{x}, \mathbf{G}(\mathbf{x}) \rangle > 0$ dla $\mathbf{x} \in \Omega \setminus \{\mathbf{0}\}$ oraz $\mathbf{G}(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$. Wówczas zerowy punkt równowagi systemu (15), (16) jest lokalnie asymptotycznie stabilnym punktem równowagi w sensie Lapunowa.

- **Konstrukcja dynamicznych stabilizujących sprzężeń zwrotnych dla pewnej klasy układów dynamicznych opisanej przez macierzowo-wektorowe nieliniowe równanie różniczkowe drugiego rzędu**

Niech będzie dana pewna klasa układów sterowania, której dynamikę można opisać macierzowo-wektorowym równaniem różniczkowym postaci

$$\mathbf{E}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{G}(\mathbf{x}) = \mathbf{H}(\mathbf{x})\mathbf{u}(t), \quad \dot{\mathbf{x}}(0) = \mathbf{x}_{01}, \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_{02}. \quad (17)$$

W równaniu (17) $\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_n(t)]^T$, $\mathbf{x}(t) \in \mathbb{X} \subset \mathbb{R}^n$ w dowolnej chwili czasu $t > 0$ jest n -elementowym wektorem stanu o elementach rzeczywistych, $\mathbf{u}(t) = [u_1(t) \ u_2(t) \ \dots \ u_r(t)]^T$, $\mathbf{u}(t) \in \mathbb{U} \subset \mathbb{R}^r$ jest r -elementowym wektorem sterowania o elementach rzeczywistych, $\mathbf{x}_{01} \in \mathbb{R}^n$ i $\mathbf{x}_{02} \in \mathbb{R}^n$ są zadanymi warunkami początkowymi, $\mathbf{E} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ jest stałą macierzą o wymiarze $n \times n$, $\mathbf{F} : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n \supset \Omega \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}^{n \times n}$, $\mathbf{G} : \mathbb{R}^n \supset \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$ i $\mathbf{H} : \mathbb{R}^n \supset \Omega \rightarrow \mathbb{R}^{n \times r}$ są macierzami, których elementy są nieliowymi funkcjami o wartościach rzeczywistych, tzn. $\mathbf{F}(\boldsymbol{\xi}, \boldsymbol{\eta}) = [f_{ij}(\boldsymbol{\xi}, \boldsymbol{\eta})]_{n \times n}$, $\mathbf{G}(\boldsymbol{\xi}) = [g_i(\boldsymbol{\xi})]_{n \times 1}$, $\mathbf{H}(\boldsymbol{\xi}) = [h_{ik}(\boldsymbol{\xi})]_{n \times r}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, r$, $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ jest pewnym otoczeniem zera ($\mathbf{0} \in \mathbb{R}^n$). Wyjście układu definiujemy w następujący sposób

$$\mathbf{y}(t) = \int_0^{\mathbf{x}(t)} \mathbf{H}(\boldsymbol{\xi})^T d\boldsymbol{\xi}, \quad (18)$$

gdzie $\int_0^{\mathbf{x}(t)} (\dots) d\boldsymbol{\xi}$ oznacza całkę krzywoliniową liczoną wzdłuż odcinka z przestrzeni \mathbb{R}^n o początku w punkcie $\mathbf{0}$ i końcu w punkcie $\mathbf{x}(t)$.

Rozważmy następujący regulator

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K}(\mathbf{w}(t) + \mathbf{y}(t)), \quad (19)$$

przy czym $\mathbf{w}(t) \in \mathbb{R}^r$ stanowi rozwiązanie liniowego równania różniczkowego

$$\dot{\mathbf{w}}(t) + \mathbf{A}\mathbf{w}(t) = \mathbf{B}\mathbf{u}(t), \quad \mathbf{w}(0) = \mathbf{w}_0, \quad (20)$$

gdzie $\mathbf{w}_0 \in \mathbb{R}^r$ jest zadanym warunkiem początkowym, $\mathbf{K} \in \mathbb{R}^{r \times r}$, $\mathbf{K} = \mathbf{K}^T > 0$ jest macierzą dodatnio określoną, $\mathbf{A} = \text{diag}[a_i]$, $\mathbf{B} = \text{diag}[b_i]$, $a_i > 0$, $b_i > 0$, $i = 1, 2, \dots, r$.

System (17) współpracujący z regulatorem (19), (20) można opisać następującymi równaniami:

$$\mathbf{E}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{G}(\mathbf{x}) + \mathbf{H}(\mathbf{x})\mathbf{K} \int_0^{\mathbf{x}(t)} \mathbf{H}(\boldsymbol{\xi})^T d\boldsymbol{\xi} + \mathbf{H}(\mathbf{x})\mathbf{K}\mathbf{w}(t) = \mathbf{0}, \quad (21)$$

$$\dot{\mathbf{w}}(t) + (\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{K})\mathbf{w}(t) + \mathbf{B}\mathbf{K} \int_0^{\mathbf{x}(t)} \mathbf{H}(\boldsymbol{\xi})^T d\boldsymbol{\xi} = \mathbf{0}. \quad (22)$$

TWIERDZENIE 3 (Skruch, 2010). Niech będzie dany system (21), (22) mający dokładnie jeden zerowy punkt równowagi w otoczeniu Ω , gdzie funkcje $f_{ij}(\cdot, \cdot)$, $g_i(\cdot)$, $h_{ik}(\cdot)$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, r$ są ciągle z ciągłymi pierwszymi pochodnymi ze względu na każdą zmienną, $\mathbf{E} = \mathbf{E}^T > 0$ jest macierzą dodatnio określoną, $\langle \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})\dot{\mathbf{x}} \rangle > 0$ dla każdych $\mathbf{x} \in \Omega \setminus \{\mathbf{0}\}$, $\dot{\mathbf{x}} \in \Omega$, $\langle \mathbf{x}, \mathbf{G}(\mathbf{x}) \rangle > 0$ dla $\mathbf{x} \in \Omega \setminus \{\mathbf{0}\}$ oraz $\mathbf{G}(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$. Wówczas zerowy punkt równowagi systemu (21), (22) jest lokalnie asymptotycznie stabilnym punktem równowagi w sensie Lapunowa.

W oparciu o zdefiniowane wyjście układu w postaci formuły (18) konstruujemy teraz następujący regulator

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K}_1\mathbf{y}(t) - \mathbf{K}_2\dot{\mathbf{y}}(t), \quad (23)$$

gdzie $\mathbf{K}_1 = \mathbf{K}_1^T \geq 0$, $\mathbf{K}_1 \in \mathbb{R}^{r \times r}$ jest dodatnio półokreśloną macierzą, a $\mathbf{K}_2 = \mathbf{K}_2^T > 0$, $\mathbf{K}_2 \in \mathbb{R}^{r \times r}$ jest dodatnio określoną macierzą o elementach rzeczywistych. System (17) po zamknięciu sprzężenia zwrotnego będzie opisywać następujące równanie

$$\mathbf{E}\ddot{\mathbf{x}}(t) + (\mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}) + \mathbf{K}_2\mathbf{H}(\mathbf{x})^T)\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{G}(\mathbf{x}) + \mathbf{K}_1 \int_0^{\mathbf{x}(t)} \mathbf{H}(\boldsymbol{\xi})^T d\boldsymbol{\xi} = \mathbf{0}. \quad (24)$$

TWIERDZENIE 4 (Skruch, 2010). Niech będzie dany system (24) mający dokładnie jeden zerowy punkt równowagi w otoczeniu Ω , gdzie funkcje $f_{ij}(\cdot, \cdot)$, $g_i(\cdot)$, $h_{ik}(\cdot)$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, r$ są ciągle z ciągłymi pierwszymi pochodnymi ze względu na każdą zmienną, $\mathbf{E} = \mathbf{E}^T > 0$ jest macierzą dodatnio określoną, $\langle \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})\dot{\mathbf{x}} \rangle > 0$ dla każdych $\mathbf{x} \in \Omega \setminus \{\mathbf{0}\}$, $\dot{\mathbf{x}} \in \Omega$, $\langle \mathbf{x}, \mathbf{G}(\mathbf{x}) \rangle > 0$ dla $\mathbf{x} \in \Omega \setminus \{\mathbf{0}\}$ oraz $\mathbf{G}(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$. Wówczas zerowy punkt równowagi systemu (24) jest lokalnie asymptotycznie stabilnym punktem równowagi w sensie Lapunowa.

Rozważmy następującą regułę sterowania

$$\mathbf{u}(t) = -\frac{1}{K(\mathbf{x}, \mathbf{w})} (\mathbf{w}(t) + \mathbf{y}(t)), \quad (25)$$

przy czym $\mathbf{w}(t) \in \mathbb{R}^r$ stanowi rozwiązanie liniowego równania różniczkowego

$$\dot{\mathbf{w}}(t) + \mathbf{A}\mathbf{w}(t) = \mathbf{B}\mathbf{u}(t), \quad \mathbf{w}(0) = \mathbf{w}_0, \quad (26)$$

gdzie $\mathbf{w}_0 \in \mathbb{R}^r$ jest zadany warunkiem początkowym, $K(\mathbf{x}, \mathbf{w}) = K_0 + \gamma \|\mathbf{w}(t) + \mathbf{y}(t)\|^2$, $\mathbf{A} = \text{diag}[a_i]$, $\mathbf{B} = \text{diag}[b_i]$, $\gamma > 0$, $K_0 > 0$, $a_i > 0$, $b_i > 0$, $i = 1, 2, \dots, r$.

System (17) po zamknięciu pętli sprzężenia zwrotnego (25), (26) można opisać równaniami:

$$\mathbf{E}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{G}(\mathbf{x}) + \frac{1}{K(\mathbf{x}, \mathbf{w})} \mathbf{H}(\mathbf{x}) \int_0^{x(t)} \mathbf{H}(\xi)^T d\xi + \frac{1}{K(\mathbf{x}, \mathbf{w})} \mathbf{H}(\mathbf{x})\mathbf{w}(t) = \mathbf{0}, \quad (27)$$

$$\dot{\mathbf{w}}(t) + \left(\mathbf{A} + \frac{1}{K(\mathbf{x}, \mathbf{w})} \mathbf{B} \right) \mathbf{w}(t) + \frac{1}{K(\mathbf{x}, \mathbf{w})} \mathbf{B} \int_0^{x(t)} \mathbf{H}(\xi)^T d\xi = \mathbf{0}. \quad (28)$$

TWIERDZENIE 5 (Skruch, 2010). Niech będzie dany system (27), (28) mający dokładnie jeden zerowy punkt równowagi w otoczeniu Ω , gdzie funkcje $f_{ij}(\cdot, \cdot)$, $g_i(\cdot)$, $h_{ik}(\cdot)$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, r$ są ciągle z ciągłymi pierwszymi pochodnymi ze względu na każdą zmienną, $\mathbf{E} = \mathbf{E}^T > 0$ jest macierzą dodatnio określoną, $\langle \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})\dot{\mathbf{x}} \rangle > 0$ dla każdych $\mathbf{x} \in \Omega \setminus \{\mathbf{0}\}$, $\dot{\mathbf{x}} \in \Omega$, $\langle \mathbf{x}, \mathbf{G}(\mathbf{x}) \rangle > 0$ dla $\mathbf{x} \in \Omega \setminus \{\mathbf{0}\}$ oraz $\mathbf{G}(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$. Wówczas zerowy punkt równowagi systemu (27), (28) jest lokalnie asymptotycznie stabilnym punktem równowagi w sensie Lapunowa.

- **Konstrukcja sterowania ślizgowego ze skończonym czasem stabilizacji dla pewnej klasy układów dynamicznych opisaney przez macierzowo-wektorowe nieliniowe równanie różniczkowe pierwszego rzędu z zakłóceniami**

Rozważmy system, którego dynamikę opisuje równanie różniczkowe postaci

$$\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{G}(\mathbf{x}) = \mathbf{H}(\mathbf{x})\mathbf{u}(t) + \mathbf{z}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t), \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0. \quad (29)$$

W równaniu (29) $\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_n(t)]^T$, $\mathbf{x}(t) \in \mathbb{X} \subset \mathbb{R}^n$ w dowolnej chwili czasu $t > 0$ jest n -elementowym wektorem stanu o elementach rzeczywistych, $\mathbf{u}(t) = [u_1(t) \ u_2(t) \ \dots \ u_n(t)]^T$, $\mathbf{u}(t) \in \mathbb{U} \subset \mathbb{R}^n$ jest n -elementowym wektorem sterowania o elementach rzeczywistych, $\mathbf{x}_0 \in \mathbb{R}^n$ jest zadany warunkiem początkowym, \mathbb{X} jest rzeczywistą przestrzenią stanu, \mathbb{U} jest rzeczywistą przestrzenią sterowań, $\mathbf{z}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t) = [z_i(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t)]_{n \times 1}$, $i = 1, 2, \dots, n$ jest nieznaną funkcją wektorową reprezentującą zakłócenie w układzie, $\mathbf{G} : \mathbb{R}^n \supset \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$ i $\mathbf{H} : \mathbb{R}^n \supset \Omega \rightarrow \mathbb{R}^{n \times n}$ są macierzami, których elementy są nieliniowymi funkcjami o wartościach rzeczywistych, tzn. $\mathbf{G}(\xi) = [g_i(\xi)]_{n \times 1}$, $\mathbf{H}(\xi) = [h_{ij}(\xi)]_{n \times n}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ jest pewnym otoczeniem zera ($\mathbf{0} \in \mathbb{R}^n$).

Dla takiego systemu definiujemy powierzchnię ślizgową $\mathbf{s}(t)$ w oparciu o aktualny stan systemu $\mathbf{x}(t)$ i zadaną trajektorię $\mathbf{x}_d(t)$, tj.

$$\mathbf{s}(t) = \mathbf{x}(t) - \mathbf{x}_d(t). \quad (30)$$

TWIERDZENIE 6 (uogólnienie wyników uzyskanych przez **Skruch, 2014b**). *Niech będzie dany system (29), w którym funkcje $g_i(\cdot)$, $h_{ij}(\cdot)$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ są ciągle z ciągłymi pierwszymi pochodnymi ze względu na każdą zmienną w otoczeniu Ω , macierz $\mathbf{H}(\mathbf{x})$ jest nieosobliwa dla każdego $\mathbf{x} \in \Omega$, zakłócenie \mathbf{z} jest nieznaną funkcją wektorową spełniającą zależność $\mathbf{z}^{\max} = \max_{\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t} \mathbf{z}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t) \geq 0$. Wówczas sterowanie określone równaniem*

$$\begin{aligned} \mathbf{u}(t) = & \mathbf{H}(\mathbf{x})^{-1} (\mathbf{G}(\mathbf{x}) + \dot{\mathbf{x}}_d(t)) - \mathbf{H}(\mathbf{x})^{-1} \mathbf{S}(t) \mathbf{z}^{\max} \\ & - \sigma \mathbf{H}(\mathbf{x})^{-1} \mathbf{S}(t) \mathbf{s}_\eta(t) - \gamma \mathbf{H}(\mathbf{x})^{-1} \mathbf{s}(t), \end{aligned}$$

gdzie

$$\mathbf{S}(t) = \text{diag}(\text{sgn}(s_1(t)), \text{sgn}(s_2(t)), \dots, \text{sgn}(s_n(t))),$$

$$\mathbf{s}_\eta(t) = \begin{bmatrix} |s_1(t)|^\eta & |s_2(t)|^\eta & \dots & |s_n(t)|^\eta \end{bmatrix}^\top,$$

$\sigma > 0$, $\gamma > 0$, a η jest stosunkiem dwóch nieparzystych dodatnich liczb całkowitych spełniających warunek $0 < \eta < 1$, przeprowadza trajektorię systemu (29) w skończonym czasie z dowolnego warunku początkowego do powierzchni ślizgowej (30), na której później ta trajektoria pozostaje.

- **Konstrukcja sterowania ślizgowego ze skończonym czasem stabilizacji dla pewnej klasy układów dynamicznych opisanej przez macierzowo-wektorowe nieliniowe równanie różniczkowe drugiego rzędu z zakłóceniami**

Rozważmy system opisany równaniem różniczkowym postaci

$$\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}) \dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{G}(\mathbf{x}) = \mathbf{H}(\mathbf{x}) \mathbf{u}(t) + \mathbf{z}(\ddot{\mathbf{x}}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t), \quad \dot{\mathbf{x}}(0) = \mathbf{x}_{01}, \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_{02}, \quad (31)$$

przy czym $\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_n(t)]^\top$, $\mathbf{x}(t) \in \mathbb{X} \subset \mathbb{R}^n$ w dowolnej chwili czasu $t > 0$ jest n -elementowym wektorem stanu o elementach rzeczywistych, $\mathbf{u}(t) = [u_1(t) \ u_2(t) \ \dots \ u_n(t)]^\top$, $\mathbf{u}(t) \in \mathbb{U} \subset \mathbb{R}^n$ jest n -elementowym wektorem sterowania o elementach rzeczywistych, $\mathbf{x}_{01} \in \mathbb{R}^n$ i $\mathbf{x}_{02} \in \mathbb{R}^n$ są zadanymi warunkami początkowymi, $\mathbf{z}(\ddot{\mathbf{x}}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t) = [z_i(\ddot{\mathbf{x}}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t)]_{n \times 1}$ jest nieznaną funkcją wektorową reprezentującą zakłócenie w układzie, $\mathbf{F} : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n \supset \Omega \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}^{n \times n}$, $\mathbf{G} : \mathbb{R}^n \supset \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$ i $\mathbf{H} : \mathbb{R}^n \supset \Omega \rightarrow \mathbb{R}^{n \times n}$ są macierzami, których elementy są nieliniowymi funkcjami o wartościach rzeczywistych, tzn. $\mathbf{F}(\boldsymbol{\xi}, \boldsymbol{\eta}) = [f_{ij}(\boldsymbol{\xi}, \boldsymbol{\eta})]_{n \times n}$, $\mathbf{G}(\boldsymbol{\xi}) = [g_i(\boldsymbol{\xi})]_{n \times 1}$, $\mathbf{H}(\boldsymbol{\xi}) = [h_{ij}(\boldsymbol{\xi})]_{n \times n}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ jest pewnym otoczeniem zera ($\mathbf{0} \in \mathbb{R}^n$).

Dla takiego systemu definiujemy powierzchnią ślizgową

$$\mathbf{s}(t) = \boldsymbol{\Lambda} \mathbf{e}(t) - \mathbf{Q} \psi(\mathbf{e}_x), \quad (32)$$

gdzie $\boldsymbol{\Lambda} = [\mathbf{P} \ \mathbf{I}_n]^\top$, $\mathbf{P} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ jest pewną macierzą kwadratową, $\mathbf{Q} \in \mathbb{R}^{2n \times 2n}$, $\mathbf{Q} = \mathbf{Q}^\top > 0$ jest macierzą dodatnio określoną, $\psi : \mathbb{R}^n \supset \Omega \rightarrow \mathbb{R}^{2n}$ jest pewną funkcją wektorową, której elementy są nieliniowymi funkcjami o wartościach nieujemnych (funkcja ta jest wykorzystywana do zmiany szybkości zmierniania trajektorii systemu do powierzchni ślizgowej), $\mathbf{e}(t) = [\mathbf{e}_x(t) \ \mathbf{e}_{dx}(t)]^\top$, $\mathbf{e}_x(t) = \mathbf{x}(t) - \mathbf{x}_d(t)$, $\mathbf{e}_{dx}(t) = \dot{\mathbf{x}}(t) - \dot{\mathbf{x}}_d(t)$, $\mathbf{x}_d(t)$ i $\dot{\mathbf{x}}_d(t)$ oznaczają zadane trajektorie systemu.

TWIERDZENIE 7 (**Skruch, 2016**). *Niech będzie dany system (31), w którym funkcje $f_{ij}(\cdot, \cdot)$, $g_i(\cdot)$, $h_{ij}(\cdot)$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ są ciągle z ciągłymi pierwszymi pochodnymi ze względu na każdą zmienną z otoczenia Ω , macierz $\mathbf{H}(\mathbf{x})$ jest nieosobliwa dla każdego $\mathbf{x} \in \Omega$, zakłócenie \mathbf{z} jest nieznaną funkcją wektorową spełniającą zależność $\mathbf{z}^{\max} = \max_{\ddot{\mathbf{x}}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t} \mathbf{z}(\ddot{\mathbf{x}}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}, t) \geq 0$. Wówczas sterowanie określone równaniem*

$$\begin{aligned} \mathbf{u}(t) = & -\mathbf{H}(\mathbf{x})^{-1} \boldsymbol{\Lambda} \mathbf{W}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}) + \mathbf{H}(\mathbf{x})^{-1} \mathbf{Q} \frac{d\psi(\mathbf{e}_x)}{dt} + \mathbf{H}(\mathbf{x})^{-1} \mathbf{P} (\dot{\mathbf{x}}_d(t) + \ddot{\mathbf{x}}_d(t)) \\ & - \mathbf{H}(\mathbf{x})^{-1} \mathbf{S}(t) \mathbf{z}^{\max} - \sigma \mathbf{H}(\mathbf{x})^{-1} \mathbf{S}(t) \mathbf{s}_\eta(t) - \gamma \mathbf{H}(\mathbf{x})^{-1} \mathbf{s}(t), \end{aligned}$$

gdzie

$$\mathbf{W}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ -\mathbf{G}(\mathbf{x}) - \mathbf{F}(\dot{\mathbf{x}}, \mathbf{x})\dot{\mathbf{x}} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{S}(t) = \text{diag}(\text{sgn}(s_1(t)), \text{sgn}(s_2(t)), \dots, \text{sgn}(s_n(t))),$$

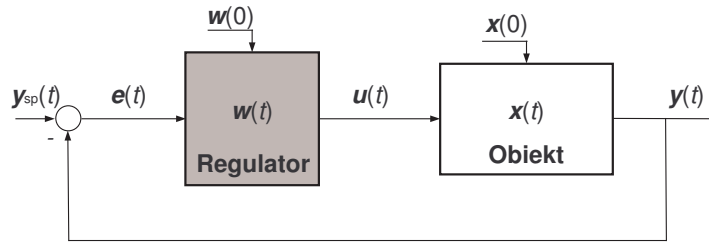
$$\mathbf{s}_\eta(t) = [|s_1(t)|^\eta \quad |s_2(t)|^\eta \quad \dots \quad |s_n(t)|^\eta]^\text{T},$$

$\sigma > 0$, $\gamma > 0$, a η jest stosunkiem dwóch nieparzystych dodatnich liczb całkowitych spełniających warunek $0 < \eta < 1$, przeprowadza trajektorię systemu (31) w skończonym czasie z dowolnego warunku początkowego do powierzchni ślizgowej (32), na której później ta trajektoria pozostaje.

- **Koncepcja podejścia sygnałowego do weryfikacji systemów dynamicznych implementowanych w systemach wbudowanych**

Autor opracował innowacyjne podejście sygnałowe oparte na modelach matematycznych do weryfikacji i testowania elektronicznych wbudowanych systemów sterujących w czasie rzeczywistym. Podejście to zostało opisane w pracach (Skruch i Buchała, 2014; Skruch, 2014a) a następnie wdrożone w Centrum Technicznym Delphi w Krakowie do procesu projektowania zaawansowanych systemów elektronicznych dla branży motoryzacyjnej i przeznaczonych do seryjnej produkcji.

Rozważmy układ regulacji automatycznej przedstawiony schematycznie na rys. 3. W układzie tym występuje regulator zawierający człon dynamiczny. Zgodnie z przyjętymi oznaczeniami model



Rys. 3: Schemat układu regulacji automatycznej

matematyczny takiego regulatora dynamicznego można przedstawić za pomocą równania stanu

$$\dot{\mathbf{w}}(t) = \Theta(\mathbf{w}, \mathbf{e}), \quad \mathbf{w}(t) = \mathbf{w}_0, \quad (33)$$

oraz równania wyjścia

$$\mathbf{u}(t) = \Psi(\mathbf{w}, \mathbf{e}). \quad (34)$$

W równaniach (33) i (34) $\mathbf{w}(t) \in \mathbb{W} \subset \mathbb{R}^n$ w dowolnej chwili czasu $t > 0$ reprezentuje stan układu regulatora, $\mathbf{e}(t) \in \mathbb{E} \subset \mathbb{R}^m$ jest funkcją wejściową, a $\mathbf{u}(t) \in \mathbb{U} \subset \mathbb{R}^r$ jest funkcją wyjściową dla tego układu, Θ oraz Ψ są w ogólnym przypadku operatorami działającymi w odpowiednich przestrzeniach, \mathbb{E} , \mathbb{W} , \mathbb{U} są odpowiednio przestrzeniami wejścia, stanu i wyjścia dla układu regulatora.

Głównym elementem w procesie testowania jest tworzenie tak zwanych przypadków testowych. Przypadek testowy to zbiór wejść, warunków wykonania oraz oczekiwanych wyników utworzony aby zweryfikować określone wymagania. Dla systemu, którego model matematyczny jest dany w postaci równań (33), (34) przypadek testowy można opisać wykorzystując następującą notację

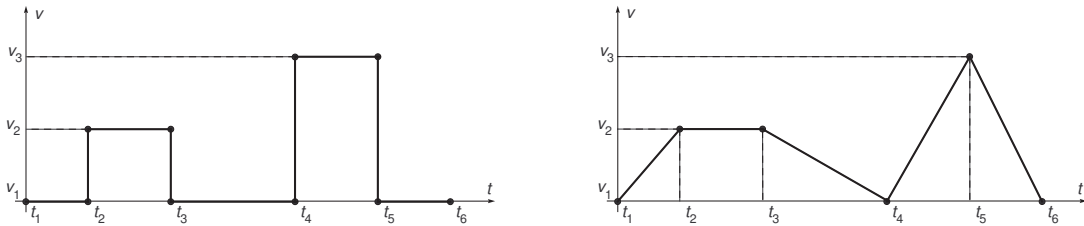
$$\mathbb{T}_{\text{case}}^{(j)} = \left\{ T^{(j)}, \mathbf{w}_0^{(j)}, \mathbf{e}^{(j)}(\cdot), \mathbf{u}^{(j)}(\cdot) \right\}, \quad (35)$$

dla tak zwanych testów czarnoskrzynkowych lub

$$\mathbb{T}_{\text{case}}^{(j)} = \left\{ T^{(j)}, \mathbf{w}_0^{(j)}, \mathbf{e}^{(j)}(\cdot), \mathbf{w}^{(j)}(\cdot), \mathbf{u}^{(j)}(\cdot) \right\}, \quad (36)$$

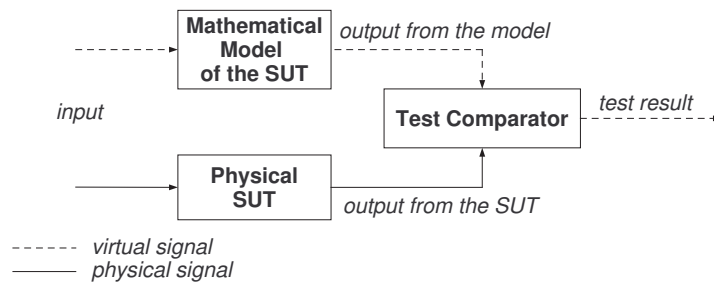
dla testów szaroskrzynkowych, przy czym $\mathbb{T}_{\text{case}}^{(j)}$, $j = 1, 2, \dots, N$, $N \geq 1$ jest oznaczeniem przypadku testowego, $\mathbf{e}^{(j)} : [0, T^{(j)}] \rightarrow \mathbb{E}$ oznacza funkcję wejściową, $\mathbf{u}^{(j)} : [0, T^{(j)}] \rightarrow \mathbb{U}$ oznacza oczekiwaną funkcję wyjściową, $\mathbf{w}^{(j)} : [0, T^{(j)}] \rightarrow \mathbb{W}$ jest oczekiwanym stanem układu, $\mathbf{w}_0^{(j)}$ jest zadany warunkiem początkowym, $T^{(j)}$ jest czasem, w którym wykonuje się dany przypadek testowy. Zbiór składający się z jednego lub więcej przypadków testowych oznacza się jako $\mathbb{T}_{\text{suite}} = \{ \mathbb{T}_{\text{case}}^{(1)}, \mathbb{T}_{\text{case}}^{(2)}, \dots, \mathbb{T}_{\text{case}}^{(N)} \}$.

Zadanie implementacji przypadku testowego (35) lub (36) wymaga wprowadzenia aproksymacji dla każdego ciągłego sygnału będącego częścią tych przypadków testowych. W pracach (**Skruch i Buchała, 2014; Skruch, 2014a**) zaproponowana została aproksymacja każdego jednowymiarowego ciągłego sygnału będącego częścią przypadku testowego (35) lub (36) przez zbiór dyskretnych punktów powiązanych ze sobą liniową interpolacją. Wówczas, taki aproksymowany sygnał może być opisany przez parę $(s_{\text{time}}, s_{\text{values}})$, gdzie $s_{\text{time}} = [t_1 \ t_2 \ \dots \ t_k]^T$ jest wektorem dyskretnych chwil czasowych, a $s_{\text{values}} = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_k]^T$ jest wektorem wartości sygnału odpowiadającym chwilom czasowym z wektora s_{time} . Rys. 4 przedstawia przykładową aproksymację dla cyfrowym i analogowych sygnałów, które są najczęściej wykorzystywane w praktycznych zastosowaniach.



Rys. 4: Implementacyjna reprezentacja sygnału cyfrowego (po lewej) i analogowego (po prawej)

Koncepcja testowania przedstawiona na rys. 5 wykorzystuje model w mechanizmie porównywania oczekiwanych wyników (*output from the model*) z wynikami uzyskanymi z testowanego systemu (*output from the SUT*) w reakcji na jednakowe wymuszenie (*input*). Porównywanie wyników jest realizowane przez urządzenie zwane komparatorem testowym. Mechanizm porównania jest reprezentowany przez funkcję, która przyjmuje wartości binarne, tj. *test result* = 0 (tzw. test pozytywny) jeżeli wyjście z testowego urządzenia (*Physical SUT - Physical System Under Test*) pokrywa się z wyjściem z modelu w zakresie przyjętej tolerancji, i *test result* = 1 (tzw. test negatywny) w przeciwnym przypadku.



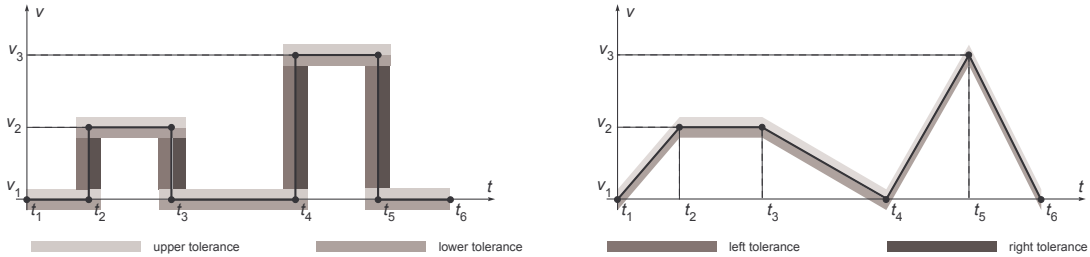
Rys. 5: Koncepcja testowania oparta o model systemu jako wzorzec zachowania

Przykładowa realizacja komparatora testowego dla wymagań określonych przez model (33), (34) oraz dla notacji (35) może wyglądać następująco:

$$z(\mathbb{T}_{\text{case}}^{(j)}) = \begin{cases} 0, & \text{gdy } \forall_{t \in [0, T^{(j)}]} \forall_{i \in \{1, 2, \dots, r\}} \epsilon_{\text{lower}}(t) \leq |u_{si}^{(j)}(t) - u_i^{(j)}(t)| \leq \epsilon_{\text{upper}}(t), \\ 1, & \text{w przeciwnym przypadku,} \end{cases} \quad (37)$$

gdzie z oznacza wynik testu, tzn. $z = 0$ dla testu pozytywnego, $z = 1$ dla testu negatywnego, $\epsilon_{\text{lower}}(\cdot)$, $\epsilon_{\text{upper}}(\cdot)$ są przyjętymi funkcjami określającymi tolerancje, tj. odchyłką dolną (*lower tolerance*) i odchyłką górną (*upper tolerance*), $\mathbf{u}_s^{(j)}(\cdot) \in \mathbb{U}$ jest wektorem składającym się z funkcji wyjściowych uzyskanych z testowanego urządzenia.

Dla sygnałów o wartościach dyskretnych należy wprowadzić dodatkowe wielkości tolerancji w dziedzinie czasu: odchyłkę lewą (*left tolerance*) i odchyłkę prawą (*right tolerance*) (zob. rys. 6). Jest to spowodowane między innymi tym, że sygnał o wartościach dyskretnych nie jest sygnałem ciągłym w punktach, w których następuje zmiana wartości sygnału. Odchyłka lewa określa maksymalny dozwolony przedział czasu, w którym może nastąpić zmiana wartości sygnału przed oczekiwanym momentem zmiany. Odchyłka prawa określa maksymalny dozwolony przedział czasu, w którym może nastąpić zmiana wartości sygnału po oczekiwanym momencie zmiany.



Rys. 6: Implementacyjna reprezentacja oczekiwanego sygnału cyfrowego (po lewej) i analogowego (po prawej) z tolerancjami

- **Miara pokrycia testowego dla ciągłych systemów dynamicznych w procesie testowania i weryfikacji**

Bardzo ważnym elementem w procesie testowania jest określenie tak zwanego pokrycia strukturalnego, czyli miary wskazującej jaki odsetek wybranych elementów jest "pokryty" (wykonany, osiągnięty) podczas wykonywania zestawu przypadków testowych. Określenie dobrych technik pomiaru pokrycia strukturalnego w przypadku układów dynamicznych jest zadaniem nietrywialnym. Naturalnym wyborem wydaje się pomiar pokrycia stanów systemu. W przypadku systemów dynamicznych przestrzeń stanów jest jednak zbiorem o nieskończonej liczbie elementów i zbudowanie przypadków testowych, które przechodzą przez wszystkie stany systemu może okazać się niemożliwe do realizacji.

W dalszej części zostanie opisany sposób obliczenia pokrycia testowego dla ciągłych systemów dynamicznych, który został przedstawiony w pracy (Skruch, 2011c). Opisana metoda odnosi się do modelu (33), (34). Pokrycie testowe $C_h(\mathbb{T}_{\text{suite}})$ dla danego zestawu przypadków testowych $\mathbb{T}_{\text{suite}} = \{\mathbb{T}_{\text{case}}^{(1)}, \mathbb{T}_{\text{case}}^{(2)}, \dots, \mathbb{T}_{\text{case}}^{(N)}\}$ definiuje się w następujący sposób:

$$C_h(\mathbb{T}_{\text{suite}}) = \frac{\left| \bigcup_{j=1}^N V_h(\mathbb{T}_{\text{case}}^{(j)}) \right|}{|\mathbb{W}_h|}, \quad (38)$$

gdzie

$$\mathbb{W}_h = \{i \in \mathbb{Z}^n : \exists_{w \in \mathbb{W}} : w \in G_h(i)\} \quad (39)$$

jest zbiorem uzyskanym z przestrzeni stanów \mathbb{W} poprzez jej podział na elementy

$$G_{\mathbf{h}}(\mathbf{i}) = \left\{ \mathbf{w} \in \mathbb{R}^n : \mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n]^T, \left\lfloor \frac{w_k}{h_k} \right\rfloor = i_k, \ k = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (40)$$

o wielkości określonej przez wektor $\mathbf{h} = [h_1 \ h_2 \ \dots \ h_n]^T$, $h_k > 0$ dla $k = 1, 2, \dots, n$, \mathbb{Z} oznacza zbiór liczb całkowitych, $\left\lfloor \frac{x_k}{h_k} \right\rfloor$ we wzorze (40) oznacza największą liczbę całkowitą nie większą niż $\frac{x_k}{h_k}$. Wówczas zbiór określony jako

$$V_{\mathbf{h}}(\mathbb{T}_{\text{case}}^{(j)}) = \left\{ \mathbf{i} \in \mathbb{W}_{\mathbf{h}} : \exists t \in [0, T^{(j)}] : \mathbf{w}^{(j)}(t) \in G_{\mathbf{h}}(\mathbf{i}) \right\} \quad (41)$$

będzie podzbiorem $\mathbb{W}_{\mathbf{h}}$ zawierającym elementy, które są pokrywane przez dany przypadek testowy $\mathbb{T}_{\text{case}}^{(j)}$. Podobnie zbiór

$$V_{\mathbf{h}}(\mathbb{T}_{\text{suite}}) = \bigcup_{j=1}^N V_{\mathbf{h}}(\mathbb{T}_{\text{case}}^{(j)}) \quad (42)$$

będzie obejmować te elementy ze zbioru $\mathbb{W}_{\mathbf{h}}$, które są pokrywane przez cały zestaw przypadków testowych $\mathbb{T}_{\text{suite}}$.

- **Algorytmy generowania przypadków testowych na podstawie modeli matematycznych**

Algorytm 1 generowania przypadków testowych dla układów dynamicznych na podstawie modeli matematycznych tych układów został zaprezentowany w pracy (Skruch *et al.*, 2015). Algorytm ten jest oparty na tak zwanym testowaniu zgodności (w literaturze można również spotkać określenie testowanie poprawności czy testowanie funkcjonalne). Testowanie zgodności to podejście polegające na weryfikacji zgodności implementacji z odpowiednią specyfikacją (w tym przypadku z modelem matematycznym).

Algorytm 2, zaprezentowany również w pracy (Skruch *et al.*, 2015), skupia się na testowaniu negatywnym, którego celem jest pokazanie błędów w systemie. W tym algorytmie zagadnienie testowania zostało sformułowane jako zagadnienie optymalizacyjne polegające na poszukiwaniu przypadku testowego $\mathbb{T}_{\text{case}} = \{T, \mathbf{w}_0, \mathbf{e}(\cdot), \mathbf{u}(\cdot)\}$ będącego wynikiem następującego problemu optymalizacyjnego:

$$\max_{\mathbf{e} \in \mathbb{E}_{\text{ad}}} J(\mathbf{e}) = \max_{\mathbf{e} \in \mathbb{E}_{\text{ad}}} \int_0^T (\mathbf{u}(t) - \mathbf{u}_s(t))^T \mathbf{Q} (\mathbf{u}(t) - \mathbf{u}_s(t)) dt, \quad (43)$$

gdzie \mathbb{E}_{ad} oznacza zbiór dopuszczalnych funkcji wejściowych, $\mathbf{Q} = \mathbf{Q}^T > 0$ jest macierzą dodatnio określoną reprezentującą współczynniki wagowe dla wskaźnika jakości, $\mathbf{u}_s(\cdot) \in \mathbb{U}$ jest wektorem składającym się z funkcji wyjściowych uzyskanych z testowanego rzeczywistego urządzenia. Zbiór \mathbb{E}_{ad} może być określony przez ograniczenia fizyczne i ograniczenia nałożone przez zasoby systemowe komputera. Należy zauważyć, że w algorytmie 2 optymalizacja jest przeprowadzana z wykorzystaniem zarówno rzeczywistego układu jak i jego abstrakcyjnego odpowiednika, czyli modelu matematycznego. Jeżeli układ rzeczywisty nie zawiera błędów, to wynikiem tego algorytmu jest pusty zbiór przypadków testowych, tzn. $\mathbb{T}_{\text{case}} = \emptyset$.

- **Koncepcja modelu jarzma testowego i jego implementacja umożliwiająca wykonywanie testów w czasie rzeczywistym**

Jarzmo testowe to narzędzie składające się ze sterowników testowych oraz komparatora testowego. Aby przypadek testowy określony w sposób abstrakcyjny jako zbiór (35) lub (36) mógł być fizycznie zrealizowany potrzebny jest odpowiedni program komputerowy, które wykona ten przypadek w danym środowisku uruchomieniowym. Taki program nazywa się skrypcem testowym. W wyniku wykonania testu powstaje dokument ilustrujący przebieg procesu testowania, czyli raport testowy.

Algorytm 1 Algorytm generacji przypadków testowych oparty o testy zgodności

Parametry wejściowe: model matematyczny układu (33), (34), zbiór dopuszczalnych funkcji wejściowych \mathbb{E}_{ad} , wielkość granulacji $\mathbf{h} = [h_1 \ h_1 \ \dots \ h_n]^T$, $h_k > 0$ dla $k = 1, 2, \dots, n$, wymagana wartość pokrycia testowego $\delta \in (0, 1]$, przestrzeń $\mathbb{W}_{\mathbf{h}}$ określona przez elementy $G_{\mathbf{h}}(\mathbf{i})$

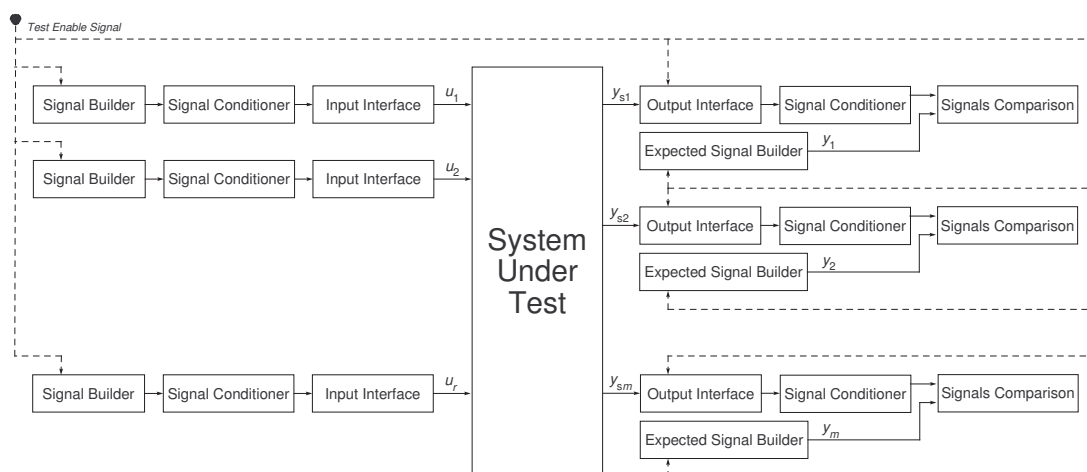
Parametry wyjściowe: $T_{\text{suite}} = \{T_{\text{case}}^{(1)}, T_{\text{case}}^{(2)}, \dots, T_{\text{case}}^{(N)}\}$ taki, że $C_{\mathbf{h}}(T_{\text{suite}}) \geq \delta$

- 1: $T_{\text{suite}} := \emptyset$, $V_{\mathbf{h}}(T_{\text{suite}}) := \emptyset$, $C_{\mathbf{h}}(T_{\text{suite}}) = 0$, $j := 1$
 - 2: **while** $C_{\mathbf{h}}(T_{\text{suite}}) < \delta$ **do**
 - 3: $T := 1$
 - 4: Znajdź $\mathbf{w}_a \in G_{\mathbf{h}}(\mathbf{i}_a)$, $\mathbf{w}_b \in G_{\mathbf{h}}(\mathbf{i}_b)$ gdzie $\mathbf{i}_a \neq \mathbf{i}_b$, $\mathbf{i}_b \in \mathbb{W}_{\mathbf{h}} \setminus V_{\mathbf{h}}(T_{\text{suite}})$, $\mathbf{w}_a, \mathbf{w}_b \in \mathbb{W}$
 - 5: **repeat**
 - 6: Określ funkcję wejściową $e^*(\cdot)$ przeprowadzającą system z punktu początkowego \mathbf{w}_a do punktu końcowego \mathbf{w}_b
 - 7: **if** $e^*(\cdot) \notin \mathbb{E}_{\text{ad}}$ **then**
 - 8: Zmień czas wykonania testu T
 - 9: **end if**
 - 10: **until** $e^*(\cdot) \in \mathbb{E}_{\text{ad}}$
 - 11: Określ funkcję wyjściową $\mathbf{u}^*(\cdot)$ dla wejścia $e^*(\cdot)$
 - 12: $T_{\text{case}}^{(j)} := \{T^{(j)}, \mathbf{w}_0^{(j)}, e^{(j)}(\cdot), \mathbf{u}^{(j)}(\cdot)\}$, gdzie $T^{(j)} := T$, $\mathbf{w}_0^{(j)} := \mathbf{w}_a$, $e^{(j)}(\cdot) := e^*(\cdot)$, $\mathbf{u}^{(j)}(\cdot) := \mathbf{u}^*(\cdot)$
 - 13: $T_{\text{suite}} := T_{\text{suite}} \cup T_{\text{case}}^{(j)}$, $j := j + 1$
 - 14: **end while**
 - 15: **return** T_{suite}
-

Algorytm 2 Algorytm generacji przypadków testowych oparty o testy negatywne

- 1: Określ zbiór dopuszczalnych funkcji wejściowych $\mathbb{E}_{\text{ad}} \neq \emptyset$ i czas wykonywania testów $T > 0$
 - 2: Rozwiąż problem optymalizacyjny (43) w celu uzyskania rozwiązania optymalnego $e^* \in \mathbb{E}_{\text{ad}}$ w sensie zdefiniowanego wskaźnika jakości
 - 3: Oblicz oczekiwaną funkcję wyjściową $\mathbf{u}^*(\cdot)$ dla funkcji wejściowej $e^*(\cdot)$
 - 4: $T_{\text{case}} := \{T, e^*(\cdot), \mathbf{u}^*(\cdot)\}$
-

Jarżmo testowe może być zrealizowane z wykorzystaniem podejścia modelowego co w tym przypadku oznacza, że analiza sygnałów wejściowych i wyjściowych dla testowanego układu jest określona za pomocą modelu matematycznego. Rys. 7 przedstawia funkcjonalny schemat blokowy takiego podejścia, którego szczegóły zostały opisane w pracy (Skruch, 2014a). Jeżeli jarżmo testowe zostanie zrealizowane za pomocą modelu, to z takiego modelu można łatwo wygenerować automatycznie kod i następnie go uruchomić na systemie czasu rzeczywistego. W takiej sytuacji proces testowania będzie się wykonywać w czasie rzeczywistym.

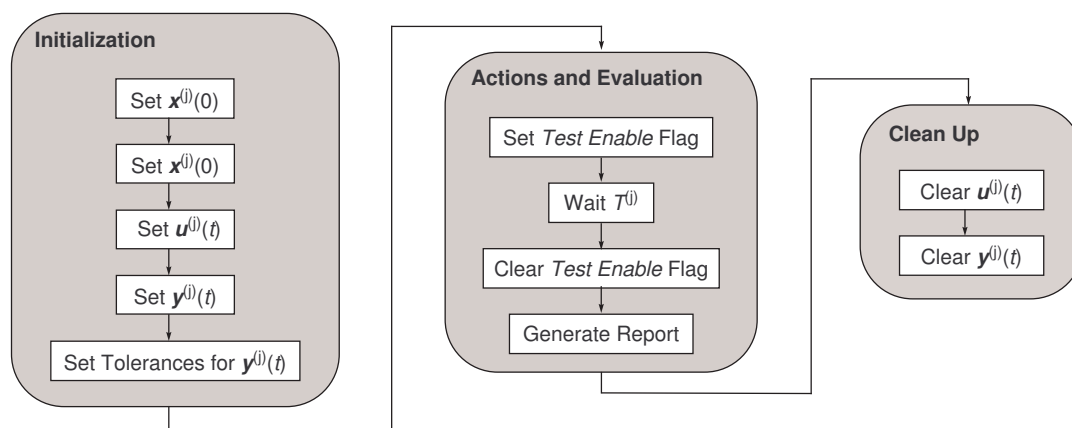


Rys. 7: Schemat blokowy jarżma testowego

Struktura skryptu testowego realizującego dany przypadek testowy została szczegółowo opisana w pracy (Skruch i Buchała, 2014). Rys. 8 przedstawia trzy zasadnicze części tej struktury. W pierwszej części ustawiane są warunki początkowe oraz definiowane funkcje wejściowe oraz oczekiwane funkcje wyjściowe. W drugiej części jest uruchamiany proces wykonania przypadku testowego poprzez ustawienie odpowiedniej flagi. Dalsze czynności są przeprowadzane na jarżmie testowym przedstawionym na rys. 7. Po upływie czasu nie mniejszego niż czas potrzebny na wykonanie danego przypadku testowego sprawdzane są wyniki testu i generowany jest raport. Raport zawiera oprócz funkcji wejściowej i oczekiwanej funkcji wyjściowej również zmierzone rzeczywiste wartości z testowanego systemu jak i informacje o wyniku testu. W ostatniej części skryptu testowego następuje ustawienie domyślnych wartości dla parametrów i funkcji systemowych, które zostały zmienione podczas wykonywania danego przypadku testowego.

3.3 Streszczenie publikacji składających się na wskazane osiągnięcie

1. [Skruch, 2016] Praca dotyczy stabilizacji pewnej klasy układów dynamicznych opisanej przez macierzowo-wektorowe nieliniowe równanie różniczkowe drugiego rzędu z zakłóceniami. Dla takiej klasy układów została zaproponowana powierzchnia ślizgowa oraz sterowanie, które w skończonym czasie przeprowadza trajektorię systemu z dowolnego warunku początkowego do powierzchni ślizgowej, na której ta trajektoria później pozostaje. Dowód tego twierdzenia został przeprowadzony poprzez konstrukcję odpowiedniego funkcjonału Lapunowa. Uzyskane rezultaty porównano z innymi metodami sterowania ślizgowego ze skończonym czasem stabilizacji opisanymi w literaturze.
2. [Skruch et al., 2015] W pracy przedstawiono matematyczne metody weryfikacji mikroprocesorowych regulatorów PID mające na celu wykrycie błędów w systemie i w konsekwencji



Rys. 8: Struktura skryptu testowego

zwiększenie jego niezawodności poprzez zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia awarii. Regulator PID (regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący) jest najbardziej rozpowszechnionym i najczęściej stosowanym typem regulatora w przemyśle. Intensywny rozwój elektroniki i informatyki spowodował, że cyfrowe regulatory PID budowane na bazie mikroprocesora z odpowiednim oprogramowaniem zastąpiły dotychczasowe rozwiązania pneumatyczne, mechaniczne i elektromechaniczne. Zagwarantowanie niezawodności układu elektronicznego z oprogramowaniem polega między innymi na wykrywaniu i usuwaniu błędów, które mogą prowadzić do awarii. W pracy zaproponowano dwa algorytmy weryfikacji mikroprocesorowych regulatorów PID opierające się na tak zwanym podejściu modelowym, to znaczy, matematyczny model systemu jest traktowany jako wzorzec zachowania. Pierwszy z algorytmów dotyczy testów zgodności, zaś drugi – testów negatywnych.

- [Długosz i Skruch, 2015] Praca przedstawia zastosowanie rachunku różniczkowego niecałkowitego rzędu w modelowaniu procesów cieplnych zachodzących w budynkach mieszkalnych. Autorzy proponują dwa modele, których transmitancje zostały wyznaczone przez transformację Laplace'a zastosowaną do równań różniczkowych niecałkowitego rzędu opisujących proces wymiany ciepła zachodzący w określonym pomieszczeniu. Sygnałem wejściowym dla przedstawionych modeli jest temperatura urządzenia grzewczego (kaloryfera) w pomieszczeniu, zaś sygnałem wyjściowym jest temperatura w określonym punkcie pomieszczenia. Praca zawiera opis eksperymentu wykonanego przy wykorzystaniu kamery termowizyjnej, w oparciu o którą została przeprowadzona identyfikacja wszystkich parametrów modeli. Dodatkowo została przeprowadzona analiza porównawcza przebiegów temperaturowych z modeli i rzeczywistego systemu jako weryfikacja zaproponowanego rozwiązania.
- [Skruch i Buchała, 2014] Praca opisuje nowatorskie podejście sygnałowe do testowania i weryfikacji systemów wbudowanych w czasie rzeczywistym na przykładzie branży motoryzacyjnej. Wyniki uzyskane w pracy opierają się na definicji sygnałów będących częścią przypadków testowych w postaci przebiegów ciągłych w czasie. Autorzy podają w jaki sposób można takie przypadki testowe zdefiniować i zaimplementować w środowisku do automatyzacji testów. W oparciu o podaną definicję przypadków testowych można następnie zdefiniować postać komparatora testowego, za pomocą którego jest możliwe automatyczne porównanie oczekiwanych sygnałów ze sygnałami uzyskanymi z testowanego urządzenia. Wykonanie przypadków testowych w czasie rzeczywistym jest możliwe poprzez model jarzma testowego, który można

przygotować w powszechnie używanych środowiskach do modelowania i symulacji komputerowych. Weryfikacja zaproponowanego podejścia została wykonana na rzeczywistych systemach sterujących przeznaczonych dla branży motoryzacyjnej. Rezultaty pracy zostały zaprezentowane przez Autora na Światowym Kongresie Motoryzacyjnym w Detroit w USA.

5. [**Skruch, 2014a**] Praca opisuje kompleksowe podejście oparte na modelach do testowania wbudowanych systemów sterowania. W podejściu tym artefakty związane z procesem testowania są tworzone w oparciu o model matematyczny, a wykonanie przypadków testowych może być realizowane w czasie rzeczywistym. Autor podaje schemat konstrukcji środowiska do automatyzacji testów, opisuje sposób notacji przypadków testowych, implementację komparatora testowego, wskazuje sposoby wyliczania pokrycia testowego oraz generacji przypadków testowych w oparciu o istniejące na rynku narzędzia, podaje sposób realizacji jarzma testowego umożliwiającego wykonanie testów w czasie rzeczywistym. Istotnym elementem tej pracy jest to, że weryfikacja zaproponowanego podejścia została wykonana na przykładzie elektronicznych systemów sterujących dla branży motoryzacyjnej oraz przeznaczonych do produkcji seryjnej. Praca została zaprezentowana na konferencji naukowo-technicznej w Stuttgarcie poświęconej zagadnieniom testowania i weryfikacji elektronicznych systemów wbudowanych dla przemysłu motoryzacyjnego. Autor pracy był jedynym prelegentem z Europy Środkowo-Wschodniej spośród prelegentów z czołowych koncernów motoryzacyjnych, dostawców komponentów elektronicznych dla przemysłu motoryzacyjnego oraz producentów narzędzi wspierających proces tworzenia elektronicznych systemów sterujących.
6. [**Skruch, 2014b**] W pracy przedstawiono ogólny model dynamiki zmian temperatury w pomieszczeniach budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej. Konstrukcja modelu matematycznego opiera się na jednoczesnym wykorzystaniu podstawowych zasad termodynamiki oraz praktycznych metod inżynierskich dotyczących obliczania parametrów cieplnych elementów konstrukcyjnych budynku. Model uwzględnia moc cieplną traconą przez pomieszczenie (ciepło tracone przez przewodnictwo oraz wentylację) oraz moc cieplną dostarczoną do pomieszczenia (ciepło z instalacji grzewczej, promieniowanie słoneczne, wewnętrzne zyski ciepła). Parametry modelu są obliczane z geometrii budynku i na podstawie właściwości termicznych materiałów budowlanych. Dla takiego modelu została zaproponowana powierzchnia ślizgowa oraz sterowanie, które w skończonym czasie przeprowadza trajektorię systemu z dowolnego warunku początkowego do powierzchni ślizgowej, na której ta trajektoria później pozostaje. Dowód tego twierdzenia został przeprowadzony poprzez konstrukcję odpowiednio funkcjonalu Lapunowa. Efektywność zastosowanego rozwiązania została zweryfikowana poprzez symulacje komputerowe.
7. [**Mitkowski i Skruch, 2013**] Praca przedstawia zastosowanie rachunku różniczkowego niecałkowitego rzędu w modelowaniu superkondensatorów. Autorzy proponują dwa zastępcze modele superkondensatora: pierwszy w postaci elektrycznego układu RC, drugi w postaci drabinkowego układu RC. Dynamika zmian napięć na elementach pojemnościowych w modelach zastępczych jest opisywana poprzez równania różniczkowe niecałkowitego rzędu. Praca zawiera opis eksperymentów wykonanych przy wykorzystaniu rzeczywistych superkondensatorów, w oparciu o które została przeprowadzona identyfikacja wszystkich parametrów modeli. Dodatkowo została przeprowadzona analiza porównawcza przebiegów napięciowych z modeli i rzeczywistego układu jako weryfikacja zaproponowanego rozwiązania. Podane zostały również przykłady potencjalnych zastosowań w branży motoryzacyjnej.

8. [Skruch, 2011a] Praca zawiera opis modelu elektroniki samochodowej, który powstał we współpracy z Centrum Technicznym Delphi w Krakowie pod kierunkiem Autora. Model ten może być wykorzystywany jako stanowisko laboratoryjne do badania rozproszonych systemów sterowania w samochodzie zarówno przez studentów kierunków o profilu automatyki i robotyki, elektrycznym, elektronicznym i informatycznym jak i przez pracowników naukowo-dydaktycznych zajmujących się zagadnieniami związanymi z automatyką, elektroniką i informatyką dla branży motoryzacyjnej. Stanowisko laboratoryjne jest wyposażone w rzeczywiste czujniki i elementy wykonawcze oraz kilka centralnych modułów sterujących, które komunikują się ze sobą za pomocą protokołów komunikacyjnych stosowanych w motoryzacji, głównie CAN i LIN. Aktualnie model znajduje się w jednym z laboratorium Katedry Metrologii i Elektroniki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej na Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie.
9. [Skruch, 2011b] Praca zawiera opis konstrukcji stabilizujących dynamicznych sprzężeń zwrotnych dla pewnej klasy nieliniowych systemów dynamicznych. Rozważana klasa systemów jest opisywana przez macierzowo-wektorowe nieliniowe równanie różniczkowe pierwszego rzędu. W pracy pokazano, że poprzez odpowiednią definicję wyjścia systemu zarówno liniowe jak i nieliniowe dynamiczne sprzężenie zwrotne może zapewnić własność asymptotycznej stabilności systemu zamkniętego. Dowody odpowiednich twierdzeń zostały przeprowadzone z wykorzystaniem metody funkcjonałów Lapunowa i zasady LaSalle'a.
10. [Skruch, 2011c] Praca prezentuje metodę obliczania pokrycia testowego dla ciągłych systemów dynamicznych. Naturalnym wyborem wydaje się pomiar pokrycia stanów systemu. W przypadku systemów dynamicznych przestrzeni stanów jest jednak zbiorem o nieskończonej liczbie elementów i zbudowanie przypadków testowych, które przechodzą przez wszystkie stany systemu może okazać się niemożliwe do realizacji. Opisana w pracy metoda polega na podziale przestrzeni stanu na skończoną ilość podzbiorów o odpowiedniej granulacji. Pokrycie testowe dla danego przypadku testowego jest liczone jako odsetek podzbiorów zawierających co najmniej jeden punkt, który należy do przestrzeni stanu układu i który jest częścią trajektorii przynależnej do danego przypadku testowego. Sposób wyliczania pokrycia testowego został pokazany na przykładzie układu kontrolującego poziom paliwa w samochodzie. Należy nadmienić, że rzeczywisty układ kontrolujący poziom paliwa w samochodzie jest częścią stanowiska laboratoryjnego opisanego w pracy (Skruch, 2011a).
11. [Skruch, 2010] Praca opisuje pewną klasę układów dynamicznych, której model matematyczny można przedstawić za pomocą macierzowo-wektorowego nieliniowego równania różniczkowego drugiego rzędu. Dla podanej klasy układów zostały podane sposoby konstrukcji stabilizujących sprzężeń zwrotnych. Autor pokazuje, że pewne typy sprzężeń zwrotnych, które były wykorzystywane do stabilizacji układów liniowych lub do szczególnych przypadków układów nieliniowych można z powodzeniem zastosować do szerszej klasy układów nieliniowych. Wśród zaproponowanych metod stabilizacji są: liniowe dynamiczne sprzężenie zwrotne od zmiennej stanu, liniowe sprzężenie zwrotne od zmiennej stanu i jej pochodnej, nieliniowe dynamiczne sprzężenia zwrotne od zmiennej stanu oraz nieliniowe sprzężenie zwrotne od zmiennej stanu i jej pochodnej. Własność asymptotycznej stabilności zerowego punktu równowagi systemu zamkniętego w sensie Lapunowa została udowodniona w oparciu o metodę funkcjonałów Lapunowa i zasadę LaSalle'a. Weryfikację uzyskanych wyników teoretycznych przeprowadzono na trzech przykładach numerycznych: nieliniowego oscylatora, nieliniowego wahadła oraz nieliniowego modelu ramienia robota.

4 Ogólny przegląd osiągnięć

Tab. 1 przedstawia zestawienie statystyczne osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych oraz osiągnięć w kształceniu kadry uzyskanych przez Autora. Na to zestawienie składają się publikacje, wykonane recenzje, udział w projektach badawczych oraz opieka nad pracami inżynierskimi i magisterskimi. Pełny wykaz prac opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora inżyniera znajduje się w kolejnych rozdziałach. Tab. 2 zawiera informacje o ilości samodzielnych publikacji powstałych po doktoracie.

Tabela 1: Ogólny wykaz osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych oraz w kształceniu kadry

L.p.	Opis osiągnięcia	Przed doktoratem	Po doktoracie
1	Publikacje w czasopismach wyróżnionych przez <i>Journal Citation Reports</i> (Lista Filadelfijska)	0	6
2	Publikacje w innym recenzowanym czasopiśmie krajowym lub zagranicznym	3	16
3	Autorstwo rozdziału w monografii lub podręczniku akademickim	0	11
4	Prace popularno-naukowe	0	4
5	Referaty na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych	10	42
6	Prace indeksowane w bazie <i>Web of Science</i> (stan na dzień 19.01.2016 r.)	0	9
7	Seminaria naukowe	1	5
8	Udział w projektach badawczych polskich i zagranicznych	2	4
9	Recenzje artykułów w czasopismach wyróżnionych przez <i>Journal Citation Reports</i> (Lista Filadelfijska)	0	40
10	Recenzje artykułów w innych czasopismach krajowych lub zagranicznych	0	4
11	Recenzje książek	0	1
12	Recenzje rozdziałów do książek o charakterze monograficznym	0	3
13	Recenzje referatów konferencyjnych	0	6
14	Opieka nad pracami inżynierskimi	0	21
15	Opieka nad pracami magisterskimi	0	19
16	Recenzje prac inżynierskich	0	12
17	Recenzje prac magisterskich	0	6

Tabela 2: Ogólny wykaz samodzielnych publikacji powstałych po uzyskaniu stopnia doktora inżyniera

L.p.	Opis publikacji	Ilość prac	Prace samodzielne (%)
1	Publikacje w czasopismach wyróżnionych przez <i>Journal Citation Reports</i> (Lista Filadelfijska)	6	3 (50 %)
2	Publikacje w innym recenzowanym czasopiśmie krajowym lub zagranicznym	16	5 (31 %)
3	Autorstwo rozdziału w monografii lub podręczniku akademickim	11	5 (45 %)
4	Prace popularno-naukowe	4	4 (100 %)
5	Referaty na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych	42	17 (40 %)

4.1 *Impact Factor* oraz punktacja na podstawie list ministerialnych

W tab. 3 oraz 4 przedstawiono *Impact Factor* (IF) oraz punktację na podstawie list ministerialnych zgodnie z rokiem opublikowania wszystkich publikacji w czasopismach naukowych powstałych po uzyskaniu stopnia doktora inżyniera.

Tabela 3: *Impact Factor* oraz punktacja dla publikacji z Listy Filadelfijskiej

L.p.	Tytuł publikacji, nazwa czasopisma, rok	IF	Punkty	Lista MNiSW
1	<i>A terminal sliding mode control of disturbed nonlinear second-order dynamical systems</i> , Journal of Computational and Nonlinear Dynamics, 2016	1.111	25	A, 2015
2	<i>The application of fractional-order models for thermal-process modelling inside building</i> , Journal of Building Physics, 2015	1.318	35	A, 2015
3	<i>Mathematical methods for verification of microprocessor-based PID controllers for improving their reliability</i> , Eksploatacja i Niezawodność — Maintenance and Reliability, 2015	0.983	20	A, 2015
4	<i>Fractional-order models of the supercapacitors in the form of RC ladder networks</i> , Bulletin of the Polish Academy of Sciences — Technical Sciences, 2013	1.000	25	A, 2013
5	<i>An educational tool for teaching vehicle electronic system architecture</i> , International Journal of Electrical Engineering Education, 2011	0.119	15	A, 2012
6	<i>Feedback stabilization of a class of nonlinear second-order systems</i> , Nonlinear Dynamics, 2010	1.741	32	A, 2010
Łącznie		6.272	152	

Tabela 4: Punktacja pozostałych artykułów w czasopiśmie krajowych i zagranicznych

L.p.	Tytuł publikacji, nazwa czasopisma, rok	Punkty	Lista MNiSW
1	<i>Kluczowe elementy jazdy autonomicznej na przykładzie elektrycznego pojazdu demonstracyjnego EVE</i> , Napędy i Sterowanie, 2015	5	B, 2015
2	<i>Bezprzewodowy system automatyki domowej pracujący w standardzie sieci Z-Wave</i> , Pomiar, Automatyka, Robotyka PAR, 2013	4	B, 2013
3	<i>Application of model-based approach for testing dynamic systems</i> , Automatyka, 2011	4	B, 2012
4	<i>A stabilization method of inhomogeneous ladder networks with nonlinear elements</i> , Archives of Control Sciences, 2011	9	B, 2012
5	<i>Algorytmy sterowania i zarządzania budynkami mieszkalnymi</i> , Pomiar, Automatyka, Robotyka PAR, 2011	5	B, 2012
6	<i>Applications of mathematics in selected control and decision processes</i> , Matematyka Stosowana, 2011	1	B, 2012
7	<i>Stabilization of a class of SISO nonlinear systems by dynamic feedback</i> , Automatyka, 2010	6	B, 2010
8	<i>Dynamic feedback stabilization of nonlinear RC ladder network</i> , Elektryka, 2010	6	B, 2010
9	<i>Metody sterowania w obwodzie elektrycznym Chuy</i> , Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Elektryka, 2010	4	B, 2010
10	<i>Stabilization methods for nonlinear second-order systems</i> , Archives of Control Sciences, 2009	4	2009
11	<i>Optimum design of shapes using the Pontryagin principle of maximum</i> , Automatyka, 2009	4	2009
Łącznie		52	

4.2 Cytowania prac własnych

Liczba cytowań została sprawdzona na podstawie baz *Web of Science*, *Scopus* oraz *Google Scholar*. Wyniki wraz z indeksem Hirscha przedstawione są w tab. 5. Warto też dodać, że wszystkie artykuły Autora z Listy Filadelfijskiej ukazały się w ostatnich pięciu latach. Cytowania, które raportowane są w wyżej wymienionych bazach dotyczą więc stosunkowo krótkiego okresu czasu.

Tabela 5: Wykaz liczby cytowań oraz indeks Hirscha

Baza cytowań	Ilość prac	Liczba cytowań	Indeks Hirscha
<i>Web of Science</i>	9	12	2
<i>Scopus</i>	14	24	2
<i>Google Scholar</i>	41	101	6

5 Wykaz pozostałych publikacji po uzyskaniu stopnia doktora inżyniera

5.1 Artykuły w czasopismach naukowych polskich i zagranicznych

1. **Skruch, P.**, Długosz, M., Cieśla, A.: *Kluczowe elementy jazdy autonomicznej na przykładzie elektrycznego pojazdu demonstracyjnego EVE*. Napędy i Sterowanie, nr 11, s. 70–74, 2015.
2. Długosz, R., Szulc, M., Kolasa, M., **Skruch, P.**, Kogut, K., Markiewicz, P., Orłowski, M., Różewicz, M., Ryszka, A., Sasis, D., Talaśka, T.: *Design and optimization of hardware-efficient filters for active safety algorithms*. SAE International Journal of Passenger Cars – Electronic and Electrical Systems, vol. 8, no. 1, 2015.
3. **Skruch, P.**, Długosz, R., Kogut, K., Markiewicz, P., Sasin, D., Różewicz, M.: *The simulation strategy and its realization in the development process of active safety and advanced driver assistance systems*. SAE Technical Paper 2015-01-1401, 2015.
4. **Skruch, P.**: *A thermal model of the building for the design of temperature control algorithms*. Automatyka, t. 18, z. 1, s. 9–21, 2014.
5. Długosz, M., Chronowski, J., Baranowski, J., Piątek, P., Mitkowski, W., **Skruch, P.**: *Bezprzewodowy system automatyki domowej pracujący w standardzie sieci Z-Wave*. Pomiar, Automatyka, Robotyka PAR, nr 7–8, s. 100–106, 2013.
6. **Skruch, P.**: *Application of model-based approach for testing dynamic systems*. Automatyka, t. 15, z. 1, s. 99–110, 2011.
7. **Skruch, P.**: *A stabilization method of inhomogeneous ladder networks with nonlinear elements*. Archives of Control Sciences, vol. 21, no. 3, pp. 227–243, 2011.
8. Długosz, M., Piątek, P., Baranowski, J., **Skruch, P.**: *Algorytmy sterowania i zarządzania budynkami mieszkalnymi*. Pomiar, Automatyka, Robotyka PAR, nr 12, s. 77–85, 2011.
9. Baranowski, J., Długosz, M., Ganobis, M., **Skruch, P.**, Mitkowski, W.: *Applications of mathematics in selected control and decision processes*. Matematyka Stosowana, t. 12, z. 53, s. 65–90, 2011.
10. **Skruch, P.**: *Stabilization of a class of SISO nonlinear systems by dynamic feedback*. Automatyka, t. 14, z. 2, s. 197–209, 2010.
11. **Skruch, P.**, Baranowski, J., Mitkowski, W.: *Dynamic feedback stabilization of nonlinear RC ladder network*. Elektryka, z. 1(213), s. 119–133, 2010.
12. Długosz, M., Mitkowski, W., **Skruch, P.**: *Metody sterowania w obwodzie elektrycznym Chuy*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Elektryka, z. 3(215), s. 41–57, 2010.
13. **Skruch, P.**: *Stabilization methods for nonlinear second-order systems*. Archives of Control Sciences, vol. 19, no. 4, pp. 205–216, 2009.
14. **Skruch, P.**, Mitkowski, W.: *Optimum design of shapes using the Pontryagin principle of maximum*. Automatyka, t. 13, z. 1, s. 65–78, 2009.

5.2 Rozdziały w książkach i monografiach naukowych

1. Długosz, M., **Skruch, P.**: *Metody sterowania i zarządzania budynkami mieszkalnymi*. W: J. Mikulik (red.), *Inteligentne budynki: nowe możliwości działania*, s. 33–56, Wydawnictwo LIBRON — Filip Lohner, Kraków, 2014.
2. **Skruch, P.**: *A general fractional-order thermal model for buildings and its properties*. In: W. Mitkowski, J. Kacprzyk, J. Baranowski (Eds.), *Advances in the Theory and Applications of Non-integer Order Systems (5th Conference on Non-integer Order Calculus and Its Applications, Cracow, Poland)*, Series: Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 257, pp. 213–220, Springer International Publishing, Switzerland, 2013.
3. **Skruch, P.**, Mitkowski, W.: *Fractional-order models of the ultracapacitors*. In: W. Mitkowski, J. Kacprzyk, J. Baranowski (Eds.), *Advances in the Theory and Applications of Non-integer Order Systems (5th Conference on Non-integer Order Calculus and Its Applications, Cracow, Poland)*, Series: Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 257, pp. 281–293, Springer International Publishing, Switzerland, 2013.
4. **Skruch, P.**: *Mathematical and implementation challenges associated with testing of the dynamical systems*. In: D. Hoember, F. Troeltzsch (Eds.), *System Modeling and Optimization*, pp. 538–546, Springer, Heidelberg, Dodrecht, London, New York, 2013.
5. Baranowski, J., Długosz, M., Ganobis, M., Mitkowski, W., Obrączka, A., **Skruch, P.**: *Modelowanie i sterowanie wybranych procesów energetycznych z wykorzystaniem układów łańcuchowych*. W: K. Malinowski, R. Dindorf (red.), *Postępy automatyki i robotyki, część 2*, s. 211–223, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2011.
6. **Skruch, P.**, Panek, M., Kowalczyk, B.: *Model-based testing in embedded automotive systems*. In: J. Zander-Nowicka, I. Schieferdecker, J. Mostermann (Eds.), *Model-Based Testing for Embedded Systems*, pp. 545–575, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011.
7. **Skruch, P.**, Mitkowski, W.: *Modelling and simulation of the shape optimization problems*. In: G.R. Rey, L.M. Muneta (Eds.), *Modelling, Simulation and Optimization*, pp. 187–208. In-Tech, Olajnica, Croatia, 2010.
8. Mitkowski, W., **Skruch, P.**: *Stabilization results of second-order systems with delayed positive feedback*. In: W. Mitkowski, J. Kacprzyk (Eds.), *Modelling Dynamics in Processes and Systems (Studies in Computational Intelligence)*, vol. 180, pp. 99–108, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009.
9. **Skruch, P.**: *Feedback stabilization of distributed parameter gyroscopic systems*. In: W. Mitkowski, J. Kacprzyk (Eds.), *Modelling Dynamics in Processes and Systems (Studies in Computational Intelligence)*, vol. 180, pp. 85–97, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009.
10. **Skruch, P.**: *Synthesis of optimal control for second-order oscillatory systems*. In: K. Malinowski, L. Rutkowski (Eds.), *Recent Advances in Control and Automation*, pp. 172–179. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warsaw, Poland, 2007.

5.3 Prace popularnonaukowe

1. **Skruch, P.**: *Z lidarem bezpieczniej*. *Autonaprawa*, nr 12, s. 32–33, 2015.
2. **Skruch, P.**: *Samochodowe systemy elektroniczne (cz. III)*. *Autonaprawa*, nr 3, s. 14–16, 2010.

3. **Skruch, P.:** *Samochodowe systemy elektroniczne (cz. II)*. Autonaprawa, nr 1, s. 24–26, 2010.
4. **Skruch, P.:** *Samochodowe systemy elektroniczne (cz. I)*. Autonaprawa, nr 12, s. 14–15, 2009.

5.4 Referaty na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych

Wystąpienia jako główny prelegent

1. **Skruch, P.:** *Key challenges of autonomous driving in urban environments*. Proc. of the DASIP 2015 Conference on Design & Architectures for Signal & Image Processing, 23-25.09.2015, Cracow, Poland.

Pozostałe

2. Długosz, M., Kmiotek, K., **Skruch, P.:** *Bezprzewodowy system sterowania komfortem cieplnym budynku — projekt i realizacja*. Proc. of the 2nd World Conference on Intelligent Building Technology and Multimedia Management IBTMM 2015, Cracow, 05-06.11.2015.
3. **Skruch, P.**, Długosz, M.: *EVE car — demonstrator of active safety and advanced driver assistance technologies towards autonomous driving*. DASIP 2015 Conference on Design & Architectures for Signal & Image Processing, 23-25.09.2015, Cracow, Poland.
4. Komorkiewicz, M., Kryjak, T., Chuchacz-Kowalczyk, K., **Skruch, P.**, Gorgoń, M.: *FPGA based system for real-time structure from motion computations*. Proc. of the DASIP 2015 Conference on Design & Architectures for Signal & Image Processing, 23-25.09.2015, Cracow, Poland.
5. **Skruch, P.:** *Technologie aktywnego bezpieczeństwa na drodze do autonomiczności pojazdów*. XXV Ogólnopolski Zjazd Dziekanów Wydziałów Elektrycznych, Elektroniki, Telekomunikacji, Automatyki i Robotyki oraz Informatyki, 29.05.2015 r., Szczyrk, Polska.
6. **Skruch, P.**, Długosz, M.: *Zagadnienia sterowania w pojazdach autonomicznych*. II Konferencja "Motoryzacja — Nauka — Przemysł", 26.11.2014 r., Warszawa, Polska.
7. **Skruch, P.**, Buchała, G.: *Model-based real-time testing of embedded automotive systems*. SAE 2014 World Congress, 08-10.04.2014, Cobo Center, Detroit, Michigan, USA.
8. **Skruch, P.**, Długosz, M.: *A thermal model for the design of temperature control algorithms in multi-storey buildings*. Proc. of the 1st World Multi-Conference on Intelligent Building Technologies & Multimedia Management — 7th Congress on Intelligent Building Systems InBuS 2013, 16-18.10.2013, Cracow, Polska.
9. **Skruch, P.:** *Współpraca pomiędzy uczelniami wyższymi i branżą motoryzacyjną w ramach procesu projektowania nowoczesnej wbudowanej elektroniki samochodowej — doświadczenia Centrum Technicznego Delphi w Krakowie*. Materiały konferencyjne IX Forum Wymiany Doświadczeń Branży Motoryzacyjnej, 10-11.10.2013 r., s. 44-57, Ustroń, Polska.
10. Długosz, M., **Skruch, P.:** *A model-based approach for embedded fractional-order PID controllers*. Proc. of the 26th IFIP TC 7 Conference on System Modeling and Optimization (Programme and Abstract), 08-13.09.2013, p. 99, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Austria.
11. **Skruch, P.**, Długosz, M.: *Fractional-order models of the temperature dynamics in a room with radiant heating devices*. Proc. of the 26th IFIP TC 7 Conference on System Modeling and Optimization (Programme and Abstract), 08-13.09.2013, p. 99, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Austria.

12. **Skruch, P.:** *Terminal sliding mode controller for a disturbed nonlinear RLC circuit.* Proc. of the 36th International Conference on Fundamentals of Electrotechnics and Circuit Theory, IC-SPETO 2013, 22-25.05.2013, Gliwice—Ustroń, Poland, pp. 81–82, 2013.
13. Kaźmierski, M., Kowalski, M., Rosa, M., **Skruch, P.**, Żołopa, K.: *Model-based testing techniques for fractional-order control systems.* Proc. of the 5th Conference on Non-integer Order Calculus and its Applications, Book of abstract, 04-05.07.2013, Cracow, Poland, p. 26, 2013.
14. **Skruch, P.:** *A general fractional-order thermal model for buildings and its properties.* Proc. of the 5th Conference on Non-integer Order Calculus and its Applications, Book of abstract, 04-05.07.2013, Cracow, Poland, p. 15, 2013.
15. **Skruch, P.**, Mitkowski, W.: *Fractional-order of the ultracapacitors.* Proc. of the 5th Conference on Non-integer Order Calculus and its Applications, Book of abstract, 04-05.07.2013, Cracow, Poland, p. 20, 2013.
16. **Skruch, P.:** *Innowacyjność w motoryzacji — wkład młodego pokolenia w rozwój nowoczesnej elektroniki.* Konferencja "Młoda przedsiębiorczość — nowe pokolenie w biznesie", Kraków, 05.06.2013 r., Międzynarodowe Centrum Kultury, Rynek Główny 25.
17. **Skruch, P.:** *Measurement of current-voltage characteristics of vehicle batteries under operating conditions.* Proc. of the 35th International Conference on Fundamentals of Electrotechnics and Circuit Theory, IC-SPETO 2012, 23-26.05.2012, Gliwice—Ustroń, Poland, pp. 57–58, 2012.
18. Baranowski, J., Piątek, P., Długosz, M., Mitkowski, W., **Skruch, P.:** *Zagadnienia rachunku niecałkowitego rzędu w problemach sterowania budynków mieszkalnych.* Materiały XIV Sympozjum "Podstawowe problemy energoelektroniki, elektromechaniki i mechatroniki", PPEEm 2011, 09-12.12.2011 r., Wisła, Polska, s. 145–148, 2011.
19. Długosz, M., Mitkowski, W., Baranowski, J., Piątek, P., **Skruch, P.:** *Układy obwodowe w modelowaniu procesów cieplnych budynków.* Materiały XIV Sympozjum "Podstawowe problemy energoelektroniki, elektromechaniki i mechatroniki", PPEEm 2011, 09-12.12.2011 r., Wisła, Polska, s. 149–152, 2011.
20. **Skruch, P.:** *Mathematical and implementation challenges associated with testing of dynamical systems.* Proc. of the 25th IFIP TC 7 Conference on System Modeling and Optimization (book of abstract), 12-16.09.2011, p. 149, Berlin, Germany.
21. Baranowski, J., Długosz, M., Ganobis, M., Mitkowski, W., Obrączka, A., **Skruch, P.:** *Modelowanie i sterowanie wybranych procesów energetycznych z wykorzystaniem układów łańcuchowych.* Materiały XVII Krajowej Konferencji Automatyki — KKA'2011, Kielce — Cezdyna, 19-22.06.2011 r., s. 169–170 (streszczenia referatów — wersja drukowana), s. 794–805 (wersja elektroniczna), 2011.
22. **Skruch, P.:** *Stabilization of a class of MIMO nonlinear systems by dynamic feedback.* Materiały XVII Krajowej Konferencji Automatyki — KKA'2011, Kielce — Cezdyna, 19-22.06.2011, s. 127–128 (streszczenia referatów — wersja drukowana), s. 567–577 (wersja elektroniczna), 2011.
23. **Skruch, P.:** *Feedback stabilization of inhomogeneous electric ladder networks with nonlinear elements.* Proc. of the 34th International Conference on Fundamentals of Electrotechnics and Circuit Theory, IC-SPETO 2011, 18-21.05.2011, Gliwice — Ustroń, Poland, pp. 99–100, 2011.

24. **Skruch, P.:** *A coverage metric for the verification of discrete-time dynamic systems.* Proc. of the XII International PhD Workshop OWD 2010, 23-26.10.2010, Wisła, Poland, pp. 43–46, 2010.
25. **Skruch, P.,** Mitkowski, W.: *Stabilization of nonlinear RLC circuits with nonlinear characteristic of a voltage source device.* Proc. of the 33th International Conference on Fundamentals of Electrotechnics and Circuit Theory, IC-SPETO 2010, 26-29.05.2010, Gliwice — Ustroń, Poland, pp. 55–56, 2010.
26. Długosz, M., Mitkowski, W., **Skruch, P.:** *Metody sterowania w obwodzie elektrycznym Chuy.* Materiały XIII Sympozjum "Podstawowe problemy energoelektroniki, elektromechaniki i mechatroniki", PPEEm 2009, 14-17.12.2009 r., Wisła, Polska, s. 107–113, 2009.
27. **Skruch, P.,** Baranowski J.: *State-of-charge estimation in a car battery - problems and possible solutions.* Proc. of the XIII Symposium "Fundamental problems of power electronics electromechanics and mechatronics", PPEEm 2009, 14-17.12.2009, Wisła, Poland, pp. 101–106, 2009.
28. **Skruch, P.,** Długosz, M.: *Metody sterowania szeregowym silnikiem prądu stałego jako obiektem nieliniowym.* Materiały XIII Sympozjum "Podstawowe problemy energoelektroniki, elektromechaniki i mechatroniki", PPEEm 2009, 14-17.12.2009 r., Wisła, Polska, s. 16–21, 2009.
29. **Skruch, P.,** Baranowski, J., Mitkowski, W.: *Dynamic feedback stabilization of nonlinear RC ladder network.* Proc. of the XIII Symposium "Fundamental problems of power electronics electromechanics and mechatronics", PPEEm 2009, 14-17.12.2009, Wisła, Poland, pp. 136–141, 2009.
30. **Skruch, P.,** Baranowski, J.: *Determination of battery parameters during vehicle drive cycle.* Proc. of the 7th Conference on Computer Methods and Systems, 26-27.11.2009, Cracow, Poland, pp. 277–282, 2009.
31. **Skruch, P.:** *Stabilization of nonlinear RLC ladder network.* Proc. of the 7th Conference on Computer Methods and Systems, 26-27.11.2009, Cracow, Poland, pp. 259–264, 2009.
32. **Skruch, P.:** *Control problems in battery management systems for automotive applications.* Proc. of the XI International PhD Workshop OWD 2009, 17-20.10.2009, Wisła, Poland, pp. 138–141, 2009.
33. **Skruch, P.:** *Wprowadzenie do testowania układów automatyki.* Materiały konferencyjne XI Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD 2009, 17-20.10.2009 r., Wisła, Polska, s. 132–137, 2009.
34. Baranowski, J., Długosz, M., Ganobis, M., **Skruch, P.,** Mitkowski, W.: *Systemy dynamiczne w układach elektrycznych.* Materiały konferencji zorganizowanej z okazji Jubileuszu 90-lecia AGH "Kierunki działalności i współpraca naukowa Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki", Kraków, Polska, 28-29.05.2009 r., s. 45–46, 2009.
35. **Skruch, P.,** Gutmajer, G.: *Nowoczesne projektowanie wbudowanej elektroniki dla samochodowych systemów elektromechanicznych.* Materiały konferencji zorganizowanej z okazji Jubileuszu 90-lecia AGH "Kierunki działalności i współpraca naukowa Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki", Kraków, Polska, 28-29.05.2009 r., s. 9–12, 2009.
36. Baranowski, J., Mitkowski, W., **Skruch, P.:** *Stability regions of time delay controller for LC ladder network.* Proc. of the 32th International Conference on Fundamentals of Electrotechnics

- and Circuit Theory, IC-SPETO 2009, 20-23.05.2009, Gliwice — Ustroń, Poland, pp. 103–104, 2009.
37. **Skruch, P.**, Baranowski, J.: *Nonlinear feedback control of a nonlinear RLC circuit*. Proc. of the 32th International Conference on Fundamentals of Electrotechnics and Circuit Theory, IC-SPETO 2009, 20-23.05.2009, Gliwice — Ustroń, Poland, pp. 77–78, 2009.
 38. **Skruch, P.**, Baranowski, J.: *Linear feedback control of a nonlinear RLC circuit*. Proc. of the 32th International Conference on Fundamentals of Electrotechnics and Circuit Theory, IC-SPETO 2009, 20-23.05.2009, Gliwice — Ustroń, Poland, pp. 75–76, 2009.
 39. **Skruch, P.**: *Przegląd zagadnień związanych z testowaniem i jakością systemów wbudowanych dla branży motoryzacyjnej*. V Konferencja Jakości Systemów Informatycznych, 28-29.05.2008 r., Jachranka k. Warszawy, Polska, 2008.
 40. Mitkowski, W., **Skruch, P.**: *Shape optimization and the Pontryagin maximum principle*. Proc. of the 23rd IFIP TC 7 Conference on System Modelling and Optimization, Book of abstracts, 23-27.06.2007, Cracow, Poland, pp. 82–83, 2007.

6 Udział w projektach krajowych i zagranicznych

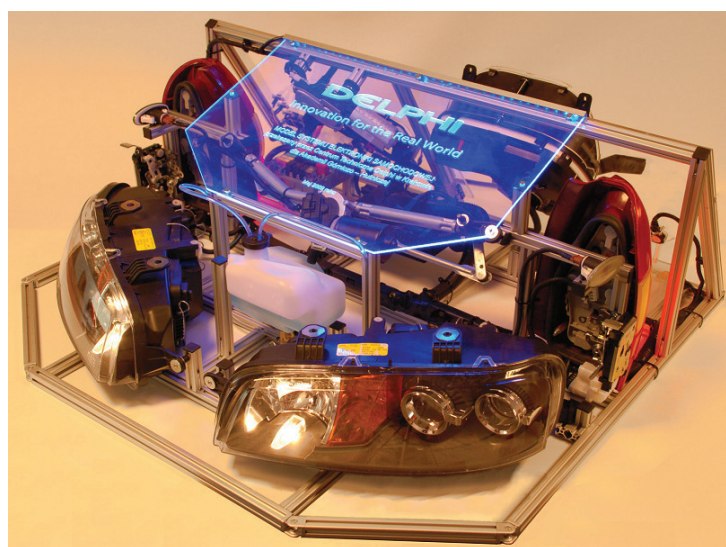
- Udział w grantie Narodowego Centrum Nauki nr N N514 644440 "Algorytmy sterowania i zarządzania budynkami mieszkalnymi", 04.04.2011 — 03.04.2014 (kierownik projektu dr inż. Marek Antoni Długosz).
- Udział w projekcie "Utworzenie nowej specjalności Studiów Doktoranckich w Dyscyplinie Informatyka, na Wydziale AEiI Politechniki Śląskiej: Eksploracja Danych (Data Mining)", akronim: EkDan, 01.10.2009 — 31.12.2013. Projekt EkDan finansowany był ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, nr umowy o dofinansowanie projektu: UDA-POKL.04.01.01-00-106/09 (kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Stanisław Kozielski).
- Udział w grantie KBN nr N N514 414034 — projekt badawczy "Zastosowanie i analiza sterowanych układów dynamicznych", decyzja Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 4140/B/T02/2008/34 z dnia 26.02.2008 r. (kierownik projektu prof. dr hab. inż. Wojciech Mitkowski), 2008–2011.
- Udział w projekcie "E2M Environmental Engineering and Management — Establishment of a Master Programme at the National University of Lao", partnerzy programu: University of Siegen, Germany, Water Resources University of Vietnam, Hanoi, Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Tajlandia, 21.04.2008–09.05.2008.

7 Oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne

Poniższa lista zawiera wykaz oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych, które zostały zrealizowane przez Autora lub przez zespół projektowy, którym Autor kierował. W nawiasach okrągłych podane zostały okresy czasu, w których dane osiągnięcie było realizowane.

- **Model elektroniki samochodowej (2008–2009)**

Model elektroniki samochodowej powstał we współpracy z Centrum Technicznym Delphi w Krakowie. Projekt i wykonanie modelu zostało zrealizowane przez zespół projektowy, którym kierował Autor. Szczegółowy opis funkcjonalny modelu, którego finalną wersję prezentuje rys. 9, został zawarty w pracy (Skruch, 2011a). Dodatkowo, w trakcie realizacji projektu powstała praca magisterska pt. "Stanowisko laboratoryjne do diagnozowania układów elektronicznych w pojazdach samochodowych pracujących w standardzie magistrali CAN". Praca została przygotowana i obroniona przez studenta Mariusza Smędra, zaś Autor był opiekunem tej pracy. Aktualnie model znajduje się w jednym z laboratorium Katedry Metrologii i Elektroniki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej na Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. Model elektroniki samochodowej może być wykorzystywany jako stanowisko laboratoryjne do badania rozproszonych systemów sterowania w samochodzie. Powstał on z myślą o studentach kierunków: automatyka i robotyka, elektrotechnika, elektronika i informatyka. Model może być także wykorzystany przez pracowników naukowo-dydaktycznych specjalizujących się w zagadnieniach związanych z automatyką, elektroniką i informatyką w branży motoryzacyjnej.

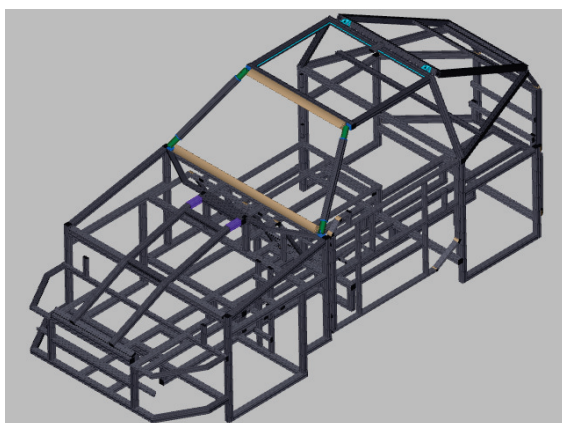


Rys. 9: Model elektroniki samochodowej

- **Model 1:1 systemu elektroniki samochodowej (2010–2014)**

Model 1:1 systemu elektroniki samochodowej zawiera kompletną wiązkę elektryczną jaka jest obecnie montowana w wersjach samochodów produkowanych seryjnie. Wiązka elektryczna jest rozmieszczona na kratownicy w kształcie samochodu w skali 1:1. Do wiązki elektrycznej są podpięte rzeczywiste czujniki i elementy wykonawcze oraz centralne jednostki sterujące. Model ilustruje architekturę elektryczno-elektroniczną współczesnego samochodu, która jest przykładem rozproszonego systemu sterowania. Architektura współczesnego samochodu składa się z szeregu układów mikroprocesorowych działających w czasie rzeczywistym. Układy

te współpracują i komunikują się ze sobą w ściśle określony i kontrolowany sposób. Średniej klasy samochód posiada około 30 różnych systemów mikroprocesorowych. W samochodach wyższej klasy liczba ta może dochodzić nawet do 100. Model stanowi wyposażenie laboratorium pojazdów autonomicznych, które jest aktualnie tworzone w Katedrze Automatyki i Inżynierii Biomedycznej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej na Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. Rys. 10 i 11 przedstawiają wersję prototypową modelu.



Rys. 10: Mechaniczna kratownica modelu



Rys. 11: Prototyp modelu 1:1 systemu elektronicznego samochodu

- **Laboratorium pojazdów autonomicznych (2014)**

Autor razem z dr. inż. Markiem Długoszem są inicjatorami utworzenia laboratorium pojazdów autonomicznych. Decyzja o utworzeniu takiego laboratorium na AGH we współpracy z firmą Delphi zapadła w dn. 04.06.2014 r. podczas spotkania Prorektora prof. Tomasza Szmucha z przedstawicielami firmy Delphi. Umowa o współpracy w obszarze wyposażenia tego laboratorium oraz badań prowadzonych w tym laboratorium została podpisana w grudniu 2014 r. przez Kierownika Katedry Automatyki i Inżynierii Biomedycznej prof. dr. hab. inż. Ryszarda Tadeusiewicza oraz Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej dr. hab. inż. Antoniego Cieślę. W laboratorium będą prowadzone prace naukowo-badawcze nad algorytmami sterowania w pojazdach autonomicznych, będą budowane prototypy pojazdów autonomicznych oraz będą prowadzone zajęcia dydaktyczne w obszarze teorii sterowania. Plany dotyczące laboratorium pojazdów autonomicznych zostały zaprezentowane na II Konferencji "Motoryzacja — Nauka — Przemysł", która odbyła się 26.11.2014 r. w Warszawie w siedzibie Ministerstwa Gospodarki. Konferencja jest kontynuacją konferencji z dnia 10.12.2013 r. i zawartego w dniu 22.05.2014 r. w Warszawie porozumienia INNOMOTO, a jej głównym celem jest stworzenie platformy współpracy dla branży motoryzacyjnej i środowisk badawczo-rozwojowych, która poprawi konkurencyjność polskiego przemysłu.

8 Seminaria

1. Długosz, M., **Skruch, P.**: *Autonomiczny pojazd elektryczny — demonstracja*. Seminarium naukowe Katedry Automatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH, 02.07.2015 r., Kraków, Polska.
2. Długosz, M., **Skruch, P.**: *Zagadnienia sterowania w pojazdach autonomicznych*. Seminarium naukowe Katedry Automatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH, 30.04.2015 r., Kraków, Polska.
3. **Skruch, P.**: *Zagadnienia sterowania w pojazdach autonomicznych*. Seminarium naukowe Zakładu Sterowania Politechniki Warszawskiej, 31.03.2015 r., Warszawa, Polska.
4. **Skruch, P.**, Kowalczyk, B.: *Building active safety R&D capabilities in Delphi Technical Center Krakow*. Seminarium naukowe w ramach projektu "Utworzenie nowej specjalności Studiów Doktoranckich w Dyscyplinie Informatyka, na Wydziale AEiI Politechniki Śląskiej: Eksploatacja Danych (Data Mining), akronim: EkDan", 14-16.05.2014 r., Wisła, Polska.
5. **Skruch, P.**: *Modelowania matematyczne i symulacja komputerowa w środowisku MATLAB*. Seminarium Zastosowań Matematyki Oddziału Krakowskiego PTM, 01.04.2008 r., Kraków, Polska.

9 Recenzje

Poniższe rozdziały zawierają informacje o liczbie recenzji wykonanych przez Autora po uzyskaniu stopnia doktora inżyniera. Sposób prezentacji tych informacji jest następujący:

$$NAME : YYYY_1 (NN_1), YYYY_2 (NN_2), \dots, YYYY_n (NN_n)$$

gdzie $NAME$ oznacza nazwę czasopisma, tytuł książki lub nazwę konferencji, dla których były wykonywane recenzje, NN_i oznacza ilość wykonanych recenzji w danym roku $YYYY_i$ dla $NAME$, $i = 1, 2, \dots, n$.

9.1 Recenzje artykułów w czasopismach

- Applied Mathematics and Computations: 2015 (5), 2014 (1), 2013 (1)
- Applied Mathematics Letters: 2007 (1)
- Automatyka: 2012 (1), 2011 (1)
- Complexity: 2015 (2)
- Computers and Mathematics with Applications: 2012 (1)
- IEEE Transactions on Automatic Control: 2011 (1), 2010 (1)
- IEEE Transactions on Education: 2012 (1)
- International Journal of Applied Mathematics and Computer Science: 2015 (1), 2014 (1), 2011 (3), 2007 (1)
- Mathematics and Computers in Simulation: 2015 (1), 2013 (1), 2012 (2), 2010 (1), 2009 (5)
- Nonlinear Dynamics: 2015 (2), 2014 (3), 2013 (3), 2011 (2)
- SAE Technical Papers: 2015 (1), 2014 (1)

9.2 Recenzje książek

- Zander, J., Mosterman, P. J. (Eds.): *Computation for Humanity — Information Technology to Advance Society*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2013 (<http://www.crcpress.com/product/isbn/9781439883273>): 2012 (1)

9.3 Recenzje rozdziałów do książek o charakterze monograficznym

- Hoember, D., Troeltzsch, F. (Eds.): *System Modeling and Optimizaton*. Springer, Heidelberg, Dodrecht, London, New York, 2013: 2012 (1)
- Zander, J., Mosterman, P. J. (Eds.): *Computation for Humanity — Information Technology to Advance Society*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2013: 2012 (1)
- Zander-Nowicka, J., Schieferdecker, I., Mosterman, P. J. (Eds.): *Model-Based Testing for Embedded Systems*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011: 2009 (1)

9.4 Recenzje referatów konferencyjnych

- V Konferencja Naukowa Rachunek Różniczkowy Niecałkowitego Rzędu i Jego Zastosowania, 4-5.07.2013 r., Kraków, Polska: 2013 (2)
- 7th Conference on Computer Methods and Systems, 26-27.11.2009, Cracow, Poland: 2009 (2)
- 16th Mediterranean Conference on Control and Automation, 25-27.06.2008, Ajaccio, France: 2008 (2)

10 Działalność dydaktyczna

Doświadczenie dydaktyczne Autora obejmuje okres ponad 8 lat, czyli cały okres jego pracy zawodowej na uczelni wyższej. Działalność dydaktyczna w tym okresie to prowadzenie wykładów (240 h), ćwiczeń laboratoryjnych i projektowych (1920 h), opieka nad pracami inżynierskimi (21 prac) oraz magisterskimi (19 prac) oraz ich recenzowanie (18 prac).

10.1 Wykłady

Poniższe zestawienie zawiera informacje o nazwie przedmiotu, ilości godzin wykładowych, roku akademickim i semestrze, w których był prowadzony wykład, wydziale i kierunku studiów, rodzaju studiów i ilości studentów uczestniczących w wykładach.

- Automatyka pojazdowa (28 h) — 2015/2016, semestr letni, Wydział EAIiB, kierunek Automatyka i Robotyka, studia stacjonarne (razem z dr. inż. Markiem Długoszem).
- Metody optymalizacji (16 h) — 2013/2014, semestr letni, Wydział EAIiB, kierunek Automatyka i Robotyka, studia niestacjonarne (23 studentów).
- Metody optymalizacji (16 h) — 2012/2013, semestr letni, Wydział EAIiB, kierunek Automatyka i Robotyka, studia niestacjonarne (16 studentów).
- Informatyka i elektronika w motoryzacji (30 h) — 2010/2011, semestr zimowy, Wydział EAIiE, kierunek Automatyka i Robotyka, studia stacjonarne (51 studentów).
- Informatyka i elektronika w motoryzacji (30 h) — 2009/2010, semestr zimowy, Wydział EAIiE, kierunek Automatyka i Robotyka, studia stacjonarne (59 studentów) oraz kierunek Elektronika i Telekomunikacja, studia stacjonarne (61 studentów).
- Informatyka i elektronika w motoryzacji (30 h) — 2008/2009, semestr zimowy, Wydział EAIiE, kierunek Automatyka i Robotyka, studia stacjonarne (40 studentów) oraz kierunek Elektronika i Telekomunikacja (46 studentów).
- Modelling and Simulation (120 h) — 21.04.2008 – 09.05.2008, National University of Laos, Vientiane, Laos, wykład w języku angielskim (20 studentów).

10.2 Ćwiczenia laboratoryjne

Ćwiczenia laboratoryjne były prowadzone w latach 2007–2015 na dwóch kierunkach studiów stacjonarnych: Automatyce i Robotyce oraz Informatyce Stosowanej, najpierw na Wydziale EAIiE, a później Wydziale EAIiB. Poniższe zestawienie zawiera informacje o nazwie przedmiotu, ilość godzin laboratoryjnych, ilości studentów uczestniczących w ćwiczeniach, kierunku i roku studiów.

Rok akademicki 2014/2015

- Teoria optymalizacji (30 h, 12 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok, I. stopień.
- Podstawy automatyki (60 h, 25 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok, I. stopień.
- Teoria sterowania (30 h, 15 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok, I. stopień.
- Teoria sterowania (120 h, 77 studentów) — Automatyka i Robotyka, I rok, II. stopień.

Rok akademicki 2013/2014

- Metody optymalizacji (150 h, 74 studentów) — Informatyka Stosowana, III rok, I. stopień.
- Podstawy automatyki (30 h, 13 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok, I. stopień.

- Teoria sterowania (30 h, 14 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok, I. stopień.
- Teoria sterowania (30 h, 10 studentów) — Automatyka i Robotyka, I rok, II. stopień.

Rok akademicki 2012/2013

- Systemy dynamiczne (60 h, 51 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Metody optymalizacji (120 h, 50 studentów) — Informatyka Stosowana, III rok.
- Podstawy sterowania (30 h, 11 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Teoria sterowania (30 h, 8 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.

Rok akademicki 2011/2012

- Systemy dynamiczne (60 h, 58 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Metody optymalizacji (120 h, 45 studentów) — Informatyka Stosowana, III rok.
- Podstawy sterowania (30 h, 16 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Teoria sterowania (30 h, 12 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.

Rok akademicki 2010/2011

- Systemy dynamiczne (60 h, 59 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Metody optymalizacji (120 h, 50 studentów) — Informatyka Stosowana, III rok.
- Podstawy sterowania (30 h, 15 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Teoria sterowania (30 h, 7 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.

Rok akademicki 2009/2010

- Systemy dynamiczne (60 h, 47 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Modelowanie systemów dynamicznych (60 h, 49 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.
- Metody optymalizacji (30 h, 13 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.
- Podstawy sterowania (30 h, 11 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Teoria sterowania (30 h, 10 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.
- Metody optymalizacji (30 h, 12 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.

Rok akademicki 2008/2009

- Systemy dynamiczne (60 h, 45 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Modelowanie systemów dynamicznych (60 h, 46 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.
- Metody optymalizacji (30 h, 11 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.
- Podstawy sterowania (60 h, 18 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Teoria sterowania (30 h, 9 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.

Rok akademicki 2007/2008

- Systemy dynamiczne (60 h, 41 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.

- Modelowanie systemów dynamicznych (60 h, 59 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.
- Metody optymalizacji (30 h, 11 studentów) — Automatyka i Robotyka, IV rok.
- Podstawy sterowania (60 h, 33 studentów) — Informatyka Stosowana, II rok.
- Teoria sterowania (30 h, 12 studentów) — Automatyka i Robotyka, III rok.

10.3 Prowadzone prace inżynierskie

1. Charymski, S.: *System autonomicznej nawigacji i sterowania dla demonstracyjnego pojazdu elektrycznego EVE*. 2016.
2. Ryszka, A.: *Implementacja podejścia sygnałowego do automatyzacji procesu weryfikacji systemów wbudowanych w czasie rzeczywistym*. 2015.
3. Witalec, A.: *Podejście sygnałowe w zautomatyzowanym procesie testowania i weryfikacji systemów wbudowanych w środowisku MATLAB/Simulink i AutomationDesk na przykładzie branży motoryzacyjnej*. 2015.
4. Kaim, K.: *Elektroniczny kontroler lotu dla platformy latającej typu quadcopter*. 2015.
5. Putlak, E.: *Aplikacja do rozpoznawania gestów wykonywanych rękami w systemie komputerowym wyposażonym w kamerę internetową*. 2015.
6. Sobota, Ł.: *Implementacja sterowania aplikacją komputerową za pomocą gestów wykonywanych rękami*. 2015.
7. Kasproicz, M.: *Implementacja i symulacje komputerowe modelu adaptacyjnego tempomatu w środowisku MATLAB/Simulink*. 2015.
8. Wis, M.: *Aplikacja mobilna pozwalająca na bezprzewodową kontrolę i sterowanie instalacjami w inteligentnych budynkach*. 2013.
9. Kmiotek, K.: *Mikroprocesorowy przełącznik do zdalnego sterowania oświetleniem za pomocą standardu ZigBee*. 2013.
10. Krajewski, F., Zawadzki, J.: *Model sterownika dla systemu elektronicznego wspomaganie parkowania*. 2012.
11. Tarnawski, J.: *Model sterowania zintegrowanym systemem HVAC w inteligentnych budynkach komercyjnych i użyteczności publicznej*. 2012.
12. Holeksa, M., Szumny, P.: *Model zintegrowanego układu sterowania dla nowoczesnych systemów urządzeń i instalacji w budynkach*. 2012.
13. Dziuba, M.: *Model układu sterującego centrum obróbczym elementów meblarskich*. 2012.
14. Krawczyński, M.: *Projekt wizualizacji 2D inteligentnego budynku*. 2011.
15. Wroński, M.: *Model układu sterującego pracą centralnego zamka w samochodzie*. 2011.
16. Osuch, J.: *Model układu sterowania ogrzewaniem w inteligentnych budynkach*. 2011.
17. Niemiec, L.: *Model układu sterowania oświetleniem w inteligentnych budynkach*. 2011.
18. Nykun, P.: *Model układu kontrolującego poziom paliwa w samochodzie*. 2011.

19. Mickiewicz, K.: *Model układu sterującego światłami samochodu*. 2011.
20. Czapla, K.: *Model układu sterującego pracą wycieraczek i spryskiwaczy szyb samochodowych*. 2011.
21. Makuch, G.: *Model drogowej sygnalizacji świetlnej*. 2011.

10.4 Prowadzone prace magisterskie

1. Kmiotek, K.: *System mikroprocesorowy do zdalnego sterowania komfortem cieplnym w inteligentnych budynkach*. Obrona 22.09.2015 r.
2. Szymański, T.: *Optymalizacja automatycznej generacji kodu dla systemów wbudowanych w przemyśle motoryzacyjnym*. Obrona 14.10.2013 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
3. Betlejewski, Ł.: *Zastosowanie interfejsu CANoe/MATLAB do analizy i symulacji samochodowych układów elektronicznych podłączonych do magistrali CAN*. Obrona 26.10.2012 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi)
4. Kwintal, J.: *Narzędzie do generowania błędów na magistrali LIN*. Obrona 22.10.2012 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi)
5. Fiołek, R.: *Wielofunkcyjny komputer pokładowy dla samochodów wyposażonych w magistralę CAN*. Obrona 14.11.2011 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi)
6. Wilgocki, K.: *Narzędzie do śledzenia danych oparte o technologię FPGA*. Obrona 25.03.2011 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
7. Maciejko, D.: *Sterowanie zestawem przekaźników za pomocą USB*. Obrona 01.03.2011 r.
8. Mrówczyński, M.: *Symulacja samochodowych urządzeń elektronicznych na magistrali CAN*. Obrona 01.03.2011 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
9. Mazur, B., Lewkowicz, P.: *Rejestrator prądu i napięcia dla akumulatora samochodowego*. Obrona 06.12.2010 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
10. Marszał, M.: *Oprogramowanie do porównywania i analizy plików dbc*. Obrona 06.12.2010 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
11. Jędruch, M.: *Integracja magistrali CAN z siecią Internet*. Obrona 06.12.2010 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
12. Kurasz, M.: *Projekt, wykonanie oraz uruchomienie sterowania PLC oraz panelu dotykowego dla wtryskarki FM-250*. Obrona 01.12.2010 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Trelleborg Bielsko-Biała).
13. Prokopowicz, K.: *Urządzenie do bezprzewodowej diagnostyki samochodowej w oparciu o technologię Bluetooth*. Obrona 23.11.2010 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
14. Natunewicz, M.: *Czarna skrzynka samochodowa wykorzystująca złącze OBD-II*. Obrona 16.09.2010 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
15. Wójtowicz, P.: *Oprogramowanie do porównywania i analizy plików ldf*. Obrona 16.03.2010 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).

16. Smeđra, M.: *Stanowisko laboratoryjne do diagnozowania układów elektronicznych w pojazdach samochodowych pracujących w standardzie magistrali CAN*. Obrona 02.12.2009 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
17. Demianowski, A., Kowalczyk, K.: *Implementacja metody Hardware-in-the-Loop z wykorzystaniem pakietu MATLAB/Simulink do testowania systemów wbudowanych*. Obrona 22.09.2009 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
18. Kmiec, M.: *Rejestrator transmisji LIN wraz z aplikacją PC przystosowany do pracy w samochodzie*. Obrona 14.07.2009 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).
19. Kaczmarczyk, A., Mendera, M.: *Implementacja algorytmów generowania przypadków testowych z modeli MATLAB/Simulink/Stateflow*. Obrona 14.07.2009 r. (praca realizowana we współpracy z firmą Delphi).

10.5 Recenzje prac inżynierskich

1. Mrówka, S.: *Projekt i wykonanie systemu do ładowania akumulatorów pojazdu elektrycznego EVE wykorzystując stacje ładowania samochodów elektrycznych*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2016.
2. Świderek, P.: *Model kinematyki odwrotnej pojazdu demonstracyjnego EVE*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2016.
3. Banaszkiwicz, P.: *Wylącznik awaryjny pojazdu autonomicznego*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2016.
4. Kluska, Ł.: *Bezprzewodowy system pomiaru wykorzystania energii elektrycznej*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2015.
5. Gębka, K.: *Niestandardowe metody identyfikacji użytkowników wykorzystywane w systemach informatycznych*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2014.
6. Sączawa, P.: *System autoryzacji użytkowników na podstawie rozpoznawania twarzy*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2014.
7. Chronowski, J.: *Projekt i budowa węzła końcowego w sieci ZigBee*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2014.
8. Dadel, K.: *Projekt i wykonanie systemu do zarządzania budynkiem inteligentnym*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2014.
9. Krupa, A.: *Modele matematyczne dla układów z opóźnieniem*. Opiekun pracy dr inż. J. Duda, 2013.
10. Gabiga, R.: *Wykorzystanie układów GPU do przyspieszenia obliczeń w pakiecie MATLAB*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2012.
11. Baran, M.: *Implementacja algorytmu kompresji fraktalnej na procesor kart graficznych NVIDIA*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2012.
12. Gwiazda, P., Wójtowicz, Ł.: *Porównanie regulatorów PID, LQ oraz rozmytych przy sterowaniu silnikami prądu stałego*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, 2012.

10.6 Recenzje prac magisterskich

1. Wicijowski, P.: *Implementacja algorytmów identyfikacji biernej na platformie PLC*. Opiekun pracy dr hab. inż. K. Oprzędkiewicz, obrona 08.07.2013 r.
2. Pijanowski, P.: *Modelowanie zużycia energii w typowym budynku mieszkalnym*. Opiekun pracy dr inż. M. Długosz, obrona 05.07.2011 r.
3. Pałkowski, G.: *Odporny regulator PID dla obiektu drugiego rzędu o niepewnych parametrach*. Opiekun pracy dr hab. inż. K. Oprzędkiewicz, obrona 22.07.2010 r.
4. Cader, B.: *Stanowisko laboratoryjne do pomiarów parametrów modułów termoelektrycznych*. Opiekun pracy dr inż. P. Dziurdzia, obrona 28.06.2010 r.
5. Kwiecień, B.: *Bezdotykowy system pomiaru temperatury*. Opiekun pracy dr hab. T. Stapiński, obrona 21.09.2009 r.
6. Kawula, P.: *Projekt zasilania i sterowania diodowych lamp samochodowych*. Opiekun pracy prof. dr hab. inż. T. Pisarkiewicz, obrona 06.07.2009 r.

11 Działalność organizacyjna w obszarze nauki i dydaktyki

- Koordynacja na poziomie Wydziału międzynarodowego programu dydaktycznego ERASMUS z Technische Universität München, Niemcy (14.02.2008 r. – 28.02.2013 r.).
- Uczestnictwo w organizacji uroczystości Jubileuszu 90-lecia Akademii Górniczo-Hutniczej (28.05.2009 r. – 30.05.2009 r.).
- Realizacja prac dyplomowych magisterskich we współpracy z przemysłem (17 prac).
- Opiekun koła naukowego INTEGRA razem z dr. inż. Markiem Długoszem (od 7.03.2014 r.).
- Utworzenie laboratorium pojazdów autonomicznych. Decyzja o inicjatywie utworzenia takiego laboratorium na AGH we współpracy z firmą Delphi zapadła w dn. 04.06.2014 r. podczas spotkania Prorektora prof. Tomasza Szmuca z przedstawicielami firmy Delphi.

12 Nagrody i wyróżnienia

Poniższa lista zawiera chronologiczne zestawienie nagród i wyróżnień otrzymanych przez Autora i związanych z jego pracą naukowo-badawczą:

- Nagroda Rektora AGH zespołowa III stopnia za osiągnięcia dydaktyczne za rok 2014 (30.09.2015 r.);
- Nagroda Rektora AGH indywidualna III stopnia za osiągnięcia dydaktyczne za rok 2012 (24.10.2013 r.);
- Nagroda Rektora AGH indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe za rok 2011 (27.09.2012 r.);
- Nagroda Rektora AGH indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe za rok 2010 (20.10.2011 r.);
- Nagroda Rektora AGH indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe za rok 2009 (30.09.2010 r.);
- Wyróżnienie pracy doktorskiej (30.03.2006 r.);
- Wyróżnienie pracy magisterskiej (2001 r.);
- Nagroda I stopnia za uzyskanie bardzo dobrych wyników w nauce oraz aktywną pracę badawczą Stypendium Funduszu H. i T. Zielińskich (04.06.2001 r.);
- Srebrna Odznaka Rektora AGH za bardzo dobre wyniki w nauce za rok akademicki 1999/1998;
- Brązowa Odznaka Rektora AGH za bardzo dobre wyniki w nauce za rok akademicki 1997/1998;
- Wyróżnienie Rektora AGH za bardzo dobre wyniki w nauce za rok akademicki 1996/1997;
- Udział w olimpiadzie matematycznej na szczeblu okręgowym w 1996 r. Uzyskany indeks na Wydział Matematyki Uniwersytetu Jagiellońskiego;
- I miejsce na Wojewódzkim Konkursie Prac Matematycznych i Informatycznych w Brzesku w 1996 r.;
- II miejsce na Wojewódzkim Konkursie Prac Matematycznych i Informatycznych w Brzesku w 1995 r.

A Wykaz skrótów i oznaczeń

\mathbf{A}^T	macierz transponowana do macierzy \mathbf{A}
AGH	Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
CAN	ang. <i>Controller Area Network</i>
diag (a_1, a_2, \dots, a_n)	macierz diagonalna o elementach a_1, a_2, \dots, a_n
diag $[a_i]$	macierz diagonalna o elementach a_i
EAlIE	Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki na Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie
EAlIIB	Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej na Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie
\mathbf{I}_n	macierz jednostkowa o wymiarze n
LIN	ang. <i>Local Interconnect Network</i>
MIMO	System o wiele wejściach i wielu wyjściach (ang. <i>Multiple Input Multiple Output System</i>)
MNiSW	Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego
Proc.	ang. <i>Proceedings</i>
\mathbb{R}	zbiór liczb rzeczywistych
$\mathbb{R}^{n \times m}$	zbiór macierzy rzeczywistych o wymiarach $n \times m$
SISO	System o jednym wejściu i jednym wyjściu (ang. <i>Single Input Single Output System</i>)
U	przestrzeń sterowań
X	przestrzeń stanów
Y	przestrzeń wyjścia
WEAlIIB-AGH	Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej na Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie
Z	zbiór liczb całkowitych


Paweł Skruch
(22.01.2016)