

INFORMATYKA AUTOMATYKA POMIARY



www.IAPGOS.pl

W GOSPODARCE I OCHRONIE ŚRODOWISKA

ISSN 2083-0157

Kwartalnik Naukowo-Techniczny

cena 16 zł (w tym 5% VAT)



fot. Andrzej Kotyra

Centrum Elektroniki, Automatyki i Teleinformatyki
Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej
- projekt realizowany w latach 2012-2014

Realizacja inwestycji Centrum Elektroniki, Automatyki i Teleinformatyki Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej

15.12.2012



fot. Dorota Różycka

04.03.2013



fot. Dorota Różycka

23.04.2013



fot. Dorota Różycka

23.05.2013



fot. Dorota Różycka

Celem inwestycji jest wzrost oddziaływania Politechniki Lubelskiej, ze szczególnym uwzględnieniem potencjału badawczo-rozwojowego Wydziału Elektrotechniki i Informatyki, na środowisko gospodarcze Lubelszczyzny, a także Polski, mającego na uwadze wzrost konkurencyjności szczególnie regionu przez wdrażanie rozwiązań innowacyjnych w najbardziej perspektywicznych obszarach, to jest elektroniki, automatyki, telekomunikacji i informatyki. Projekt został przygotowany przez Dziekana WEil w kadencji 2008-2012 prof. dr hab. inż. Waldemara Wójcika - obecnie odpowiedzialnego za realizację inwestycji.

Dane inwestycji:

- | | |
|-------------------------------|--|
| • źródło finansowania: | dotacja celowa MNISW, decyzja nr 6291/IB/126/2012, |
| • całkowita wartość projektu: | 16 144 698,94 zł, |
| • powierzchnia zabudowy: | 467,46 m ² , |
| • powierzchnia budynku: | 1877,48 m ² , |
| • kubatura: | 8920 m ³ . |

4/2013

październik-grudzień

WYDANIE

pod redakcją naukową
prof. dr hab. inż. Waldemara Wójcika

INFORMATYKA AUTOMATYKA POMIARY

W GOSPODARCE I OCHRONIE ŚRODOWISKA

Informatics Control Measurement
In Economy and Environment Protection

ISSN 2083-0157

SPIS TREŚCI || CONTENTS

str. || page

Janusz Grzywocz

Hybrydowa metoda elementów skończonych w modelowaniu obrabiarki KCI 210/280 NM

Hybrid finite element method in modeling of machine tools KCI 210/280 NM.....3

Tomasz Węgliński, Anna Fabijańska

Poprawa jakości obrazów tomograficznych o niskiej dawce promieniowania || Enhancement of low-dose CT scans.....7

Jagoda Lazarek

Metody analizy obrazu – analiza obrazu mammograficznego na podstawie cech wyznaczonych z tekstury

Image analysis methods – analysis of mammographic image based on textural features.....10

Daniel Sawicki, Andrzej Kotyra

Porównanie wybranych metod wyznaczania obszaru płomienia w wizyjnym systemie diagnostycznym

Comparision of selected flame area detection methods in vision diagnostic system.....14

Rafał Kleczek

Projekt układu elektroniki odczytu front-end do pomiaru czasu i energii dla półprzewodnikowych detektorów paskowych

The design of readout front-end electronics for time and energy measurements for semiconductor strip detectors.....18

Włodzimierz Kruczek

Obliczanie napięcia na pantografie elektrycznego pojazdu trakcyjnego, prądów obciążeniowych i zwarciovych w sieci trakcyjnej

The electrical characteristics of a catenary system in electric rail vehicles, the calculation of traction load and short – circuit currents.....22

Olexandr V. Koval, Valeriy A. Kuzminykh, Maxim P. Voronko, Dmitriy V. Khaustov

Rozwój systemu zarządzania opartego o scenariusze w przedsiębiorstwach o funkcjonalnej organizacji struktury

Development of a scenario-based project management system construction in enterprises with the functional organizational structure.....26

Wiesław Brociek, Robert Wilanowicz

Analiza wpływu kształtu pętli histerezy na zawartość wyższych harmonicznych prądu i napięcia w transformatorze

Estimation of the shape of the hysteresis loop in the deformation of current and voltage of the transformer.....31

Wojciech Surtel, Marcin Maciejewski, Rafał Różalski

Architektura aplikacji serwerowej systemu telemedycznego do zastosowań w monitoringu środowiskowym pacjenta

Architecture of a server application for use in environmental patient monitoring.....35

Wojciech Surtel, Marcin Maciejewski, Michał Cieślak

Model aplikacji na urządzeniu mobilne z systemem operacyjnym android do zastosowań w monitoringu środowiskowym pacjenta

A model of a mobile android application for environmental patient monitoring.....38

Rafał Jachowicz, Dominik Sankowski

Optymalizacja algorytmów określania przynależności punktów geograficznych do ograniczonych obszarów na użytek projektu OpenStreetMap

Optimization of affiliation determination of geopoints to limited areas algorithms for the use of the OpenStreetMap project.....41

Tomasz Szczegieliński, Zygmunt Piątek, Dariusz Kusiak

Pole magnetyczne szynoprzewodów prostokątnych o skończonej długości || Magnetic field in rectangular bus-bars of finite length.....45

Piotr Pająk

Analiza narażeń układów izolacyjnych transformatorów od przepięć łączeniowych || Analysis of insulation transformers system risks from switching overvoltages...49

Beata Pańczyk, Michał Duszyk

Biblioteka PEAR w tworzeniu aplikacji internetowych || Web application development using the PEAR library.....53

Alexey Bublikov, Natalia Denisova, Tamara Segeda

Wykorzystanie metod numerycznych do rozwiązywania układu równań koncentracji klastrow w materiałach gazowych

Using of numerical methods for calculation the equation for clusters concentrations in gaseous materials.....59

Bartosz Puchalski, Kazimierz Duzinkiewicz, Tomasz Rutkowski

Analiza sterowania ułamkowego $P^{\alpha}D^{\beta}$ mocą reaktora jądrowego || Analysis of fractional order $P^{\alpha}D^{\beta}$ power control of a nuclear reactor.....63

Andrzej Smolart, Volodymyr Lytvynenko, Olga Kozhukhovskaya, Konrad Gromaszek

Hybrydowy algorytm negatywnej selekcji klonalnej do diagnostyki spalania w pojedynczym palniku pyłowym

Combined clonal negative selection algorithm for diagnostics of combustion in individual PC burner.....69

Oleksandr M. Naumchuk

Wyznaczenie promieniowania elektromagnetycznego urządzeń komunikacyjnych centrów przesyłowych

Determination of electromagnetic radiation emitted by telecommunication equipment of transmission centers.....74

Maksym Korobchynskyi, Oleg Mashkov

Budowa dynamicznych modeli strukturalnych informacyjnych systemów zarządzania poruszającymi się obiektami

Dynamic structural models design of moving objects information management system.....78

Vasyl Teslyuk, Vasyl Beregovskyi, Andrii Pukach

Automatyzacja systemowego poziomu projektowania inteligentnego domu || Automation of the smart house system-level design.....81

INFORMACJE

Centrum Elektroniki, Automatyki i Teleinformatyki WEiI PL.....okładka I + II

Złotej karty: prof. W. Krolopp.....30

Lista recenzentów artykułów opublikowanych w roku 2013.....58

Jubileusz prof. T. Janowskiego.....okładka III

KOLEGIUM REDAKCYJNE

redaktor naczelny

z-ca redaktora naczelnego

sekretarz redakcji

redaktor językowy (ang., ros.)

skład i łamanie

prof. dr hab. inż. Jan Sikora

dr inż. Tomasz Więcek

dr inż. Paweł Komada

Tatiana Kolesnikova

mgr inż. Katarzyna Sobańska

Reklamy okładka IV + str. 13+ str. 77

Wydawnictwo: Centrum Innowacji i Transferu Technologii LPNT Sp. z o. o., <http://www.citt.lublin.pl>

Redakcja: 20-262 Lublin, ul. Bohdana Dobrzańskiego 3, tel/fax 81 479 09 17, e-mail redakcja@iagpos.pl

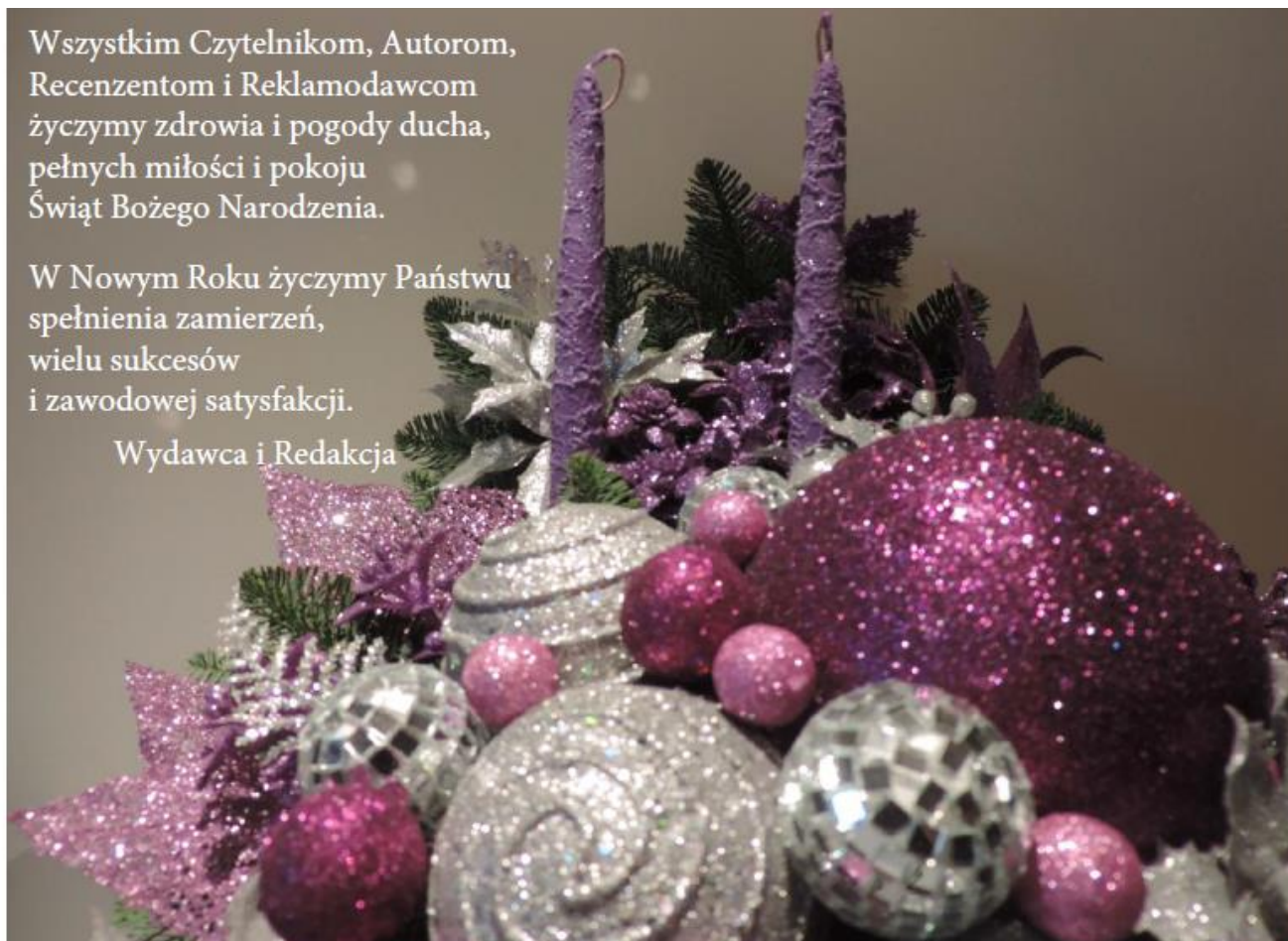
Skład i łamanie: Centrum Innowacji i Transferu Technologii LPNT Sp. z o. o., Druk: Drukarnia Rapida

nakład 600 egz.

Wszystkim Czytelnikom, Autorom,
Recenzentom i Reklamodawcom
życzymy zdrowia i pogody ducha,
pełnych miłości i pokoju
Świąt Bożego Narodzenia.

W Nowym Roku życzymy Państwu
spełnienia zamierzeń,
wielu sukcesów
i zawodowej satysfakcji.

Wydawca i Redakcja



RADA PROGRAMOWO-NAUKOWA

prof. Waldemar Wójcik (Politechnika Lubelska, Lublin, Polska) – przewodniczący

prof. Kazimierz Adamiak (University of Western Ontario, Ontario, Kanada), **prof. Darya Alontseva** (D.Serikbaev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan), **prof. Shin-ichi Aoqui** (Sojo University, Kumamoto, Japonia), **prof. Javier Ballester** (Universidad de Zaragoza, Saragossa, Hiszpania), **prof. Anatolij Bielecki** (National Aviation University, Kijów, Ukraina), **prof. Yurii Bobalo** (Lviv Polytechnic National University, Lwów, Ukraina), **prof. Oleksy Borysenko** (Department of Electronics and Computer Technics, Sumy, Ukraina), **prof. Hartmut Brauer** (Universität Potsdam, Poczdam, Niemcy), **dr Kathleen Curran** (School of Medicine & Medical Science, Dublin, Irlandia), **prof. Milan Dado** (University of Žilina, Žylina, Słowacja), **prof. Jarmila Dedkova** (Brno University of Technology, Brno, Czechy), **dr Józef Dresner** (EUROTEK International, Warszawa, Polska), **prof. Pavel Fiala** (Brno University of Technology, Brno, Czechy), **prof. Vladimir Firago** (Belarusian State University, Mińsk, Białoruś), **prof. Aleksandr Galuszkina** (Moscow Institute of Physics and Technology, Moskwa, Rosja), **prof. Jan Górski** (Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska), **prof. Antoni Grzanka** (Politechnika Warszawska, Warszawa, Polska), **dr Jeni Heino** (Helsinki University of Technology, Helsinki, Finlandia), **prof. Aleksandra Hotra** (Politechnika Lubelska, Lublin, Polska), **prof. Zenon Hotra** (Lviv Polytechnic National University, Lwów, Ukraina), **prof. Piotr Kacejko** (Politechnika Lubelska, Lublin, Polska), **prof. Yurii Krak** (V.M.Glushkov Institute of Cybernetic of NAS of Ukraine, Kijów, Ukraina), **prof. Yurii Kryvonos** (V.M.Glushkov Institute of Cybernetic of NAS of Ukraine, Kijów, Ukraina), **prof. Piotr Lesiak** (Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Radom, Polska), **prof. Georgii Lysychnenko** (National Academy of Sciences, Institute of Environmental Geochemistry, Kijów, Ukraina), **prof. Volodymyr Lytvynenko** (Kherson National Technical University, Chersoń, Ukraina), **mgr inż. Andrzej Łobzowski** (Firma LAB-EL, Warszawa, Polska), **prof. Henryk Madura** (Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Polska), **prof. Artur Medved** (Riga Technical University, Ryga, Łotwa), **dr Paweł Mergo** (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin, Polska), **prof. Andrzej Nafalski** (South Australia University, Adelajda, Australia), **prof. Vladimir Odzhaev** (Belarusian State University, Mińsk, Białoruś), **prof. Jan Owsik** (Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Polska), **prof. Il Han Park** (Sungkyunkwan University, Suwon, Korea), **prof. Sergey Pavlov** (Vinnytsia National Technical University, Winnica, Ukraina), **prof. Wacław Pietrow** (członek korespondent NANU, Kijów, Ukraina), **prof. Liudvikas Pranevicius** (Vytautas Magnus University, Kowno, Litwa), **prof. Denis Premel** (CEA Saclay, Gif-sur-Yvette, Francja), **dr Jason Riley** (The Eunice Kennedy Shriver National Institute of Child Health and Human Development, Bethesda, USA), **prof. Ryszard Roskosz** (Politechnika Gdańska, Gdańsk, Polska), **mgr inż. Paweł Rutkowski** (Przedstawicielstwo FLIR Systems AB, Warszawa-Piaseczno, Polska), **prof. Przemysław Sanecki** (Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska), **prof. Jan Sikora** (Politechnika Lubelska, Lublin, Polska), **prof. Stanisław Slosarcik** (Technical University of Kosice, Koszyce, Słowacja), **prof. Jan Sroka** (Politechnika Warszawska, Warszawa, Polska), **prof. Bohdan Stadnyk** (Lviv Polytechnic National University, Lwów, Ukraina), **prof. Henryka Danuta Stryczewska** (Politechnika Lubelska, Lublin, Polska), **prof. Batyrbek Sulemenov** (Kazakh National Technical University, Almaty, Kazachstan), **prof. Valery Szmarow** (National Aviation University, Kijów, Ukraina), **mgr Jerzy Szyncler** (Centrum Innowacji i Transferu Technologii LPNT, Lublin, Polska), **prof. Mirosław Świercz** (Politechnika Białostocka, Białystok, Polska), **prof. Stanisław Tarasiewicz** (Université Laval, Quebec, Kanada), **dr Murielle Torregrossa** (Université de Strasbourg, Strasburg, Francja), **prof. Andrzej Wac-Włodarczyk** (Politechnika Lubelska, Lublin, Polska), **doc. dr inż. Zygmunt Warsza** (Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP Warszawa), **mgr Grzegorz Woźniak** (Centrum Innowacji i Transferu Technologii LPNT, Lublin, Polska), **prof. Satoshi Yamada** (Kanazawa University, Kanazawa, Japonia), **prof. Xiaoyi Yang** (Beihang University, Pekin, Chiny), **prof. Mykola Yermoshenko** (International Academy of Information Sciences, Kijów, Ukraina), **dr Athanasios Zacharopoulos** (University College London, Londyn, Wielka Brytania), **prof. Ivan Zharski** (Belarusian National Technical University, Mińsk, Białoruś), **prof. Cao Zhihong** (The Institute of Soil Science, Nanjing, Chiny), **prof. Paweł Zhukowski** (Politechnika Lubelska, Lublin, Polska)

HYBRYDOWA METODA ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH W MODELOWANIU OBRABIARKI KCI 210/280 NM

Janusz Grzywocz

Politechnika Śląska, Katedra Budowy Maszyn

Streszczenie. Celem artykułu jest zastosowanie hybrydowej metody elementów skończonych w modelowaniu obrabiarki KCI 210/280 NM. Z uwagi na innowacyjne zastosowanie hybrydowej metody elementów skończonych (HMES) w artykule przedstawiono sposób modelowania oraz wybrano warianty traktowania zespołów obrabiarki jako sztywnych oraz odkształcalnych. Przedstawiono również wpływ wartości elementów sprężysto-tłumiących (EST) na otrzymywane wyniki. W badaniach przeprowadzono badanie sztywności statycznej obrabiarki wzdłuż osi x oraz y. W podsumowaniu porównano otrzymywane wyniki uzyskane hybrydową (HMES) oraz klasyczną metodą elementów skończonych (MES) w odniesieniu do badań doświadczalnych.

Słowa kluczowe: metoda elementów skończonych, hybryda, modelowanie, sztywność obrabiarki

HYBRID FINITE ELEMENT METHOD IN MODELING OF MACHINE TOOLS KCI 210/280 NM

Abstract. This article presents use of hybrid finite element method in modeling of machine tool KCI 210/280 NM. In view of innovative use in modeling engineering hybrid finite element method (HFEM) in article presents way of modeling and next chosen variants treatment of group machine tool as rigid or flexible. Also presents impact of elastic-damper elements on the obtained results. In research perform conducted static stiffness along the x and y - axis machine tool. In conclusion the obtained results were compared hybrid (HFEM) and classical finite element method (FEM) for the experimental research.

Keywords: finite element method, hybrid, modeling, stiffness of machine tools

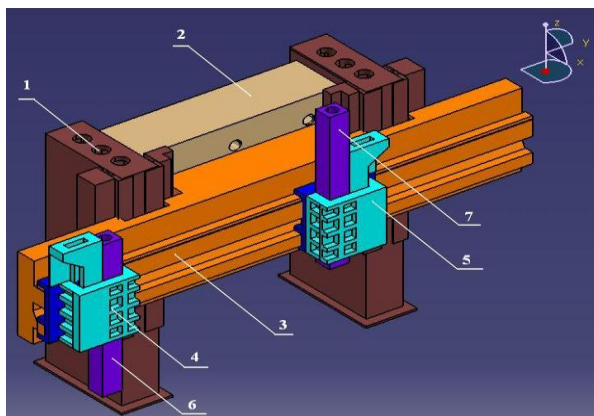
Wstęp

Zastosowanie klasycznej metody elementów skończonych (MES) polegającej na podziale (dyskretyzacji) badanego modelu geometrycznego za pomocą odkształcalnych elementów skończonych łączących się w węzłach [5] staje się znacznie utrudnione (czasochłonne) w przypadku tak złożonych maszyn jakim są obrabiarki. Przyjmuje się, że jednym z rozwiązań tego problemu jest zastosowanie hybrydowej metody elementów skończonych.

Przez pojęcie hybrydowej metody elementów skończonych rozumie się rozpatrywanie w badanym modelu geometrycznym obrabiarki sztywnych oraz odkształcalnych zespołów obrabiarki. Zatem model obrabiarki może uwzględniać zarówno zespoły sztywne (jak np. zespoły korpusowe) oraz zespoły modelowane podatnymi lub sztywnymi elementami skończonymi. Podejście takie wymaga opracowania sposobów połączenia zespołów obrabiarki odpowiednimi więzami kinematycznymi. Jak wykazano w pozycjach literaturowych [2, 6] metoda HMES jest stosowana w przypadku modeli wielkogabarytowych jak np. okręty, samoloty, żurawie, dźwigi czy obrabiarki.

1. Opis modelu geometrycznego obrabiarki

W oparciu o udostępnioną dokumentację konstrukcyjną w Katedrze Budowy Maszyn oraz szczegółowy opis zawarty w artykule [1] utworzony został model geometryczny obrabiarki wielkogabarytowej, wykorzystując zaawansowany system wspomagania prac inżynierskich Catia v5. Model geometryczny obrabiarki został przedstawiony na rys. 1 z uwzględnieniem poszczególnych elementów konstrukcyjnych.



Rys. 1. Model geometryczny obrabiarki KCI 210/280 NM

W skład modelu geometrycznego wchodzi następujące elementy konstrukcyjne: 1 - stojak, 2 - belka wiążąca, 3 - belka suportowa, 4 - prowadnica I, 5 - prowadnica II, 6 - suwak narzędziowy lewy, 7 - suwak narzędziowy prawy.

1.1. Badanie sztywności statycznej obrabiarki

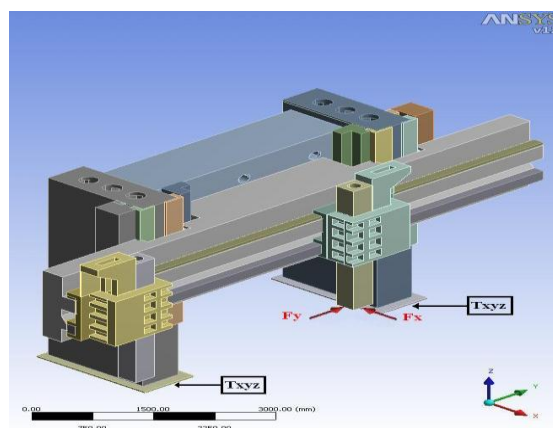
Badanie sztywności statycznej obrabiarki jest istotną informacją dla technologa, ponieważ określa się przemieszczenia względne wywołane siłami skrawania w punkcie styku wierzchołka narzędzia skrawającego z przedmiotem obrabianym. Dzięki temu możliwe jest oszacowanie błędu wykonania przedmiotu obrabianego.

Celem przeprowadzanych badań jest wyznaczenie wskaźników sztywności obrabiarki pracującej przy różnym wysuwie suwaka narzędziowego, tj. od 250 do 1200 mm. Suwak narzędziowy prawy obciążono składową siłą skrawania w kierunku osi x, a następnie osi y o wartości 10000 N. Wskaźniki sztywności statycznej dla kierunku osi x, a następnie y wyznacza się z zależności (1):

$$c = \frac{F}{\delta}, \quad (1)$$

gdzie: F - składowa siła skrawania wzdłuż osi x oraz y [N], δ - przemieszczenie wywołane składową siłą skrawania [mm], c - wskaźnik sztywności statycznej [N/mm].

Model geometryczny obrabiarki z określeniem warunków brzegowych, czyli uwzględnieniem składowych sił skrawania działających wzdłuż kierunku osi x, a następnie y oraz odebraniu stopni swobody na elementach stojaka przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Ustalenie warunków brzegowych obrabiarki KCI 210/280 NM

1.2. Dobór parametrów sztywności i tłumienia

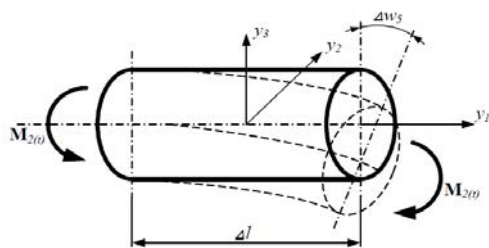
Istotnym z punktu widzenia możliwości przeprowadzania symulacji inżynierskich jest konieczność ustalania więzów kinematycznych między podatnymi a sztywnymi elementami skończonymi. W odniesieniu do hybrydowej metody elementów skończonych wykorzystano z biblioteki ANSYS elementy sprężysto-tłumiące. W modelu obliczeniowym własności sprężyste oraz dyssypacyjne każdego elementu sprężysto-tłumiącego opisywane są przez macierz bloków sztywności oraz tłumienia. W Katedrze Budowy Maszyn utworzono aplikację o nazwie "KBM - HMES" wspomagającą zaawansowane prace inżynierskie CAE w celu wyznaczania wartości współczynników sztywności i tłumienia, a następnie zaimplementowania do systemu ANSYS. Zależności określające wartości współczynników sztywności i tłumienia (2) dla przypadku zginania dobrano na podstawie zaleceń zawartych w literaturze [4]:

$$C_{k5} = \frac{E \cdot J_2}{\Delta l}, \quad B_{k5} = \frac{\eta \cdot J_2}{\Delta l} \quad (2)$$

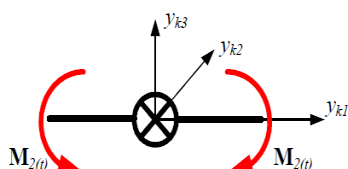
gdzie: E - moduł Younga [MPa], J_2 - moment bezwładności przekroju poprzecznego wzdłuż osi y_{k2} [m⁴], Δl - długość fragmentu sztywnego elementu skończonego [m], η - stała materiałowa tłumienia normalnego.

Przykładowy schemat odkształceń przy zginaniu sztywnego elementu skończonego wzdłuż osi y_{k2} przedstawiono na rys. 3a z kolei schemat zastępczy elementu sprężysto-tłumiącego na rys. 3b.

a)



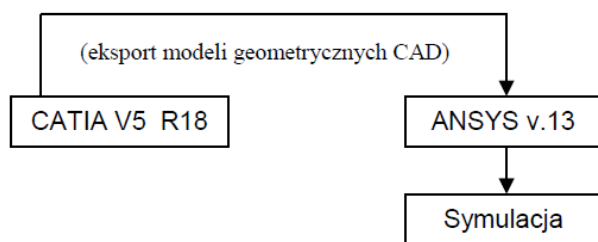
b)



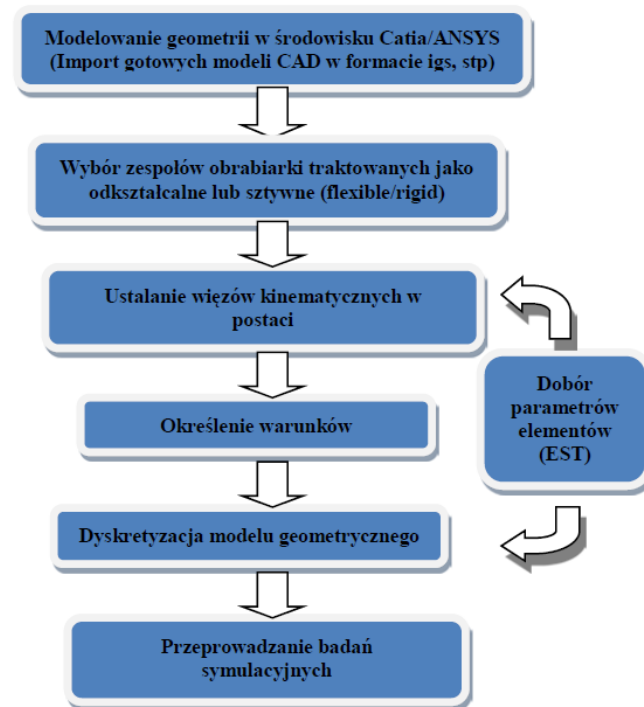
Rys. 3. Schemat odkształceń przy zginaniu sztywnego elementu skończonego: a) Fragment belki dla przykładowego sztywnego elementu skończonego dla zginania wzdłuż osi y_{k2} , b) Schemat zastępczy elementu sprężysto-tłumiącego dla zginania wzdłuż osi y_{k2}

2. Algorytm postępowania podczas obliczeń

Badania sztywności statycznej obrabiarki KCI 210/280 NM przeprowadzono w systemie ANSYS. Istotnym etapem przeprowadzania badań symulacyjnych jest zintegrowanie systemu ANSYS ze środowiskiem Catia v5 w celu importu gotowego modelu CAD według poniższego schematu:



Algorytm postępowania w przypadku badania wskaźników sztywności statycznej przy wykorzystaniu systemu ANSYS hybrydową metodą elementów skończonych przedstawiono na schemacie poniżej:



3. Wyniki badań symulacyjnych

Badania przeprowadzono dla minimalnego i maksymalnego wysuwu suwaka narzędziowego obrabiarki (od 250 do 1200 mm) pod obciążeniem wzdłuż kierunku osi x, a następnie wzdłuż kierunku działania siły. W ramach badań założono następujące warianty traktowania zespołów sztywnych obrabiarki:

- 1) **wariant I** - sztywna belka wiążąca,
- 2) **wariant II** - sztywne stojaki,
- 3) **wariant III** - sztywne stojaki + belka wiążąca (korpus),
- 4) **wariant IV** - sztywna belka wspornikowa,
- 5) **wariant V** - sztywna belka wspornikowa + korpus.

Z uwagi na kolejne warianty traktowania zespołów obrabiarki, odpowiednio zmieniała się ilość elementów sprężysto-tłumiących, co przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Ilość elementów sprężysto-tłumiących zastosowanych podczas badań

	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4	Wariant 5
Ilość EST	2	2	4	2	6
Ilość SES	1	2	3	1	4
Oznaczenie EST	I-II	III-IV	I-II, III-IV	V-VI	I-II, III-IV, V-VI

W tabeli 2 zestawiono wartości wskaźników sztywności dla poszczególnych elementów sprężysto-tłumiących uzyskane w aplikacji "KBM-HMES" dla danego sztywnego zespołu obrabiarki.

Tabela 2. Wartości współczynników sztywności

	C_{k1} [N/mm]	C_{k2} [N/mm]	C_{k3} [N/mm]	C_{k4} [N/mm]	C_{k5} [N/mm]	C_{k6} [N/mm]
Belka wiążąca (I-II)	$23 \cdot 10^{10}$	$21 \cdot 10^9$	$21 \cdot 10^9$	$11 \cdot 10^{12}$	$16 \cdot 10^{10}$	$23 \cdot 10^{11}$
Stojak (III-IV)	$42 \cdot 10^9$	$10 \cdot 10^{10}$	$10 \cdot 10^{10}$	$64 \cdot 10^8$	$72 \cdot 10^9$	$13 \cdot 10^8$
Belka wsporn. (V-VI)	$52 \cdot 10^9$	$40 \cdot 10^9$	$40 \cdot 10^9$	$15 \cdot 10^{12}$	$13 \cdot 10^{10}$	$30 \cdot 10^{11}$

Z kolei w tabeli 3 zestawiono wartości wskaźników tłumienia dla poszczególnych elementów sprężysto-tłumiących uzyskane w aplikacji "KBM-HMES" dla danego sztywnego zespołu obrabiarki.

Tabela 3. Wartości współczynników tłumienia

	Bk ₁ [N/mm·s]	Bk ₂ [N/mm·s]	Bk ₃ [N/mm·s]	Bk ₄ [N/mm·s]	Bk ₅ [N/mm·s]	Bk ₆ [N/mm·s]
Belka wiążąca (I-II)	69·10 ⁴	68·10 ⁶	68·10 ⁶	14·10 ⁹	1768·10 ⁴	26·10 ⁵
Stojak (II-IV)	35·10 ⁵	34·10 ⁷	34·10 ⁷	27·10 ⁵	81·10 ⁴	14·10 ³
Belka wsporni. (V-VI)	13·10 ⁵	12·10 ⁷	12·10 ⁷	23·10 ¹⁰	15·10 ⁵	34·10 ⁶

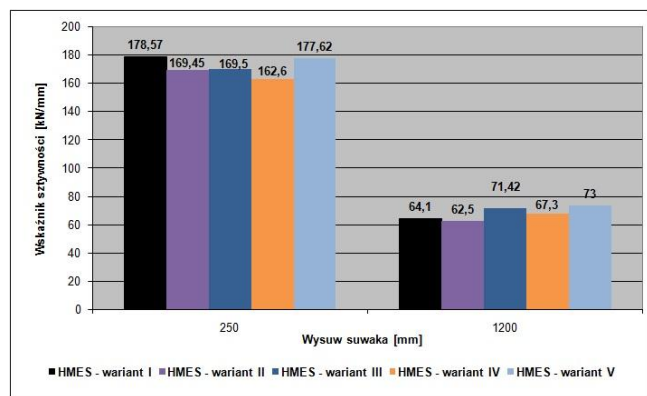
3.1. Badanie wskaźników sztywności wzdłuż kierunku osi x HMES

W tabeli 4 zestawiono wartości przemieszczeń oraz wyznaczono wskaźniki sztywności statycznej obrabiarki dla wysuwu suwaka 250 i 1200 mm przy różnych wariantach zespołów sztywnych.

Tabela 4. Wartości przemieszczeń oraz wskaźników sztywności wzdłuż osi x

Metoda obliczeń	250 mm	1200 mm	250 mm	1200 mm
	δ_{xz} [mm]	δ_{xz} [mm]	c [kN/mm]	c [kN/mm]
HMES - w I	0,0515	0,147	194,17	68,02
HMES - w II	0,0535	0,155	186,91	64,52
HMES - w III	0,0526	0,147	190,11	67,98
HMES - w IV	0,0546	0,16	183,15	62,3
HMES - w V	0,056	0,161	178,57	62,11
MES	0,0495	0,127	202,02	78,74
Dośw.	0,058	0,165	170	60

Na rysunku 4 zestawiono otrzymane wskaźniki sztywności statycznej obrabiarki wzdłuż składowej siły skrawania w osi x.



Rys. 4. Zestawienie wskaźników sztywności wzdłuż osi x obrabiarki KCI 210/280 HMES

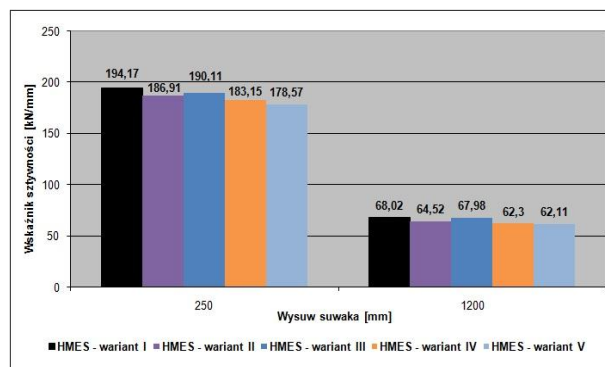
3.2. Badanie wskaźników sztywności wzdłuż kierunku osi y HMES

Z kolei w tabeli 5 zestawiono wartości przemieszczeń oraz wyznaczono wskaźniki sztywności statycznej obrabiarki dla wysuwu suwaka 250 i 1200 mm przy różnych wariantach zespołów sztywnych.

Tabela 5. Wartości przemieszczeń oraz wskaźników sztywności wzdłuż osi y

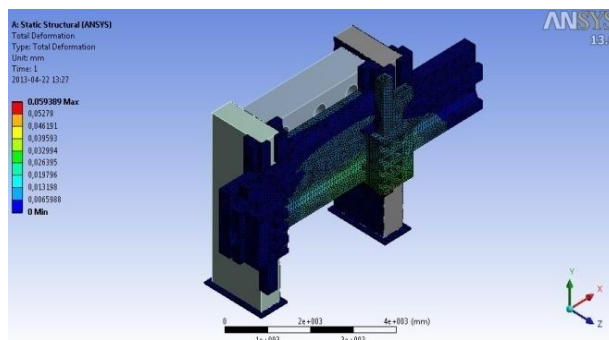
Metoda obliczeń	250 mm	1200 mm	250 mm	1200 mm
	δ_{yz} [mm]	δ_{yz} [mm]	c [kN/mm]	c [kN/mm]
HMES - w I	0,056	0,124	178,57	64,1
HMES - w II	0,059	0,166	169,45	62,5
HMES - w III	0,059	0,148	169,5	71,42
HMES - w IV	0,0615	0,1486	162,6	67,3
HMES - w V	0,0563	0,156	177,62	73
MES	0,0493	0,15	223,71	66,66
Dośw.	0,057	0,145	175	70

Poniżej na rysunku 5 zestawiono otrzymane wskaźniki sztywności statycznej obrabiarki wzdłuż składowej siły skrawania w osi y.



Rys. 5. Zestawienie wskaźników sztywności wzdłuż osi y obrabiarki KCI 210/280 HMES

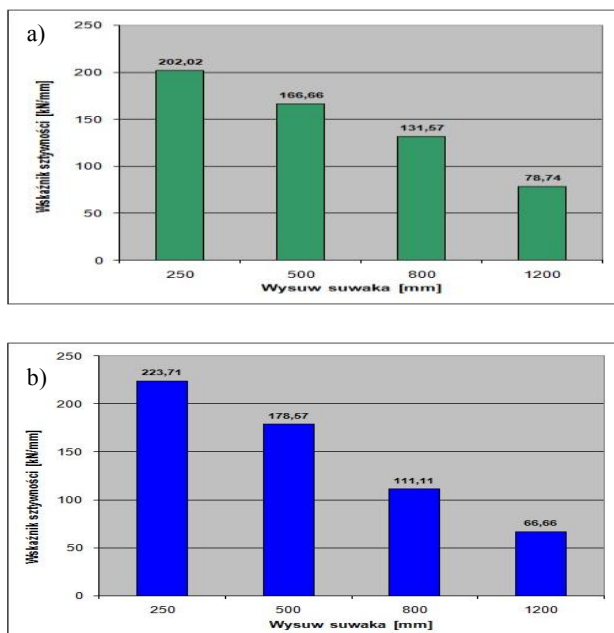
Na rysunku 6 przedstawiono wybraną symulację obrabiarki KCI 210/280 NM przy wysuwie suwaka 250 mm dla wariantu 3.



Rys. 6. Otrzymana symulacja w kierunku osi x przy wysuwie suwaka 250 mm obrabiarki KCI 210/280 NM dla wariantu 3

3.3. Badanie wskaźników sztywności MES

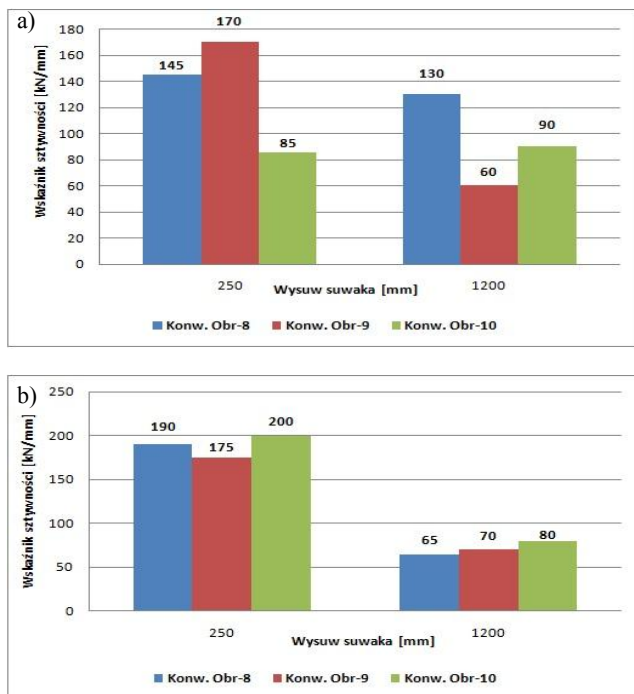
Badania wskaźników sztywności statycznej obrabiarki przeprowadzono w systemie ANSYS również klasyczną metodą MES w celu porównania otrzymanych wyników. Na rysunku 7 zestawiono otrzymane wskaźniki sztywności statycznej przy różnym wysuwie suwaka narzędziowego, tj. od 250 do 1200 mm.



Rys. 7. Zestawienie wskaźników sztywności obrabiarki KCI 210/280 MES: a) wzdłuż osi x, b) wzdłuż osi y

3.4. Badanie wskaźników sztywności doświadczalnie

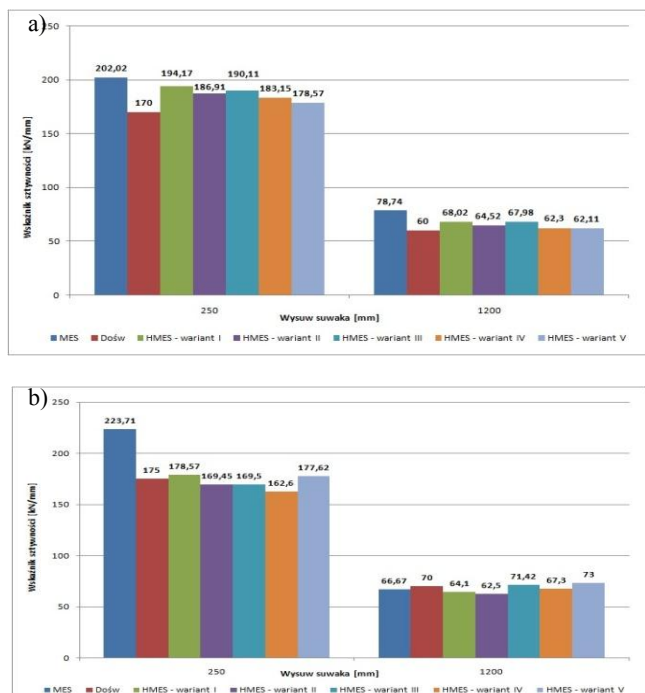
W celu weryfikacji otrzymanych wyników metodami numerycznymi z badaniami doświadczalnymi, zrealizowano badania wskaźników sztywności statycznej obrabiarki metodą konwencjonalną, szczegółowo opisaną w pracy doktorskiej [2]. Wyniki zestawiono na rys. 8.



Rys. 8. Wyniki badań doświadczalnych obrabiarki a) w kierunku osi x, b) w kierunku osi y

3.5. Porównanie wyników

W celu porównania oraz weryfikacji otrzymanych wyników metodą HMES, MES oraz doświadczalną zestawiono otrzymane wskaźniki sztywności statycznej obrabiarki na rys. 9.



Rys. 9. Porównanie otrzymanych wskaźników sztywności obrabiarki KCI 210/280 NM a) wzdłuż osi x, b) wzdłuż osi y

4. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że hybrydowa metoda elementów skończonych (HMES) może być stosowana w analizach numerycznych. Zakres zastosowań wykorzystania metody HMES obejmuje przede wszystkim modele geometryczne wielkogabarytowe jak np. obrabiarki.

Porównując otrzymane wyniki w analizach numerycznych otrzymano różnicę nie przekraczającą 5 % wartości w porównaniu do wyników otrzymanymi metodą MES. W klasycznej metodzie MES wystąpił problem z dyskretyzacją typu siatki "HEX", szczególnie dla zespołów obrabiarki wchodzących w zestaw korpusu, jak np. belka wiążąca oraz stojaki. Liczne uźebrowania oraz sfazowania tych elementów doprowadziły do konieczności dyskretyzowania modelu geometrycznego siatką typu "TETRA". Wykorzystując metodę HMES wyeliminowano konieczność dyskretyzowania tych zespołów obrabiarki, narażonych na zwiększoną wartość zagęszczenia siatki, dodatkowo czas przeprowadzanych analiz był znacznie krótszy.

Otrzymane wyniki są zadawalające o czym świadczy fakt uzyskania wyników metodą HMES zbliżonych do badań doświadczalnych. Dodatkową zaletą metody HMES jest możliwość wykorzystywania języków programowania wysokiego rzędu wspomagających pracę inżynierów-konstruktorów. Kolejnym etapem badań jest konieczność przeprowadzania analizy wrażliwości w celu określenia zmian wartości parametrów wejściowych na otrzymywane wyniki.

Literatura

- [1] Grzywocz J.: Analiza wpływu uproszczeń modelu geometrycznego obrabiarki KCI 210/280 NM na wyniki uzyskane metodą elementów skończonych. Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn, nr 2/2011, poz. 11.
- [2] Kono D., Lorentzer T., Weikert, S., Wegener K.: Comparison of rigid body mechanics and finite element method for machine tool evaluation.
- [3] Kaźmierczak M.: Praca doktorska: Metodyka badań sztywności statycznej obrabiarek ciężkich w warunkach przemysłowych. Gliwice 2005.
- [4] Kruszewski J., Sawiak S., Wittbrodt E.: Wspomaganie komputerowe CAD/CAM. Metoda sztywnych elementów skończonych w dynamice konstrukcji. WNT, Warszawa, 1999.
- [5] Łączek S.: Modelowanie i analiza konstrukcji w systemie MES - ANSYS v.11. PK, Kraków 2011.
- [6] Mattern S., Blankerhorn G., Schweizerhof K.: Comparison of building collapse simulation results from finite element and rigid body models, 2006.
- [7] www.ansys.com.

Mgr inż. Janusz Grzywocz
e-mail: jgrzywocz@polsl.pl

Absolwent Wydziału Mechaniczno-Technologicznego o specjalności Technologia Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Od roku 2010 doktorant w Katedrze Budowy Maszyn na stanowisku asystenta profesora. Działalność naukowa skupia się w obszarach modelowania inżynierskiego oraz technik komputerowych w budowie i diagnostyce maszyn. Dodatkowy zakres zainteresowań naukowych to analizy MES, programowanie maszyn sterowanych numerycznie, programowanie w językach c++, fortran, java script oraz diagnostyka i automatyzacja maszyn i urządzeń.



otrzymano/received: 26.04.2013

przyjęto do druku/accepted: 17.07.2013

POPRAWA JAKOŚCI OBRAZÓW TOMOGRAFICZNYCH O NISKIEJ DAWCE PROMIENIOWANIA

Tomasz Węgliński, Anna Fabijańska

Politechnika Łódzka, Instytut Informatyki Stosowanej

Streszczenie. W artykule rozważono problem poprawy jakości obrazów z tomografu komputerowego, uzyskanych z wykorzystaniem niskich dawek promieniowania. W szczególności, przetestowano popularne algorytmy przetwarzania wstępnego (m.in. algorytm filtracji anizotropowej, średnich nielokalnych, przesunięcia do średniej) oraz przeanalizowano skuteczność ich działania. Oceny jakości poprawy dokonano w oparciu o sztucznie wygenerowane zakłócenia, symulujące artefakty towarzyszące w obrazach TK niskim dawkom promieniowania. Do ilościowego porównania stopnia poprawy jakości wykorzystano takie miary, jak błąd średniokwadratowy oraz indeks strukturalnego podobieństwa.

Słowa kluczowe: tomografia komputerowa (TK), promieniowanie, wodogłowie, segmentacja

ENHANCEMENT OF LOW-DOSE CT SCANS

Abstract. In this paper the problem of enhancement of low-dose CT scans was considered. In particular, popular pre-processing algorithms (such as anisotropic diffusion filter, non-local means filter, mean-shift filter) were tested and analyzed. The assessment of image quality improvement was performed based on the artificially generated artifacts, similar to those appearing in low-dose CT scans. Their effectiveness was investigated using the image quality measures, such as the mean square error and the structural similarity index.

Keywords: computer tomography (CT), low-dose, x-ray, hydrocephalus, segmentation

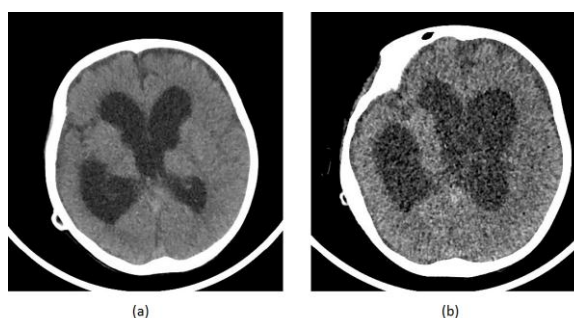
Wstęp

Tomografia komputerowa (TK) stanowi jedną z powszechniej stosowanych metod obrazowania medycznego. Jest ona wykorzystywana w diagnostyce większości zmian chorobowych, m.in. schorzeniach mózgu, klatki piersiowej, kości i stawów czy jamy brzusznej. Zdjęcia tomograficzne pozwalają na uwidocznienie w obrazie istotnych struktur ludzkiego ciała oraz towarzyszących im zmian patologicznych. Zaletą TK jest relatywnie niski czas i koszt badania, w przeciwieństwie do badania za pomocą rezonansu magnetycznego (RM). Jednakże, obrazowanie za pomocą tomografu komputerowego niesie ze sobą również zagrożenia. TK wykorzystuje jonizujące promieniowanie rentgenowskie, które stanowi potencjalne ryzyko uszczerbku dla zdrowia w przypadku nadmiernej ekspozycji (za dużej dawki i/lub za częstych badań). Grupą największego ryzyka w zakresie możliwości występowania powikłań spowodowanych nadmierną dawką promieniowania stanowią noworodki oraz dzieci. Z tego powodu, coraz więcej ośrodków medycznych na całym świecie, decyduje się na wprowadzenie tzw. protokołów niskiej dawki. Obrazy TK wykonane tą techniką są w pełni funkcjonalne klinicznie i pozwalają na skuteczną diagnostykę badanych schorzeń przez radiologów. Z drugiej strony, charakteryzują się niską jakością i są bardzo trudne do analizy za pomocą metod komputerowych. W związku z powyższym, w niniejszym artykule porównano i poddano dyskusji skuteczność znanych metod przetwarzania wstępnego obrazów w odniesieniu do obrazów TK o niskiej dawce promieniowania.

1. Definicja problemu

Zastosowanie niskich dawek promieniowania podczas przeprowadzania badań tomograficznych w drastyczny sposób obniża jakość uzyskiwanych obrazów. Problem ten zobrazowano na rysunku 1. W szczególności rysunek 1a przedstawia przekrój mózgu z wodogłowiec uzyskany z normalną dawką promieniowania, podczas gdy przekrój z badania o obniżonej dawce jest widoczny na rysunku 1b.

Na rysunku 1 wyraźnie widać różnicę jakości pomiędzy przedstawionymi przekrojami. Obrazy uzyskane z niską dawką promieniowania charakteryzują się artefaktami typu 'film grain', które w znaczącym stopniu zmniejszają kontrast obrazu oraz utrudniają dokładną lokalizację krawędzi zmian chorobowych, co w konsekwencji wpływa na dokładność dalszej analizy ilościowej. Aby zapewnić jednolite przetwarzanie obrazów TK uzyskanych z różnymi dawkami promieniowania, konieczne jest opracowanie specjalistycznych algorytmów przetwarzania wstępnego.



Rys. 1. Porównanie przekrojów TK uzyskanych z (a) normalną, (b) obniżoną dawką promieniowania

2. Miary jakości obrazu

Pomiar jakości obrazu (ang. *image quality measurement*) jest popularną metodą ewaluacji skuteczności metod przetwarzania wstępnego. Zwykle, pomiaru dokonuje się na podstawie analizy podobieństw (lub różnic) pomiędzy przetwarzanym obrazem, a oryginalnym, nie zmienionym obrazem wejściowym. Istnieją dwa podstawowe typy stosowanych metod pomiarowych: subiektywne i obiektywne.

Miary subiektywne bazują na wizualnej ocenie jakości przetwarzanego obrazu. Zwykle przeprowadzane są przez wybraną grupę ekspertów, którzy bazując na swojej wiedzy, w sposób niezależny dokonują oceny jakości obrazu wynikowego i osiągniętych korzyści w stosunku do obrazu wejściowego. W przypadku obrazów medycznych, analizy tej dokonują lekarze oraz specjaliści z dziedziny radiologii. Jednakże subiektywna metoda ewaluacji wyników jest często niedokładna, kosztowna oraz czasochłonna.

Obiektywne miary jakości dokonywane są w sposób automatyczny, na podstawie obliczeń określonych wskaźników matematycznych. Wskaźniki te bazują najczęściej na metodach statystycznych, określających stopień podobieństwa (poprawy) przetwarzanego obrazu względem wzorca. Zastosowanie tych metod pozwala na wykluczenie błędów ludzkich. Popularne, obiektywne miary jakości obrazu to [4]:

- błąd średniokwadratowy (MSE, ang. *mean square error*);
- stosunek sygnału do szumu (PSNR, ang. *peak signal to noise ratio*);
- indeks strukturalnego podobieństwa (SSIM, ang. *structural similarity index metric*);
- średni błąd bezwzględny (MAE, ang. *mean absolute error*).

W niniejszym artykule, do ewaluacji wyników poprawy jakości obrazu wykorzystano miary MSE oraz SSIM.

2.1. Błąd średniokwadratowy

Błąd średniokwadratowy (MSE) jest podstawową miarą jakości, służącą do obliczania tzw. kwadratu "błędu", czyli różnicy pomiędzy estymatorem i wartością estymowaną. W odniesieniu do obrazów monochromatycznych, rolę estymatora pełni wartość intensywności piksela w obrazie wzorcowym, natomiast wartością estymowaną jest intensywność piksela obrazu poddawanego rekonstrukcji. Z tego względu błąd MSE określony jest wzorem:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N ([f(i, j) - f'(i, j)]^2) \quad (1)$$

gdzie: M, N – wymiary obrazu, $f(i, j)$ – intensywność piksela obrazu wejściowego, $f'(i, j)$ – intensywność piksela obrazu wynikowego.

Jak widać z powyższego równania, wartość błędu średniokwadratowego zależy od różnicy intensywności poszczególnych pikseli w obrazie wzorcowym a badanym. Im większa wartość błędu średniokwadratowego, tym porównywane obrazy bardziej się od siebie różnią. Wartość zerowa błędu MSE osiągana jest jedynie dla dwóch identycznych obrazów.

2.2. Indeks strukturalnego podobieństwa

Indeks SSIM jest miarą podobieństwa strukturalnego w dziedzinie obrazu. Jest to jedna z najdokładniejszych miar jakości, niezależna od zastosowanego modelu barw w obrazie. Oprócz podobieństwa strukturalnego, SSIM uwzględnia również zmiany jasności i kontrastu. Jako miarę zmienności jasności przyjmuje się różnicę wartości jasności średnich w danym oknie, natomiast miara odchylenia standardowego wykazuje zmienność kontrastu obrazu. Struktura obrazu określana jest przez miarę korelacji liniowej pomiędzy wartościami pikseli w danym oknie. Wartość indeksu SSIM pomiędzy dwoma oknami X i Y o rozmiarze $n \times n$ określana jest wzorem:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (2)$$

gdzie: μ_x – średnia jasność w oknie X , μ_y – średnia jasność w oknie Y , σ_x^2 – wariancja w oknie X , σ_y^2 – wariancja w oknie Y , σ_{xy} – kowariancja pikseli w oknie X i Y , c_1, c_2 – współczynniki stałe.

Do obliczania SSIM stosuje się zwykle okno przesuwne o rozmiarze 8×8 lub większym. Wynikowa wartość indeksu SSIM jest sumą wartości tego wskaźnika ze wszystkich okien w obrazie. W zależności od warunków przesuwu okien w obrazie i wag przyjętych przy liczeniu wartości statystycznych, SSIM przyjmuje wartości dziesiętne z przedziału $<-1, 1>$. Wartość 1 jest osiągalna jedynie w przypadku dwóch identycznych obrazów.

3. Dane wejściowe

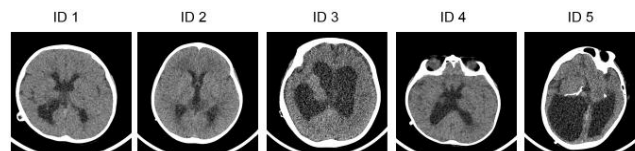
W badaniach opisanych w artykule wykorzystano rzeczywiste obrazy TK pochodzące z badań dzieci z wodogłowie. Każdy z obrazów reprezentuje wybrany przekrój poprzeczny mózgu. Prezentowane obrazy zapisane są w formacie DICOM z rozdzielczością bitową 16 bpp oraz rozdzielczością przestrzenną 512×512 pikseli.

Do symulacji skuteczności algorytmów poprawy jakości obrazów, w pierwszej kolejności wykorzystano obrazy pochodzące z rzeczywistych badań TK różnych pacjentów, wykonanych z normalną dawką promieniowania. Przykładowe obrazy z tej klasy (ID1 – ID5), zaprezentowano na rysunku 2.

W celu uzyskania przybliżonego ilościowego opisu stopnia poprawy jakości rozważanej klasy obrazów, dokonano również wyboru obrazów TK wykonanych z normalną dawką

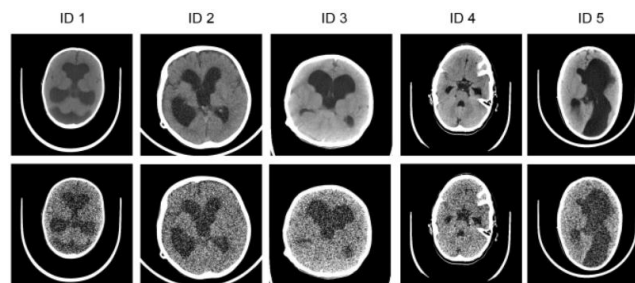
promieniowania. Obrazy te posłużyły do wygenerowania zakłóceń typu 'film grain', symulujących artefakty występujące w obrazach TK o niskiej dawce promieniowania. Zakłócenia wygenerowano za pomocą programu graficznego, według następującej procedury:

- 1) dodanie monochromatycznego szumu Gaussa 35 - 45%,
- 2) rozmycie obrazu filtrem Gaussa,
- 3) powtórzenie kroków 1-2 (*opcjonalnie*),
- 4) zwiększenie kontrastu obrazu o 20 - 30%.



Rys. 2. Wybrane obrazy TK z normalną dawką promieniowania

Wygenerowane obrazy przedstawiono na rysunku 3. W szczególności, w pierwszym wierszu zaprezentowano oryginalne obrazy TK uzyskane z normalną dawką promieniowania, wykorzystane jako obrazy wzorcowe, z kolei drugi wiersz przedstawia wygenerowane obrazy testowe, imitujące efekt 'film grain'.



Rys. 3. Sztucznie wygenerowane obrazy TK imitujące artefakty typu 'film grain'

4. Symulacje

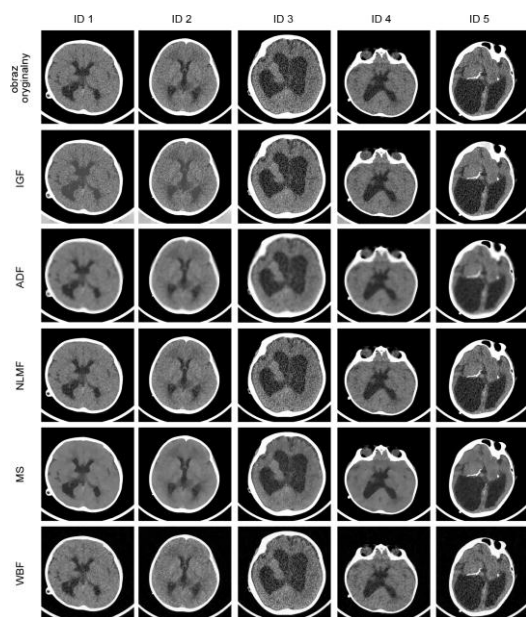
Do poprawy jakości obrazów o niskiej dawce promieniowania oraz sztucznie wygenerowanych obrazów testowych o zbliżonych właściwościach, wykorzystano popularne algorytmy przetwarzania wstępnego. W szczególności rozważono następujące algorytmy:

- algorytm interpolacji grafowej (IGF) [6];
- algorytm filtracji anizotropowej (ang. *Anisotropic diffusion*, ADF) [3];
- algorytm średnich nielokalnych (ang. *non-local means*, NLMF) [1];
- algorytm przesunięcia do średniej (ang. *mean-shift*, MSF) [2];
- algorytm filtracji opartej na falkach (ang. *wavelet-based filter*, WBF) [5].

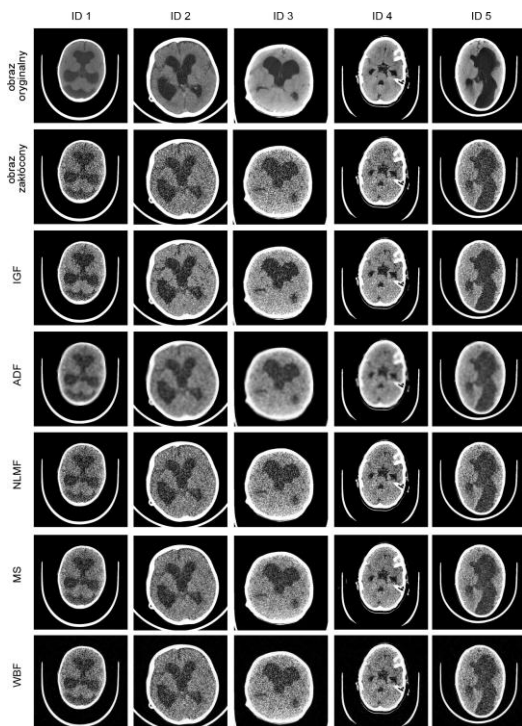
Wybrane metody, w pierwszej kolejności zastosowano do poprawy jakości rzeczywistych obrazów TK uzyskanych z niską dawką promieniowania, przedstawiających zmiany chorobowe wywołane wodogłowie u dzieci. Otrzymane rezultaty przedstawiono na rysunku 4.

Wyniki przedstawione na rysunku 4 wyraźnie pokazują, że subiektywnie największą poprawę jakości obrazu wejściowego uzyskuje się w wyniku zastosowania algorytmu interpolacji grafowej (IGF) oraz algorytmu filtracji anizotropowej (ADF). Jednakże filtracja ADF powoduje nadmierne rozmycie krawędzi i w konsekwencji utratę istotnej informacji obrazowej. Z kolei algorytm MS daje satysfakcjonujące wyniki, ale również powoduje utratę informacji krawędziowej. Wyniki dostarczone przez metody NLMF oraz WBF nie sprawdzają się w odniesieniu do rozważanej klasy obrazów. W szczególności, wprowadzają do obrazu wynikowego, dodatkowe artefakty.

W kolejnych eksperymentach ww. metody poprawy jakości obrazów zastosowano do sztucznie wygenerowanych obrazów imitujących zniekształcenie typu 'film grain' towarzyszące obrazom TK uzyskanym z niskimi dawkami promieniowania.



Rys. 4. Porównanie wyników działania wybranych algorytmów poprawy jakości obrazów TK z niską dawką promieniowania



Rys. 5. Porównanie wyników działania wybranych algorytmów poprawy jakości obrazów dla sztucznie wygenerowanych obrazów testowych

Wyniki działania rozważanych algorytmów w odniesieniu do sztucznie wygenerowanych obrazów przedstawiono na rysunku 5. Towarzyszące im wartości błędu średniokwadratowego (MSE) oraz indeksu strukturalnego podobieństwa (SSIM) zamieszczono odpowiednio w tabeli 1 i 2. Każdorazowo, za obraz bez zakłóceń potraktowano obraz z normalną dawką promieniowania, który posłużył do wygenerowania obrazu poddawanego poprawie jakości.

Tabela 1. Porównanie błędu średniokwadratowego (MSE) dla rozważanych algorytmów poprawy jakości

	ID 1	ID 2	ID 3	ID 4	ID 5
IGF	359	677	536	314	325
ADF	451	847	249	254	197
NLMF	387	647	625	305	362
MS	286	540	477	277	290
WBF	421	716	665	290	461

Tabela 2. Porównanie indeksów strukturalnego podobieństwa (SSIM) dla rozważanych algorytmów poprawy jakości

	ID 1	ID 2	ID 3	ID 4	ID 5
IGF	0.80	0.64	0.66	0.83	0.78
ADF	0.87	0.74	0.79	0.83	0.85
NLMF	0.79	0.63	0.65	0.83	0.78
MS	0.74	0.64	0.61	0.78	0.73
WBF	0.39	0.38	0.34	0.44	0.41

Wyniki przedstawione w tabelach potwierdzają wnioski z oceny wizualnej, plasując algorytmy IGF i ADF w czołówce metod poprawy jakości obrazów dedykowanych dla obrazów TK uzyskanych z niskimi dawkami promieniowania.

5. Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono i poddano dyskusji wyniki zastosowania popularnych metod przetwarzania wstępnego do poprawy jakości obrazów TK uzyskanych z niskimi dawkami promieniowania. Rezultaty przeprowadzonych testów pokazują, że z punktu widzenia komputerowej analizy obrazów, problem poprawy jakości obrazów TK o niskiej dawce promieniowania jest istotny. Pomimo, iż zastosowanie znanych metod przetwarzania wstępnego, widocznie poprawia jakość tej klasy obrazów, to jednak towarzyszące poprawie błędy są znaczące. Z tego też powodu, przyszłe prace autorów skupiać się będą na opracowaniu nowego algorytmu przetwarzania wstępnego, dedykowanego poprawie jakości obrazów o niskiej dawce promieniowania.

Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2013-2015 w ramach programu Iuventus Plus (nr projektu IP2012 011272).

Literatura

- [1] Buades, A., Coll, B., Morel, J.M.: A non-local algorithm for image denoising. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2, 2005, s. 60-65.
 - [2] Dorin, C., Meer, P.: Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 24 (5), 2002, s. 603-619.
 - [3] Perona, P., Malik, J.: Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12 (7), 1990, s. 629-639.
 - [4] Sasi, C., Jagan, A., Kaur, J., Jyoti, D., Rao, D.S.: Image quality assessment techniques on spatial domain, *International Journal Of Computer Science & Technology*, 2 (3), 2011, s. 177-184.
 - [5] Tian, J., Chen, L., Ma, L.: A wavelet-domain non-parametric statistical approach for image denoising. *IEICE Electronics Express*, 7, 2010, s. 1409-1415.
- Węgliński T., Fabijańska A.: Enhancement of low-dose CT brain scans using graph-based anisotropic interpolation. *Image Processing & Communications Challenges 5, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 233, 2014, s. 29-36

Mgr inż. Tomasz Węgliński
e-mail: twegliński@kis.p.lodz.pl



Tomasz Węgliński jest doktorantem w Instytucie Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej. Otrzymał tytuł zawodowy magistra informatyki na Politechnice Łódzkiej w 2010 roku. Jego zainteresowania naukowe dotyczą zastosowania przetwarzania i analizy obrazów w aplikacjach medycznych.

Dr inż. Anna Fabijańska
e-mail: an_fab@kis.p.lodz.pl



Anna Fabijańska jest adiunktem w Instytucie Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej. Otrzymała stopień naukowy doktora informatyki na Politechnice Łódzkiej w 2007 roku. Jej zainteresowania naukowe dotyczą zastosowania przetwarzania i analizy obrazów w aplikacjach przemysłowych i medycznych.

METODY ANALIZY OBRAZU – ANALIZA OBRAZU MAMMOGRAFICZNEGO NA PODSTAWIE CECH WYZNACZONYCH Z TEKSTURY

Jagoda Lazarek

Politechnika Łódzka, Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej, Instytut Informatyki

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę możliwości zastosowania cech wyznaczanych z tekstury do klasyfikacji wykrytych, na obrazie mammograficznym, obszarów zainteresowania – jako obszarów niezmienionych lub zmienionych chorobowo. Cechy tekstury wyznaczono na podstawie histogramu, macierzy gradientu, macierzy długości pasm oraz macierzy zdarzeń. Klasyfikację przeprowadzono z wykorzystaniem klasyfikatora k-NN. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów poprawnie rozpoznano wszystkie zmienione chorobowo próbki.

Słowa kluczowe: mammografia, mbrazowanie medyczne, mnaliza tekstury, mklasyfikacja obrazów

IMAGE ANALYSIS METHODS – ANALYSIS OF MAMMOGRAPHIC IMAGE BASED ON TEXTURAL FEATURES

Abstract. This paper presents an analysis of the possibility of using textural features for mammographic images classification. Textural features are calculated base on histogram, gradient matrix, run-length matrix, co-occurrence matrix. Classification is based on k-NN classifier, the regions of interest can be classified as normal or abnormal. Results of some experiments are presented. All of abnormal regions were classified correctly.

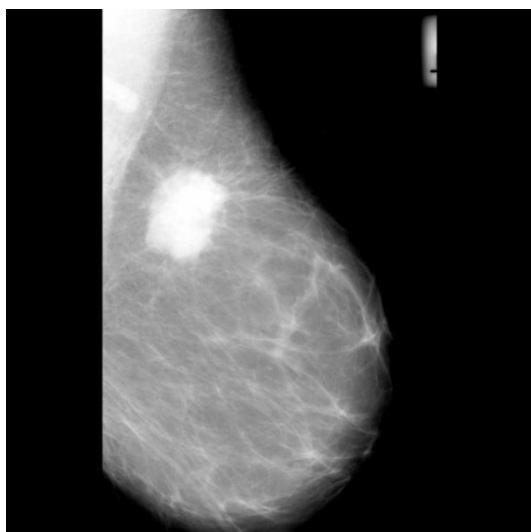
Keywords: mammography, medical diagnostic imaging, mimage texture analysis, mimage classification

Wstęp

Potrzeba tworzenia i udoskonalania metod przetwarzania i rozpoznawania różnego rodzaju obrazów wynika z ich szerokiego zastosowania w życiu codziennym, począwszy od medycyny, poprzez przemysł aż do rozrywki. Celem metod wspomaganych komputerowo jest semantyczna analiza obrazów, umożliwiająca automatyzację lub wspomaganie procesów decyzyjnych dokonywanych na ich podstawie. Zróżnicowanie otrzymywanych obrazów wynika ze sposobu i warunków ich wykonywania oraz rodzaju obiektów, które się na nich znajdują. Powoduje to konieczność dostosowania odpowiednich metod ich przetwarzania i analizy, w tym metod sztucznej inteligencji [9].

1. Zastosowania w medycynie - mammografia

Obrazy w medycynie oraz ich analiza stanowią podstawę w diagnostyce wielu schorzeń, m. in. złamań, nowotworów czy innych nieprawidłowości. Niektóre z badań, takie jak mammografia wykonywane są profilaktycznie, zwiększając tym samym szansę na wykrycie choroby we wczesnym stadium i wyleczenie. Ze względu na przesiewowy charakter badania ilość powstających do przeanalizowania danych jest bardzo duża [3, 6-7].

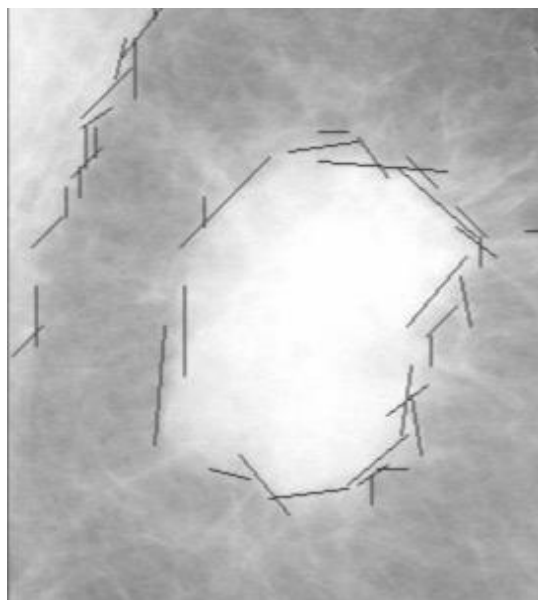


Rys. 1. Obraz nr 184 z bazy MIAS [11], centrum zmiany chorobowej znajduje się w punkcie o współrzędnych (352, 624) i obejmuje obszar ograniczony okręgiem o promieniu 114

Obrazy mammograficzne uzyskiwane są w wyniku prześwietlenia piersi promieniami Rentgena. Otrzymywany obraz jest obrazem w skali szarości. Metody komputerowej analizy obrazów mammograficznych wspomagają specjalistów w procesie diagnozy, dzięki czemu wpływają na zmniejszenie ryzyka pominięcia zmian chorobowych.

2. Wykrywanie zmian chorobowych

Wykrywanie zmian chorobowych jest skomplikowane ze względu na ich charakterystykę i niewyraźną granicę między nimi a pozostałym, niezmienionym obszarem [1]. Propozycję rozwiązania przedstawiono w artykule „Methods of Pattern Detection in Mammographic Images” [4].



Rys. 2. Obszar wykryty za pomocą metody opisanej w [4], który następnie będzie klasyfikowany jako niezmieniony lub zmieniony chorobowo

Metoda pozwala na wykrycie obszarów o wyróżniającej się w porównaniu do otoczenia jasności, w tym obszarów jednolitych oraz pasm. Obszary wykryte tą metodą, w następnym etapie powinny być klasyfikowane jako podejrzane lub niezmienione. W niniejszym artykule przedstawiono analizę możliwości wykorzystania cech statycznych obliczanych na podstawie tekstury do wspomnianej klasyfikacji.

3. Analiza tekstur

Tekstury reprezentowane są w formie dwuwymiarowej tablicy pikseli. Dla obrazów w skali szarości, każdy piksel reprezentuje jeden z poziomów szarości należących do zdefiniowanego przedziału. W artykule analizowane są obrazy, które mają 256 poziomów szarości, zatem poziom szarości g_L (ang. *grey level*) należy do przedziału od 0 do 255.

Tekstury mogą być wykorzystywane do detekcji obszarów zainteresowania (ang. *ROI – Region Of Interest*) znajdujących się na obrazach [2]. Ich analiza dokonywana jest między innymi w oparciu o cechy statystyczne obliczane na podstawie histogramu (ang. *histogram*), macierzy gradientu (ang. *gradient matrix*), macierzy długości pasm (ang. *run-length matrix*) oraz macierzy zdarzeń (ang. *co-occurrence matrix*) – zaproponowane przez Haralicka [2].

4. Histogram

Histogram zawiera informacje o liczbie pikseli obrazu reprezentujących każdy z możliwych poziomów szarości, a po znormalizowaniu prawdopodobieństwo wystąpienia pikseli o danym poziomie szarości. Cechy wyznaczone na podstawie znormalizowanego histogramu:

- średnia (ang. *mean*):

$$\mu = \sum_{g_L=0}^{N_{g_L}-1} g_L * Hn_{g_L} \quad (1)$$

- wariancja (ang. *variance*):

$$\sigma^2 = \sum_{g_L=0}^{N_{g_L}-1} (g_L - \mu)^2 * Hn_{g_L} \quad (2)$$

- skośność (ang. *skewness*):

$$\mu_3 = \sigma^{-3} * \sum_{g_L=0}^{N_{g_L}-1} (g_L - \mu)^3 * Hn_{g_L} \quad (3)$$

- kurtosis (ang. *kurtosis*):

$$\mu_4 = \sigma^{-4} * \sum_{g_L=0}^{N_{g_L}-1} (g_L - \mu)^4 * Hn_{g_L} - 3 \quad (4)$$

gdzie: g_L – poziom szarości należący do zbioru $\langle 0, N_{g_L} - 1 \rangle$, Hn_{g_L} – wartość znormalizowanego histogramu dla g_L poziomu szarości.

5. Macierz gradientu

Macierz gradientu umożliwia analizę zmian poziomów szarości pikseli sąsiadujących z badanym pikselem, bądź znajdującym się w innej, zdefiniowanej odległości (w przeprowadzonych badaniach brano pod uwagę piksele sąsiednie). Gradient w punkcie o współrzędnych (i,j) należących do obszaru zainteresowania ROI, dla odległości d od badanego piksela, wyrażony jest następującą zależnością:

$$G_{i,j} = \sqrt{(x_{i+d,j} - x_{i-d,j})^2 + (x_{i,j+d} - x_{i,j-d})^2} \quad (5)$$

Cechy wyznaczone na podstawie macierzy gradientu:

- średnia gradientu (ang. *gradient mean*):

$$G\mu = \frac{1}{M} \sum_{i,j \in ROI} G_{i,j} \quad (6)$$

- wariancja gradientu (ang. *gradient variance*):

$$(G\mu)^2 = \frac{1}{M} \sum_{i,j \in ROI} (G_{i,j} - G\mu)^2 \quad (7)$$

- skośność gradientu (ang. *gradient skewness*):

$$G\mu_3 = \frac{1}{M * (G\sigma)^3} \sum_{i,j \in ROI} (G_{i,j} - G\mu)^3 \quad (8)$$

- kurtosis gradientu (ang. *gradient kurtosis*):

$$G\mu_4 = \frac{1}{M * (G\sigma)^4} \sum_{i,j \in ROI} (G_{i,j} - G\mu)^4 - 3 \quad (9)$$

gdzie: M – liczba pikseli należących do ROI.

6. Macierz długości pasm

Macierz długości pasm przedstawia zależność między długością pasm występujących na obrazie a ich poziomem

szarości i zawiera informacje o ich liczbie. Obliczenia wykonywane są dla 4 macierzy wyznaczonych dla kierunków – 0° , 45° , 90° i 135° . Cechy wyznaczone na podstawie macierzy długości pasm:

- odwrotny moment uwydatnienia krótkich pasm (ang. *short run emphasis inverse moment*):

$$SRE = (\sum_{g_L=0}^{N_{g_L}-1} \sum_{l=1}^{N_r} \frac{R_{g_L,l}}{l^2}) / c \quad (10)$$

- moment uwydatnienia długich pasm (ang. *long run emphasis moment*):

$$LRE = (\sum_{g_L=0}^{N_{g_L}-1} \sum_{l=1}^{N_r} l^2 * R_{g_L,l}) / c \quad (11)$$

- niejednorodność poziomu szarości (ang. *grey level nonuniformity*):

$$GLN = (\sum_{g_L=0}^{N_{g_L}-1} (\sum_{l=1}^{N_r} R_{g_L,l})^2) / c \quad (12)$$

- niejednorodność pasm (ang. *run length nonuniformity*):

$$RLN = (\sum_{l=1}^{N_r} (\sum_{g_L=0}^{N_{g_L}-1} R_{g_L,l})^2) / c \quad (13)$$

- część obrazu w pasmach (ang. *fraction of image in runs*):

$$F = c / (\sum_{g_L=0}^{N_{g_L}-1} \sum_{l=1}^{N_r} l * R_{g_L,l}) \quad (14)$$

gdzie: g_L – poziom szarości należący do zbioru $\langle 0, N_{g_L} - 1 \rangle$, l – długość pasma należąca do zbioru $\langle 1, N_r \rangle$, $R_{g_L,l}$ – wartość z macierzy długości pasm wyrażająca liczbę wystąpień pasm o długości l i odcieniu szarości g_L , c – współczynnik zdefiniowany następująco:

$$c = \sum_{g_L=0}^{N_{g_L}-1} \sum_{l=1}^{N_r} R_{g_L,l} \quad (15)$$

7. Macierz zdarzeń

Macierz zdarzeń, inaczej histogram drugiego rzędu, wyraża ilościową zależność między odcieniami szarości pary pikseli znajdujących się w zdefiniowanej odległości od siebie. Obliczenia wykonywane są dla 4 macierzy wyznaczonych dla kierunków – 0° , 45° , 90° i 135° , dla odległości 1. Cechy wyznaczone na podstawie macierzy zdarzeń:

- drugi moment kątowy (ang. *angular second moment*):

$$ASM = \sum_{a,b} (C_{a,b})^2 \quad (16)$$

- kontrast (ang. *contrast*):

$$CON = \sum_{a,b} ((a - b)^2 * C_{a,b}) \quad (17)$$

- korelacja (ang. *correlation*):

$$CORR = - \sum_{a,b} \frac{(a - \mu) * (b - \mu)}{\sigma^2} * C_{a,b} \quad (18)$$

- wariancja (ang. *variance*):

$$V = \sum_{a,b} (a - \mu)^2 * C_{a,b} \quad (19)$$

- jednorodność (ang. *homogeneity*):

$$HOM = \sum_{a,b} \frac{C_{a,b}}{1 + (a - b)^2} \quad (20)$$

- sumaryczna średnia (ang. *sum average*):

$$SA = \sum_{k=2}^{2 * L_g} k * P_{x+y}(k) \quad (21)$$

- sumaryczna wariancja (ang. *sum variance*):

$$SV = \sum_{k=2}^{2 * L_g} (k - SA)^2 * P_{x+y}(k) \quad (22)$$

- sumaryczna entropia (ang. *sum entropy*):

$$SE = - \sum_{k=2}^{2 * L_g} P_{x+y}(k) * \log(P_{x+y}(k)) \quad (23)$$

- entropia (ang. *entropy*):

$$E = - \sum_{a,b} C_{a,b} * \log(C_{a,b}) \quad (24)$$

- wariancja różnicowa (ang. *difference variance*):

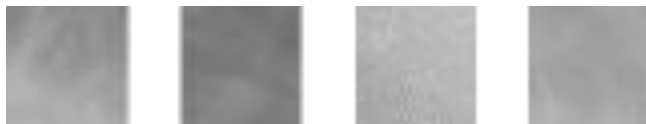
$$DV = \sum_{k=0}^{L_g-1} k^2 * P_{x-y}(k) \quad (25)$$

- entropia różnicowa (ang. *difference entropy*):

$$DE = - \sum_{k=0}^{L_g-1} P_{x-y}(k) * \log(P_{x-y}(k)) \quad (26)$$

8. Wykorzystanie tekstur w analizie obrazów mammograficznych

W celu przeprowadzenia eksperymentów przygotowano zbiór próbek z obszarów niezmiennych oraz zmienionych chorobowo. Poniżej przedstawiono przykładowe próbki, wszystkie pochodzą z obrazów mammograficznych zawartych w bazie MIAS [11].



Rys. 3. Przykłady próbek z obszarów niezmiennych chorobowo (z obrazów odpowiednio nr 15, 148, 181, 184 z bazy MIAS [11] – od lewej strony)



Rys. 4. Przykłady próbek z obszarów zmienionych chorobowo (z obrazów odpowiednio nr 148, 181, 184, 193 z bazy MIAS [11] – od lewej strony)

9. Klasyfikacja

Na potrzeby etapu klasyfikacji wybrano jeden z najprostszych klasyfikatorów – klasyfikator k -najbliższych sąsiadów (k -NN, ang. *k-nearest neighbours*). Aby możliwe było wykorzystanie klasyfikatora do wskazania klasy, do której należy testowa próbka, konieczne jest jego wytrenowanie. W tym celu z przygotowanego zestawu 130 próbek o wymiarach 30x30 pikseli, wybrano zbiór treningowy składający się ze 100 próbek (w tym 55 próbek z obszarów niezmiennych oraz 45 próbek z obszarów zmienionych chorobowo) oraz zbiór testowy składający się z 30 próbek. Należy podkreślić, iż żadna z próbek ze zbioru testowego nie pochodziła z tych samych mammogramów co próbki tworzące zbiór treningowy.

Zbiór treningowy zbudowany został ze 100 wektorów cech, z których każdy reprezentował 72 cechy wyekstrahowane z odpowiadającej mu próbki. Każdemu wektorowi przypisano klasę, do której należy – w tym przypadku jedną z dwóch: zmieniony chorobowo, niezmienniony chorobowo. Przypisanie do odpowiedniej klasy dokonano w oparciu o dane zawarte w bazie MIAS – zmiana chorobowa opisana jest poprzez podanie jej centrum oraz promienia okręgu, który ją ogranicza.

Kolejnym krokiem jest zaklasyfikowanie każdej próbki ze zbioru testowego do jednej z dwóch możliwych klas. W tym celu podobnie jak na etapie uczenia klasyfikatora, dla każdej z próbek utworzono reprezentujący ją wektor 72 cech, jednak odpowiadająca mu klasa wykorzystywana jest jedynie w późniejszym etapie oceny skuteczności klasyfikacji.

W celu dokonania klasyfikacji wektora w_T obliczany jest jego odległość od wszystkich wektorów ze zbioru treningowego, następnie wybieranych jest k -najbliższych mu wektorów. Wektorowi testowemu w_T przypisywana jest klasa, do której należy większość spośród k -najbliższych wektorów [8].

Za poprawną klasyfikację uznawane jest takie wskazanie klasy przez klasyfikator, które odpowiada klasie określonej dla danego wektora w zbiorze testowym.

10. Testy

Testy przeprowadzono dla zbioru składającego się z 30 próbek, w tym 15 próbek z obszarów niezmiennych oraz 15 próbek z obszarów zmienionych chorobowo. W wyniku klasyfikacji (zbiór wszystkich cech) z wykorzystaniem wytrenowanego wcześniej klasyfikatora k -NN (dla 5 najbliższych sąsiadów) poprawnie rozpoznano 26 próbek, w tym:

- TP (ang. *true positive*) – 15,
- TN (ang. *true negative*) – 11,
- FP (ang. *false positive*) – 4,

- FN (ang. *false negative*) – 0.

Szczegółowe wyniki klasyfikacji przedstawiają poniższe miary:

- dokładność (ang. *accuracy*):

$$AC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (27)$$

- precyzja (ang. *precision*):

$$P = \frac{TP}{TP+FP} \quad (28)$$

- czułość (ang. *sensitivity, recall*):

$$S = \frac{TP}{TP+FN} \quad (29)$$

Poniżej przedstawiono podsumowanie wyników klasyfikacji:

Tabela 1. Wyniki klasyfikacji dla całego zbioru cech

Liczba cech	TP	FP	TN	FN	Dokładność	Precyzja	Czułość
72	15	4	11	0	0,87	0,79	1

Otrzymane wyniki eksperymentu – czułość na poziomie 1,0 oznacza, iż żadna ze zmienionych chorobowo próbek nie została błędnie sklasyfikowana, co jest istotne w rozpatrywanym zagadnieniu. Wartości dokładności i precyzji, odpowiednio 0,87 i 0,79 wynikają z niepoprawnego zaklasyfikowania 4 niezmiennych chorobowo próbek jako zmienione chorobowo. Ze względu na specyfikę przedmiotu badań są dużo mniej znaczące w porównaniu z pominięciem obszaru zmienionego chorobowo. Powoduje to wskazanie większej liczby rejonów zainteresowania, które poddawane są ocenie lekarza, co nie ma negatywnego wpływu na stawianą diagnozę.

Redukcja liczby cech pozwala na uzyskanie wyników przedstawionych poniżej:

Tabela 2. Wyniki klasyfikacji po redukcji cech

Liczba cech	TP	FP	TN	FN	Dokładność	Precyzja	Czułość
65, 60, 55, 50	14	4	11	1	0,83	0,78	0,93
45	14	5	10	1	0,8	0,74	0,93
40, 35, 30	13	5	10	2	0,77	0,72	0,87

Zmniejszenie liczby cech wpływa na pogorszenie wyników klasyfikacji. Błędy klasyfikacji mogą wynikać również ze zbyt małego zbioru treningowego.

11. Dyskusja wyników i podsumowanie

Wyniki przeprowadzonego eksperymentu wskazują na dużą skuteczność klasyfikacji próbek z obszarów zmienionych chorobowo, dokonanej na podstawie cech statystycznych obliczanych z tekstury, a zatem możliwość wykorzystania wspomnianych cech do klasyfikacji obszarów zainteresowania, wykrytych we wcześniejszym etapie przetwarzania, jako obszarów niezmiennych lub zmienionych chorobowo.

W literaturze opublikowano wyniki badań, których autorzy zastosowali różne kombinacje cech do klasyfikacji zmian chorobowych na obrazach mammograficznych, m.in. różne cechy teksturowe, cechy opisujące kształt itd. Przykładowo autorzy pracy [5] obliczali cechy na podstawie histogramu oraz kilku macierzy zdarzeń (dla odległości od 5 do 30 między pikselami), uzyskując poprawną klasyfikację dla 84% przypadków. W artykule [10] zaprezentowano klasyfikację w oparciu o cechy wyznaczone z macierzy zdarzeń i cechy Tamura – podana przez autorów uzyskana średnia precyzja wynosi 69%.

Porównanie otrzymanych wyników ze znanymi z literatury nie jest całkowicie miarodajne ze względu na to, iż testy nie zostały przeprowadzone na tym samym zbiorze danych oraz nie zawsze podane są miary TP, TN, FP, FN pozwalające na dokładniejszą ocenę rezultatów.

W dalszym etapie badań wyznaczone zostaną dodatkowe cechy, które mogą zwiększyć skuteczność klasyfikacji. Kolejno przeprowadzone zostaną testy dla wszystkich obszarów znalezionych z wykorzystaniem metody opisanej w artykule [4] dla obrazów pochodzących z bazy MIAS [11].

Literatura

- [1] Gulati D., Rangayyan R., Carnielli W., Zuo J., Desautels J.: Segmentation of breast tumors in mammograms by fuzzy region growing, Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE, 1998, vol. 2, pp. 1002-1005.
- [2] Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I.: Textural Features for Image Classification, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-3, 1973, No. 6, pp. 610-621.
- [3] Huo Z., Giger M., Vybomy C., Metz C.: Breast cancer: Effectiveness of computer-aided diagnosis – observer study with independent database of mammograms, Radiology, 2002, vol. 224, no. 2, pp. 560-568.
- [4] Lazarek J., Szczepaniak P.S., Tomczyk A.: Method of Pattern Detection in Mammographic Images, Intelligent Systems in Technical and Medical Diagnosis, Eds. Józef Korbicz, Marek Kowal. Springer, 2014, pp. 235-245.
- [5] Lyra M., Lyra S., Kostakis B., Drosos S., Georgosopoulos C., Skouroliaou K.: Digital mammography texture analysis by computer assisted image processing, IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques – IST 2008 Chania, Greece, September 10–12, 2008.
- [6] Rangayyan R. M., Ayres F. J., Desautels J. L.: A review of computer-aided diagnosis of breast cancer: Toward the detection of subtle signs, Journal of the Franklin Institute, vol. 344, no. 34, 2007 pp. 312-348.
- [7] Sampat M., Markey M., Bovik A.: Computer-aided detection and diagnosis in mammography, Handbook of Image and Video Processing, vol. 2, 2005, pp. 1195-1217.

- [8] Szczepaniak P.S.: Obliczenia inteligentne, szybkie przekształcenia i klasyfikatory, Akademia Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2004.
- [9] Szczepaniak P.S., Tadeusiewicz R.: The role of artificial intelligence, knowledge and wisdom in automatic image understanding, Journal of Applied Computer Science – JACS, 18, 2010, No.1, pp. 75-85.
- [10] Zhou J., Feng Ch., Liu X., Tang J.: A Texture Features based Medical Image Retrieval System for Breast Cancer, 2012 7th International Conference on Computing and Convergence Technology (ICCT), IEEE, pp. 1010 – 1015.
- [11] „Mias dataset”. <http://peipa.essex.ac.uk/info/mias.html>. MIAS dataset.

Mgr inż. Jagoda Lazarek

e-mail: jagoda.lazarek@p.lodz.pl



Mgr inż. Jagoda Lazarek jest doktorantką w Instytucie Informatyki (Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej), w którym zatrudniona jest także na stanowisku asystenta.

Jej zainteresowania naukowe związane są z metodami przetwarzania i rozpoznawania obrazów oraz metodami sztucznej inteligencji. Do jej ważnych osiągnięć należą między innymi wyróżnienia srebrnym i brązowym medalem rozwiązania „System do wykrywania znaków drogowych” (J. Lazarek, P.S. Szczepaniak), prezentowanego podczas międzynarodowych targów wynalazków i innowacji „IENA” oraz „IWIS”. W 2012 roku została finalistką międzynarodowego konkursu Great Minds organizowanego przez IBM i odbyła staż w laboratorium badawczym IBM w Izraelu (Hajfa).

otrzymano/received: 27.06.2013

przyjęto do druku/accepted: 04.09.2013



Dwusemestralne studia podyplomowe obejmują moduły kształcenia:

- | | |
|---|--|
| 1 Podstawy administrowania systemem Windows | 12 Serwery usług sieciowych |
| 2 Podstawy administrowania systemem Linux | 13 Bezpieczeństwo systemów komputerowych |
| 3 Sieci LAN | 14 Diagnostyka sieci komputerowych |
| 4 Sieci IP | 15 Multimedia strumieniowe |
| 5 Routing w sieciach IP | 16 Systemy telefonii VoIP |
| 6 Sieci TCP/IP | 17 Sieci dostępne |
| 7 Usługi w sieciach TCP/IP | 18 Kodowanie informacji multimedialnych |
| 8 Wykorzystanie Windows w sieciach LAN | 19 Elementy sieci optoelektronicznych |
| 9 Wykorzystanie Linux w sieciach LAN | 20 Światłowody i kable światłowodowe |
| 10 Zarządzanie systemami informatycznymi | 21 Podstawy normalizacji |
| 11 Sieci telekomunikacyjne | 22 Seminarium dyplomowe |

Telefon:

(0-81) 53 84 309 – sekretariat Instytutu Elektroniki i Technik Informatycznych

(0-81) 53 84 317 – opiekun ds. organizacyjnych, dr inż. Piotr Kisała

Faks:

(0-81) 53 84 312

Poczta elektroniczna:

ask@politechnika.lublin.pl

Adres pocztowy:

ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin

PORÓWNANIE WYBRANYCH METOD WYZNACZANIA OBSZARU PŁOMIENIA W WIZYJNYM SYSTEMIE DIAGNOSTYCZNYM

Daniel Sawicki, Andrzej Kotyra

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych

Streszczenie. W pracy przedstawiono porównanie wybranych metod wykrywania krawędzi dla obrazów spalania pyłu węglowego. Porównano metodę gradientową Canny'ego z metodą zbiorów poziomowych oraz metodą opartą o model konturu aktywnego Chan-Vese. Wyniki badań pokazują, że metoda korzystająca z modelu Chan-Vese dobrze odwzorowała brzeg obszaru.

Słowa kluczowe: wykrywanie brzegu obszaru, płomień, spalanie, kontur aktywny

COMPARISON OF SELECTED FLAME AREA DETECTION METHODS IN VISION DIAGNOSTIC SYSTEM

Abstract. This paper presents comparison edge detection method of combustion pulverized coal. Compared method are: Canny edge detection operator, level set method and Chan-Vese active contour method. Experimental results show that edges extracted with method based on Chan-Vese active contour model gives good result.

Keywords: edge detection, flame, combustion, active contour

Wstęp

Wykorzystanie płomienia jako źródła informacji o procesie spalania jest jednym ze sposobów diagnozowania tego procesu. Dzięki analizie obrazu płomienia można uzyskać informację o stanie procesu praktycznie bez żadnych opóźnień. Jest to szczególnie istotne w przypadku spalania paliw charakteryzujących się dużą zmiennością właściwości fizykochemicznych. Do tej grupy należą m.in. mieszaniny biomasy i węgla, których spalanie jest najbardziej rozpowszechnionym w Polsce sposobem wykorzystania paliw odnawialnych [5].

Płomień towarzyszy egzotermicznym reakcjom utleniania. Obecność płomienia związana jest więc z miejscem w przestrzeni, gdzie taki rodzaj reakcji występuje. Trudno jest jednak w takim przypadku wskazać granicę oddzielającą przestrzeń, w której spalanie występuje, ponieważ stężenia reagentów nie zmieniają się w sposób skokowy. Głównym źródłem promieniowania w płomieniu pyłowym jest obłok rozgrzanych do wysokiej temperatury cząstek stałych (pyłu węglowego, sadzy, popiołu itp.). Ponieważ koncentracja świecących cząstek nie zmienia się skokowo, nie można wyróżnić krawędzi płomienia, jak np. w przypadku ciała stałego. Występujące w płomieniu zjawiska pochłaniania i rozpraszania promieniowania wprowadzają dodatkowe niejednoznaczności w określeniu granicy płomienia.

Z tego względu istotnym jest zbadanie różnych algorytmów pozwalających na wykrycie krawędzi płomienia, pod kątem ich wykorzystania w układzie diagnostyki procesu spalania [5]. W tym celu porównano metody Canny'ego [3], zbiorów poziomowych [4] oraz aktywnego konturu [1, 2] dla obrazów zarejestrowanych w czasie testów spalania mieszanin pyłu węglowego i biomasy w warunkach laboratoryjnych przy różnych wydatkach powietrza i paliwa. Pod uwagę brano zmienność uzyskiwanych wartości pola powierzchni płomienia wyznaczonego w czasie trwania wspomnianych testów.

1. Metody gradientowe

Algorytm Canny'ego jest jednym z niewielu filtrów wykrywania krawędzi zaprojektowanym w oparciu o czysto analityczne podejście do konstrukcji filtrów tego typu. W zależności od wartości i układu współczynników w maskach filtrujących, wykrywają linie mające określony kierunek, na przykład pionowe, poziome lub ukośne [3].

Pierwszym etapem działania algorytmu jest redukcja szumów filtrem Gaussa, a następnie wyznaczenie pierwszej pochodnej obrazu, jako pochodnej tej funkcji. Oba działania wykonywane są z wykorzystaniem masek jednowymiarowych działających oddzielnie w kierunku wierszy i w kierunku kolumn. Wartości

pierwszej pochodnej dla maski pionowej wyznaczone są zgodnie z równaniem:

$$G_{\sigma}(x)' = \left(-\frac{x^2}{\sigma^2} \right) \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

gdzie: σ – odchylenie standardowe, x – pozycja piksela w masce w kierunku wierszy.

Analogicznie według wzoru (1) wyznaczone są wartości dla maski poziomej. W wyniku konwolucji obrazu z każdą z masek, otrzymujemy składowe gradientu w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach. Wartości odpowiedzi i kierunek krawędzi obliczane są zgodnie z wzorami (2) oraz (3):

$$G_{mag} = \sqrt{(S_x)^2 + (S_y)^2} \quad (2)$$

$$G_{dir} = \arctan S_y / S_x \quad (3)$$

gdzie: S_x – maska pozioma, wyznacza wartość gradientu w kierunku wierszy, S_y – maska pionowa, wyznacza wartość gradientu w kierunku kolumn.

Kolejnym etapem jest proces polegający na ograniczaniu lokalnych wartości niemaksymalnych (non-maximum suppression). Pikselem krawędzi będzie ten, dla którego wartość odpowiedzi krawędzi będzie większa od wartości pikseli sąsiednich, leżących w tym samym kierunku. Końcowy etap to procedura binaryzacji z histerezą z wykorzystaniem dwóch wartości progowych, wysokiego progu Th oraz niskiego Tl .

Algorytm Sobela polega na wyznaczeniu pochodnej kierunkowej za pomocą operacji dwuwymiarowego dyskretnego splotu macierzy obrazu z macierzą 3x3 charakterystyczną dla danego kierunku zwaną jądrem przekształcenia. Macierze te są antysymetryczne w stosunku do kierunku wykrywanej krawędzi. Zbiór 8 macierzy pozwala na określenie kierunku od 0° do 315° z krokiem 45°. Dla kierunku 0° wykrywane są krawędzie pionowe, a dla 90° – krawędzie poziome. Operacja splotu wyznacza w pierwszym przypadku estymatę pochodnej cząstkowej względem osi X, a drugim względem osi Y. Otrzymane wartości pochodnych cząstkowych definiują wektor gradientu dla każdego punktu obrazu.

Algorytm Roberta to jeden z najwcześniejszych algorytmów wykrywania krawędzi, który został zaproponowany już w 1963 roku. Zasada działania polega na obliczeniu różnic luminancji pikseli położonych koło siebie po przekątnych, a następnie dodaniu ich wartości bezwzględnych. Obliczenie różnic można zapisać jako spłot macierzy obrazu z każdą z przedstawionych poniżej macierzy o wymiarach 2x2

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Wynikiem tych operacji są dwie macierze przedstawiające pochodne kierunkowe obliczone dla kierunków 135° oraz 45° . Wynikowy obraz krawędzi powstaje po obliczeniu pierwiastka z sumy kwadratów elementów obu macierzy.

2. Metoda zbiorów poziomicowych

Metoda zbiorów poziomicowych jest to technika numeryczna, za pomocą której można śledzić figury poszukiwanego obiektu oraz optymalizować ich kształt. Podstawową zaletą metody jest możliwość wykonywania obliczeń numerycznych związanych z krzywymi lub płaszczyznami w układzie kartezjańskim bez konieczności ich parametryzowania [4, 6]. Idea metody zbiorów poziomicowych sprowadza się do analizy i wyznaczania ruchu granicy hiperpowierzchni Γ obszaru Ω w polu prędkości $u(u, v, w)$. Prędkość może zależeć od położenia, czasu, geometrii Γ oraz warunków zewnętrznych. Zdefiniowana jest funkcja $\phi(\mathbf{x}, t)$ nazwaną zbiorem funkcji poziomic. Granica Γ określona jest jako zbiór gdzie funkcja $\phi(\mathbf{x}, t)=0$, $\mathbf{x}=(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$. Funkcja $\phi(\mathbf{x}, t)$ przyjmuje następujące wartości:

$$\begin{aligned} \phi(\mathbf{x}, t) &> 0 \text{ dla } \mathbf{x} \in \Omega_1 \\ \phi(\mathbf{x}, t) &< 0 \text{ dla } \mathbf{x} \in \Omega_2 \\ \phi(\mathbf{x}, t) &= 0 \text{ dla } \mathbf{x} \in \partial\Omega = \Gamma(t) \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie $\Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \partial\Omega = \Omega$. Zbiór funkcji poziomic posiada reprezentację niejawną, niewymagającą podania funkcji opisującej tak jak w przypadku jawnym. Funkcja jest definiowana poprzez określenie wartości w każdym punkcie.

Różniczkując $\phi(\mathbf{x}(t), t)=0$ względem t otrzymano równanie:

$$\frac{\partial \phi(\mathbf{x}(t), t)}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \phi(\mathbf{x}(t), t) = 0 \quad (6)$$

gdzie ∇ jest operatorem gradientu. W przypadku trójwymiarowym można zapisać:

$$\mathbf{v} \cdot \nabla \phi(\mathbf{x}(t), t) = u\phi_x + v\phi_y + w\phi_z \quad (7)$$

Rozważając ruch w kierunku normlanym pole prędkości można przedstawić równaniem:

$$\mathbf{v} = F \cdot \mathbf{n} \quad (8)$$

gdzie \mathbf{n} jest zdefiniowane jako:

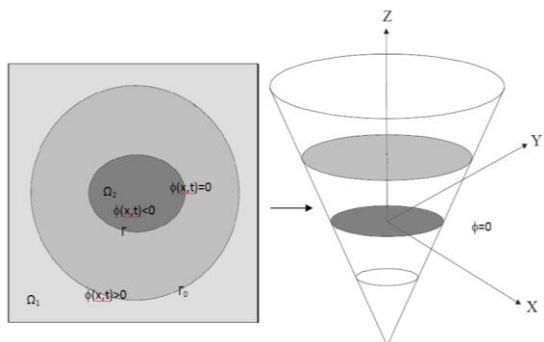
$$\mathbf{n} = \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \quad (9)$$

Do równania (8) podstawiono równanie (9) i wynik podstawiono do (6) mając na uwadze zależność $\nabla \phi \cdot \nabla \phi = |\partial \phi|^2$ otrzymano podstawowe równanie zbiorów poziomicowych [10]:

$$\frac{\partial \phi(\mathbf{x}(t), t)}{\partial t} + F \cdot |\nabla \phi(\mathbf{x}(t), t)| = 0 \quad (10)$$

gdzie:

$$|\nabla \phi(\mathbf{x}(t), t)| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \phi(x_i(t), t)} \quad (11)$$



Rys. 1. Zerowy zbiór poziomicowy oraz rozpatrywany obszar

3. Model konturu aktywnego Chan-Vese

Algorytm Chan-Vese do segmentacji obrazu wykorzystuje uproszczony model Mumford-Shah i funkcję zbiorów poziomicowych [2, 7]. Algorytm ten nie wymaga stosowania wielu obszarów startowych w celu wykrycia bardziej złożonych kształtów obiektów. W tej metodzie Ω jest obszarem obrazu $I(x, y)$, który można podzielić na wewnętrzny Ω_1 i zewnętrzny Ω_2 obszar ograniczony konturem ϕ o intensywności odpowiednio c_1 i c_2 . Funkcja celu konturu aktywnego została zdefiniowana następująco:

$$F(\phi, c_1, c_2) = \mu \cdot L(\phi) + \nu \cdot S_0(\phi) + \lambda_1 \int_{\Omega_1} |I - c_1|^2 dx dy + \lambda_2 \int_{\Omega_2} |I - c_2|^2 dx dy \quad (12)$$

gdzie $L(\phi)$ jest długością ϕ , $S_0(\phi)$ jest wewnętrznym obszarem ϕ , $\mu, \nu \geq 0$, $\lambda_1, \lambda_2 > 0$ są współczynnikami odpowiednich wyrażeń funkcji celu. Minimalizując funkcję celu (11) otrzymano następujące równania:

$$\begin{cases} c_1(\phi) = \frac{\int_{\Omega} I(x, y) H_{\varepsilon}(\phi) dx dy}{\int_{\Omega} H_{\varepsilon}(\phi) dx dy} \\ c_2(\phi) = \frac{\int_{\Omega} I(x, y) (1 - H_{\varepsilon}(\phi)) dx dy}{\int_{\Omega} (1 - H_{\varepsilon}(\phi)) dx dy} \\ \frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi) \left[\mu \nabla \cdot \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} - \nu - \lambda_1 (I(x, y) - c_1)^2 + \lambda_2 (I(x, y) - c_2)^2 \right] \\ \phi(x, y, t=0) = \phi_0(x, y) \end{cases} \quad (13)$$

gdzie Ω jest obszarem ϕ , funkcja skokowa i impulsowa zostały zdefiniowane następująco:

$$\begin{aligned} H(z) &= \begin{cases} 1, z \geq 0 \\ 0, z < 0 \end{cases} \\ \delta(z) &= \frac{dH(z)}{dz} \end{aligned} \quad (14)$$

W obliczeniach wykorzystano następujące równania funkcji skokowej i funkcji celu:

$$H_{\varepsilon}(z) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arctg\left(\frac{z}{\varepsilon}\right) \right) \quad (15)$$

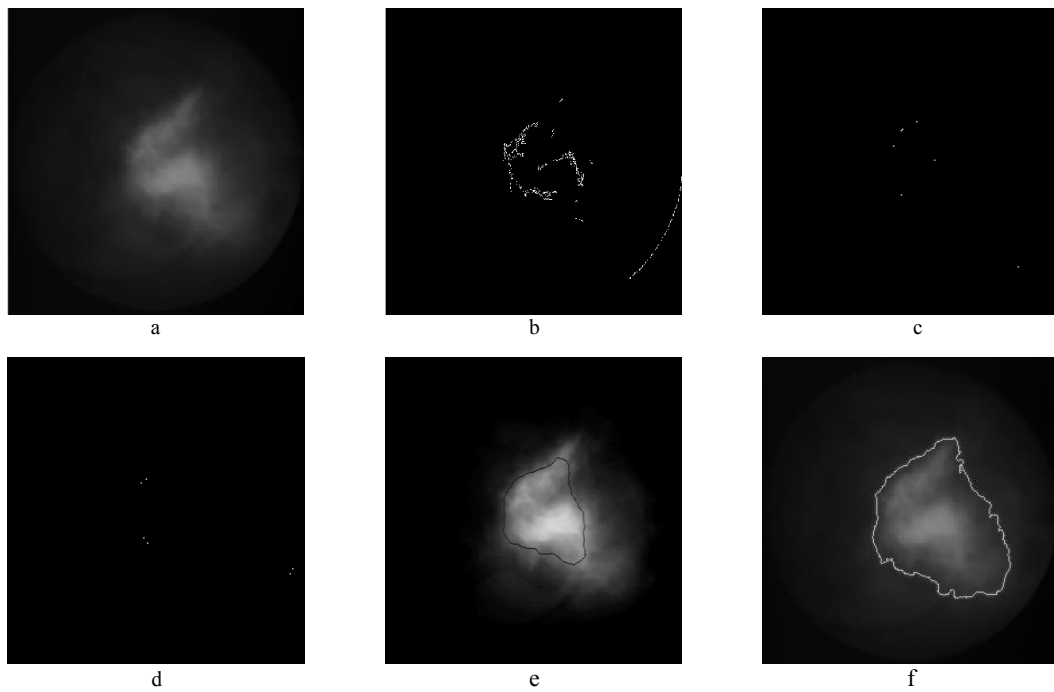
$$\delta_{\varepsilon}(z) = \frac{1}{\pi} \frac{\varepsilon}{\varepsilon^2 + z^2} \quad (16)$$

$$F(x, y) = -\nu - \lambda_1 (I(x, y) - c_1)^2 + \lambda_2 (I(x, y) - c_2)^2 \quad (17)$$

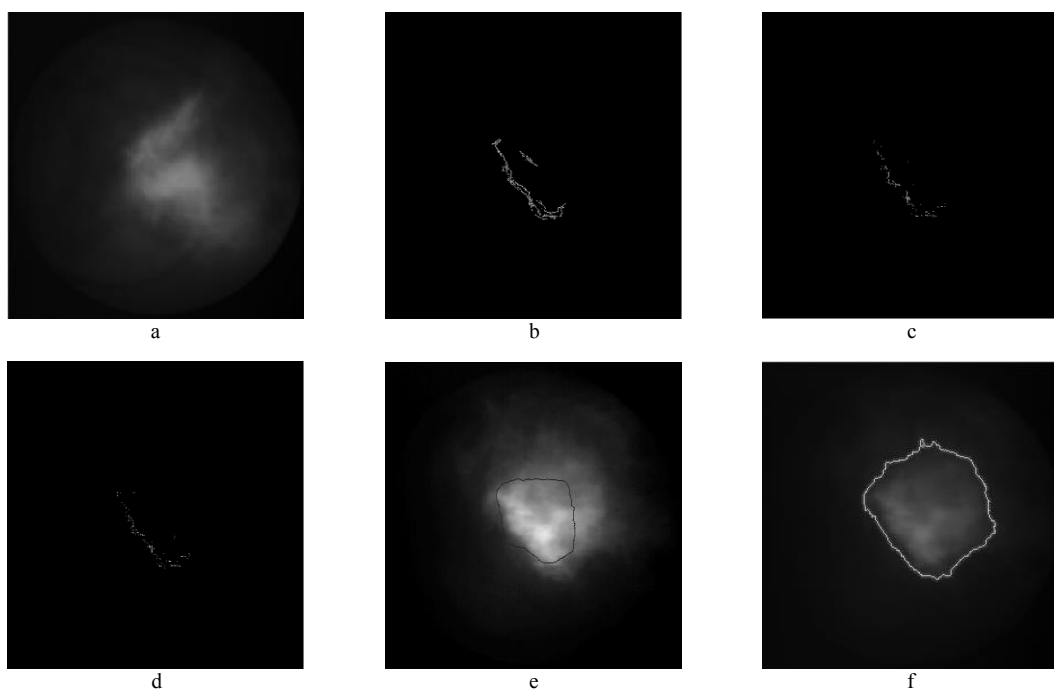
gdzie ε jest wartością stałą.

4. Wyniki

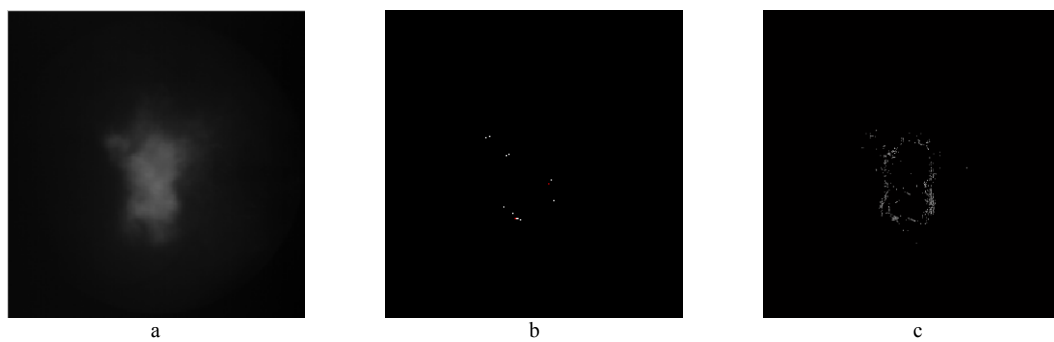
Na rysunkach 2, 3 i 4 przedstawiono wyniki przeprowadzonej segmentacji dla wybranych obrazów płomienia z wykorzystaniem metody Canny'ego, metody zbiorów poziomicowych oraz metody konturu aktywnego. W modelu konturu aktywnego użyto następujących parametrów: $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$, $\varepsilon = 1$. Przedstawiono wyniki wybranych obrazów płomienia zarejestrowanych przy współpalania pyłu węglowego i słomy. Testowane obrazy obejmowały strefę w pobliżu wylotu palnika pod kątem ok. 45° do osi palnika.



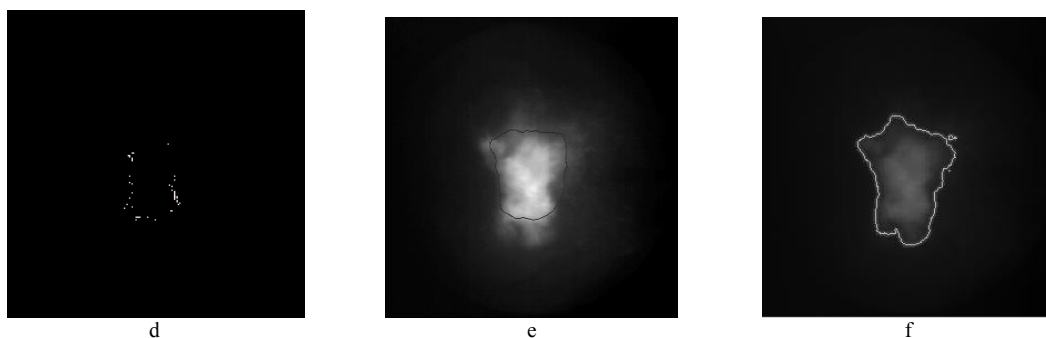
Rys. 2. Obraz płomienia (a) i wyznaczone krawędzie przy użyciu metod: (b) Canny'ego, (c) Sobela, (d) Roberta, (e) zbiorów poziomicowych, (f) Chan-Vese



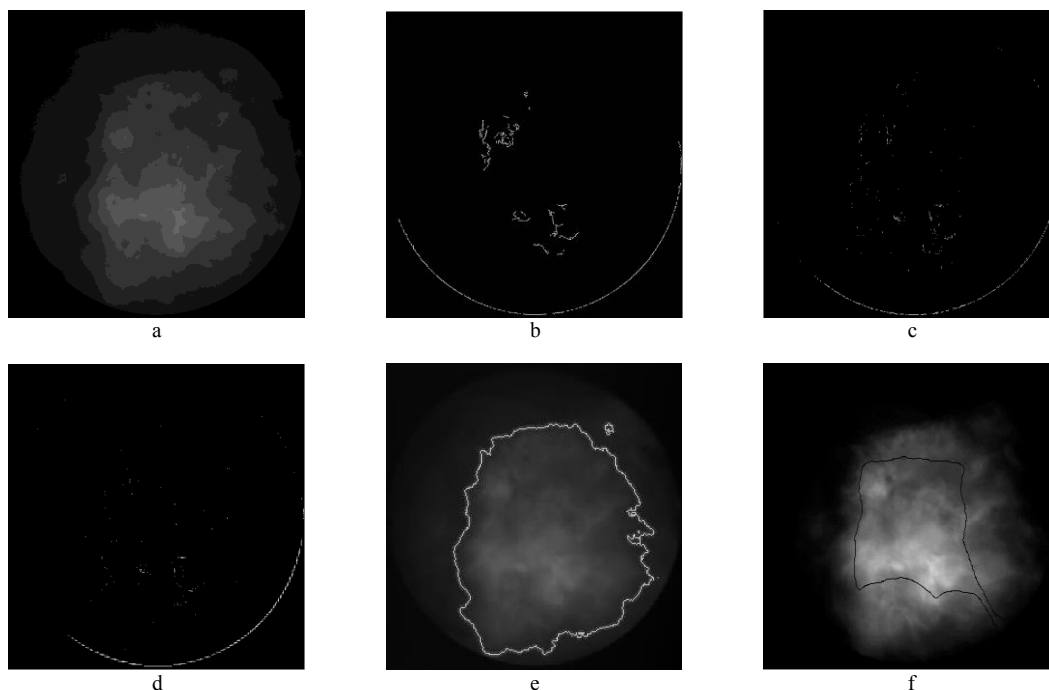
Rys. 3. Obraz płomienia (a) i wyznaczone krawędzie przy użyciu metod: (b) Canny'ego, (c) Sobela, (d) Roberta, (e) zbiorów poziomicowych, (f) Chan-Vese



Rys. 4. Obraz płomienia (a) i wyznaczone krawędzie przy użyciu metod: (b) Canny'ego, (c) Sobela, (d) Roberta, (e) zbiorów poziomicowych, (f) Chan-Vese



Rys. 4 c.d. Obraz płomienia (a) i wyznaczone krawędzie przy użyciu metod: (b) Canny'ego, (c) Sobela, (d) Robertsa, (e) zbiorów poziomicowych, (f) Chan-Vese



Rys. 5. Obraz płomienia (a) i wyznaczone krawędzie przy użyciu metod: (b) Canny'ego, (c) Sobela, (d) Robertsa, (e) zbiorów poziomicowych, (f) Chan-Vese

5. Podsumowanie

Z przedstawionych obrazów testowych można wyciągnąć następujące wnioski. Zastosowanie przedstawionych metod wykrywania krawędzi dało bardzo rozbieżne wyniki. Kontur uzyskany za pomocą metody Chan-Vese i zbiorów poziomicowych jest zamknięty w odróżnieniu do konturu wyznaczonego metodami gradientowymi. Pozwala to na analizę kształtu płomienia z wykorzystaniem geometrycznych wskaźników kształtu, deskryptorów Fouriera lub falkowych. Dzięki temu możliwa będzie ocena stanu procesu spalania na podstawie obrazów płomienia rejestrowanych w czasie rzeczywistym. Biorąc powyższe pod uwagę, istotny jest czas w którym następuje wyznaczenie krawędzi ze względu na możliwość pomijania klatek w przetwarzanej sekwencji obrazów. Porównanie pod tym względem metody zbiorów poziomicowych i Chan-Vese wskazuje na metodę Chan-Vese.

Dalsze prace skoncentrowane będą na optymalizacji działania algorytmu wykorzystującego metodę Chan-Vese pod kątem jego wykorzystania w systemie diagnozującym przebieg procesu spalania działającym w trybie on-line.

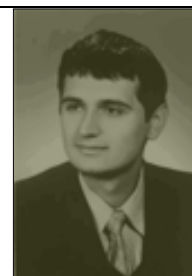
Literatura

- [1] Chan T., Sandberg Y. L.: Active contours without edges for Vector-valued Image, Journal of Visual Communication and Image Representation 11/2000, 130-141.
- [2] Chan T., Vese L.: Active contours without edges, IEEE Transaction on Image Processing, 10/2001, 266-277.
- [3] Canny, J.: A Computational Approach To Edge Detection, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8/1986, 679-714.

- [4] Filipowicz S., Sikora J., Polakowski K., Rymarczyk T.: Zastosowanie metody zbiorów poziomicowych oraz metody granicy podobszarów w impedancyjnej tomografii komputerowej, Przegląd Elektrotechniczny, 4/2009.
- [5] Golec T.: Współspalanie biomasy w kotłach energetycznych, Energetyka i Ekologia, 7/2004, 437-444.
- [6] Osher S., Fedkiw R.: Level Set Method and Dynamic Implicit Surfaces, Springer, New York, 2003.
- [7] Xingxing S., Fuzhen H.: Flame detection based on C-V active contour model, International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence 2009.

Mgr inż. Daniel Sawicki
e-mail: d.sawicki@pollub.pl

Ukończył studia o kierunku elektrotechnika na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej w 2006r. Obecnie jest zatrudniony jako asystent w Instytucie Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Lubelskiej



Dr hab. inż. Andrzej Kotyra, prof. PL
e-mail: a.kotyra@pollub.pl

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej w 1991r. Od 1992 r. pracuje w Instytucie Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Lubelskiej. W 2002 r. uzyskał tytuł doktora nauk technicznych, a w 2011r. tytuł doktora habilitowanego. Od 2012 jest kierownikiem Zakładu Diagnostyki i Analizy Pomiarów.



PROJEKT UKŁADU ELEKTRONIKI ODCZYTU FRONT-END DO POMIARU CZASU I ENERGII DLA PÓŁPRZEWODNIKOWYCH DETEKTORÓW PASKOWYCH

Rafał Kleczek

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Metrologii i Elektroniki

Streszczenie. W niniejszym artykule został przedstawiony opis elektroniki front-end do pomiaru czasu interakcji i energii fotonu dedykowanej do odczytu dwustronnych detektorów paskowych, zaimplementowanej w technologii submikronowej UMC 180 nm CMOS. Jednoczesny i dokładny pomiar czasu interakcji oraz energii zdeponowanej w detektorze wymaga zastosowania w torze odczytowym dwóch różnych, równoległych ścieżek przetwarzania sygnału: „szybkiej” i „wolnej”. Parametry zaprojektowanego układu: niskim poziom rozpraszanej mocy $P=3,2$ mW, niski poziom szumów własnych $ENC=586$ e- rms (dla „wolnej” ścieżki i $C_{det}=30$ pF), a powierzchnia krzemu zajmowana przez pojedynczy kanał wynosi $50 \mu\text{m} \times 1100 \mu\text{m}$.

Słowa kluczowe: detekcja promieniowania X, elektronika niskoszumna, układ CMOS elektroniki odczytu front-end, pomiar czasu i energii

THE DESIGN OF READOUT FRONT-END ELECTRONICS FOR TIME AND ENERGY MEASUREMENTS FOR SEMICONDUCTOR STRIP DETECTORS

Abstract. This work presents the design of the readout front-end electronics for time and energy measurements dedicated for double-sided strip detectors implemented in submicron technology UMC 180 nm CMOS. The simultaneous and accurate measurements of time and energy deposited in the detector by a photon requires the use of two different parallel processing paths in the single channel: fast and slow. The designed front-end electronics is characterized by low power dissipation level $P=3.2$ mW, low noise performance $ENC=586$ e- rms (for “slow” path and at $C_{det}=30$ pF). The single channel occupies silicon chip area of $50 \mu\text{m} \times 1100 \mu\text{m}$.

Keywords: X-ray detection application, low noise electronics, CMOS readout front-end electronics, time and energy measurements

Wstęp

Wśród nowoczesnych wielokanałowych systemów detekcyjnych zbudowanych z półprzewodnikowych detektorów promieniowania X oraz stowarzyszoną z nimi elektroniką odczytu front-end spotyka się klasy układów, które dążą do: wyznaczenia pozycji interakcji fotonu z elementem detekcyjnym, pomiaru jego energii oraz czasu zdarzenia. Z kolei biorąc pod uwagę budowę tych systemów detekcyjnych można je podzielić na układy odczytowe oparte na architekturze paskowej bądź pikselowej. Układy o architekturze paskowej stosowane są najczęściej w eksperymentach fizyki wysokich energii HEP (ang. *High Energy Physics*), gdzie informacja o torze lotu badanej cząstki oraz jej energii ma priorytetowe znaczenie. Nadrzędnym zaś celem systemów detekcyjnych opartych na architekturze pikselowej jest informacja o rozkładzie przestrzennym padających fotonów.

W niniejszym artykule został przedstawiony projekt prototypowego układu odczytowego, który jest funkcjonalną hybrydą łączącą w sobie pomiar pozycji, czasu oraz energii padającej cząstki.

1. Architektura toru elektroniki odczytu front-end

Architektura prezentowanego toru elektroniki front-end do pomiaru czasu i energii padającej cząstki promieniowania X została przedstawiona na rys. 1. Padające fotony promieniowania X na spolaryzowaną w kierunku zaporowym diodę (detektor) deponują głównie wskutek efektu fotoelektrycznego swoją energię w detektorze, generując jednocześnie prawie punktowo odpowiednią ilość par elektron-dziura. Wygenerowana ilość par elektron-dziura jest proporcjonalna do energii padającego fotonu, a średni współczynnik konwersji jest zależny od rodzaju materiału zastosowanego do budowy detektora. Przykładowo dla krzemu wynosi 3,67 eV na powstanie jednej pary. Wyindukowany na okładkach detektora ładunek jest zbierany w czasie zależnym od jego budowy i zastosowanego materiału przez elektrody (od kilku do kilkudziesięciu ns), a następnie zostaje przetworzony przez stowarzyszony z detektorem tor elektroniki odczytu.

W literaturze przedmiotu można znaleźć dwie główne ścieżki rozwiązań torów elektroniki front-end do pomiaru zdeponowanej w detektorze energii fotonu [2, 6]. Pierwszą ścieżką są tory budowane ze wzmacniacza ładunkowego CSA (ang. *Charge Sensitive Amplifier*) oraz układ kształtującego (ang. *Pulse Shaping*

Amplifier), które zapewniają wysoki stosunek sygnału do szumu SNR (ang. *Signal-to-Noise Ratio*), stały czas przetwarzania impulsu oraz liniową charakterystykę amplitudy wyjściowej od wejściowego ładunku q_{in} [4]. Drugim nurtem jest zastosowanie przetwarzania typu ToT (ang. *Time-over-Threshold*), gdzie typowo za wzmacniaczem CSA znajduje się komparator wraz z licznikiem liczącym czas przekroczenia przez napięcie wyjściowe CSA zadanego progu referencyjnego [3]. Wyznaczony w ten sposób odcinek czasowy jest proporcjonalny do energii padającego fotonu. Ze względu na stromość zbocza impulsu wyjściowego CSA przetwarzanie typu ToT pozwala jednocześnie określić znacznik czasu interakcji cząstki z detektorem. Jednak brak układu kształtującego pociąga za sobą wyższe wartości mierzonych szumów oraz czas przetwarzania zależny od ładunku wejściowego q_{in} , co może skutkować dłuższym czasem martwym t_d (ang. *dead time*) toru. Z drugiej jednak strony brak układu kształtującego minimalizuje poziom rozpraszanej mocy oraz zajmowaną powierzchnię krzemu. Mając na uwadze powyższe ograniczenia związane z daną architekturą autor zdecydował się na budowę toru odczytowego zawierającego dwie ścieżki przetwarzania sygnału (patrz rys. 1) [1]. Stopień wejściowy jest zbudowany ze wzmacniacza ładunkowego CSA integrującego wejściowy impuls prądowy oraz układu odwracania polaryzacji PSC (ang. *Polarity Selection Circuit*). Następnie sygnał jest przetwarzany przez dwie równoległe ścieżki: „szybką” i „wolną”. „Szybka” ścieżka oparta na układzie kształtującym typu CR-RC służy do wyznaczenia czasu przyjścia ładunku wejściowego q_{in} , zatem jej czas kształtowania t_p (ang. *peaking time*) musi być odpowiednio krótki (rzędu kilkudziesięciu ns). „Wolna” ścieżka zawierająca układ kształtujący typu CR-(RC)² o czasie kształtowania t_p kilkukrotnie dłuższym niż w przypadku ścieżki „szybkiej”, służy do wyznaczenia energii padającego fotonu, która jest proporcjonalna do amplitudy wyjściowej. Ze względu na wymagania krótkiego czasu przetwarzania impulsu wejściowego stawiane przed docelową aplikacją tor odczytowy zawiera układ resetu, który jest wyzwany po tym, jak na wyjściu toru „wolnego” pojawi się wartość maksymalna impulsu napięciowego. W prototypowym torze odczytowym do wyjść układów kształtujących dołączone są stopnie buforów, za pomocą których sygnały będą podawane na kontaktowe pola (pady) wyjściowe układu scalonego. W docelowej aplikacji do wyjścia „wolnego” układu kształtującego będzie dołączony przetwornik analogowo-cyfrowy ADC (ang. *Analog to Digital Converter*), a do wyjścia „szybkiego” układu kształtującego będzie dołączony komparator. Schemat elektryczny zaprojektowanego wzmacniacza

ładunkowego CSA jest przedstawiony na rys. 2. Rdzeniem wzmacniacza CSA jest wzmacniacz napięciowy oparty o architekturę układu zawiniętej kaskody (tranzystory M1 – M4), która w prezentowanym rozwiązaniu jest podwójnie buforowana (tranzystory M7 – M8 i M9 – M10), co minimalizuje wpływ zakłóceń dalszych stopni przetwarzania na elementy sprzężenia zwrotnego CSA [5]. Ze względu na optymalizację szumową toru odczytowego stopień wejściowy powinien charakteryzować się dużym wzmocnieniem, zatem tranzystor M1 powinien mieć dużą wartość transkonduktancji g_m . W tym celu jego nominalny prąd drenu wynosi 1 mA, a jego wymiary wynoszą: $W=3 \text{ mm}$, $L=0.32 \text{ }\mu\text{m}$. Wzmocnienie napięciowe k_V rdzenia wzmacniacza CSA wynosi 6200 V/V, a jego pole wzmocnienia GBW (ang. *gain-bandwidth product*) wynosi 5,35 GHz.

Sprężenie zwrotne wzmacniacza ładunkowego CSA stanowią: pojemność $C_F=100 \text{ fF}$, rezystancja o nominalnej wartości $R_F=10 \text{ M}\Omega$ oparta na tranzystorze MOS pracującym

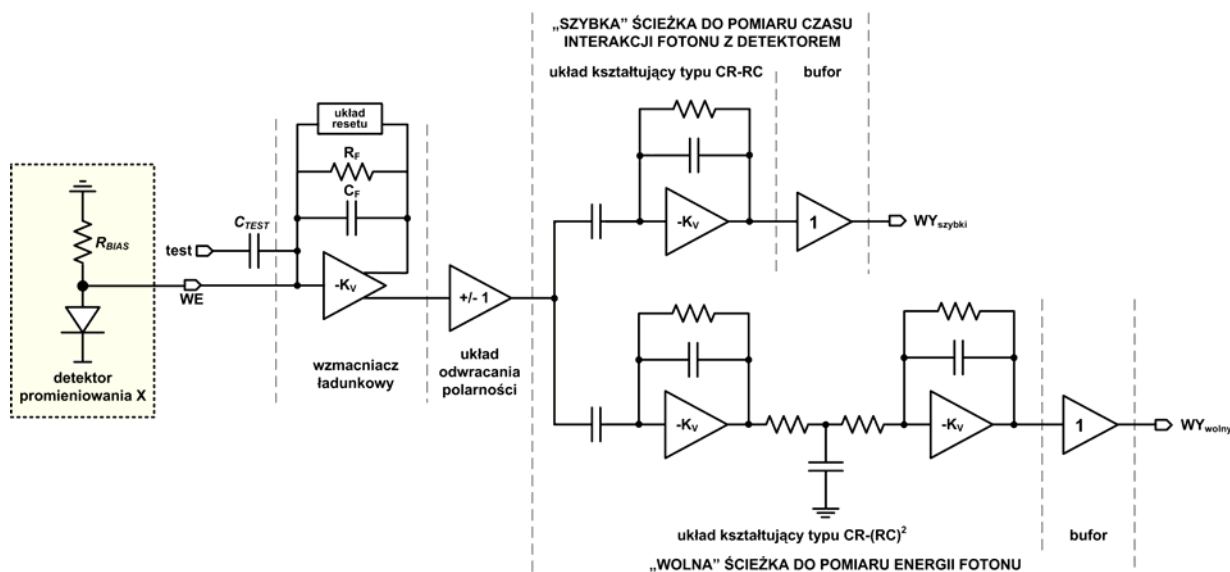
w zakresie liniowym oraz układ resetu. Aby impuls prądowy wygenerowany przez detektor wpłynął do wzmacniacza CSA pojemność widziana z jego wejścia musi być dużo większa niż pojemność detektora C_{DET} , co wyraża poniższy warunek:

$$C_{IN\ CSA} = k_V \cdot C_F \gg C_{det} \quad (1)$$

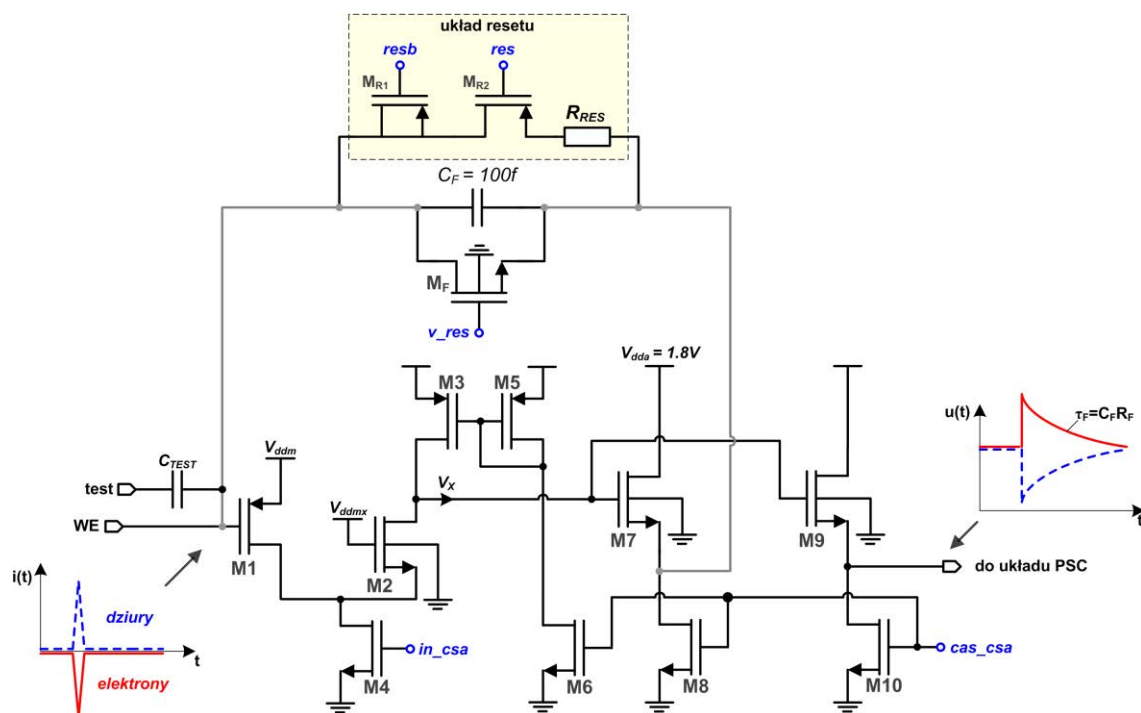
Wartość pojemności C_F jest także związana ze wzmocnieniem ładunkowym k_q wzmacniacza ładunkowego CSA, które w przypadku idealnym wynosi:

$$k_q = -\frac{1}{C_F} \quad (2)$$

Zastosowanie zaprojektowanego wzmacniacza napięciowego oraz pojemności C_F pozwala otrzymać wzmocnienie ładunkowe wynoszące $k_q=7,8 \text{ mV/fC}$ oraz straty wyindukowanego w detektorze ładunku q_{in} wynoszące ok. 5% dla pojemności detektora $C_{det}=30 \text{ pF}$. Moc rozpraszana przez wzmacniacz CSA wynosi $P_{CSA}=1,37 \text{ mW}$.



Rys. 1. Architektura prezentowanego toru elektroniki odczytu front-end do pomiaru czasu i energii fotonu.



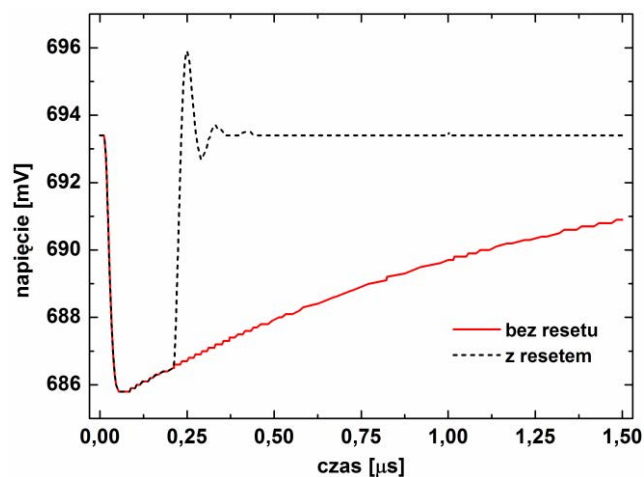
Rys. 2. Schemat elektryczny wzmacniacza ładunkowego CSA.

Wybór wartości rezystancji R_F jest kompromisem pomiędzy właściwościami szumowymi a szybkościowymi toru odczytowego. Wyższa wartość rezystancji R_F to niższy poziom szumów, z kolei dłuższy czas przetwarzania impulsu przez wzmacniacz CSA (dłuższa stała czasowa sprzężenia zwrotnego $\tau_F = R_F \cdot C_F$).

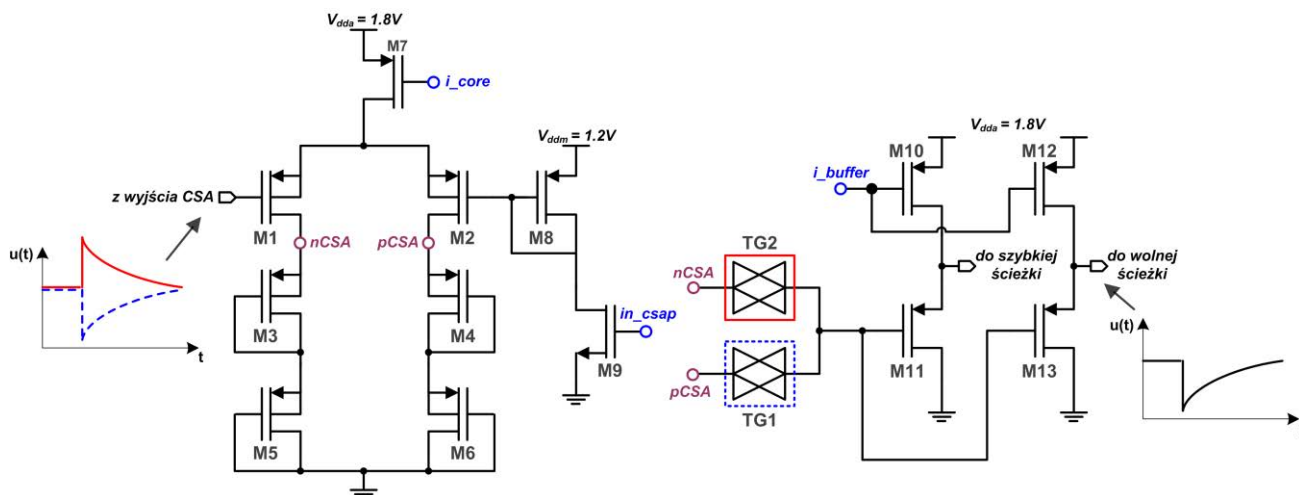
Na rys. 3 zostały przedstawione przebiegi wyjściowe wzmacniacza CSA dla nominalnej wartości rezystancji R_F (stała czasowa $\tau_F = 1 \mu s$) w przypadku wyłączonego i włączonego układu resetu. Układ resetu zbudowany jest z szeregowo połączonych kluczy i rezystora $R_{RES} = 100 \text{ k}\Omega$. Zastosowanie dodatkowego, zwartego klucza minimalizuje wpływ wstrzykiwania niepożądanego ładunku w momencie przełączenia klucza [5]. Dodatkowo, potencjały bramek kluczy są sterowane napięciami 0,9 V lub 1,8 V co minimalizuje ilość ładunku zawartego w kluczach. Załączenie układu resetu powoduje bardzo szybkie rozładowanie kondensatora C_F , dzięki czemu stopień wejściowy w krótkim czasie wraca do stanu początkowego. Ze względu na asynchroniczność pojawiających się impulsów wejściowych q_{in} docelowa aplikacja będzie zawierać w swoim torze układ, który samoczynnie wyzwoли reset w odpowiedniej chwili czasowej (ang. *self-triggering reset*). Układ resetu prototypowego układu będzie na potrzeby testów wyzwalany przez sygnał zewnętrzny.

Przetwornik ADC oraz komparator wymagają, aby impulsy wyjściowe danej ścieżki przetwarzania miały zadaną polaryzację. Zatem, aby umożliwić zbieranie dziur lub elektronów z okładek detektora w torze odczytowym został zawarty układ odwracania polaryzacji PSC, którego schemat elektryczny został przedstawiony na rys. 4. Układ PSC jest zbudowany w oparciu

o wzmacniacz różnicowy o wzmacnieniu wynoszącym 1 V/V. Potencjały $nCSA$ lub $pCSA$ w zależności od wybranej polaryzacji są przekazywane przez bramki transmisyjne na wejścia buforów wyjściowych opisywanego stopnia, które są zastosowane ze względu na pojemności wejściowe stopni kształtujących (patrz rys. 1). Regulacja potencjałem in_csa pozwala na pracę z prądem upływu detektora rzędu $\pm 10 \text{ nA}$. Moc rozpraszana przez układ odwracania polaryzacji wynosi $P_{PSC} = 0,5 \text{ mW}$.

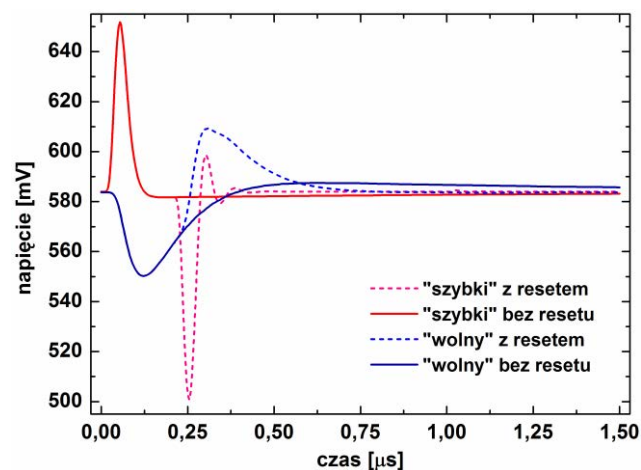


Rys. 3. Przebiegi na wyjściu wzmacniacza ładunkowego CSA w przypadku wyłączonego i włączonego układu resetu dla ładunku wejściowego $q_{in} = 1 \text{ fC}$



Rys. 4. Schemat elektryczny układu odwracania polaryzacji PSC

„Szybka” ścieżka przetwarzania impulsu wejściowego służy do wyznaczenia czasu interakcji padającego fotonu na detektor. Zbudowana jest ona z układu kształtującego typu CR-RC, którego rdzeń stanowi wzmacniacz napięciowy oparty na architekturze układu zawiniętej kaskody. Wymiary tranzystorów MOS zastosowanych w rdzeniach układów kształtujących zostały odpowiednio przeskalowane w dół względem wymiarów tranzystorów MOS rdzenia wzmacniacza CSA, tak aby ograniczyć pobór mocy przy jednoczesnym utrzymaniu wymaganych parametrów na odpowiednim poziomie. Wzmocnienie napięciowe tych rdzeni wynosi $k_V = 2500 \text{ V/V}$, a pole wzmocnienia $GBW = 1,31 \text{ GHz}$. Czas kształtowania „szybkiej” ścieżki wynosi $t_p = 30 \text{ ns}$, a jej wzmocnienie ładunkowe $k_q = 70 \text{ mV/fC}$ (patrz rys. 5). W trakcie wyznaczania czasu interakcji fotonu przy porównywaniu z zadanym progiem referencyjnym pojawiają się różnice związane z ilością ładunku wejściowego q_{in} – impuls wyjściowy w krótszym czasie osiąga zadaną wartość napięcia dla większego ładunku wejściowego. Wartość niejednoznaczności znacznika czasu interakcji na poziomie ładunku wejściowego $q_{in} = 0,8 \text{ fC}$ wynosi $\Delta t = 4 \text{ ns}$.



Rys. 5. Przebiegi na wyjściach układów kształtujących w przypadku wyłączonego i włączonego układu resetu dla ładunku wejściowego $q_{in} = 1 \text{ fC}$

„Wolna” ścieżka przetwarzania impulsu wejściowego służy do wyznaczenia energii fotonu i jest zbudowana w oparciu o układ kształtujący typu CR-(RC)². Nominalne przebiegi wyjściowe tej ścieżki dla ładunku wejściowego $q_{in}=1$ fC w przypadku wyłączanego i włączonego układu resetu zostały przedstawione na rys. 5. W sytuacji, gdy nie jest aktywny układ resetu na przebiegu wyjściowym pojawia się przerzut względem poziomu bazowego (widoczny także na przebiegu „szybkiej” ścieżki) o czasie trwania równym czasowi rozładowania pojemności C_F sprzężenia wzmacniacza CSA, co jest wynikiem podania skoku napięciowego na wejście układu kształtującego przez pojemność. Wyeliminowanie opisanego przerzutu i skrócenie impulsu napięciowego na wyjściu układu kształtującego jest osiągalne poprzez zastosowanie układu równoważenia par biegunów PZC (ang. *Pole-Zero Cancellation Circuit*) [2, 6]. Autor nie zastosował układu PZC pozwalającego w krótszym czasie osiągnąć poziom bazowy napięcia wyjściowego ze względu na zastosowania układu resetu.

Bezpośredni pomiar amplitudy impulsu napięciowego na wyjściu tej ścieżki dostarcza informację o energii cząstki, zatem należy minimalizować szumy własne ścieżki, ponieważ stanowią one o rozdzielczości pomiarowej całego systemu odczytowego. Poziom szumów własnych dla tego typu aplikacji określane jest jako ENC (ang. *Equivalent Noise Charge*). Parametr ten jest definiowany jako ilość ładunku wejściowego dla której stosunek sygnału do szumu SNR na wyjściu układu jest równy 1. Szumy ENC elektroniki odczytu front-end mogą być wyrażone za pomocą trzech składowych:

$$ENC^2 = ENC_i^2 + ENC_v^2 + ENC_f^2 \quad (3)$$

które dla filtru typu CR-(RC)² są następująco definiowane:

- prądowa równoległa składowa szumowa:

$$ENC_i^2 \propto 0.64 \cdot t_p \cdot \left(2qI_{det} + \frac{4kT}{R_F} \right) \quad (4)$$

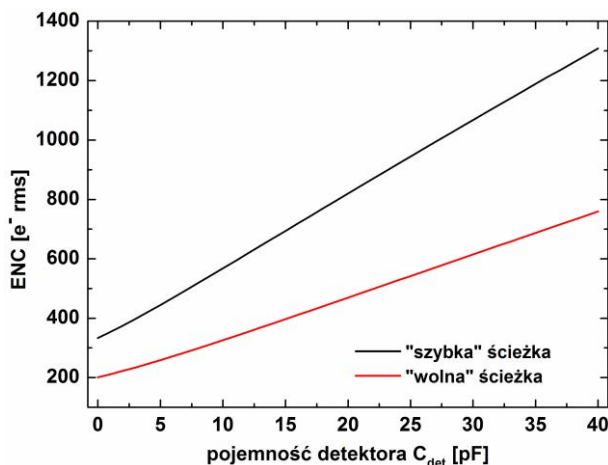
- napięciowa szeregowo składowa szumowa:

$$ENC_v^2 \propto 0.85 \cdot \frac{(C_{det} + C_F + C_{gg})^2}{t_p} \quad (5)$$

- składowa napięciowa szumów typu 1/f:

$$ENC_f^2 \propto 3.14 \cdot (C_{det} + C_F + C_{gg})^2 \quad (6)$$

gdzie: t_p – czas kształtowania, q – ładunek elementarny, I_{det} – prąd upływu detektora, k – stała Boltzmanna, T – temperatura, R_F – rezystancja w sprzężeniu CSA, C_F – pojemność w sprzężeniu CSA, C_{det} – pojemność detektora, C_{gg} – pojemność bramki tranzystora wejściowego wzmacniacza CSA (patrz tranzystor M1 na rys. 2).



Rys. 6. Wartość ENC na wyjściu układów kształtujących w funkcji dołączonej pojemności detektora C_{det}

W przypadku pracy układu odczytowego z dużą częstotliwością impulsów wejściowych q_{in} , która pociąga za sobą krótki czas kształtowania t_p dominującym składnikiem jest napięciowa szeregowo składowa szumowa ENC_v^2 . Zatem, aby zmniejszyć poziom szumów własnych toru elektroniki odczytu należy stosować filtry o możliwie długim czasie kształtowania t_p . W przypadku zaprojektowanej „wolnej” ścieżki wynosi on $t_p=80$ ns, dzięki temu osiągane są lepsze parametry szumowe niż w przypadku „szybkiej” ścieżki, co zostało przedstawione na rysunku 6.

Zaprojektowany tor elektroniki odczytu front-end został zaimplementowany jako 8 kanałowy prototypowy układ scalony ASIC (ang. *Application Specific Integrated Circuit*) w technologii UMC 180 nm CMOS.

2. Wnioski

W artykule został zaprezentowany opis elektroniki front-end do pomiaru czasu interakcji i energii fotonu dedykowanej do odczytu dwustronnych detektorów paskowych, zaimplementowanej w technologii submikronowej UMC 180 nm CMOS. Jednoczesny i dokładny pomiar czasu interakcji oraz energii zdeponowanej w detektorze wymaga zastosowania w torze odczytowym dwóch różnych, równoległych ścieżek przetwarzania sygnału: „szybkiej” i „wolnej”. Najważniejsze z punktu widzenia projektu parametry zostały przedstawione w Tab. 1.

Tabela 1. Parametry zaprojektowanego układu elektroniki odczytu front-end

technologia	CMOS 180 nm
rozpraszana moc [mW]	3,2
powierzchnia kanału [μm^2]	50 × 1100
czas t_p [ns] ścieżki „szybkiej”/ „wolnej”	30 / 80
wzmocnienie k_q [mV/fC] ścieżki „szybkiej”/ „wolnej”	70 / 35
ENC [e- rms] „wolnej” ścieżki (dla $C_{DET}=30$ pF)	586
niejednoznaczność znacznika czasu interakcji Δt [ns]	4

Najważniejsze parametry zaprojektowanej elektroniki odczytu front-end to: niski poziom rozpraszanej mocy $P=3.2$ mW, niski poziom szumów własnych $ENC=586$ e- rms (dla „wolnej” ścieżki i $C_{det}=30$ pF), a powierzchnia krzemu zajmowana przez pojedynczy kanał wynosi $50 \mu m \times 1100 \mu m$.

Praca powstała przy wsparciu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Brogna A. S., et. al.: N-XYTER, a CMOS read-out ASIC for high resolution time and amplitude measurements on high rate multi-channel counting mode neutron detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, vol. 568, 2006, s. 301-308.
- [2] Gryboś P.: Front-end Electronics for Multichannel Semiconductor Detector Systems. Editorial Series on ACCELERATOR SCIENCE, Warsaw University of Technology, 2010.
- [3] Kasinski K., et. al.: Dual stage charge-sensitive amplifier with constant-current feedback for Time-over-Threshold processing dedicated for silicon strip detectors. *Proceedings of the 20th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuit and Systems (MIXDES)*, 2013, s. 239-242.
- [4] Kleczek R., Grybos P.: FSDR16-Fast and Low Noise Multichannel ASIC with 5th Order Complex Shaping Amplifier. *IEEE Transaction on Nuclear Science*, vol. 60, no. 3, 2013, s. 2188-2195.
- [5] Razavi B., Design of analog integrated circuits. McGraw-Hill Companies, 2001.
- [6] Spieler H.: Semiconductor detector systems. Oxford University Press, 2005.

Mgr inż. Rafał Kleczek
e-mail: rafal.kleczek@agh.edu.pl

Ukończył Akademię Górniczo-Hutniczą: w 2009 roku Studia Magisterskie, kierunek: Elektronika i Telekomunikacja, specjalność: Mikroelektronika i aparatura biomedyczna, a w 2013 roku Studia Doktoranckie na Wydziale IET, dyscyplina: Elektronika. Obecnie pracuje jako asystent w Katedrze Metrologii i Elektroniki, AGH. Jego głównym zainteresowaniem naukowym jest projektowanie scalonych wielokanałowych układów elektroniki front-end do odczytu półprzewodnikowych detektorów promieniowania X.



OBLICZANIE NAPIĘCIA NA PANTOGRAFIE ELEKTRYCZNEGO POJAZDU TRAKCYJNEGO, PRĄDÓW OBCIĄŻENIOWYCH I ZWARCIOWYCH W SIECI TRAKCYJNEJ

Włodzimierz Kruczek

Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki

Streszczenie. Elektryczne pojazdy trakcyjne do niezawodnej pracy i utrzymywania osiągniętych eksploatacyjnych, na które zostały zaprojektowane, wymagają niezawodnego zasilania. Zasilanie to jest gwarantowane poprzez system zasilania trakcyjnego. Cechą charakterystyczną dla obciążeń trakcyjnych jest ich duża zmienność, pobór prądu przez pojazd trakcyjny dużej mocy, przy niedostosowanym układzie zasilania jak i niedostosowanej sieci trakcyjnej powoduje zbyt duży spadek napięcia na pantografie, przez co pojazd traci właściwości trakcyjne, na które został zaprojektowany. Niniejszy artykuł poświęcony jest programowi napisanemu w środowisku MATHCAD do obliczania napięcia na pantografie elektrycznego pojazdu trakcyjnego, który zmienia swoje położenie, oraz obliczania prądów obciążeniowych i zwarciovych w sieci trakcyjnej.

Słowa kluczowe: trakcja elektryczna, zasilanie elektrycznych pojazdów trakcyjnych

THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF A CATENARY SYSTEM IN ELECTRIC RAIL VEHICLES, THE CALCULATION OF TRACTION LOAD AND SHORT – CIRCUIT CURRENTS

Abstract. Electrical railway vehicles need a reliable power source to comply with their designed specification. The specific working range of the electric traction system includes the big changes in the load during operation. A big power consumption in conjunction with the insufficient network can cause the loss of the vehicle's power. This problem is also addressed by the interoperability specification. The MATHCAD is used mainly for numerical calculations. The program simulates network with two power substations and two track sectioning cabins. It can also calculate single-sided network. The calculation step can be set from 1 m up to 1000 m. This is important for networks containing sections of different resistance. The calculation can be performed in three different variations: with constant current, constant vehicle resistance and with the set vehicle's speed and parameters. It is also capable of calculating the short-circuit current. The program interface enables the user unfamiliar to MATHCAD to perform the calculations. The user needs only to input data to pre-defined fields and tables. The results can be exported into other programs.

Keywords: traction power supplies, electric vehicles

Wstęp

Częściami składowymi systemu zasilania trakcyjnego są: system energetyczny, podstacje trakcyjne, kabiny sekcyjne i sieć trakcyjna. Żeby system zasilania kolejowej trakcji elektrycznej był wydajny i spełniał wymogi interoperacyjności, muszą być spełnione parametry techniczne określone w Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności „Energia” [1] oraz w powołanych w niej normach. Najważniejsze z nich to:

- napięcie średnie użyteczne na pantografie ($U_{Sr_{uz}} \geq 2700 \text{ V}$) [3];
- napięcie minimalne na pantografie ($U_{min1} \geq 2000 \text{ V}$) [3];
- prąd zwarcia w warunkach najbardziej niekorzystnych ($I_{zw} \geq 2800 \text{ A}$) [1, 3].

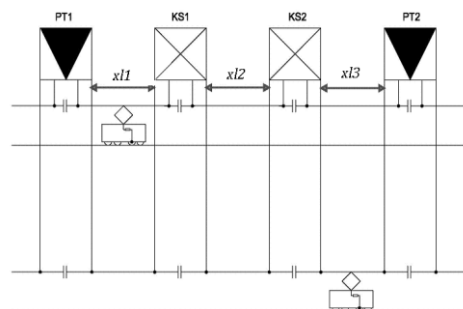
Przy wyliczaniu powyższych parametrów nieocenioną pomoc stanowią programy obliczeniowe. Niniejszy artykuł poświęcony jest programowi obliczeniowemu napisanemu do tego celu w środowisku MATHCAD.

1. Ogólna charakterystyka metody obliczeń

MATCAD należy do grupy programów określanych mianem systemów algebry komputerowej, programy te są wynikiem pracy nad sztuczną inteligencją. (Computer Algebra System, CAS). Służy on do komputerowego wspomagania obliczeń symbolicznych w matematyce i dyscyplinach technicznych, oraz przede wszystkim do przeprowadzenia obliczeń numerycznych tzn. takich których wynikami są liczby lub wartości wielkości fizycznych. MATCAD ma również wbudowany własny język programowania, dzięki temu można w procesie rozwiązywania problemów matematycznych i inżynierskich wykorzystywać własne algorytmy i tworzyć programy użytkowe. Dzięki tej właściwości MATCAD może być wykorzystywany jako zintegrowane środowisko programistyczne, czyli aplikacja służąca do tworzenia, modyfikowania, testowania i konserwacji oprogramowania użytkowego. Cecha ta została wykorzystana w programie obliczającym napięcie i prądy w sieci trakcyjnej.

Obliczenia przeprowadzane są z uwzględnieniem w obliczeniach dwóch podstacji trakcyjnych i dwóch kabin sekcyjnych. Sytuacja taka przedstawiona jest na rysunku 1. Program umożliwia również analizę dla zasilania jednostronnego

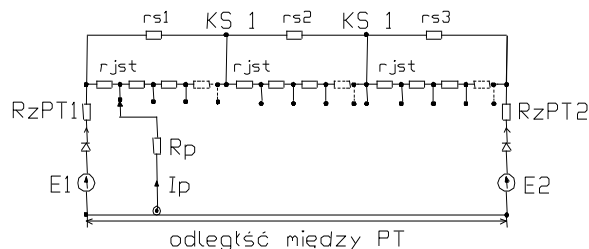
oraz z jedną kabiną sekcyjną, lub bez kabiny sekcyjnej. Możliwe jest również uwzględnienie „dosilenia” ze znakiem + (prądy wpływające), lub ze znakiem - (prądy wypływające) z lub do analizowanego odcinka. „Dosilenie” analizowanego odcinka ze znakiem + lub - może być stałe lub mieć charakter funkcji nieliniowej, której przebieg zależy od sytuacji ruchowej na sąsiednich odcinkach. Rysunek 2 przedstawia schemat zastępczy, w którym wykonywane są obliczenia dla dwóch podstacji trakcyjnych i dwóch kabin sekcyjnych.



Rys. 1. Przykładowy odcinek zasilania z dwoma kabinami sekcijnymi. PT1 – podstacja trakcyjna 1 analizowanego odcinka zasilania, PT2 – podstacja trakcyjna 2 analizowanego odcinka zasilania, KS1 – kabina sekcyjna 1 analizowanego odcinka zasilania, KS2 – kabina sekcyjna 2 analizowanego odcinka zasilania, x11 – odległość pomiędzy PT1 a KS1, x12 – odległość pomiędzy kabinami sekcijnymi, x13 – odległość pomiędzy KS2 a PT1

Tematyka obliczeń parametrów obciążenia układów zasilania trakcji prądu stałego nie jest nowa i sięga początków trakcji elektrycznej. Przedstawiony na rysunku obwód elektryczny można rozwiązać analitycznie wykorzystując ogólnie znane prawa elektrotechniki. Metody obliczania układów zasilania trakcyjnego są dostępne w bogatej literaturze np. w [2, 4]. Istnieją również metody wykreślne, opisane np. w [2]. Rozwiązując obwód należy pamiętać że w każdym kroku obliczeń struktura przedstawionego obwodu się zmienia. Przyjmując wykonanie obliczeń dla pojazdu trakcyjnego zmieniającego swoje położenie co 10 metrów, dla odcinka zasilania np. 15 km otrzymamy 1500 obwodów elektrycznych. Biorąc pod uwagę ilość potrzebnych równań dla rozwiązania jednego obwodu, można przyjąć że zadanie staje się nie wykonalne bez wspomaganie komputerowe. Oczywiście

dostępne są zaawansowane specjalistyczne programy użytkowe które pozwalają na sprawdzenie w symulacji funkcjonowania układu zasilania dla zadanych warunków ruchowych. Tego typu programy umożliwiają jednak obliczanie i symulowanie tylko układów zasilania trakcyjnego, nie mają możliwości rozbudowy o nowe funkcje a ich cena jest bardzo wysoka.



Rys. 2. Schemat zastępczy rozważanego w programie obwodu elektrycznego. RZPT1 – rezystancja zastępcza podstacji trakcyjnej PT1, RZPT2 – rezystancja zastępcza podstacji trakcyjnej PT2, Ip – prąd pobierany przez pociąg w danym położeniu na analizowanym odcinku, Rp – rezystancja zastępcza odzwierciedlająca rezystancję obwodu głównego pojazdu trakcyjnego, KS1 – kabina sekcyjna 1, KS2 – kabina sekcyjna 2, rjst – rezystancja jednostkowa sieci trakcyjnej wraz z siecią powrotną, rs1 – rezystancja zastępcza odcinka sieci trakcyjnej wraz z siecią powrotną na drugim torze pomiędzy PT1 i KS1, rs2 – rezystancja zastępcza odcinka sieci trakcyjnej wraz z siecią powrotną pomiędzy KS1 i KS2, rs3 – rezystancja zastępcza odcinka sieci trakcyjnej wraz z siecią powrotną na drugim torze pomiędzy KS2 i PT2

Intencją autora jest opracowanie w pełni użytkowego programu obliczeniowo symulacyjnego, uruchamianego w ogólnie dostępnym i tanim narzędziu inżynierskim jakim jest MATHCAD. Pierwszym blokiem tego programu jest blok obliczeniowy opisany w niniejszym artykule. Matematycznie prezentowany blok programu rozwiązuje przedstawiony obwód elektryczny metodą prądów oczkowych. Obliczenia są wykonywane w funkcji drogi pociągu, krok obliczeń może być ustawiany od 1m do 1000m, ze względu na czas obliczeń domyślnie wynosi on 10m. Program umożliwia obliczenia dla jednorodnej rezystancji sieci trakcyjnej na całej długości oraz dla sieci trakcyjnej składającej się z odcinków różnego typu a więc różnej rezystancji. Ta możliwość jest szczególnie przydatna w obliczeniach dla istniejących odcinków sieci trakcyjnej, gdzie sieć trakcyjna często składa się kilku lub nawet kilkunastu rodzajów o innej rezystancji każda. W programie możliwe są następujące warianty obliczeń:

- 1) Obliczenia dla stałego i zadanego prądu pociągu na całej trasie. Dla tego wariantu obliczeń program wyznacza napięcie na pantografie, prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT1 oraz prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT2.
- 2) Obliczenia dla prądu pociągu wynikającego ze stałej rezystancji Rp (rezystancji zastępczej odzwierciedlającej rezystancję obwodu głównego pojazdu trakcyjnego) na całej trasie. Dla tego wariantu obliczeń program wyznacza napięcie na pantografie, prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT1 oraz prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT2, oraz prąd pobierany przez pociąg.

- 3) Obliczenia dla prądu pociągu wynikającego z zadanej prędkości przejazdu, parametrów pociągu i parametrów trasy. Dla tego wariantu, program oblicza przejazd teoretyczny, wyznacza całkowite opory ruchu, sprawdza czy zadana prędkość dla danego pociągu i trasy jest możliwa do uzyskania. Po wyliczeniu program wyznacza napięcie na pantografie, prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT1, prąd zasilacza podstacji trakcyjnej PT2, oraz prąd pobierany przez pociąg. Oblicza czas przejazdu oraz ogólne zużycie energii elektrycznej. Przy obliczaniu napięcia na pantografie pojazdu trakcyjnego poruszającego się po torze 1 zastosowano założenie obciążenia skupionego na tym torze, natomiast na drugim torze obciążenia rozłożonego [2].

Ponadto program umożliwia wyliczenie prądu zwarcia występującego w dowolnym miejscu sieci trakcyjnej, w każdym z trzech wariantów, oraz inne parametry układu zasilania trakcyjnego np. procentowego spadku napięcia zasilania AC podstacji trakcyjnych do którego wyliczenia konieczne jest podanie mocy zwarcia podstacji trakcyjnych.

2. Interfejs i dane konieczne do przeprowadzenia obliczeń

Interfejs programu jest w ten sposób zaprojektowany, że obliczenia może wykonywać użytkownik nieznający zaawansowanych reguł obliczeń i programowania w MATHCADzie. Wszystkie konieczne dane wprowadza się w przygotowane tabele i okienka. Część obliczeniowa wykonywana jest w blokach ukrytych programu. Wyniki przedstawiane są po przewinięciu paska przewijania na koniec strony, mogą być też eksportowane do innych programów, na przykład arkusza kalkulacyjnego. Rysunek 3. przedstawia interfejs programu w części wprowadzania danych dotyczących sieci trakcyjnej i układu zasilania.

Program do przeprowadzenia obliczeń wymaga wprowadzenia danych zależnych od wybranego wariantu obliczeń. Dla każdego z trzech wariantów, konieczne jest podanie odległości między podstacjami trakcyjnymi i kabinami sekcijnymi, rezystancji wewnętrznej podstacji trakcyjnych, wartości napięć nieobciążonych podstacji trakcyjnych, napięć zasilania podstacji trakcyjnych. Możliwe jest również podanie prądu dodatkowego wpływającego lub wypływającego z analizowanego odcinka. W wariantcie pierwszym obliczeń program wymaga wprowadzenia prądu pociągu, który jest stały i pobierany przez pociąg na całej trasie, w wariantcie drugim obliczeń należy podać rezystancję pociągu Rp (odzwierciedlającą rezystancję obwodu głównego pojazdu trakcyjnego), która jest stała na całej trasie. Do przeprowadzenia wariantu trzeciego, konieczna jest znajomość parametrów trasy tj. profilu poziomego i pionowego, znajomość charakterystyki trakcyjnej pojazdu trakcyjnego i odpowiadającej jej charakterystyki prądowej, konieczne są również dane pociągu tj. liczba i rodzaj wagonów, masa pociągu, masa lokomotywy.

Program do obliczania napięć i prądów w sieci trakcyjnej

Tabela nazw oraz długości odcinków pomiędzy podstacjami trakcyjnymi i kabinami sekcijnymi

"PT1 Nazwa"	"L1 [km]"	"KS1 Nazwa"	"L2 [km]"	"KS2 Nazwa"	"L3 [km]"	"PT2 Nazwa"
"Minsk Maz"	2	"KS Wysoka K"	3	"KS Par'owko"	10	"Mienia"

Parametry sieci trakcyjnej

Sieć trakcyjna jednego rodzaju o stałej rezystancji na całej trasie => ohm/km:

Sieć trakcyjna składająca się z odcinków o różnej rezystancji => Tabela

	Rezystancja podstacji trakcyjnej PT 1 [Ω]	Rezystancja podstacji trakcyjnej PT 2 [Ω]	Napięcie nie obciążonej podstacji trakcyjnej PT1 [V]	Napięcie nie obciążonej podstacji trakcyjnej PT2 [V]	Napięcie zasilania podstacji trakcyjnej PT1 [kV]	Napięcie zasilania podstacji trakcyjnej PT2 [kV]	Moc zwarcia podstacji trakcyjnej PT1 [MW]	Moc zwarcia podstacji trakcyjnej PT2 [MW]	Prąd dodatkowy +/- podstacji trakcyjnej PT1 [A]
0.13									
0.13									
3300									
3300									
15									
15									
169									
160									
0									

Tabela rezystancji odcinków sieci trakcyjnej

długość odcinka sieci trakcyjnej w km	rezystancja 1 km sieci trakcyjnej w ohmach	
15	0.098	0.0725
"koniec"	0.0725	0.0676
2	0.098	0.1235
4	0.07005	"koniec"
4	0.0725	1
4	0.0878	78
"koniec"	"koniec"	"koniec"
0	"koniec"	1
0	"koniec"	1
0	"koniec"	...

Dodawanie i likwidowanie komórek tabeli poprzez uchwyt i przeciąganie

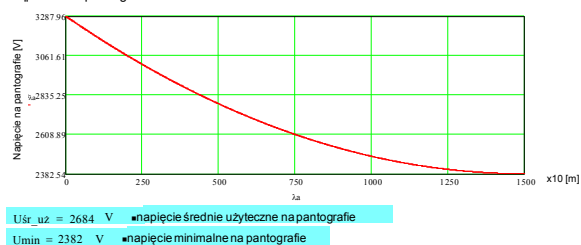
Rys. 3. Interfejs programu w części wprowadzania danych

3. Przykładowe wyniki obliczeń

3.1. Przykłady obliczeń dla jednostronnego układu zasilania bez kabiny sekcyjnej

Upt1 = 3600 V Rst = 0.0503 Ω/km (15km)
Rpt1 = 0.13 Ω L odc. = 15 km

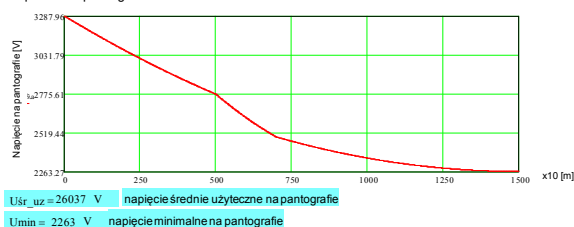
Napięcie na pantografie



Rys. 4. Napięcie na pantografie dla dwutorowego jednostronnego układu zasilania, dla sieci trakcyjnej jednego rodzaju

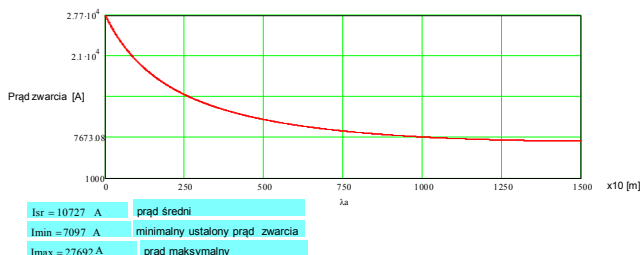
Upt1 = 3600 V Rst1 = 0.0503 Ω/km (5km), Rst2 = 0.1 Ω/km (2km), Rst3 = 0.0503 Ω/km (8km),
Rpt1 = 0.13 Ω L odc. = 15 km
Ipoc. = 2500 A

Napięcie na pantografie



Rys. 5. Napięcie na pantografie dla dwutorowego jednostronnego układu zasilania, dla sieci trakcyjnej składającej się z odcinków różnego rodzaju

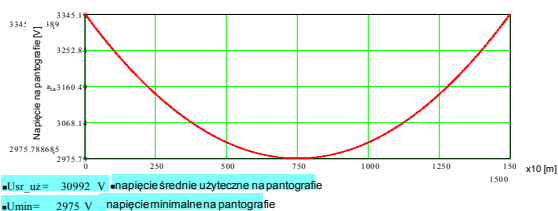
Upt1 = 3600 V Rst1 = 0.0503 Ω/km (15km)
Rpt1 = 0.13 Ω L odc. = 15 km



Rys. 6. Ustalony prąd zwarcia dla dwutorowego jednostronnego układu zasilania

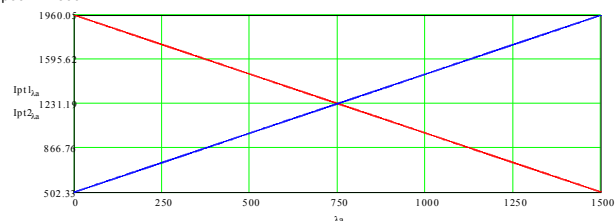
3.2. Przykłady obliczeń dla dwustronnego układu zasilania bez kabiny sekcyjnej

Upt1 = 3600 V Rst = 0.0503 Ω/km
Upt2 = 3600 V L odc. = 15 km
Rpt1 = 0.13 Ω
Rpt2 = 0.13 Ω
Ipoc. = 2500 A



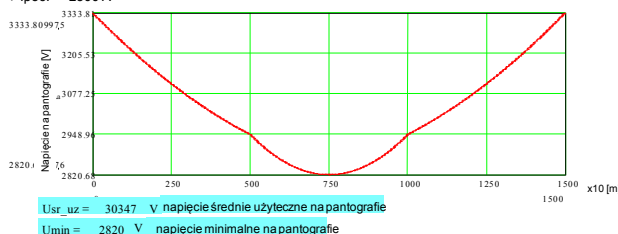
Rys. 7. Napięcie na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej

Upt1 = 3600 V Rst = 0.0503 Ω/km (15 km)
Upt2 = 3600 V L odc. = 15 km
Rpt1 = 0.13 Ω
Rpt2 = 0.13 Ω
Ipoc. = 2500 A



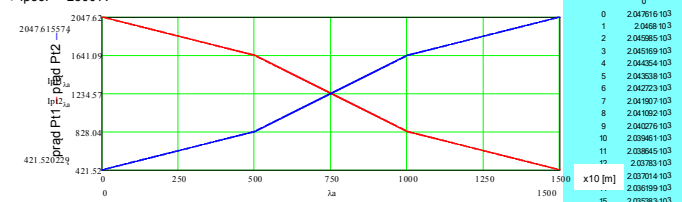
Rys. 8. Prąd obciążenia zasilaczy PT dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej

Upt1 = 3600 V Rst1 = 0.0503 Ω/km (5km), Rst2 = 0.1 Ω/km (5km), Rst3 = 0.0503 Ω/km (5km),
Upt2 = 3600 V L odc. = 15 km
Rpt1 = 0.13 Ω
Rpt2 = 0.13 Ω
Ipoc. = 2500 A



Rys. 9. Napięcie na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej, dla sieci trakcyjnej na odcinku 5km o zwiększonej rezystancji

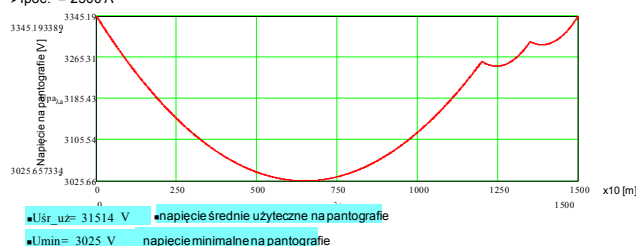
Upt1 = 3600 V Rst1 = 0.0503 Ω/km (5km), Rst2 = 0.1 Ω/km (5km), Rst3 = 0.0503 Ω/km (5km)
Upt2 = 3600 V L odc. = 15 km
Rpt1 = 0.13 Ω
Rpt2 = 0.13 Ω
Ipoc. = 2500 A



Rys. 10. Prąd obciążenia zasilaczy PT dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej dla sieci trakcyjnej na odcinku 5km o zwiększonej rezystancji

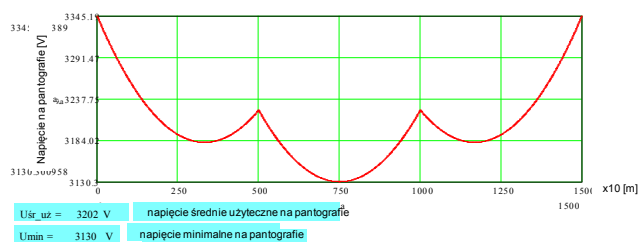
3.3. Przykłady obliczeń dla dwustronnego układu zasilania z dwoma kabinami sekcijnymi

Upt1 = 3600 V Rst = 0.0503 Ω/km
Upt2 = 3600 V L odc. = 15 km
Rpt1 = 0.13 Ω L1 = 12 km; L2 = 1.5 km; L2 = 1.5 km
Rpt2 = 0.13 Ω
Ipoc. = 2500 A



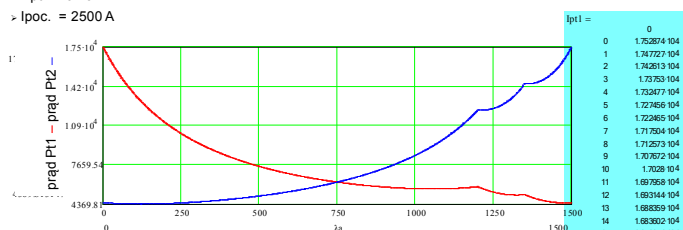
Rys. 11. Napięcie na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, z dwiema kabinami sekcijnymi 12 km i 13,5 km od PT1

$U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
 $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
 $R_{pt1} = 0.13 \Omega$
 $R_{pt2} = 0.13 \Omega$
 $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$
 $R_{st} = 0.0503 \Omega/\text{km} (15 \text{ km})$
 $L \text{ odc.} = 15 \text{ km}$
 $L_1 = 5 \text{ km}; L_2 = 5 \text{ km}; L_2 = 5 \text{ km}$



Rys. 12. Napięcie na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, z dwiema kabinami sekcijnymi oddalonymi 5 km i 10 km od PT1

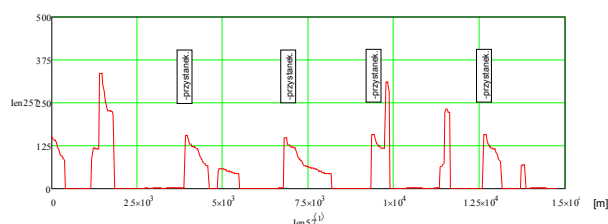
$U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
 $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
 $R_{pt1} = 0.13 \Omega$
 $R_{pt2} = 0.13 \Omega$
 $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$
 $R_{st} = 0.0503 \Omega/\text{km} (15 \text{ km})$
 $L \text{ odc.} = 15 \text{ km}$
 $L_1 = 12 \text{ km}; L_2 = 1.5 \text{ km}; L_2 = 1.5 \text{ km}$



Rys. 13. Prąd zwarcia zasilaczy PT dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, z dwiema kabinami sekcijnymi oddalonymi 12 km i 13,5 km od PT1

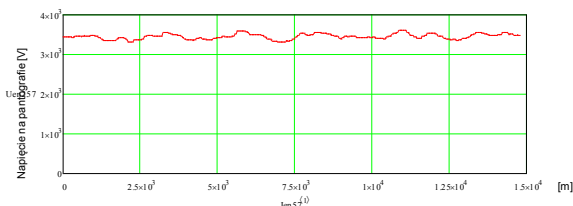
3.4. Przykładowe wyniki symulacji dla wariantu trzeciego obliczeń

$U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
 $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
 $R_{pt1} = 0.13 \Omega$
 $R_{pt2} = 0.13 \Omega$
 $R_{st} = 0.0503 \Omega/\text{km} (15 \text{ km})$
 $L \text{ odc.} = 15 \text{ km}$



Rys. 14. Symulacja prądu pobieranego przez EZT EN 57 dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania

$U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
 $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
 $R_{pt1} = 0.13 \Omega$
 $R_{pt2} = 0.13 \Omega$
 $R_{st} = 0.0503 \Omega/\text{km} (15 \text{ km})$
 $L \text{ odc.} = 15 \text{ km}$



Rys. 15. Symulacja napięcia na pantografie dla EZT EN 57 dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania

4. Podsumowanie

Wydawać by się mogło że przedstawione obliczenia są trywialne do wykonania. Autor uważa jednak że możliwość przeprowadzenia takich obliczeń w kilka sekund, dla każdego dowolnie zadanego parametrów układu zasilania trakcyjnego, dla dowolnie długiego odcinka i dowolnie rozstawionych kabin sekcyjnych, oraz dla różnej jednostkowej rezystancji sieci trakcyjnej, w ogólnie dostępnym i tanim uniwersalnym narzędziu inżynierskim jest zaletą takiego podejścia do problemu obliczeń trakcyjnych. Zaletą oprogramowania uniwersalnego inżynierskiego jakim jest MATHCAD jest również możliwość łatwej rozbudowy o kolejne bloki obliczeniowe w zależności od potrzeb użytkownika.

Oprogramowanie MATHCAD może być szeroko wykorzystywane w obliczeniach i symulacji parametrów układów zasilania sieci trakcyjnej. Przedstawiony blok programu obliczeniowego jest częścią składową większego opracowywanego pakietu obliczeniowo symulacyjnego, który umożliwi sprawdzenie parametrów układu zasilania, decydujących o interoperacyjności. Kolejne bloki obliczeniowo symulacyjne umożliwią obliczenia dla wielu pociągów na odcinku zasilania poruszających się według zadanego rozkładu jazdy, pozwolą na wyznaczenie dopuszczalnego maksymalnego następstwa pociągów. Według autora pakiet ten będzie mógł być wykorzystywany również na etapie projektowania oraz weryfikacji projektu. Łatwy interfejs umożliwia użytkownikom bez znajomości zaawansowanych reguł obsługi MATHCADa. Przedstawione w referacie wyniki obliczeń zweryfikowano z obliczonymi innymi metodami bardziej pracochłonnymi z wynikiem pozytywnym.

Literatura

- [1] Decyzja Komisji 2011/274/UE z dnia 26 kwietnia 2011 r. dotycząca technicznej specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Energia” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych.
- [2] Mierzejewski L., Szeląg A., Gałuszewski M.: System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
- [3] PN-EN 50388 Zastosowania kolejowe - System zasilania i tabor - Warunki techniczne koordynacji pomiędzy systemem zasilania (podstacja) i taborem w celu osiągnięcia interoperacyjności.
- [4] Szeląg A.: Wpływ napięcia w sieci trakcyjnej 3 kV DC na parametry energetyczno-trakcyjne zasilanych pojazdów.

Mgr inż. Włodzimierz Kruczek
e-mail: wkruczek@ikolej.pl

Od 2007r. pracownik Zakładu Elektroenergetyki Instytutu Kolejnictwa. Specjalista w zakresie miernictwa elektrycznego, pomiarów termowizyjnych, ochrony przeciwporażeniowej w systemach trakcyjnych, pojazdów trakcyjnych i wagonach osobowych. Od 2010 r. kierownik sekcji laboratoryjno pomiarowej w Zakładzie Elektroenergetyki. Zajmuje się również badaniami wyłączników szybkich, przetwornic statycznych, sieci trakcyjnej i odbieraków prądu pojazdów szynowych i ich współpracy z siecią trakcyjną. Autor i współautor ok. 15 prac badawczo-technicznych. Członek Komitetu Technicznego nr 73 PKN ds. Projektowania i Eksploatacji Urządzeń Elektroenergetycznych o Napięciu Powyżej 1 kV Prądu Przemianowego (1,5 kV Prądu Stałego) oraz Ograniczników Przepięć. Doktorant w Instytucie Elektrotechniki.



otrzymano/received: 07.07.2013

przyjęto do druku/accepted: 14.10.2013

DEVELOPMENT OF A SCENARIO-BASED PROJECT MANAGEMENT SYSTEM CONSTRUCTION IN ENTERPRISES WITH THE FUNCTIONAL ORGANIZATIONAL STRUCTURE

Olexandr V. Koval¹, Valeriy A. Kuzminykh², Maxim P. Voronko², Dmitriy V. Khaustov²

¹National Technical University of Ukraine "Kiev Politechnic Institute"; ²Joint-Stock Company "Ukrtelecom"

Abstract. Commonly accepted point is that functional organization structure is a poor environment for project management. The scenario repository approach is designed especially to support project management in environment with great amount of operational activity taking into account, that in such cases, project tasks have their reflection in the tasks of business-processes.

Creation of a special project and operation task management tools set allows to create a new approach in change management in enterprises with functional organization structure, optimize the processes, involved in project management activities, compile the knowledge base of project and operational task management using the project task - operational task mapping to reveal the bottle necks of both.

Keywords: Project engineering, Optimal scheduling, Process planning, Probability

ROZWÓJ SYSTEMU ZARZĄDZANIA OPARTEGO O SCENARIUSZE W PRZEDSIĘBIORSTWACH O FUNKCJONALNEJ ORGANIZACJI STRUKTURY

Abstrakt. Ogólnie przyjętym punktem widzenia jest to, że funkcjonalna organizacja struktury jest słabą podstawą do zarządzania projektami. Podejście oparte o scenariusze zostało specjalnie zaprojektowane do wsparcia zarządzania projektami w środowisku o dużej aktywności operacyjnej zwłaszcza, że cele projektu mają swoje odbicie w celach procesów biznesowych. Opracowanie specjalnego zestawu narzędzi i operacji do zarządzania projektami pozwala stworzyć nowe podejście do zarządzania zmianami w przedsiębiorstwach z funkcjonalną organizacją struktury, optymalizować procesy związane z zarządzaniem projektami, zbudować bazę wiedzy projektu i operatywnego zarządzania zadaniami przy wykorzystaniu głównego celu projektu - zadanie operacyjne wykrywania „wąskich gardeł”.

Słowa kluczowe: inżynieria projektu, optymalne planowanie, proces planowanie, prawdopodobieństwo

Introduction

Enterprises with functional organization structure [1], whose basic operational activities are defined by their department functions, are one of the most common types of the enterprises of the process type. The main activity of such enterprises can be described by the set of business-processes, while projects are the tools of making qualitative and quantitative changes in execution of these processes. The project management in such enterprises is not the mainstream activity, but is widely used to perform concurrent changes in the enterprise.

In the enterprises and organizations with functional organization structure, which is characterized by the strict hierarchical subordination and strictly documented employee and department functions, enterprise portfolio management is one of the most prospective tool of strategic goals achievement [4].

1. Preface

In this work we assume that the enterprise project management system (EPMS) is implemented in enterprises with functional organization structure. The enterprise project management system in such organizations is a set of tightly bound elements including the project management methodology, solving methods for initiation tasks, planning, analysis and monitoring of the project execution, software and instrumental tools, requirements, regulations and procedure descriptions [2, 5]. EPMS includes all the organization structure elements taking part in the project management and execution as well as personal, taking part in projects.

EPMS main components:

- project management system methodology and methods,
- personnel – the human department, provided with a proper training in project management, which acts according to unified rules and performs problem solving according to EPMS directives (regulations, standards, orders etc.),
- instrumental tools – automatic information system, which creates common information space for all participants of the project participants and enables realization of the project management corporation methodology,

- resources, human along with material and financial, which are consolidated and common through all the EPMS,
- the instrumental tools represent the foundation of the EPMS structure, which defines possibilities and enterprise maturity level in project management area according to enterprise specifics. This is even more essential for functional structure enterprises.

Project approach application in the functional organizations has several core specifics, which define the project management specifics in these enterprises:

- 1) in functional organizations there is big portion of repeating tasks, which are comparable by structure, workflow, and execution procedures in the scope of definite organizational branch (IT, marketing, sales, production etc.), but differ in different branches. This makes it possible to build templates and frameworks for such repeatable tasks and save them for future usage;
- 2) for structural organizational departments there is a set of standard tasks, defined in functional regulations for such departments, which are executed during their operational activity. Thus nearly any task planned in the project for such department can be mapped to the functional task of this department. The department should not execute any other tasks except those, which are defined for them by their functional regulations or by functions of employees, working in this department. This gives possibility to postulate, that any project task appointed for execution in a given departmental corresponds to the functional task, executed during the operational activity. Such approach makes it possible to calculate average task duration and store information on execution time for such tasks for future use in project planning process (creation of Gantt graph);
- 3) in functional organizations the separate project as well as aggregated group of projects (portfolio, program, folders etc.) concurrent state analysis is an imperative element of the project management. Task aggregation levels are defined by enterprise organization structure, financial budgets, location and other specifics of enterprise of a set of projects. This must be taken in consideration while building software tools for project management and task execution analysis.

The basic element interaction structure is shown on the Fig 1. It contains such basic elements as:

- Project Scenario Repository – basic standard scenarios workflow storage,
- Standard Task Repository – basic standard project tasks repository corresponding to operational functional tasks executed in separate departments,
- Monitoring and Controlling – Project Management system, used for running and controlling projects according to their respective Gantt graphs,
- Project Registry – registry of the active projects, their aggregations and archives.

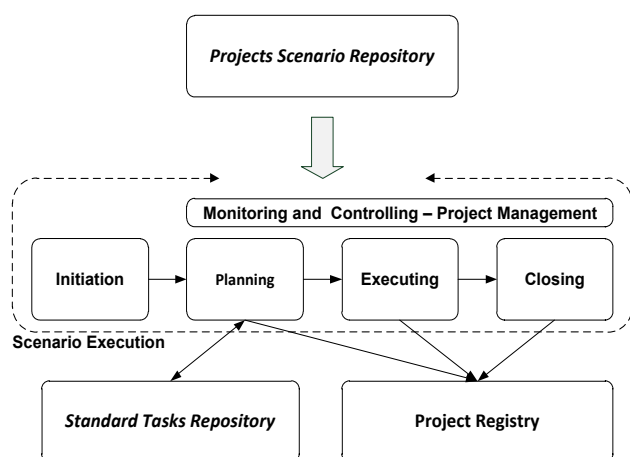


Fig. 1. Basic elements of Project Management Corporate System

2. Project Scenario Repository

Project management processes, which periodical repeating in enterprises with functional organization structure, can be stored for future use by means of Project Scenario Repository software (e.g. using tools of MS Share Point, Nintex or other), in the form of workflow warehouse. Stored workflows are specific for each enterprise.

Existing project management supporting systems, such as MS Project, Spider Project, Primavera Project Planner and others, are designed to support separate project execution. Stages like project initialization, project execution expedience assessment, work breakdown [3] into stages and tasks, task specification etc. are not included in these systems.

Implementation of project approach in the functional organizations is to be more general and holistic. According to such approach project activities are to be considered along with the operational activities. To completely describe all the project management stages one needs a set of additional tools. Partially, in the field of information technologies, these problems are solved in MOF (Microsoft Operations Framework), where project is included in the product life cycle, but in this case only the IT projects specifics, directed to IT services and products creation, are considered. In MOF the procedure of project planning and execution is not described.

According to MOF one can build structure of project activity scenarios for the functional organizations:

1) Initiation:

- correspondence to the business requirements and coordination with them,
- solution reliability,
- financing sources and conditions,
- project management team formation and project passport composition.

2) Planning:

- preliminary planning (top level view and plans for separate project parts),
- whole project planning (problems, risks, contractors),
- project plan and human resources approval.

3) Execution:

- product/service production,
- solution stabilisation (according to testing and experimental run results),
- product/service implementation (implementation and user instructions).

4) Closing:

- graphs and documents archiving and storing,
- repositories data updating.

5) Monitoring and Controlling – Project Management for stages 2-4:

- project management and risk analysis according to business demands,
- task duration and structure changes (actual and planned changes and their results),
- project team management (responsibilities and credentials according to project roles and tasks).

Functional parts of these scenarios can greatly differ for different project types, but for projects of definite type they will contain rather uniform structure of the like components.

3. Standard Task Repository

Standard Task Repository is formed as a list of standard project tasks, built according to restrained list of functional department tasks [6]. It stores information for the project tasks execution parameters using the software of Standard Task Repository.

Standard task repository is meant as:

- storage for functional task execution time parameters assessment made by the results of their execution in projects (average execution time, execution time deviations from average for different projects, dispersion assessments etc.),
- software processing tools,
- documents, specific for definite project tasks and their generation procedures.

While it is postulated, that the main goal of any single project is creation of unique product or achievement of unique result [1]; in practice most of companies implement projects of the similar type, according to their direction of activity. Such projects include great number of standard tasks. One can point out the specific features of standard tasks [4]:

- standard task list and their precedence is known and well defined for all projects of the same type,
- tasks are repeatedly used in many projects,
- tasks are executed according to responsibilities of specific departments and are connected to responsibilities of specific employees in these departments.

For example, telecommunication company connects new business-subscribers using projects of same type with minor modifications. Such projects contain major amount of repeated tasks, which are standard for such a company. Thus during execution typical for a company project most of the project tasks will be standard.

Standard Task Repository has dual purpose: storing repeated tasks for future usage in building project plan and using data about task execution time from each project, where it is used to make statistical assessment of average task execution time through all projects and dispersion of time data assuming, that the time distribution is random and near to normal distribution. If the standard task is repeated frequently and without significant changes of the task environment (which is usual case for the projects in functional organizations), than the average task execution time derived from previous projects can be used to define the task duration in new project plan. The dispersion, got from statistical assessment, can be used for defining the largest possible execution time deviation (3-sigma rule). This measure can be used for defining the risk of late task finishing. More than that, using the duration less than average execution time for the task will give the raise in the late task finishing probability. The relatively big dispersion value can be the indicator

of instability in the task execution. So such tasks are to be placed out of critical path of the project not to affect the total project execution time, or, at least, means are to be taken to reduce its impact on the whole project.

The Standard Task Repository is a combination of dynamic data structure in database, holding all standard tasks with their time parameters and extra data, and software acting on these data, which implements such services as addition of the new task to the repository, selection of tasks with their parameters to be used in project planning, statistics machine updating definite task parameters on their completion in current project etc.

Many projects can be grouped in project groups according to similar subsets of standard tasks used in them and to the workflows, used to manage project lifecycles. This project classification can be used to create project framework for each class, where planning of new project will be reduced to editing start dates of the standard tasks and insertion of unique tasks if needed.

Even more, each standard task can be combined with document templates set, which is used to generate definite set of documents during task execution, thus reducing the project planning time. Such optional document template sets are saved in the standard task repository along with the corresponding standard tasks.

Due to such approach any tasks, which are included in the project plan, are mutually linked to functional tasks of specific structural departments. Thus, formally, task execution in the business-process scope characteristic to such department, does not contradict to the project task execution, assigned to the same department. Even more, this makes it possible to reduce great amount of the project tasks to the strictly limited set of standard functional tasks of the department. In this way the standard task repository is built.

Limited number of the standard tasks in repository makes it possible to store quantitative and qualitative information on the specifics of standard task execution for definite department, giving the methodics of building probabilistic assessment of project execution duration on the preliminary stage of project planning.

The life cycle of the Standard Task Repository is shown in the Fig. 2. Given, that some current state of Standard Task Repository already exists, the cycle starts with the Planning stage. In this stage, while planning new project, manager takes standard tasks and their time parameters directly from repository and places them in project plan (Gantt), defining their start dates and links to other tasks according to the project realities.

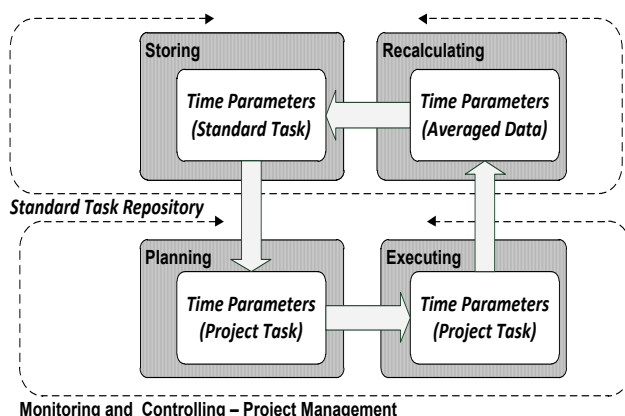


Fig. 2. Standard Task Repository Life Cycle

If during project planning new task appears, which cannot be found in repository, than project management defines whether this task must be stored as a standard task to the repository, or marked as unique unrepeated task, which will not be used in future (such task is not stored in repository and no calculations on it are done). In any case for the new task execution time is defined by manager manually and dispersion is set to 0.

While executing the project plan manager makes adjustments to starting dates and durations of the tasks if needed. After the task is 100% finished, new data on execution time appear.

Based on the previous time data for the standard task and new actual time data from the current project the new values of average execution time and time dispersion are calculated under assumptions, that for a single task execution times are normally distributed and task environment stays unchanged. Such assumptions can be made for the enterprises with well-defined and regulated execution processes, which is true for those with hierarchical functional structure. This is done in the Recalculating stage by the Standard Task Repository software.

After gaining new values, they are stored in Standard Task Repository to be used for future project planning and analysis. This loops the whole Standard Task Repository life cycle.

4. Monitoring and Controlling – Project Management system

Today in most cases of project management in state and commercial enterprises and organizations project management software system used is MS Project 2007 and MS Project 2010 (Microsoft). This choice is made because of relatively small price as well as functionality broad enough for most tasks. Future development of these products in the cloud direction will make them even more attractive for implementation. Major advantages of MS Project 2007 and MS Project 2010 you can point out are:

- rather simple implementation and mastering,
- wide availability of learning and training courses,
- gross amount of literature and tutorials for implementation and usage,
- sufficient amount of qualified specialists.

Problems, which arise in MS Project implementation, are derivatives from the initial structure of this software, which was constructed to support the separate project planning and execution.

The main drawbacks of this software according to portfolio and other aggregated project groups analysis are:

- impossibility to build project groups aggregated by volatile attributes,
- impossibility to deliver restricted access to aggregated project groups and separate projects for definite roles,
- absence of reporting mechanism for aggregated project groups,
- difficulty in fulfillment analysis of the project budget (project portfolio budget),
- impossibility to control critical execution dates for aggregated project groups (project portfolio or folder),
- difficulties in effective execution state monitoring for aggregated project groups (project portfolio or folder).

To eliminate these drawbacks the specialized software tool of Project Registry can be used.

5. Project Registry

Project and portfolio management in the enterprises with major amount of operational activity and functional organization structure has great importance for the enterprise strategic goals achievement. It provides a tool of fast response to the rapid environmental changes, and optimization tool for the enterprise business-processes defining the operational activity.

However, the project portfolio concept, which was brought to the project management from the investments management, is not fully defined and in different works has somewhat different meaning. In many sources it is postulated the existence of a single enterprise wide portfolio, which contains all projects directed to the best meet of enterprise goals. On the other hand in the PMBOKs 4-th edition [1] the main portfolio can contain not only projects, but partial portfolios and programs as well. Programs define the connections between several projects, directed to achieve the common goal.

In most of the practical cases portfolios can be viewed as a project aggregation tool at different levels [7]. This approach is especially useful in project management in the governmental organizations with a hierarchical functional organizational structure. Thus projects can be viewed as a main mechanism for change, innovation and development management in the organizations, where main income is got during the operational activities. Such organizations usually have functional organization structure with strict vertical command structure.

Project portfolios in this case are tightly connected with the functional organization structure. Usually projects in such organizations are executed in a single department or branch. Only the projects, executed by different branches, departments etc., can be put into the enterprise scope portfolio.

If so, then it will be logical to define the responsibility zone for each department, and to designate the project manager role to the head of corresponding department.

Usually the different project group state analysis using different properties is integral part of the enterprise strategic management. The aggregated project group state analysis only can give objective and precise enough vision of the current project execution state and results of the investment programs.

Aggregation can be made according to the structure-hierarchical properties, as well as due to the financial, time, technical, technological features, work paths or action membership etc.

Project properties can be either mandatory, which are defined at MS Project Server, or such, as defined by demand of project group aggregation or comparison analysis that is analysis of summarizing, averaged or comparison of project data. The aggregation can be made using multiple properties combination (e.g. representation of the project results for the definite department projects during the first annual quarter). This task can be rather complicated because of large amount of information to be processed. Project Registry, being the Project Server's add-on operating through PSI (Project Server Interface), is used to accomplish this task.

Fig. 3 shows the Main Interface Structure, where main Project registry interfaces are defined for Project Portfolio primary data and for second level of Project registry Analysis.

From the data stored in Project Server through Project Server Interface (PSI) information on the projects, project managers, execution state and updates, supplier and contractor details along with other additional data is extracted.

To link projects to enterprise organization structure Operational Structure Interface is used, thus making possible to order all projects, published at Project Server according to Operational structure. Operational Structure Interface is based either on Active Directory information, or on Human Resource System, used at the enterprise.

Project Server Interface and Operational Structure Interface are Software Interfaces, specially designed to support data exchange between systems.

The data set, acquired at the Project Portfolio primary data level, is used to build or update Project Registry database, which becomes the main data source for the Project Registry Analysis level. Project Registry Interface gives possibility to control the analysis process for a single project, as well as for project portfolios and other aggregated project groups. Project Registry Interface lets, depending on access rights, to gain access to projects an aggregated project groups. Also it makes possible to create and store new aggregated project groups for their future analysis.

To process and visualize the acquired analysis results the Project Registry Reporting Interface is used. It is specified to enable interaction with user at the stage of project results and aggregated project group status report generation. Project Registry Reporting Interface makes it possible to generate different reports in text form as well as graphic about current project state and aggregated project groups state, which are

monitored and controlled in the enterprise project management system.

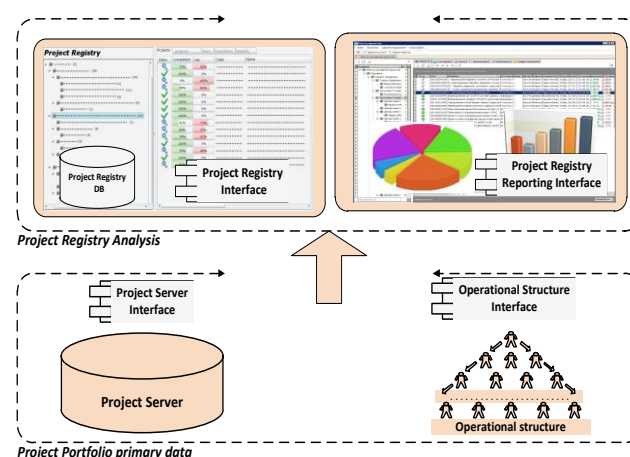


Fig. 3. Main Interface Structure

Main functions of the Project Registry are:

- automatic project registry creation – the project registry is formed using the whole body of projects, published on the Project Server.
- human resources organization structure – Project RBS field, structured according to enterprise organization structure, and implied to Project Server.
- project state visualization component can represent project states without access to MS Project.
- project filtration – makes it possible to select a project group according to some project feature, which is stored in additional mandatory information field in projects, published at the Project Server.
- project state analysis – represents execution state, risks assessment and data actuality for each project.
- reports by the aggregated project groups – are to be generated using appropriate templates and due to the selected aggregated groups.
- project and portfolio archiving – makes it possible to restore project information and compare with the state data for the previous periods.

6. Summary

Enterprise project management system structure, shown above, makes it possible to create software tools set, supporting comprehensive and consistent project management activity in the enterprises with the functional organization structure. It gives possibility to create reports for all levels of the enterprise management to make optimal decisions on the project activities as well as on operational ones. Currently, the design, implementation and testing phases are going on for separate system elements as well as for their interaction in the system as a whole.

References

- [1] A Guide to the Project Management Body of Knowledge Project Management Institute, Inc. USA.: PMI, 2008.
- [2] Bogdanov V.: Project management corporative system – step by step. Moscow: Mann, Ivanov and Ferber Publishing house, 2012.
- [3] Eric S. Norman. Work Breakdown Structure, 2008.
- [4] Gerald I. Kendall, Steven C.: Rollins Advanced Project portfolio Management and PMO multiplying ROI at Wrap Speed, USA: J.Ross publishing, Inc., 2003.
- [5] Kuzminykh V.A.: Three-level corporate system of project management. Data Rec., Storage & Processing. 2009, t. 11, Nr 3, p. 75-82.
- [6] Kuzminikh V.A., Koval Q.V., Voronko M.P.: Estimation of the performance of typical project tasks at enterprises with a functional organization structure. Data Rec., Storage & Processing. 2012, t. 14, nr 3, p. 70-82.
- [7] Kuzminikh V.A., Koval Q.V., Khaustov D.V., Korosteleva E. U.: Management aggregated groups of projects. Data Rec., Storage & Processing. 2011, t. 13, nr 3, p. 106-116.

Ph.D. Olexandr Koval
e-mail: avkovalgm@gmail.com

Dr. Aleksandr Koval is a scientist with 20 years' experience in the development of information analytic systems for large organizational systems. Last 15 years he has been head of development in the field of creation software tools for informational support and analysis processes related to the prevention and elimination of emergency situations, and budget processes. He interested in research and development methods and tools for data analysis and decision making in complex organizational systems.



Ph.D. Valeriy Kuzminykh
e-mail: vkuzminykh@ukrtelecom.ua

Valeriy Kuzminykh is an associate professor in design automation of energy processes and systems department of National Technic University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute". His interests lead in project management, business processes management, regulation of project management activities in enterprise project management system. Have more than 30 publications.



Maxim Voronko
e-mail: mvoronko@gmail.com

Maxim Voronko is a chief specialist of the EPMS maintenance group of the Headquarters of Ukrtelecom Company. For a long time he is working in the field of software development and project management.



Graduate student-applicant Dmitry Khaustov

Dmitry Khaustov is the head in the department of new technology systems training branch "Centre of Postgraduate Education" PAO "Ukrtelecom". He is a certified specialist in the field of project management. He works in such areas as methods and tools for automating project management vertical hierarchical structure of the domain. He published 10 scientific articles.

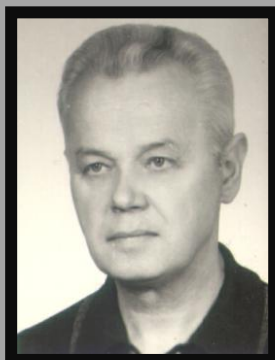


otrzymano/received: 17.07.2013

przyjęto do druku/accepted: 23.10.2013

Z ŻAŁOBNEJ KARTY

PROF. DR HAB. INŻ. WŁODZIMIERZ J. KROLOPP (24.06.1928 – 20.10.2013)



Profesor Włodzimierz J. Krolopp urodził się w 1928 roku w Zduńskiej Woli. Studia wyższe ukończył w Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej w 1956 r. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 1972 roku, stopień doktora habilitowanego w 1980 roku w Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej. W latach 1954-1958 pracował na stanowisku asystenta w Katedrze Metrologii Elektrycznej Politechniki Łódzkiej, w latach 1958-1960 jako starszy projektant w Biurze Projektów Włókien Sztucznych w Pracowni Pomiarów i Automatyki, realizując jednocześnie, w ramach prac zleconych, zajęcia dydaktyczne w Politechnice Łódzkiej. Od 1960 roku do 1967 roku kierował Pracownią Specjalistyczną Automatyki w Centralnym Biurze Technicznym Przemysłu Papierniczego w Łodzi, a w latach 1967-1975 był zatrudniony w Instytucie Techniki Radiacyjnej Politechniki Łódzkiej, gdzie prowadził badania, między innymi, w zakresie zastosowań technik radiacyjnych w przemyśle spożywczym.

Od 1975 roku do 1981 roku pracował, jako docent, w Politechnice Świętokrzyskiej w Wydziale Transportu, w tym od 1976 roku jako kierownik Zakładu Elektrotechniki, Metrologii i Elektroniki Stosowanej.

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz J. Krolopp pracę w Politechnice Lubelskiej rozpoczął w 1983 roku. W latach 1983-1985 pracował na stanowisku adiunkta, od 1985 roku do 1991 roku na stanowisku docenta, w latach 1991-2000 na stanowisku profesora nadzwyczajnego Politechniki Lubelskiej, a od 2000 roku jako profesor tytułarny. W tym czasie, w latach 1989-1998, kierował Katedrą Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej, w latach 2001-2002 Katedrą Automatyki i Metrologii.

Od 1990 roku do 1993 roku profesor Włodzimierz J. Krolopp pełnił funkcję Rektora Politechniki Lubelskiej. W tym czasie Uczelnia odnotowała znaczący wzrost liczby samodzielnych pracowników naukowych, wzrost liczby studentów, a Wydział Elektryczny Politechniki Lubelskiej odzyskał prawa doktoryzowania.

JM Rektor prof. dr hab. inż. Włodzimierz J. Krolopp z pełną świadomością i przekonaniem brał odpowiedzialność za losy Uczelni, jej studentów i pracowników.

Zainteresowania naukowe Profesora skupiały się w obszarze metrologii, szczególnie w zakresie aplikacji autorskiej, optycznej metody pomiarowej umożliwiającej zaawansowaną ocenę jakości papieru oraz w zakresie doskonalenia narzędzi pomiarowych spektrometrii mas, w tym, między innymi, spektrometrów pojedynczo ogniskujących - z sektorowym polem magnetycznym i podwójnie ogniskujących, wykorzystujących superpozycję pól elektrycznego i magnetycznego, i przeznaczonych do analizy izotopowej złożonych związków chemicznych. W tym zakresie prof. dr hab. inż. Włodzimierz J. Krolopp jest autorem i współautorem wielu prac naukowych, między innymi patentów będących własnością Uczelni.

Profesor Włodzimierz J. Krolopp był odznaczony Złotym Krzyżem Zasługi, Medalem Komisji Edukacji Narodowej oraz 16-krotnie nagradzany, między innymi, przez Ministra Komunikacji, Ministra Edukacji Narodowej, Rektora Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Radomiu, Rektora Politechniki Lubelskiej, Rektora Politechniki Łódzkiej.

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz J. Krolopp w swojej pracy dydaktycznej, naukowej i organizacyjnej kierował się wartościami uniwersalnymi i trwałymi. Był wzorem człowieka prawego, życzliwego dla innych. Przekazywał swoją wiedzę następcom, służył radą i pomocą współpracownikom w ich rozwoju naukowym.

Pracownicy Katedry Automatyki i Metrologii Politechniki Lubelskiej

ANALIZA WPŁYWU KSZTAŁTU PĘTLI HISTEREZY NA ZAWARTOŚĆ WYŻSZYCH HARMONICZNYCH PRĄDU I NAPIĘCIA W TRANSFORMATORZE

Wiesław Brociek¹, Robert Wilanowicz²

¹Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno Pomiarowych, ²Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu

Streszczenie. W artykule przedstawiono rezultaty badań symulacyjnych mających na celu określenie wpływu kształtu krzywej magnesowania z uwzględnieniem pętli histerezy magnetycznej na odkształcenie prądów i napięć w transformatorze. Podano zależności oraz sposób wyznaczania parametrów opisujących kształt pętli histerezy rdzenia ferromagnetycznego transformatora. Wszystkie obliczenia przeprowadzono w programie Micro-Cap z wykorzystaniem modelu, podanego przez D. Jilesa i D. Athertona. Obliczenia symulacyjne wykonano przy zmieniających się wartościach indukcji remanencji i natężenia pola magnetycznego koercji oraz ustalonej wartości natężenia pola magnetycznego, indukcji nasycenia, stałej magnetyzacji oraz określonym napięciu zasilania. Zamieszczono przykładowe wyniki obliczeń numerycznych.

Słowa kluczowe: modelowanie pętli histerezy, wyższe harmoniczne prądu i napięcia

ESTIMATION OF THE SHAPE OF THE HYSTERESIS LOOP IN THE DEFORMATION OF CURRENT AND VOLTAGE OF THE TRANSFORMER

Abstract. The paper presents a new method for modelling transformer with a hysteresis loop by Jiles-Atherton. The Micro-Cap program allows the modelling of magnetically coupled coils by a description of the parameters of the magnetic circuit connecting the coil and the shape of ferromagnetic hysteresis. The way of determination of parameters describing the shape of the magnetization curve are presented, taking into account the phenomenon of ferromagnetic hysteresis. Simulations were performed by changing the values of induction remanence and coercivity magnetic field and a fixed value of the magnetic field strength, saturation induction, permanent magnetization and the designated voltage. Is an example of the results of numerical calculations.

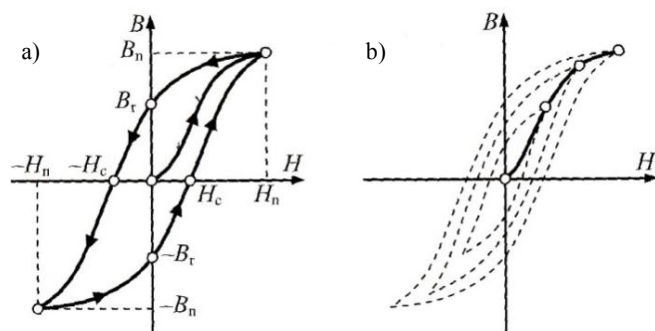
Keywords: modeling of hysteresis loops, the higher harmonic of current and voltage

Wstęp

W literaturze istnieje wiele sposobów aproksymacji i modelowania pętli histerezy magnetycznej z krzywą magnesowania [7]. Przedstawiony przez D. Jilesa i D. Athertona w 1986 r. model [3, 4, 6] jest wykorzystywany powszechnie jako narzędzie modelowania obwodów magnetycznych i elektromagnetycznych. Model ten może być użyty do opisu pętli histerezy każdego materiału ferromagnetycznego. Kształt pętli histerezy zależy od rodzaju materiału ferromagnetycznego, jego składu chemicznego oraz sposobu obróbki. W rozwiązaniach technicznych w obwodach prądu przemiennego stosuje się materiały magnetycznie miękkie. W artykule przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń numerycznych dla transformatora z wykorzystaniem tego modelu, przy stałym napięciu zasilania przy zmieniających się kształtach pętli histerezy. Celem badań jest określenie odkształcenia prądów i napięć po pierwotnej i wtórnej stronie transformatora. Wszystkie obliczenia przeprowadzono w programie Micro-Cap.

1. Modelowanie pętli histerezy magnetycznej

Magnetyzacja jest właściwością która opisuje pole magnetyczne wytwarzane przez materiał ferromagnetyczny.



Rys. 1. Charakterystyki magnesowania ferromagnetyków: a) pętla histerezy z krzywą magnesowania pierwotnego, b) rodzina pętli histerezy magnetycznej i podstawowa charakterystyka magnesowania

Magnetyzacja M jest tym silniejsza im silniejsze jest pole magnetyczne H , przyjmuje się, że [5]

$$M = \chi H \quad (1)$$

gdzie χ jest bezwymiarową wielkością, zwaną podatnością magnetyczną, zależną od środowiska. W wielu środowiskach magnetyzacja jest proporcjonalna do pola magnetycznego w ich wnętrzu. Uwzględniając to, otrzymuje się związek natężenia pola magnetycznego H , indukcji magnetycznej B i magnetyzacji M w następującej postaci [5]

$$H = \frac{B}{\mu_0} - \chi H \quad (2)$$

Po przekształceniu otrzymujemy

$$B = \mu_0 (1 + \chi) H = \mu_0 \mu_r H = \mu H \quad (3)$$

gdzie:

$\mu_r = (1 + \chi)$ – przenikalność magnetyczna względna,

μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni.

Przenikalność magnetyczna względna μ_r w środowisku nieliniowym, które jest przedmiotem artykułu, nie ma stałej wartości, lecz jest funkcją zależną od H [5].

Magnetyzacja ferromagnetyków jest zjawiskiem bardzo złożonym, co objawia się złożoną charakterystyką $B=f(H)$, odbiegającą w sposób istotny od prostej liniowej zależności $B=\mu H$.

Na rysunku 1a przedstawiona jest charakterystyka magnesowania ferromagnetyka w postaci pętli histerezy magnetycznej z krzywą magnesowania pierwotnego [5].

Natężenie H_n i indukcję B_n nazywa się odpowiednio natężeniem i indukcją nasycenia. Wartość B_r nazywa się indukcją remanencji. Natężenie pola magnetycznego H_c nazywane jest natężeniem koercji.

Zmieniając wartość maksymalną natężenia pola magnetycznego, otrzymuje się rodzinę histerez magnetycznych przedstawionych na rysunku 1b [5]. Wierzchołki tych pętli wyznaczają podstawową charakterystykę magnesowania, której kształt jest zbliżony do kształtu krzywej magnesowania pierwotnego.

W opracowanym przez autorów programie wykorzystano zmodyfikowany model pętli histerezy magnetycznej zaproponowany przez D. Jilesa i D. Athertona [3]. Model ten

opisuje magnetyzację M jako funkcję natężenia pola magnetycznego H poprzez nieliniowe równanie różniczkowe.

Krzywa magnesowania opisana jest następującym równaniem [3, 4, 8]

$$\frac{dM}{dH} = (1 - C) \frac{M_{an} - M_{irr}}{k\delta - \alpha(M_{an} - M_{irr})} + C \frac{dM_{an}}{dH} \quad (4)$$

Model ferromagnetyka według D. Jilesa i D. Athertona zakłada, że całkowita magnetyzacja ferromagnetyka M jest złożona z magnetyzacji odkształceń niesprężystych domen magnetycznych M_{irr} oraz magnetyzacji M_{rev} wynikającej z odkształceń sprężystych domen magnetycznych [3, 8]. M_{an} jest magnetyzacją krzywej magnesowania bez uwzględnienia histerezy opisaną funkcją Langevina [3]

$$M_{an} = M_s \left[\text{cth} \left(\frac{H + \alpha M}{a} \right) - \frac{a}{H + \alpha M} \right] \quad (5)$$

W programie MicroCap równanie różniczkowe opisujące krzywą magnesowania ma postać

$$\frac{dM}{dH} = \frac{M_a - M}{\delta - K} + \frac{C}{1 + C} \cdot \frac{dM_a}{dH} \quad (6)$$

M - magnetyzacja wywołana polaryzacją domen,

M_a - magnetyzacja w przypadku braku histerezy,

$$M_a = M_s \cdot F \left(\frac{H + \alpha M_a}{a} \right) \text{ gdzie } F(x) = \text{cth}(x) - \frac{1}{x}, \quad (7)$$

$$\delta = +1 \text{ gdy } dH/dt > 0, \text{ lub } \delta = -1 \text{ gdy } dH/dt < 0. \quad (8)$$

Oznaczenia w programie MicroCap:

- indukcja w rdzeniu $B = \mu_0 \cdot (H + M)$,
- indukcyjność cewki $L = \mu_0 \cdot (1 + dM/dH) \cdot N^2 \cdot \text{Area}/\text{Path}$,
- napięcie $VL = L di/dt$,
- Area - średnia wartość przekroju rdzenia [cm²],
- Path - średnia wartość drogi strumienia magnetycznego [cm],
- Gap - długość szczeliny powietrznej [cm],
- MS - magnetyzacja nasycenia [A/m],
- N - liczba zwojów,
- A - współczynnik kształtu [A/m],
- C - stała odkształceń elastycznych domen,
- K - stała odkształceń nieelastycznych domen,
- Ma = MS·H/(|H| + A).

2. Wyznaczanie wartości parametrów materiału magnetycznego

Liniovą krzywą rozmagnesowania opisuje zależność

$$M = (\mu' - 1) \cdot H + \mu' \cdot H_c \quad (9)$$

gdzie $\mu' = \frac{B_r}{\mu_0 \cdot H_c}$ - przenikalność magnetyczna w obszarze rozmagnesowania.

Pochodna magnetyzacji od odkształceń elastycznych dla $H=0$

$$\left(\frac{dM}{dH} \right)_{H=0} = \frac{C}{1+C} \cdot \left(\frac{dM_a}{dH} \right)_{H=0} = \frac{1+C}{C} (\mu - 1) \quad (10)$$

to początkowa przenikalność magnetyczna materiału μ pomniejszona o jeden.

Wzór określający parametr C

$$C = \frac{\mu - 1}{\mu' - \mu} \quad (11)$$

oraz wzór określający parametr K

$$K = H_c \frac{\mu'}{\mu' - 1} \quad (12)$$

Ze względu na dużą wartość μ' , parametr K jest równy natężeniu pola powściągającego H_c .

Wyznaczenie magnetyzacji nasycenia M_s związane jest z indukcją nasycenia B_n zgodnie z wzorem

$$M_s = \frac{B_n}{\mu_0} - H_n \quad (13)$$

Współczynnik kształtu A należy dobrać tak, aby wartość przenikalności początkowej materiału magnetycznego była równa μ , a krzywa przechodziła przez wybrany punkt pierwotnej krzywej namagnesowania dla dużych wielkości H (H_x , B_x). M_x - magnetyzacja dla wybranego punktu o współrzędnych

(H_x , B_x) leżącego na krzywej pierwotnego magnesowania blisko obszaru nasycenia wynosi

$$M_x = \frac{B_x}{\mu_0} - H_x \quad (14)$$

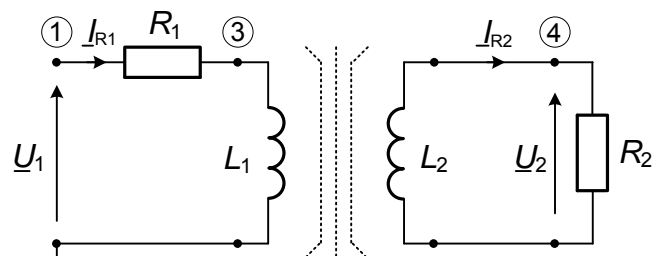
Współczynnik kształtu wynosi wówczas

$$A = \frac{H_x - \frac{C}{1+C} \frac{M_x}{M_s}}{\frac{1}{1 - \frac{M_x}{M_s}} - 3 \frac{M_x}{M_s}} \quad (15)$$

3. Analiza numeryczna

Schemat zastępczy transformatora przyjęty do badań symulacyjnych przedstawiono na rys. 2. Przykładowe dane transformatora przyjęte do obliczeń: liczba zwojów uzwojenia pierwotnego i uzwojenia wtórnego wynoszą odpowiednio: $N_1=230$ i $N_2=23$, przekrój rdzenia $S=12 \times 12=144$ cm². Średnia długość drogi strumienia magnetycznego $l_{sr}=100$ cm.

W programie MicroCap opis obwodu magnetycznego uwzględniający kształt oraz pętlę magnetyczną histerezy, można przedstawić podając parametry geometryczne rdzenia, magnetyzację nasycenia, współczynnik kształtu oraz stałe odkształceń domen magnetycznych użytego materiału (ferromagnetyka).



Rys. 2. Model układu przyjęty do badań symulacyjnych

W celu zilustrowania wpływu kształtu krzywej magnesowania na przebiegi prądów i napięć w obwodzie z rys. 2, przeprowadzono obliczenia numeryczne przy stałej wartości magnetyzacji nasycenia M_s , ustalonej wartości indukcji nasycenia $B_n=1,6$ T oraz natężenia pola magnetycznego $H_n=4200$ A/m, zmieniających się parametrach indukcji remanencji B_r i natężenia pola magnetycznego koercji H_c oraz zmieniających się współrzędnych punktu przecięcia krzywej magnesowania, określonych przez parametry B_x , H_x .

Współrzędne charakterystycznych punktów opisujących kształt poszczególnych krzywych magnesowania z uwzględnieniem pętli histerezy przedstawionych na rysunkach 3 i 4 umieszczono w tabelcy 1.

Tabela 1. Współrzędne punktów określających kształt krzywej magnesowania w analizowanych przypadkach

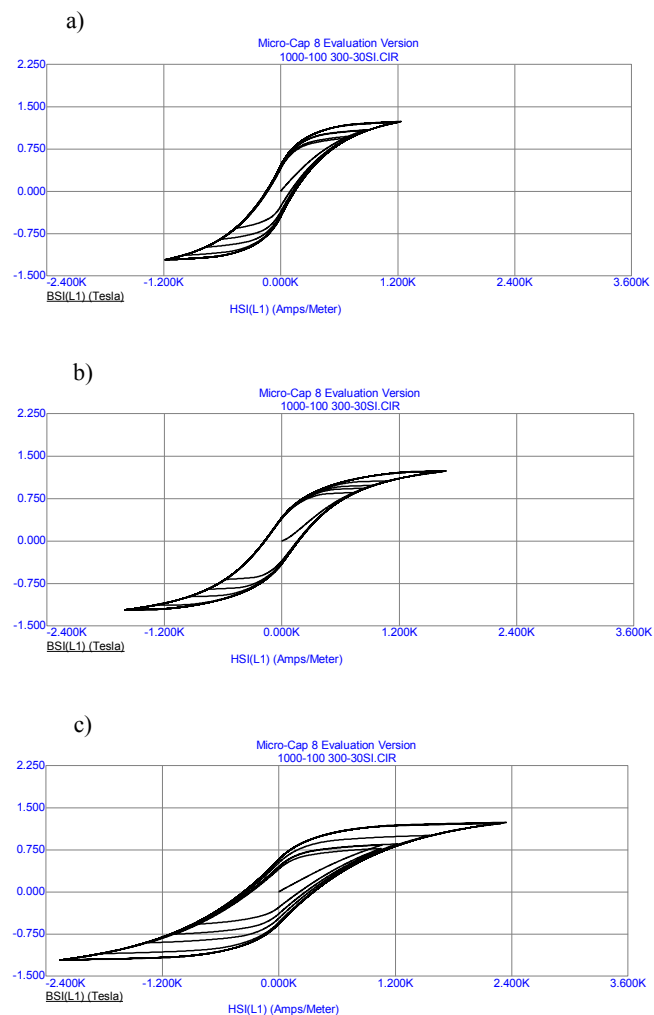
	B_r	H_c	B_x	H_x
	T	A/m	T	A/m
Przypadek1	1	200	1,3	780
Przypadek2	1	200	1,4	2300
Przypadek3	1,2	500	1,4	2300
Przypadek4	0	0	1,4	2300

Tabela 2. Wartości parametrów ferromagnetyka dla analizowanych przypadków

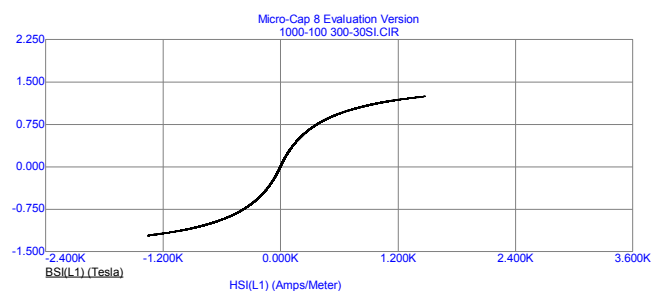
Parametry ferromagnetyka	Przypadek 1	Przypadek 2	Przypadek 3	Przypadek 4
M_s [A/m]	1,27 E6	1,27 E6	1,27 E6	1,27 E6
A [A/m]	264	423	423	423
C	498 E-3	138 E-3	338 E-3	0
K	200	200	500	0

W tabelicy 2 przedstawiono wartości parametrów ferromagnetyka dla analizowanych przypadków. W pracy [1] przedstawiono obliczenia dotyczące wpływu zmiany napięcia zasilającego transformatora przy określonej krzywej magnesowania na odkształcenie prądu w transformatorze.

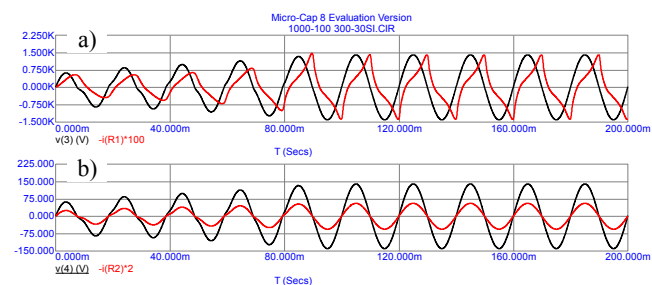
Badania symulacyjne obwodu z rys. 2 przeprowadzono przy określonym napięciu zasilającym $U_1 = 1000V$ przy stałej magnetyzacji nasycenia, dla czterech różnych kształtów krzywej magnesowania, parametry których zestawiono w tabelicach 1 i 2.



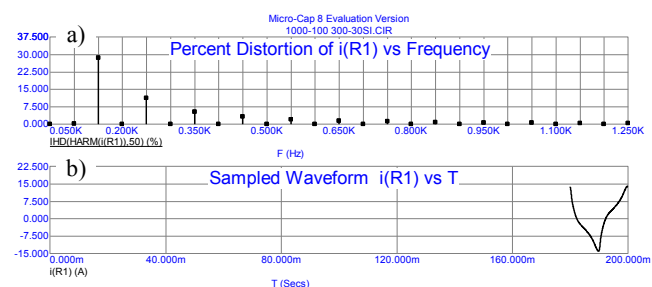
Rys. 3. Krzywa magnesowania z uwzględnieniem pętli histerezy: a) przypadek pierwszy, b) przypadek drugi, c) przypadek trzeci



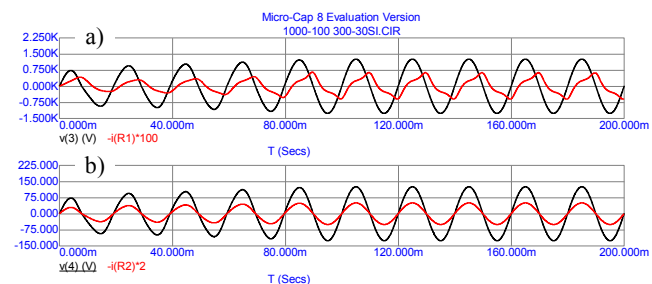
Rys. 4. Krzywa magnesowania przy braku pętli histerezy (przypadek 4)



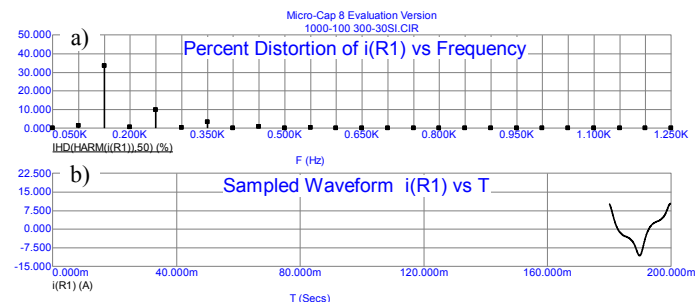
Rys. 5. Przebiegi czasowe prądów i napięć po pierwotnej (a) i wtórnej (b) stronie modelowanego transformatora (przypadek 3)



Rys. 6. Widmo (a) oraz przebieg czasowy (b) prądu płynącego przez cewkę L_1 (przypadek 3)



Rys. 7. Przebiegi czasowe prądów i napięć po pierwotnej (a) i wtórnej (b) stronie modelowanego transformatora (przypadek 4)



Rys. 8. Widmo (a) oraz przebieg czasowy (b) prądu płynącego przez cewkę L_1 (przypadek 4)

W artykule przedstawiono przykładowe rezultaty obliczeń – dla przypadku trzeciego i czwartego. Na rysunkach 5 i 7 przedstawiono przebiegi czasowe prądów i napięć w analizowanym obwodzie, a na rysunkach 6 i 8 przebiegi czasowe i wartości procentowe wyższych harmonicznych prądu po stronie pierwotnej transformatora.

W tabelicy 3 przedstawiono zawartość procentową wyższych harmonicznych prądu po stronie pierwotnej transformatora dla różnych kształtów krzywej magnesowania. Wartości te otrzymano w wyniku analizy numerycznej.

Tablica 3. Udział wyższych harmonicznych w prądzie zasilającym dla różnych kształtów krzywej magnesowania z uwzględnieniem pętli histerezy

$B=f(H)$	Zawartość procentowa wyższych harmonicznych prądu							
	$I_{3\%}$	$I_{5\%}$	$I_{7\%}$	$I_{9\%}$	$I_{11\%}$	$I_{13\%}$	$I_{15\%}$	$I_{17\%}$
Przyp. 1	26,9	9,3	4,2	2,3	1,3	1,0	0,7	0,5
Przyp. 2	30,2	10,17	4,01	1,97	1,17	0,87	0,63	0,5
Przyp. 3	28,5	11,2	5,2	3,2	2,1	1,5	1,1	0,8
Przyp. 4	33,5	9,7	3,18	0,88	0,32	0,05	0,04	0,03

Straty dodatkowe mocy czynnej w transformatorze $\delta\Delta P_{trk}$ spowodowane wyższymi harmonicznymi wynoszą [2]

$$\delta\Delta P_{trk} = K = \sum_{k=1}^{\infty} \left[k^2 \left(\frac{I_k}{I_{sk}} \right)^2 \right] \quad (16)$$

gdzie:

I_{sk} – wartość skuteczna prądu odkształconego,

I_k – wartość skuteczna prądu k -tej harmonicznej,

k – rząd harmonicznej.

4. Wnioski

Na podstawie obliczeń numerycznych można stwierdzić, że dominującymi harmonicznymi w prądzie po stronie pierwotnej, są harmoniczne nieparzyste 3, 5, 7. Znajomość wartości wyższych harmonicznych prądu, pozwala na określenie dodatkowych strat w transformatorze [2] spowodowanych odkształceniem prądu. Przeprowadzone badania symulacyjne pozwalają na stwierdzenie, że:

- największy wpływ na odkształcenie prądu ma współczynnik kształtu,
- napięcie i prąd po stronie wtórnej nie są odkształcone, należy jednak pamiętać, że rezystancja obciążenia R_2 jest liniowa,
- znajomość wartości wyższych harmonicznych prądu po stronie pierwotnej ma istotne znaczenie przy obliczaniu dodatkowych strat w transformatorze; mimo dużego odkształcenia prądu po stronie pierwotnej, nie wystąpiło odkształcenie napięcia po stronie pierwotnej.

Opracowany program i wykonane obliczenia mają praktyczne znaczenie – można go stosować do urządzeń występujących w warunkach rzeczywistych. Zaletą programu jest możliwość wykorzystania go do modelowania niejednoznacznych charakterystyk. Należy podkreślić, że uwzględnienie pętli histerezy przy modelowaniu pracy transformatora dało dobre rezultaty – można określać procentowe wartości wyższych harmonicznych prądu i napięcia oraz współczynniki odkształcenia napięcia i prądu. W artykule zamieszczono przykładowe wyniki przeprowadzonych przez autorów obliczeń.

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Literatura

- [1] Brociek W., Wilanowicz R.: Influence of supplying voltage on deformation of current in transformer, *Przegląd Elektrotechniczny* 4/2013, p. 269 – 271.
- [2] Hołdyński G., Skibko Z.: Wymiarowanie układów energetycznych zasilających odbiorniki nieliniowe, *Wiadomości Elektrotechniczne*, rok 1 XXIX nr 5, s. 17.
- [3] Jiles D.C., Atherton D.L.: Theory of ferromagnetic hysteresis, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 61, 1986, p. 48-60.
- [4] OrCAD PSpice User Guide, <http://www.cadence.com>
- [5] Piątek Z., Jabłoński P.: Podstawy teorii pola elektromagnetycznego, Warszawa WNT 2010.
- [6] Prigozy S.: PSPICE Computer Modeling of Hysteresis Effects, IEEE Transaction on Education, 1993.
- [7] Sikora J.: Numeryczne metody rozwiązywania zagadnień brzegowych, Wydawnictwa Politechniki Lubelskiej, Lublin 2009.
- [8] Zidaric B., Miljavec D.: J-A hysteresis model. parameters estimation using GA *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 4, 2005, pp. 174-177.

Dr inż. Wiesław Brociek

e-mail: brociek@iem.pw.edu.pl

Dr inż. Wiesław Brociek jest długoletnim nauczycielem akademickim w Zakładzie Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki Stosowanej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Aktualnie zatrudniony jest na stanowisku docenta. Jest autorem i współautorem ponad osiemdziesięciu artykułów w czasopiśmie naukowych i referatów na konferencjach krajowych i zagranicznych z dziedziny teorii obwodów liniowych i nieliniowych. Zainteresowania naukowe dr W. Brociek związane są z zagadnieniami dotyczącymi analizy współpracy odbiorników nieliniowych - będących źródłami wyższych harmonicznych prądów i napięć - z układami zasilania.

Jest odznaczony Medalem Komisji Edukacji Narodowej. Za aktywną działalność w Stowarzyszeniu Elektryków Polskich został odznaczony Srebrną i Złotą Odznaką Honorową SEP oraz NOT.

Dr inż. Robert Wilanowicz

email: r.wilanowicz@uthrad.pl

Dr inż. Robert Wilanowicz jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Instytutu Systemów Transportowych i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu.

Jest absolwentem Wydziału Elektrycznego Politechniki Lubelskiej, stopień doktora nauk technicznych uzyskał na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej.

Jego zainteresowania naukowe obejmują modelowanie układów elektrycznych oraz wpływ nieliniowych odbiorników na układy zasilające.

Prowadzi zajęcia dydaktyczne z elektrotechniki, elektroniki, komputerowych metody analizy obwodów elektrycznych na Wydziale Transportu i Elektrotechniki.



otrzymano/received: 15.07.2013

przyjęto do druku/accepted: 24.10.2013

**INFORMATYKA
AUTOMATYKA
POMIARY**
W GOSPODARSTWIE
I OCHRONIE ŚRODOWISKA

Zapraszamy na naszą stronę internetową:

WWW.IAPGOS.PL

gdzie znajdziecie Państwo:

- informacje nt. zamieszczania reklam,
- wykaz prac opublikowanych w latach 2011 i 2012,
- procedurę recenzowania,
- wykaz recenzentów prac opublikowanych w poprzednich latach,
- aktualną formatkę artykułu oraz druk recenzji,
- dostęp on-line do artykułów (już wkrótce).



WWW.IAPGOS.PL

ARCHITEKTURA APLIKACJI SERWEROWEJ SYSTEMU TELEMEDYCZNEGO DO ZASTOSOWAŃ W MONITORINGU ŚRODOWISKOWYM PACJENTA

Wojciech Surtel, Marcin Maciejewski, Rafał Różalski

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Instytut Elektroniki i Technik Informatycznych

Streszczenie. W celu poprawnego zaimplementowania systemu telemedycznego konieczne jest stworzenie i wdrożenie odpowiednio przygotowanej centralnej aplikacji serwerowej. Aplikacja taka została opisana w poniższym artykule. Powinna ona zapewniać odpowiednią funkcjonalność i udostępniać wymagany zakres danych zarówno dla pacjentów jak i operatorów i personelu medycznego. Konieczne jest wykorzystanie odpowiednio dostosowanego protokołu komunikacyjnego w celu jednoczesnego zapewnienia kompletności informacji i zminimalizowania obciążenia dla terminali mobilnych. Jednocześnie wymagane jest podzielenie aplikacji na odpowiednie warstwy w celu ułatwienia integracji w istniejących systemach i wdrażania. Konieczne jest również zapewnienie bezbłędnej komunikacji i wysokiego poziomu bezpieczeństwa podczas uzyskiwania dostępu do chronionych danych medycznych.

Słowa kluczowe: telemedycyna, baza danych, aplikacja serwerowa, protokoły, medycyna

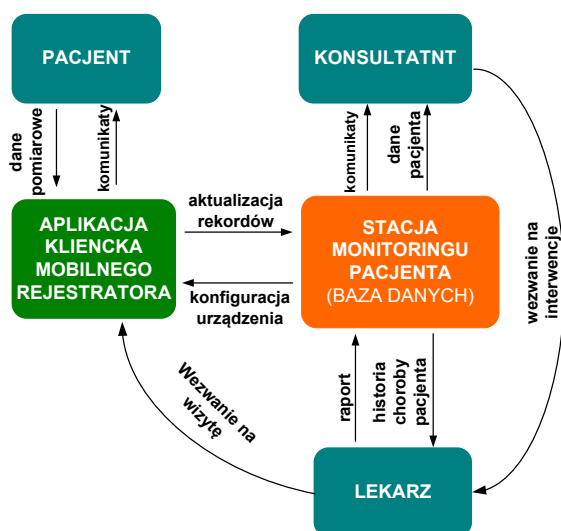
ARCHITECTURE OF A SERVER APPLICATION FOR USE IN ENVIRONMENTAL PATIENT MONITORING

Abstract. Proper telemedical system implementation requires a central server application for storing and managing data and diagnostics messages. Such an application is described in the presented article below. It should provide sufficient functionality and allow for appropriate access privileges for different groups of users, including patients, operators and medical staff. A properly designed protocol must be used to simultaneously provide complete and safe information and minimize load on mobile terminals. At the same time it is necessary to divide the application into proper layers to be easily integrated into existing medical systems and make implementation easier. It is also of utmost importance to provide a high level of safety during access to protected, sensitive data.

Keywords: telemedicine, database, application, protocol, medicine

Wstęp

Zastosowania telemedyczne są ściśle związane z rozwojem społeczeństwa informacyjnego i zakresu medycznej telemetyki. Systemy telemedyczne służące monitorowaniu wybranych funkcji życiowych pacjenta umożliwiają w sposób ciągły zdalny nadzór nad pacjentem. Wiele systemów telemedycznych jest mocno scentralizowanych, opierając się na wymianie danych między konkretną stacją roboczą (najczęściej komputerem pacjenta) a serwerem głównym. Zastosowanie urządzeń mobilnych pozwala na rozwijanie istniejących systemów scentralizowanych w kierunku systemów rozproszonych. Nowe technologie stosowane do budowy mobilnych rejestratorów funkcji życiowych pacjenta (stacji roboczych pacjenta) wymagają specjalizowanych rozwiązań w budowie aplikacji serwerowej oraz protokołów komunikacyjnych. W opisywanym rozwiązaniu aplikacja serwerowa wymienia się danymi z aplikacją mobilną poprzez dedykowany protokół bezpiecznej wymiany danych UWD. Na rysunku 1 przedstawiono model kontekstowy systemu.



Rys. 1. Model kontekstowy proponowanego systemu

W niniejszej pracy przedstawiono opis aplikacji serwerowej do zastosowania w stacji monitoringu pacjenta będącej centralnym elementem systemu telemedycznego dostosowanego do współpracy z mobilnymi rejestratorami funkcji życiowych [4].

1. Opis działania aplikacji serwerowej

System telemedyczny ma umożliwić pacjentom wykonywanie badań z wykorzystaniem dostępnych urządzeń, wysłać dane do lekarza w celu analizy i kontroli stanu zdrowia. Wykorzystując współczesne technologie takie jak Internet, użytkownik ma możliwość zdalnej diagnostyki oraz archiwizacji swoich badań, włączając w to interakcję grup użytkowników (lekarze, konsultanci). Wymaga to stworzenia odpowiedniego środowiska oraz infrastruktury, która zapewniłaby prawidłowe działanie takiego systemu.

W opisywanym projekcie aplikacja serwerowa ma jedno z bardziej kluczowych funkcji. Serwer jest zazwyczaj miejscem centralnym systemu, który udostępnia pewne zasoby innym komputerom lub pośredniczy w przekazywaniu danych pomiędzy urządzeniami. Współdzielenie zasobów odbywa się na zasadzie klient - serwer, gdzie w tym przypadku klientem będzie aplikacja mobilna z podłączonymi rejestratorami. Głównym zadaniem aplikacji serwerowej będzie komunikacja z urządzeniem mobilnym, gromadzenie danych oraz odpowiednia ich wizualizacja dla konkretnych grup użytkowników. Serwer ma za zadanie w sposób płynny umożliwić komunikację oraz odpowiednią interakcję pomiędzy poszczególnymi grupami użytkowników, dzięki czemu będzie możliwa natychmiastowa interwencja odpowiednich służb ratunkowych [2].

1.1. Wymagania funkcjonalne

Aplikację serwerową można podzielić na dwie zasadnicze części: serwer oraz aplikację www. Zadaniem serwera jest:

- realizacja sesji komunikacyjnej z aplikacją mobilną,
- gromadzenie danych z sesji,
- generowanie powiadomień dla użytkowników, Natomiast aplikacja www ma umożliwić:
- zarządzanie kontami użytkowników,
- zarządzanie urządzeniami powiązanych z użytkownikami,
- dostęp do danych gromadzonych z rejestratorów,
- dostęp do danych dla grup powiązanych z użytkownikiem (lekarz, konsultant).

1.2. Budowa aplikacji serwerowej

Aplikacja serwerowa została napisana w języku PHP, który od wersji 5 został wzbogacony o model obiektowy. Dzięki swojej prostocie PHP jest obecnie językiem najczęściej stosowanym

do generowania stron WWW. Skrypty PHP można w łatwy sposób zamieszczać w plikach takich jak HTML bądź XHTML. Lecz nie chodzi tutaj o generowanie stron z wykorzystaniem języka skryptowego lecz także o umożliwienie prostego mechanizmu, który jednocześnie zapewni komunikację z urządzeniem mobilnym. Do pomocy wykorzystano framework Symfony 2. Jest to rozbudowana biblioteka skupiająca w sobie wiele możliwości jakie dają obecnie platformy Java EE czy ASP .NET, które wykorzystują model obiektowy. Symfony 2 do renderowania widoków wykorzystuje silnik TWIG, który został także wykorzystany także do generowania odpowiedzi przez serwer, co w znacznym stopniu ułatwiło odpowiednie zarządzanie wiadomościami. Dodatkowo do komunikacji z bazą danych posłużono się wbudowaną biblioteką Doctrine ORM 2.0 umożliwiającą mapowanie obiektów PHP na relacyjne bazy danych.

Aplikacja serwerowa dzieli się na cztery funkcjonalne warstwy [1]. Model warstwowy pomaga rozdzielić poszczególne moduły i przydzielić im odpowiednią rolę w systemie. Poniższy rysunek przedstawia zależności pomiędzy warstwami aplikacji i urządzeniami komunikującymi się z serwerem.



Rys. 2. Warstwowy model aplikacji serwerowej

Warstwa ta jest odpowiedzialna za przechowywanie i udostępnianie danych warstwom wyższym. Została ona oparta o wolnodostępny system zarządzania relacyjnymi bazami danych - MySQL. Serwery MySQL są często stosowane w aplikacjach webowych, i obecnie obsługują większość standardu ANSI/ISO SQL, wprowadzając swoje rozszerzenia i elementy języka.

Warstwa przetwarzania danych

Warstwa przetwarzania danych jest odpowiedzialna za gromadzenie, odczyt danych i ich zapis do bazy danych. W tym przypadku możliwe jest bezpośrednie połączenie warstwy klienta oraz warstwy prezentacji, gdyż w obu przypadkach musi być zapewniony dostęp do danych. Warstwa ta jest swoistego rodzaju nakładką dla zarządzania danymi na serwerze MySQL. Wykorzystany został tutaj ORM (ang. Object-Relational Mapping), umożliwiający obiektowe podejście do zarządzania danymi. Wszelkie operacje na bazie danych realizowane są przez ORM, dzięki czemu w znacznym stopniu ułatwia to zarządzanie rozbudowanymi bazami danych. W warstwie przetwarzania znajduje się także logika serwera. Wszystkie dane po wstępnej walidacji muszą być odpowiednio przetworzone i gdy zachodzi potrzeba przekazane do warstwy prezentacji.

Warstwa prezentacji

Dostęp do warstwy prezentacji jest możliwy z aplikacji WWW, która dostaje odpowiednio upakowane dane z warstwy niższej. Warto tutaj wspomnieć o wzorcu MVC (ang. Model View Controller), który wspiera framework Symfony 2. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest rozgraniczenie modelu, logiki oraz prezentacji danych, co pozwala na pewną hermetyzację modelu, gdyż logika biznesowa jest odizolowana od wszelkich technologii widoku czy protokołów obsługi żądań wysyłanych przez użytkowników.

Prezentacją danych zajmuje się silnik TWIG oraz jQuery. Wszelkie czynności jakie użytkownik podejmuje są realizowane z wykorzystaniem AJAX (ang. Asynchronous Javascript and XML), dzięki któremu użytkownik może realizować polecenia asynchronicznie, wykonując jednocześnie kilka czynności w serwisie.

Warstwa klienta

Warstwa klienta może być bezpośrednio powiązana z warstwą przetwarzania danych lub warstwą prezentacji [7]. Odpowiada ona interakcję z użytkownikiem, czyli wykonywanie poleceń, które umożliwiają pośrednią komunikację z bazą danych poprzez warstwę przetwarzania danych (głównie aplikacja mobilna komunikuje się w ten sposób) lub wykorzystując warstwę prezentacji do wizualizacji istniejących informacji.

1.3. Protokół komunikacyjny – XML

Protokół komunikacji z serwerem został opracowany w oparciu o język XML (ang. Extensible Markup Language). Język ten pozwala na reprezentowanie różnych danych w ustrukturyzowany sposób. Dzięki temu, że jest on także niezależny od platformy, umożliwia łatwą wymianę dokumentów pomiędzy heterogenicznymi systemami. Łatwość zapisu oraz dostępność narzędzi do przetwarzania tego typu dokumentów spowodowała, że XML stał się jednym z najczęściej używanych standardów wymiany danych poprzez Internet[3].

W protokole zastosowano kilka rodzajów wiadomości, które są wymieniane pomiędzy aplikacją mobilną a serwerem. Każda wiadomość jest opakowana w tag `<message>`, ten z kolei obowiązkowo zawiera `<type>`. Na podstawie zawartości znacznika `<type>` serwer jest w stanie określić jakie wykonać czynności w danym przypadku. Obecnie funkcjonalność systemu z wykorzystaniem protokołu umożliwia:

- Aktywację konta. Każdy użytkownik jest zobowiązany do aktywowania swojego konta, przed uprzednim rozpoczęciem sesji komunikacyjnej. Użytkownik musi być zarejestrowany w systemie aby możliwe było wykonanie aktywacji. Aplikacja kliencka robi to automatycznie po wpisaniu nazwy użytkownika i hasła. Na serwer zostaje wysłana wiadomość typu *confirmationRequest*, a po poprawnej odpowiedzi *confirmationEndRequest*. Po wykonaniu tych żądań jeśli serwer nie zwrócił żadnego błędu użytkownik jest informowany o poprawnym aktywowaniu konta. Po aktywacji konta użytkownik odpytuje serwer o dane konfiguracyjne dla rejestratorów oraz dodatkowe informacje dla użytkownika.
- Nawiązanie sesji komunikacyjnej i wymiana danych. Po poprawnej aktywacji konta użytkownik posiada niezbędne dane do rozpoczęcia sesji komunikacyjnej. Każda sesja komunikacyjna posiada swój unikalny identyfikator sesji, który jest po każdym zakończeniu sesji generowany przez serwer i przekazywany klientowi, jako identyfikator do kolejnych połączeń. Przy rozpoczęciu sesji komunikacyjnej z serwerem aplikacja mobilna wysyła żądanie typu *sessionRequest*. Inicjuje to cały proces wymiany danych z serwerem, rozpoczynając od pobrania informacji dodatkowych dla użytkownika i konfiguracji rejestratorów. Urządzenie mobilne mając podłączonych kilka rejestratorów, posiada identyfikatory danych urządzeń, które są zarejestrowane w systemie i przypisane do danego pacjenta. Umożliwia to pobranie nastaw np. minimalnej oraz maksymalnej wartości pomiaru, częstości wykonywania pomiarów przez rejestratory[6]. Na podstawie tych informacji pacjent jest informowany na bieżąco o ewentualnych nieprawidłowościach. Wszystkie pomiary są zapisywane w lokalnej bazie danych urządzenia mobilnego. Dodatkowo po skończeniu każdej sesji komunikacyjnej aplikacja dostaje informacje o czasie kolejnego połączenia. Pozwala to na inteligentne rozkładowanie ilości połączeń w jednym czasie. Dane przesyłane przez aplikację odpowiadają identyfikatorom rejestratorów i są powiązywane z danym pacjentem. W razie niepowodzenia podczas sesji komunikacyjnej, serwer przerywa komunikację i rozpoczyna od nowa cały proces wymiany danych.

Wszystkie typy wiadomości muszą przejść wstępne przetwarzanie przez serwer, aby uniemożliwić dalsze operacje na błędnych danych. W znacznym stopniu zmniejsza to wykorzystanie zasobów serwera gdyż, już na wstępie można określić przydatność odebranych wiadomości. Istnieje kilka

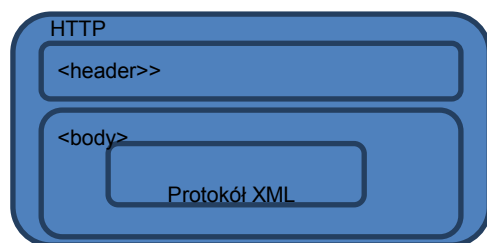
znanych mechanizmów definiowania dokumentów XML, które pozwalają na validację zawartości dokumentu. Najbardziej znanymi standardami są DTD (ang. Document Type Definition) oraz XML Schema. Obecnie ze względu na małe możliwości DTD, jest on zastępowany przez XML Schema.

Zastosowanie XML Schema w serwerze w znacznym stopniu ułatwia validację dokumentów. Sprowadza się to do zdefiniowania struktury dokumentu dla każdego typu wiadomości, zgodnie ze standardem. Parser na podstawie takiego szablonu może określić poprawność struktury oraz przesyłanych danych.

1.4. Komunikacja klient – serwer

Aplikacja kliencka do komunikacji z serwerem jako protokół nadrzędny wykorzystuje protokół HTTP (ang. Hypertext Transfer Protocol), który umożliwia znormalizowany sposób komunikacji klient – serwer. Wiadomości są w postaci tekstowej i mogą zawierać dowolną treść. Lecz HTTP jest tylko protokołem transportowym umożliwiającym właściwą formę komunikacji z serwerem.

Rysunek 3 przedstawia schematyczny pogląd na zawartość wiadomości HTTP. Obsługa błędów związanych z komunikacją czy też informacja o poprawności realizowanych żądań jest wykonywana przez warstwę wyższą, czyli protokół HTTP używając standardowych kodów wiadomości. Pobieranie zasobów i wysyłanie danych na serwer wykorzystuje metody GET i POST. Właściwa zawartość protokołu komunikacyjnego znajduje się w ciele wiadomości HTTP. Uznaje się, że poprawnie wykonane żądanie zawsze kończy się odpowiedzią z serwera w postaci kodu 200. Lecz odpowiedź 200 można uzyskać także w przypadku błędu logicznego. Obsługa błędów logicznych czy też związanych z nieodpowiednim formatem wiadomości przesyłanych przez aplikację mobilną, należy do protokołu XML[8].



Rys. 3. Budowa wiadomości http z uwzględnieniem wewnętrznego protokołu komunikacyjnego

1.5. Bezpieczeństwo

Bezpieczeństwo systemów IT w obecnym czasie jest jednym z najczęściej poruszanych tematów przy tworzeniu tego typu aplikacji[5]. Ważne jest, aby poufne dane na temat użytkowników były zabezpieczone przed niepożądanym dostępem. Dlatego też niezbędna jest odpowiednia analiza ryzyk oraz zaprojektowanie systemu, który będzie w stanie zapewnić określone wymogi.

Istnieje wiele rodzajów ataków jakie mogą być przeprowadzone na serwer, aby uniemożliwić jego działanie bądź dostać się do poufnych informacji. Duża ilość tego typu działań jest niezdefiniowana i poprzez to nie można także określić metod obrony. W opisywanym systemie skupiono się na najbardziej popularnych atakach, na które należałoby zwrócić szczególną uwagę. Do tej grupy z pewnością należy rodzina ataków typu DoS (ang. denial-of-service), który w większości przypadków sprowadza się do generowania sztucznego ruchu sieciowego, co powoduje czasowe lub trwałe zawieszenie usług serwera lub nawet całkowite zawieszenie serwera podłączonego do sieci Internet. Obrona przed tego typu atakami sprowadza się do odpowiedniej konfiguracji sprzętu sieciowego, który pozwoli na filtrowanie przesyłanych pakietów oraz oprogramowania wykrywającego działania odbiegające od normy.

Warto zwrócić uwagę także na atak SQL Injection, który zazwyczaj opiera się na filtrowaniu znaków ucieczki z danych wejściowych, co pozwala na przekazanie dodatkowych parametrów do zapytania. Problem ten rozwiązuje zastosowanie dodatkowego mechanizmu zarządzającego bazą danych, czyli

ORM. Nakłada on pewien poziom abstrakcji na operacje na bazie danych, gdyż pozwala na budowanie dynamicznych zapytań bez konieczności ręcznego ich tworzenia.

2. Podsumowanie i wnioski

Testy aplikacji serwerowej polegały na ustanowieniu sesji komunikacyjnej z aplikacją mobilną odebraniu danych, przeanalizowaniu i zapisaniu w bazie danych. Wzięte zostały pod uwagę różne okoliczności podczas komunikacji tj. tworzenie poprawnej sesji komunikacyjnej, zerwanie połączenia podczas sesji, generowanie dużych ilości błędnych i poprawnych zapytań. Działania zostały poprawnie zweryfikowane przez serwer. W przypadku zerwania połączenia następowała nowa sesja komunikacyjna i czynności powtarzane aż do stwierdzenia poprawnej sesji. Natomiast jeśli chodzi o generowanie dużej ilości ruchu nie odnotowano znaczących spadków wydajności.

Ta praca powstała przy wsparciu z grantu 2011-2013 numer N N518 284940 dla Nauki Polskiej.

Literatura

- [1] Frączkowski K.: Systemy informacyjne oraz usługi w ochronie zdrowia oparte na technologiach SOA (Service Oriented Architecture), Acta Bio-Optica et Informatica Medica 1/2010, vol. 16.
- [2] Kasiak K., Surtel W., Maciejewski R.: Telemedycyna w sytuacjach kryzysowych. Ostry dyżur, 4/2012
- [3] Litwińczuk K., Surtel W.: Model bazy danych w telemedycznej obsłudze pacjenta, IAPGOS, 2012, nr 4a, 39-41.
- [4] Maciejewski M., Małecka-Massalska T., Surtel W.: New Type of Sensor for Heart Rhythm Monitoring, W: New Trends in Audio and Video, Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements and Applications, Łódź, 2012.
- [5] Nałęcz M., Kaćki E., Kulikowski J. L., Nowakowski A. i Waniewski E.: Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna 2000. Tom 7: Systemy komputerowe i teleinformatyczne w służbie zdrowia, Warszawa, Akademicka oficyna wydawnicza Exit, 2002.
- [6] Surtel W.: Remote measurements of selected vital functions, W: 7th International Conference New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation, Zakopane, 2011.
- [7] Wandschneider M.: PHP i MySQL. Tworzenie aplikacji WWW, Helion, Gliwice, 2006.
- [8] Xiao Y., Chen H.: Mobile Telemedicine: A Computing and Networking Perspective. CRC Press Auerbach Publications, Floryda, 2008.

Dr inż. Wojciech Surtel
e-mail: w.surtel@pollub.pl

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej. W latach 1989 – 2011 pracownik naukowo-dydaktyczny (asystent, adiunkt) w Katedrze Elektroniki Politechniki Lubelskiej. Tytuł doktora uzyskał w 1999 r. na Wydziale Elektrycznym PL. Temat rozprawy: Cyfrowe przetwarzanie sygnału pomiarowego w wybranych przypadkach dynamicznego ważenia masy. Od roku 2011 starszy wykładowca w Instytucie Elektroniki i Technik Informacyjnych. Obszar zainteresowań naukowych i dydaktycznych to: telemedycyna i systemy mobilne.



Mgr inż. Marcin Maciejewski
e-mail: m.maciejewski@pollub.pl

Doktorant na wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Zajmuje się przetwarzaniem danych w medycynie, urządzeniami do zastosowania w telemedycynie, przetwarzaniem obrazu i systemami mikroprocesorowymi. Autor i współautor prac z dziedziny bioinformatyki, telemedycyny, symulacji komputerowej w biochemii oraz przetwarzania obrazów.



Inż. Rafał Różalski
e-mail: michal.cieslar@pollub.edu.pl

Student II roku studiów stacjonarnych II stopnia na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej na kierunku Informatyka, specjalności Technologie wytwarzania oprogramowania



MODEL APLIKACJI NA URZĄDZENIA MOBILNE Z SYSTEMEM OPERACYJNYM ANDROID DO ZASTOSOWAŃ W MONITORINGU ŚRODOWISKOWYM PACJENTA

Wojciech Surtel, Marcin Maciejewski, Michał Cieślak

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych

Streszczenie. Zastosowanie urządzeń typu smartfon w teledygnalnym systemach nadzorujących stan zdrowia pacjenta wymaga stworzenia odpowiedniej aplikacji pracującej pod kontrolą systemów operacyjnych tych urządzeń. Poniższy artykuł zawiera projekt i wymagania funkcjonalne takiej aplikacji. Powinna ona zapewnić funkcjonalność wystarczającą do wygodnej i prostej obsługi przez monitorowanego pacjenta oraz jednocześnie zbierać, przechowywać, przetwarzać oraz wysyłać dane do serwerowej aplikacji bazodanowej. Aplikacja musi dokonywać pomiarów funkcji życiowych i położenia w odpowiednich odstępach czasu oraz być w stanie zapewnić synchronizację danych z serwerem. Jednocześnie, nie może zbyt obciążać zasilanego baterią urządzenia przenośnego. Konieczne jest również zaimplementowanie mechanizmu wymuszonej komunikacji w nagłych przypadkach.

Słowa kluczowe: teledygnal, aplikacja mobilna, OS Android, czujniki, baza danych

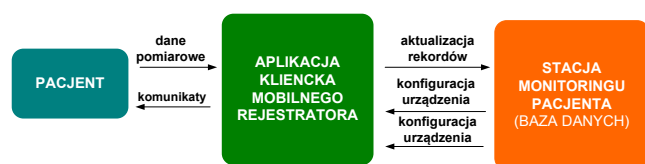
A MODEL OF A MOBILE ANDROID APPLICATION FOR ENVIRONMENTAL PATIENT MONITORING

Abstract. To use a smart phone as a part of a telemedical health monitoring system requires a dedicated application running under control of the device's operating system. This article contains the project and functional requirements of such an application. It should provide necessary functionality by means of a simple user interface for the patient under monitoring and be able to collect, store, process and send the data to the database application running on the central server. It must perform necessary measurements of life parameters and calculate location in appropriate time periods while still maintaining data synchronization with the central server. It must also be able to limit battery use in the portable device. It is also necessary to implement forced communication mechanism in cases of sudden health risks and patient deterioration.

Keywords: telemedicine, mobile application, OS Android, sensor, database

Wstęp

Rzeczywistość technologii mobilnych zapoczątkowała nowe podejście do budowy systemów teledygnal. Dedykowane do zdalnego nadzoru pacjenta systemy te pozwalają na monitorowanie wybranych funkcji życiowych pacjenta oraz w sposób ciągły na jego geolokalizację. W budowie mobilnych rejestratorów funkcji życiowych pacjenta zastosowanie znajdują urządzenia typu smartfon z systemami wbudowanymi opartymi na OS Linux. Mobilny rejestrator składa się z aplikacji mobilnej zainstalowanej na smartfonie oraz szeregu czujników bezprzewodowych współpracujących z aplikacją. W proponowanym rozwiązaniu aplikacja mobilna pobiera dane z czujników i wymienia się nimi z aplikacją serwerową poprzez dedykowany protokół bezpiecznej wymiany danych UWD. Na rysunku 1 przedstawiono model kontekstowy systemu teledygnalnego do nadzoru nad pacjentem.



Rys. 1. Model kontekstowy proponowanego systemu

W niniejszej pracy przedstawiono opis aplikacji mobilnej stworzonej na platformie Android na potrzeby monitoringu pacjenta.

1. Opis aplikacji mobilnej

Budowa aplikacji na urządzenie mobilne jest w dużym stopniu spersonalizowana i kierowana do konkretnej grupy odbiorców. Ten brak skalowalności i mobilności jest dużym mankamentem w projektowaniu aplikacji, która musi w sposób ciągły zapewniać obsługę czujników, przetwarzać i archiwizować dane o pacjencie oraz utrzymywać łączność z aplikacją serwerową.

1.1. Ogólny opis działania aplikacji

Opracowana aplikacja mobilna jest częścią większego systemu działającego w systemie klient-serwer. Pracuje ona na smartfonie z systemem operacyjnym Android [1]. Jej celem jest zbieranie danych geolokalizacyjnych oraz danych o stanie zdrowia

pacjenta pozyskiwanych z inteligentnych czujników funkcji życiowych takich jak: EKG, echo serca, poziom cukru oraz aktywność fizyczna, a następnie wstępne przetwarzanie tych danych według określonych wzorców i transferowanie ich do centralnego serwera. Inteligentne czujniki komunikują się z aplikacją za pomocą technologii Bluetooth [4]. Otrzymane w ten sposób dane poddawane są wstępnej filtracji oraz przetwarzaniu pod kątem wykrycia w nich nieprawidłowości, a następnie zapisywane w lokalnej bazie danych. W określonych interwałach czasowych zdefiniowanych przez administratora systemu teledygnalnego wszystkie dane przechowywane w lokalnej bazie danych aplikacji wysyłane są do centralnego serwera w celu synchronizacji ich z centralną bazą danych.



Rys. 2. Schemat obiegu informacji w systemie z uwzględnieniem aplikacji mobilnej

1.2. Wymagania funkcjonalne

Głównym celem aplikacji mobilnej jest wykonanie czterech kluczowych zadań:

- zbieranie danych o geolokalizacji pacjenta,
- komunikacja ze zdalnymi rejestratorami przy wykorzystaniu technologii Bluetooth,
- gromadzenie i przetwarzanie danych pomiarowych,
- komunikacja z aplikacją serwerową.

Aplikacja będzie wyposażona w graficzny interfejs użytkownika, który pozwoli na:

- wyświetlanie danych o statusie rejestratorów,
- aktywację konta w systemie,
- wyświetlanie komunikatów ostrzegających o problemach ze zdrowiem,
- wyświetlanie komunikatów informacyjnych od osób opiekujących się pacjentem.

Monitorowanie stanu pacjenta będzie wykonywane w sposób ciągły, dlatego też tworzony aplikacja działa w tle i uruchamiać się wraz z startem systemu w taki sposób aby ograniczyć konieczność obsługi przez pacjenta do minimum.

1.3. Analiza danych GPS

Aplikacja mobilna rejestrować będzie jego położenie geograficzne po przez system GPS. Powodowane jest to tym, że posiadanie choćby przybliżonych informacji o miejscu pobytu osoby, u której wykryto niepokojące objawy spowoduje, że otrzyma ona szybciej fachową pomoc [2]. Ciągłe monitorowanie pozycji użytkownika nie jest możliwe ze względu na duże zużycie energii. Powodowałoby to bardzo szybkie wyczerpanie baterii zasilającej smartfon i znacznie ograniczyłoby mobilność użytkownika ze względu na konieczność częstego ładowania baterii. Należy szukać rozwiązań kompromisowych, które z jednej strony zapewnią w miarę możliwości dokładne i aktualne dane, a z drugiej nie będą zbyt intensywnie korzystać z odbiornika GPS. Wbudowany w smartfon GPS pozwala na uzyskiwanie lokalizacji w rozsądnym czasie, ale z ograniczoną dokładnością [5]. Dodatkowo pacjent może przebywać w budynkach co powoduje silne tłumienie sygnału i uniemożliwia określenie położenia. Zaproponowane rozwiązanie opiera się na wykonywaniu lokalizowania co określony interwał czasowy np. 15 minut. Sam proces lokalizowania zakończy się w jednym z dwóch przypadków:

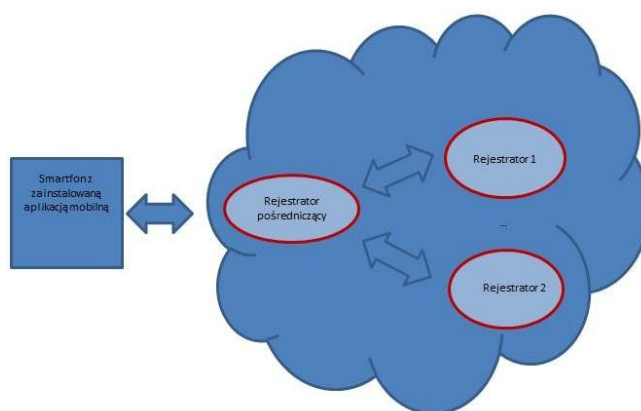
- otrzymana pozycja ma dokładność większą lub równą ustalonej np. lokalizowanie z dokładnością horyzontalną do 100m,
- upłyne czas wykonania lokalizacji np. 2 minuty, który jest kompromisem pomiędzy ustaleniem pozycji na otwartej przestrzeni jak i w budynkach, w przypadku upływu 2 minut za wynik lokalizacji zostanie uznany pomiar z jak najwyższą uzyskaną lokalizacją i zostanie zapisany w bazie danych z flagą „niedokładny”.

1.4. Komunikacja z rejestratorami

W celu pobrania danych o stanie zdrowia pacjenta aplikacja mobilna musi przeprowadzić sesję komunikacyjną ze zdalnymi rejestratorami. W konkretnej chwili może łączyć się tylko z jednym czujnikiem, ale możliwa jest obsługa wielu urządzeń po przez desygnowanie jednego z rejestratorów jako pośrednika w komunikacji z pozostałymi. Odbywa się to na zasadzie utworzenia tzw. piko-sieci jakie mogą tworzyć urządzenia Bluetooth. Za każdym razem kiedy dane mają zostać przesłane aplikacja mobilna nawiązuje połączenie z rejestratorem, następnie wysyła numer urządzenia z którego usług chce skorzystać. Następnie wysyłana jest stosowna seria komend do rejestratora na podstawie której podejmowane są odpowiednie działania. Komendy kodowane są jako znaki ASCII. Najważniejsze komendy to:

- G – żądanie wysłania pojedynczego pomiaru,
- R – żądanie retransmisji ostatnio wysyłanych danych,
- A – żądanie wysłania wszystkich pomiarów zgromadzonych przez rejestrator,
- T – komenda pozwalająca uzyskać informacje na temat aktualnego stanu czujnika.

W przypadku pobierania danych z czujnika przyjmuje się, że czas odebrania wiadomości jest czasem dokonania pomiaru.



Rys. 3. Model komunikacji aplikacji mobilnej ze zdalnymi rejestratorami

1.5. Analiza danych medycznych

Wszystkie dane zebrane ze zdalnych rejestratorów poddawane są wstępnej analizie pod kątem wykrycia w nich nieprawidłowości. W przypadku ich wykrycia użytkownik zostaje o nim powiadomiony po przez notyfikację w której wyjaśniony jest powód komunikatu oraz dalsze instrukcje postępowania. W przypadku nieprawidłowości zagrażających życiu lub zdrowia pacjenta, do pogotowia ratunkowego wysyłany jest SMS zawierający ostatnią znaną lokalizację pacjenta wraz z opisem przyczyny jego wysłania, co pozwoli na natychmiastowe udzielenie pomocy medycznej.

1.6. Lokalna baza danych

Wszystkie dane bez względu na ich wartość zapisywane są w lokalnej bazie danych urządzenia. Umożliwia to przetwarzanie danych z dłuższego okresu czasu. Kiedy aplikacja otrzymuje nowe dane z rejestratorów może je poddać analizie razem ze zapisanymi wcześniej wartościami. Umożliwia to bardziej kompleksową analizę stanu zdrowia pacjenta. Lokalna baza danych pełni również rolę łącznika zapewniającego synchronizację danych. Podczas wysyłania danych do centralnej bazy danych wszystkie do tej pory nie wysłane wartości są wybierane z bazy danych, a następnie przekształcane do postaci akceptowalnej przez aplikację serwerową co pozwoli na ich wysłanie i tym samym zsynchronizowanie obydwóch baz. Niezwykle ważnym jest określenie ilości przetrzymywanych rekordów w bazie. Ponieważ zasoby pamięci smartfonu są ograniczone ważnym jest dobranie na tyle ograniczonej ilości wpisów, aby nie przekroczyć pamięci udostępnianej przez telefon, ale jednocześnie umożliwić kompleksową analizę danych o stanie zdrowia pacjenta.

1.7. Usługi aplikacji serwerowej

Komunikacja aplikacji mobilnej z aplikacją serwerową sprowadza się do skorzystania z dwóch usług które ona oferuje, to jest aktywacja konta oraz sesją komunikacyjną. Po wizycie w specjalistycznej placówce, w której dokonana zostanie rejestracja w systemie, użytkownik musi dokonać zdalnej aktywacji konta za pomocą aplikacji mobilnej [3]. Aktywacja polega na podaniu wprowadzeniu w aplikacji unikalnego loginu i hasła utworzonego podczas rejestracji, a następnie wysłaniu tych danych do serwera. Spowoduje to wymianę serii komunikatów zdefiniowanych przez opracowany protokół komunikacyjny. Wynikiem tej operacji będzie aktywacja konta w systemie oraz odebranie przez aplikację mobilną informacji o:

- nowym hasle dostępowym do usług aplikacji serwerowej,
- czasie kolejnych komunikacji,
- ustawach dla zdalnych rejestratorów,
- ewentualnych dodatkowych informacjach dla użytkownika.

Po aktywacji konta możliwe staje się korzystanie z sesji komunikacyjnej aplikacji serwerowej. Przypomina ona aktywację konta z tą różnicą, że konto nie jest ponownie aktywowane, a aplikacja mobilna wysyła dodatkowo zgromadzone od ostatniej sesji komunikacyjnej dane o stanie zdrowia pacjenta [6].

1.8. Komunikacja aplikacja serwerowa – aplikacja mobilna i aplikacja mobilna - aplikacja serwerowa

Czasami konieczne jest wymuszenie sesji komunikacyjnej przez serwer np. w celu pozyskania większej ilości pomiarów medycznych do analizy, bez czekania na upływanie czasu kolejnej sesji komunikacyjnej. Jest to o tyle trudne, że adres IP urządzenia na którym pracuje aplikacja mobilna nie jest znane. Smartfon może być przemieszczany i być w zasięgu różnych sieci przez co jego zlokalizowanie przez aplikację serwerową nie jest możliwe. Wymusza to opracowanie innego mechanizmu komunikacji aplikacja serwerowa – aplikacja mobilna. W opracowywanym systemie wykorzystano do tego celu wiadomości SMS. Aplikacja mobilna nasłuchuje przychodzących wiadomości SMS. Jeżeli otrzymany zostaje SMS z określonego numeru – zostaje on przechwycony przez aplikację, odczytany i odpowiednio przeparsowany. Po tym aplikacja mobilna inicjuje sesję komunikacyjną z aplikacją serwerową [8].

W określonych interwałach czasowych aplikacja mobilna będzie łączyć się z aplikacją serwerową w celu wysłania wyników pomiarów oraz wyników przetwarzania. Na potrzeby tej komunikacji opracowany został protokół komunikacyjny oparty o technologię XML. XML jest technologią niezależną od platformy, co umożliwia łatwą wymianę informacji pomiędzy dwoma systemami. Za pomocą wspomnianego protokołu możliwa jest wymiana danych pomiędzy aplikacją mobilną, a aplikacją serwerową oraz sterowanie działaniem aplikacji mobilnej. Podczas wymiany informacji możliwe jest przesłanie danych m.in. o:

- Czasie kolejnego połączenia pomiędzy aplikacjami. Pozwala to zdalnie ustawić dokładną datę połączenia oraz interwał czasowy definiujący częstotliwość połączeń. Pozwala to dokładnie dostosować czas napływania kolejnych danych o stanie zdrowia pacjenta w zależności od potrzeb oraz sterować obciążeniem serwera. Możliwe jest ustalenie dokładnego harmonogramu napływających połączeń w taki sposób, żeby nie obciążać serwera bardziej niż jest to konieczne.
- Nastaw dla zdalnych rejestratorów. Do nastaw zaliczyć można interwał czasowy pomiędzy wykonywanymi pomiarami oraz wartości progowe których przekroczenie może powodować zagrożenie dla życia lub zdrowia pacjenta. Taka możliwość zdalnego dostosowywania nastaw dla rejestratorów jest niezwykle ważna ponieważ stan zdrowia pacjenta może stale ulegać pogorszeniu bądź poprawieniu co wymusza zupełnie inne traktowanie takiego pacjenta, a co za tym idzie potrzebne są różne metody analizy danych medycznych o takim pacjencie.
- Danych dodatkowych dla pacjenta. Dane dodatkowe pozwalają na zdalną komunikację z pacjentem bez konieczności bezpośredniego angażowania personelu medycznego. Dotyczyć one mogą prośby o jak najszybszy kontakt z lekarzem bądź przypominać o opłaceniu abonamentu za aplikację. Dane te są parami opis-url. Opis jest krótkim, tekstowym wyjaśnieniem czego dotyczy powiadomienie. URL jest adresem do strony WWW na której znajdują się szczegółowe informacje i instrukcje dla pacjenta.

2. Podsumowanie i wnioski

Na potrzeby weryfikacji opracowanej aplikacji mobilnej wykonano jej testy obejmujące odbiór danych ze zdalnych rejestratorów, ich przetwarzanie oraz komunikację z aplikacją serwerową. Podczas testów aplikacja mobilna wykryła rejestratory oraz nawiązała z nimi połączenie. Następnie wysłana

została seria komend wybierająca rejestrator i rozpoczynająca zbieranie pomiarów. Wszystkie zebrane pomiary zostały prawidłowo odebrane, przeanalizowane i zapisane w lokalnej bazie danych. Również pobranie współrzędnych geolokalizacyjnych przebiegło pomyślnie. Następnie ustanowiona została sesja komunikacyjna z aplikacją serwerową. Podczas której wymienione zostały dane zebrane z rejestratorów oraz informacje dotyczące czasów kolejnych komunikacji z aplikacją serwerową oraz nastaw dla rejestratorów. Komunikacja przebiegła pomyślnie i bez żadnych problemów.

Podziękowania

Ta praca powstała przy wsparciu z grantu 2011-2013 numer N N518 284940 dla Nauki Polskiej.

Literatura

- [1] Hashimi S. et al: Pro Android 2., Apress, New York, 2010.
- [2] Kasiak. K., Surtel W., Maciejewski R.: Telemedycyna w sytuacjach kryzysowych. Ostry dyżur, 4/2012.
- [3] Litwińczuk K., Surtel W.: Model bazy danych w telemedycznej obsłudze pacjenta, IAPGOS, 2012, nr 4a, 39-41.
- [4] Maciejewski M., Małecka-Massalska T., Surtel W.: New Type of Sensor for Heart Rhythm Monitoring, W: New Trends in Audio and Video, Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements and Applications, Łódź, 2012.
- [5] Murphy M. L.: The Busy Coder's Guide to Advanced Android Development, Wyd. CommonsWare, 2009-2010.
- [6] Surtel W.: Remote measurements of selected vital functions, W: 7th International Conference New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation, Zakopane, 2011.
- [7] Valentino L. i inni: Mobile Applications: Architecture, Design and Development, Prentice Hall Professional, Nowy Jork, 2004.
- [8] Xiao Y., Chen H.: Mobile Telemedicine: A Computing and Networking Perspective, CRC Press Auerbach Publications, Floryda, 2008.

Dr inż. Wojciech Surtel

e-mail: w.surtel@pollub.pl

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej. W latach 1989 – 2011 pracownik naukowo-dydaktyczny (asystent, adiunkt) w Katedrze Elektroniki Politechniki Lubelskiej. Tytuł doktora uzyskał w 1999 r. na Wydziale Elektrycznym PL. Temat rozprawy: Cyfrowe przetwarzanie sygnału pomiarowego w wybranych przypadkach dynamicznego ważenia masy. Od roku 2011 starszy wykładowca w Instytucie Elektroniki i Technik Informacyjnych. Obszar zainteresowań naukowych i dydaktycznych to: telemedycyna i systemy mobilne.



Mgr inż. Marcin Maciejewski

e-mail: m.maciejewski@pollub.pl

Doktorant na wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Zajmuje się przetwarzaniem danych w medycynie, urządzeniami do zastosowania w telemedycynie, przetwarzaniem obrazu i systemami mikroprocesorowymi. Autor i współautor prac z dziedziny bioinformatyki, telemedycyny, symulacji komputerowej w biochemii oraz przetwarzania obrazów.



Inż. Michał Cieślak

e-mail: michal.cieslar@pollub.edu.pl

Student II roku studiów stacjonarnych II stopnia na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej na kierunku Informatyka, specjalność Technologia wytwarzania oprogramowania.



OPTIMALIZACJA ALGORYTMÓW OKREŚLANIA PRZYNALEŻNOŚCI PUNKTÓW GEOGRAFICZNYCH DO OGRANICZONYCH OBSZARÓW NA UŻYTEK PROJEKTU OPENSTREETMAP

Rafał Jachowicz, Dominik Sankowski

Politechnika Łódzka, Instytut Informatyki Stosowanej

Streszczenie. Niniejszy artykuł przedstawia mechanizmy przetwarzania danych geolokacyjnych oraz ich optymalizację. Opisane algorytmy polegają na określaniu przynależności punktów geograficznych do obszarów przedstawianych za pomocą zamkniętych łamanych o znanych współrzędnych geograficznych wierzchołków. Badania prowadzone w tym zakresie obejmowały projektowanie oraz implementację algorytmów działających na zasobach projektu „Open Street Map”.

Słowa kluczowe: GIS, OpenStreetMap, algorytmy przetwarzania geodanych, algorytmy określania przynależności

OPTIMIZATION OF AFFILIATION DETERMINATION OF GEOPPOINTS TO LIMITED AREAS ALGORITHMS FOR THE USE OF THE OPENSTREETMAP PROJECT

Abstract. This paper presents mechanisms of geodata processing and their optimisation. Described algorithms main functionality is to determine the affiliation of geopoints to limited areas expressed by closed polylines with given coordinates of their vertexes. The research and experiments conducted in this field included development and implementation of algorithms working on „Open Street Map” project resources.

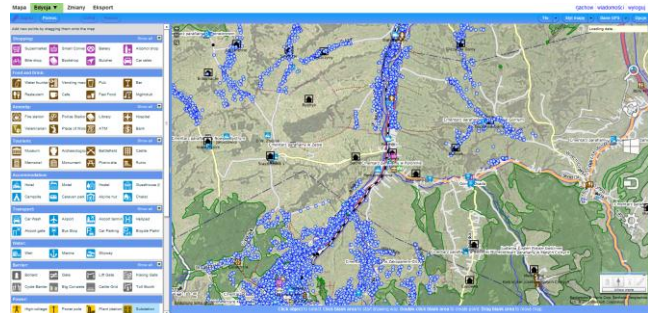
Keywords: GIS, OpenStreetMap, geodata processing algorithms, affiliation determination algorithms

Wstęp

Niniejszy artykuł przedstawia pewne mechanizmy przetwarzania danych geolokacyjnych oraz ich optymalizację. Przedstawione algorytmy polegają na określaniu przynależności punktów geograficznych do obszarów przedstawianych za pomocą zamkniętych łamanych o znanych współrzędnych geograficznych wierzchołków. W systemach typu GIS obszary takie wykorzystuje się przede wszystkim do przedstawiania rejonów administracyjnych (państwa, województwa, itd.), a także geograficznych (doliny, wyżyny, itd.) i są one przedmiotem badań wielu jednostek naukowych [1, 2]. Celem autorów, zmotywowanych do implementacji opisanych w niniejszym artykule funkcjonalności, było opracowanie szybkiego, tj. dostatecznie zoptymalizowanego, algorytmu do określania przynależności punktów geograficznych do takich obszarów. Możliwość szybkiego wykonywania wyżej opisanej funkcjonalności jest kluczową zaletą podczas generowania docelowych map nawigacyjnych w formacie danych umożliwiającym geolokalizację i wyznaczanie optymalnej drogi.

1. Projekt OpenStreetMap

Projekt OpenStreetMap (OSM) jest społecznościowym projektem GIS. Każdy użytkownik rejestrujący się w systemie ma możliwość edytowania mapy całego świata oraz korzystania z niej w niemal nieograniczony sposób [4]. Nie bez powodu zyskał on miano Wikipedii Map. Użytkownicy OSM mogą edytować mapę świata na dwa sposoby: online [4] - za pomocą aplikacji webowej z poziomu przeglądarki, bądź offline [6] - za pomocą aplikacji standalone, gdzie połączenie z serwerem jest niezbędne tylko podczas pobierania geodanych lub ich zapisywania. Na rys. 1 przedstawiony jest widok okna edycyjnego webowej aplikacji mapującej Potlatch 2.



Rys. 1. Widok okna edycyjnego aplikacji webowej Potlatch2

W projekcie OSM autorzy map oznaczają wyżej opisane areale administracyjne lub geograficzne jako zamknięte linie łamane. Każda z tych linii (tak jak wszystkie inne obiekty mapy) zapisywana jest jako odpowiedni tag w formacie XML. Ze względów historycznych tag ten nosi nazwę *way*, chociaż nie jest drogą. Przyjęło się, że wszystkie areale oznaczane będą "zamkniętymi drogami" (czyli zamkniętymi łamanymi oznaczonymi tagiem o nazwie *way*) oraz wszelkie niejasności będą wyjaśniane za pomocą innych tagów, np.: *roundabout*, *boundary_administrative*, itp.

Choć wewnętrzny sposób przechowywania danych na serwerze jest powszechnie znany i na bieżąco walidowany, nie istnieją ściśle określone zasady, które zmuszałyby użytkowników do oznaczania obiektów mapy w ten czy inny sposób. Dzieje się tak ze względu na fakt, iż projekt OSM jest projektem społecznościowym i wzrost jego popularności oraz powiększanie się ilości danych nie może zostać teraz zatrzymane i nagle usystematyzowane. Do ukształtowania się przyzwyczajęń i manier użytkowników przyczynił się nie tylko brak podstawowej instrukcji obsługi OSM, ale również czynniki kulturowe, etniczne a także religijne. Problem ten jest poruszony wnikliwie w jednej z sztabowych publikacji na temat OSM [3], którą można uznać za jeden z pierwszych poradników korzystania z projektu.

Deweloperzy i programiści opracowujący algorytmy i implementacje aplikacji pracujących na danych OSM muszą się liczyć z wyżej opisanym problemem. Również zespół (Instytut Informatyki Stosowanej PL) badający możliwości wykorzystania danych projektu OSM do komercyjnego wdrożenia w jednej z nawigacyjnych firm zachodnioeuropejskich napotkał na trudności z nieusystematyzowanym formatem mapowania. Podając za przykład sam zbiór obszarów administracyjnych zapisanych w bazach OSM można zauważyć, że liczba możliwości oznaczania elementów mapy jest ogromna i istnieje tak naprawdę tyle sposobów jej edycji ile jest użytkowników. Aby przedstawić bliżej wspomniany przykład niesystematyczności mapowania, należy najpierw opisać dokładniej wewnętrzną strukturę bazy OSM.

Wszystkie elementy mapy OSM można przedstawić za pomocą następujących komponentów, które są przechowywane w bazie jako wpisy XML:

węzeł (z ang. *node*)



Rys. 2. Węzeł

droga (z ang. *way*)



Rys. 3. Droga

Węzły (rys. 2) są pojedynczymi punktami geograficznymi, które posiadają takie cechy jak: długość i szerokość geograficzna, ich unikalny numer identyfikacyjny, nazwa i id ich autora, parametry określające zestaw zmian i czas, w których były wpisane do bazy OSM. Nazwa tagu służącego do reprezentowania węzłów to *node*, a wszystkie podane wielkości określające węzeł umieszczane są w atrybutach tagu:

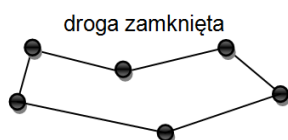
```
<node id='577505036' timestamp='2009-12-17T11:57:02Z' uid='152343' user='goltz' visible='true' version='2' lat='51.7341511' lon='19.4527584' >
  <tag k='traffic_light' v='yes' />
</node>
```

Za pomocą węzłów oznacza się wszystkie obiekty, których rozmiarów nie da się sprecyzować, a których pozycję można określić.

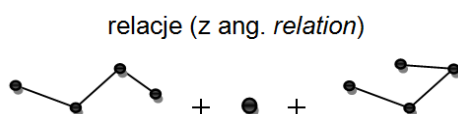
Drogi (rys. 3) są zbiorami punktów geograficznych (węzłów). Posiadają takie cechy jak: ich unikalny numer identyfikacyjny, nazwa i id ich autora, parametry określające zestaw zmian i czas, w których były wpisane do bazy OSM. Nazwa tagu służącego do reprezentowania dróg to *way*. Podobnie jak w przypadku węzłów wszystkie podane wielkości określające drogę umieszczane są w atrybutach tagu:

```
<way id='23428214' timestamp='2008-10-31T09:26:25Z' uid='66036' user='h4v' visible='true' version='5'>
  <nd ref='308878457' />
  <nd ref='253733858' />
  <nd ref='253733859' />
  <nd ref='253733856' />
  <nd ref='253733857' />
  <nd ref='253733831' />
  <nd ref='253733835' />
  <nd ref='253733834' />
  <nd ref='304057585' />
  <nd ref='253733833' />
  <tag k='source' v='UMP' />
  <tag k='highway' v='secondary' />
  <tag k='name' v='Aleja Politechniki' />
  <tag k='oneway' v='1' />
</way>
```

Niezbędnymi elementami znajdującymi się we wpisie XML drogi są referencje do numerów identyfikacyjnych węzłów, z których ta droga jest zbudowana. Za pomocą dróg oznacza się wszystkie obiekty, których rozmiary są znane i nie można opisać ich za pomocą punktu. Obiekty "liniowe" takie jak ulice są najczęściej opisywane przez te struktury. Wymiar, który opisuje szerokość tych "linii", czyli tak naprawdę szerokość jezdni w przypadku ulic, jest opisywany za pomocą dodatkowych oznaczeń. Za pomocą dróg oznaczane są również obszary (także administracyjne) jednakże w takim wypadku ostatni węzeł musi równać się pierwszemu, aby droga była zamknięta (rys. 4). Jedynym wyjątkiem, kiedy zamknięty obszar jest ulicą, a nie jakimś innym obiektem, jest oczywiście rondo. Taką sytuację również mapuje się za pomocą dodatkowych oznaczeń.



Rys. 4. Droga zamknięta, w której pierwszy węzeł jest równy ostatniemu



Rys. 5. Relacje

Relacje (rys. 5) są zbiorami punktów geograficznych (węzłów), zbiorów węzłów (dróg) oraz innych relacji. Posiadają takie same cechy jak drogi, które są przetwarzane w ten sam sposób, mianowicie w atrybutach wpisu XML.

Nazwa tagu służącego do reprezentowania relacji to *relation*. Przykład wpisu relacji jest następujący:

```
<relation id='59003' timestamp='2009-10-04T15:40:02Z' uid='51916' user='Max B' visible='true' version='4'>
  <member type='node' ref='15839207' role='via' />
  <member type='way' ref='28427890' role='from' />
  <member type='way' ref='30532547' role='to' />
  <tag k='restriction' v='no_left_turn' />
  <tag k='type' v='restriction' />
</relation>
```

Relacje służą do opisywania pewnych nietypowych struktur, często abstrakcyjnych, których nie da się wyrazić za pomocą pojedynczej drogi czy węzła. Przykładem obiektu, który należy wyrazić za pomocą relacji jest linia komunikacji miejskiej. Aby wyrazić trasę dowolnej linii komunikacji miejskiej należy umieścić w relacji (jako pola *member*) wszystkie ulice, po których jeżdżą pojazdy tej linii oraz umieścić w niej wszystkie węzły, które reprezentują przystanki tej linii. W przykładowym wpisie XML relacji przedstawiona została zależność restrykcji ruchu ulicznego, mianowicie zakaz skrętu w lewo z ulicy o numerze id 28427890 do ulicy o numerze id 30532547 przez węzeł reprezentujący skrzyżowanie tych ulic, którego numer id to 15839207.

Wszystkie z wymienionych struktur przechowujących obiekty geograficzne mogą, oprócz niezbędnych oznaczeń, przechowywać również dodatkowe opisy, które można wyrazić za pomocą tagu o nazwie *tag* przetwarzającego w atrybutach nazwę (*k*) i wartość (*v*) opisu. Za ich pomocą użytkownicy mogą wyrazić wszystko i to tak naprawdę niekontrolowana możliwość ich umieszczania w bazie stanowi podstawę do szerzenia się chaosu w systemie oznaczeń OSM. W podanych przykładach fragmentów map OSM zapisanych w formacie XML można wyróżnić opisy informujące o: światłach ulicznych, źródłach danych, nazwach, rangach i rodzajach ulic, rodzajach restrykcji i typach relacji. Podane przykłady są oczywiście niewielką częścią opisów, które można umieścić w bazie OSM.

Niemniej jednak, projekt OSM, pomimo naturalnych niespójności, związanych z elastycznością edycji, stanowi poważną bazę geodanych, którą można wykorzystywać za darmo. Obecnie istnieje wiele projektów, które w sposób profesjonalny oferują bogaty zakres usług korzystając z danych OSM, np. Osmand [7].

2. Konieczność implementacji algorytmu określania przynależności punktu do obszaru

Jak to było wspomniane we wstępie, podczas realizacji procesu produkcji docelowych, komercyjnych map nawigacyjnych, kluczową cechą aplikacji generującej jest możliwość przyporządkowania wszystkich przetwarzanych punktów geograficznych (węzłów w mapach OSM) do konkretnych obszarów administracyjnych i zapisanie tego przyporządkowania w bazie reprezentującej docelowy format map. Oczywiście taki typ informacji jest całkowicie redundantny, ponieważ ze współrzędnych punktu oraz granicy obszaru w sposób jednoznaczny wynika, czy punkt leży w jego wnętrzu, czy nie. Powodem, dla którego taka informacja jest przechowywana w docelowym formacie jest oszczędność czasu poświęcanego na wytyczenie optymalnej ścieżki podróży podczas nawigowania. Jej dostępność na etapie wykonywania algorytmu trasowania eliminuje konieczność badania przynależności adresu docelowego podróży, a także innych, takich jak aktualna pozycja, punkty pośrednie trasy itp. Takie badanie byłoby bardzo kosztowne obliczeniowo oraz dodatkowo czas potrzebny do jego realizacji byłby wydłużony ze względu na konieczność częstego odwoływania się do pamięci stałej, w szczególności, że urządzenia nawigacyjne dysponują niewielką ilością pamięci operacyjnej. Szybkość wyznaczania tras jest kluczową cechą dla docelowych odbiorców korzystających z urządzeń lub aplikacji nawigacyjnych i z tego powodu nadmiarowość danych jest złem koniecznym występującym w komercyjnych mapach służących do nawigacji.

Wobec wspomnianej konieczności realizacji redundancji danych cały ciężar produkcji potrzebnych danych spada na aplikację generującą, która musi obliczyć przynależność administracyjną dla wszystkich punktów geograficznych przechowywanych w bazie, a nie jedynie dla tych, które są potrzebne, tak jak w przypadku wyznaczania przynależności na bieżąco. Takie podejście powoduje wydłużenie czasu generowania formatu docelowego, jednakże fakt ten nie jest tak bardzo uciążliwy ze względu na możliwość zastosowania nowoczesnych maszyn stacjonarnych o bogatych zasobach obliczeniowych. Z uwagi na to, iż proces generowania docelowych map przypomina tłumaczenie kodu wysokiego poziomu na kod maszynowy czasami nazywa się go kompilacją map.

3. Algorytm określania przynależności

Zespół OpenStreetMap naukowców z Instytutu Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej pod przewodnictwem prof. dr hab. inż. Dominika Sankowskiego w 2012 roku zbadał możliwości wykorzystania danych projektu OSM w komercyjnych rozwiązaniach nawigacyjnych. Kluczowym aspektem badań było określenie przynależności wszystkich przetwarzanych punktów geograficznych do konkretnych obszarów administracyjnych. Opracowano i zaimplementowano zoptymalizowany algorytm do realizowania ww. funkcjonalności, który został dokładnie omówiony w niniejszym artykule.

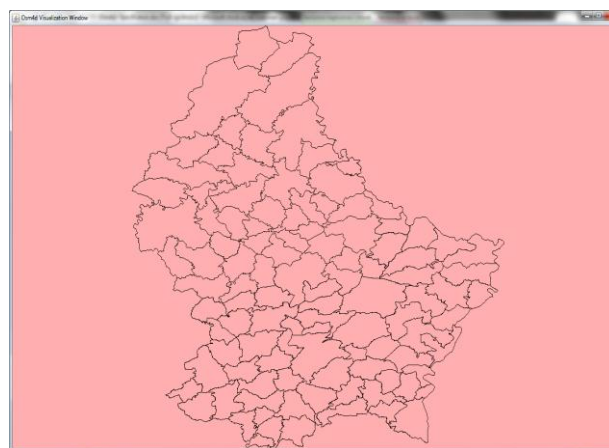
Pierwszym problemem, który pojawił się podczas realizacji projektu zbadania możliwości komercyjnego wykorzystania map OSM, był wspomniany i opisywany brak usystematyzowanego sposobu edytowania poszczególnych części mapy. Omawiając wątek algorytmu określania przynależności punktów geograficznych do konkretnych obszarów, należy zwrócić uwagę w szczególności na rozbieżności w sposobach mapowania obszarów administracyjnych. W różnych krajach oznacza się je inaczej, a nawet w różnych rejonach państw także inaczej. W większości przypadków, zgodnie z podpowiedziami umieszczonymi na głównej stronie projektu OSM [5] do mapowania tych obszarów należy stosować relacje, które łączą ze sobą różne fragmenty granicy danego obszaru administracyjnego (np. granica Polski podzielona jest na fragmenty, z których każdy oznacza granicę z innym państwem: z Niemcami, z Czechami, ze Słowacją, itd.). Każdy fragment całej granicy Polski jest osobną relacją, która z kolei przechowuje drogi oznaczające kolejne odcinki danego fragmentu. Do relacji głównej (oznaczającej granicę obszaru administracyjnego) należy dodatkowo dodać opisy: *tag k=boundary v=administrative* oraz *tag k=admin_level v=(2,3,4...itd.)*. Wartość opisu *admin_level* oznaczać ma wagę obszaru administracyjnego, gdzie najniższa wartość oznacza najważniejszy obszar administracyjny, a najwyższa najmniej ważny (w Polsce 2 to granica państwa, 4 to granica województwa, 6 to granica powiatu, a 8 to granica gminy). Niestety nie istnieje jeden przeważający sposób stopniowania obszarów administracyjnych, więc autorzy prezentowanego algorytmu, ekstrahując z bazy OSM granice wszystkich obszarów administracyjnych musieli uporać się z różnorodnością zależności między wagami obszarów administracyjnych wewnątrz wszystkich państw. Rysunek 6 przedstawia wszystkie regiony administracyjne w Luksemburgu.

Następnym problemem związanym z mapowaniem OSM był sporadyczny brak zachowania kolejności fragmentów granic obszarów administracyjnych czego rezultatem była konieczność implementacji funkcji walidującej, która porządkuje wspomniane fragmenty poprzez próbę połączenia ich w jedną ciągłą granicę.

Niezależnie jednak od problemów związanych ze sposobem zapisu bazy OSM i znajdujących się w niej obszarów administracyjnych, danymi wyjściowymi aplikacji wczytującej elementy do przetworzenia są obiekty klasy o nazwie *OSMBorder*,

zaimplementowanej w jednym z języków wysokiego poziomu, która zawiera następujące pola:

- Uporządkowaną listę węzłów reprezentowanych przez obiekty specjalnie przygotowanej klasy *OSMNode*, które stanowią zamkniętą, kompletną granicę obszaru.
- Unikalny numer identyfikujący dany obszar administracyjny.
- Nieuporządkowaną listę wysp, tj. zamkniętych obszarów, które administracyjnie należą do danego regionu, ale geometrycznie stanowią odrębną figurę (zamkniętą wielokąt). Z poziomu implementacji lista ta zawiera obiekty klasy *OSMBorder* (każda wyspa traktowana jest jako oddzielny obszar administracyjny).
- Nieuporządkowaną listę dziur, tj. zamkniętych obszarów, które administracyjnie nie należą do danego regionu, ale geometrycznie leżą wewnątrz jego głównej granicy. Z poziomu implementacji lista ta zawiera obiekty klasy *OSMBorder* (każda dziura traktowana jest jako oddzielny obszar administracyjny, który należy "wyciąć" z danego regionu).
- Podstawowe informacje o obszarze administracyjnym czyli: nazwa własna i stopień administracyjny.

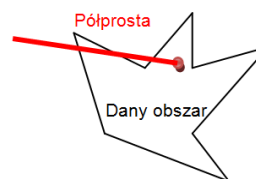


Rys. 6. Obszary administracyjne w Luksemburgu

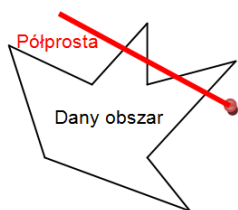
Mapa geograficzna, z niewielkimi przybliżeniami jest przykładem układu kartezjańskiego z dwiema osiami. W związku z tym każdy punkt leżący w tym układzie określa dwie współrzędne: współrzędna *x* (długość geograficzna) oraz współrzędna *y* (szerokość geograficzna). Do określenia przynależności punktu do obszaru, wybrana została podstawowa metoda matematyczna polegająca na badaniu ilości przecięć pewnych elementów mapy.

Aby stwierdzić czy dany punkt w układzie leży wewnątrz obszaru, który jest przedstawiany za pomocą łamanej linii zamkniętej, a więc w przypadku map OSM, aby stwierdzić czy dany węzeł leży wewnątrz danego obszaru, należy z badanego punktu poprowadzić półprostą w dowolnym kierunku. Następnie policzyć liczbę przecięć uzyskanej półprostej z fragmentami granicy badanego obszaru. Jeśli policzona liczba przecięć jest nieparzysta dany punkt leży wewnątrz obszaru, bądź na zewnątrz, jeśli policzona liczba przecięć jest parzysta.

Dwa opisane powyżej przypadki przedstawiają rysunki 7 i 8.



Rys. 7. Liczba przecięć nieparzysta (3) - punkt leży wewnątrz obszaru



Rys. 8. Liczba przecięć parzysta (4) - punkt leży na zewnątrz obszaru

Implementacja powyższego rozwiązania sprowadza się do określenia czy dwa odcinki (zaimplementowana półprosta, która jest reprezentowana przez odcinek o końcach $[-1, -1]$, czyli leżący poza obszarem mapy, oraz współrzędnych badanego punktu i dwupunktowy fragment granicy obszaru) się przecinają.

Aby przekonać się, czy odcinki o końcach w punktach P, Q oraz R, S się przecinają sprawdzamy [8], czy odcinek PQ przecina prostą RS i czy odcinek RS przecina prostą PQ :

- jeśli choć jeden z nich nie przecina prostej, zawierającej drugi, to oczywiście odcinki się nie przecinają,
- jeśli każdy z nich przecina prostą, na której leży drugi, to punkt przecięcia tych prostych leży na każdym z odcinków, czyli odcinki się przecinają.

W celu ustalenia z kolei, czy odcinek przecina prostą wykorzystuje się następujący wzór:

$$W = (Ax_1 + By_1 + C) \cdot (Ax_2 + By_2 + C) \quad (1)$$

gdzie x_1, y_1, x_2, y_2 to współrzędne końców odcinka, a współczynniki A, B oraz C to współczynniki równania prostej w postaci ogólnej. Badany odcinek przecina prostą wtedy i tylko wtedy gdy wartość wielkości W jest ujemna, bądź równa 0.

Aby obliczyć współczynniki prostych na podstawie odcinka nie biorącego udziału w równaniu, należy skorzystać z następujących wzorów:

$$A = \frac{1}{x_2 - x_1} \quad B = \frac{-1}{y_2 - y_1} \quad C = \frac{y_1}{y_2 - y_1} - \frac{x_1}{x_2 - x_1}$$

gdzie x_1, y_1, x_2, y_2 to współrzędne końców odcinka „przekształcanego” w prostą.

4. Implementacja i optymalizacja algorytmu określania przynależności

W celu uproszczenia równania określającego czy dwa odcinki przecinają się zamieniono sposób przedstawiania półprostej z odcinka o końcach $(-1, -1)$ oraz współrzędnych badanego punktu na odcinek równoległy do osi X . Odcinek taki ma współrzędne końców: badanego punktu oraz $(-1, y_{\text{badanego punktu}})$. Takie podejście powoduje konieczność zastąpienia równań prostych w postaci ogólnej na równania w postaci kierunkowej (równanie 2), gdyż w mianowniku współczynnika B oraz C pojawiają się zera.

$$ax + b - y = 0 \quad (2)$$

Ponieważ półprosta, a zarazem reprezentujący ją odcinek, jest równoległa do osi OX współczynnik kierunkowy a jest równy 0. W związku z powyższym rozpatrzenie tego szczególnego przypadku, sprowadza się do wyznaczenia:

$$W = (y_1 - b) \cdot (y_2 - b) \quad (3)$$

gdzie y_1, y_2 to współrzędne szerokości geograficznych końców segmentu obszaru. Równanie 3 określenia czy segment obszaru przecina prostą, na której leży półprosta. Dla określenia czy odcinek reprezentujący półprostą przecina prostą, na której leży segment obszaru równanie (1) ma postać:

$$W = (-A + By_b + C) \cdot (Ax_b + By_b + C) \quad (4)$$

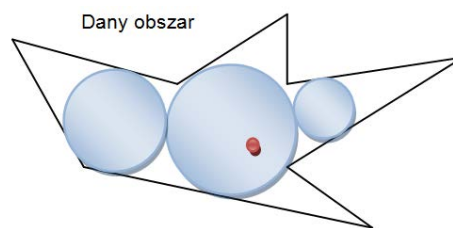
gdzie x_b, y_b to współrzędne badanego punktu, a współczynniki A, B oraz C to współczynniki kierunkowe prostej, na której leży segment obszaru. W przedstawiony sposób wyeliminowano konieczność przeprowadzenia pięciu spośród dziesięciu operacji mnożenia oraz dwóch spośród ośmiu operacji dodawania.

5. Wyniki optymalizacji

Stosując przedstawioną optymalizację uzyskano (w zależności od procesora wykonującego algorytm, który mógł dodatkowo umożliwić zrównoleglenie pewnych obliczeń) do 20% przyspieszenia wyznaczania przynależności punktów.

6. Plan przyszłych prac

W celu dodatkowego zwiększenia wydajności prezentowanego algorytmu, autorzy projektu mają zamiar wykorzystać wstępne przetwarzanie obszarów administracyjnych do przyspieszenia określania przynależności punktów geograficznych. Wstępne przetwarzanie ma polegać na wyznaczeniu okręgów, które w pełni zawierają się w badanym obszarze. Podczas określania przynależności punktów w pierwszej kolejności sprawdzana byłaby przynależność do tych okręgów, co jest operacją znacznie szybszą, gdyż sprowadza się do wyznaczenia odległości punktu od środka okręgu. Rysunek 9 ilustruje zastosowanie powyższego rozwiązania:



Rys. 9. Wstępne określanie przynależności punktu do obszaru

Literatura

- [1] Cus-Babie N., Rebolj D., Gregorc C.: Enhancement of Decision Support Process in Road Administration Domain with the Use of GIS Technology apply voltages of traction systems. Information Visualization, 1999. Proceedings. 1999 IEEE International Conference.
- [2] Kamal M.A.: City planning and development using geographic information systems, Computer and Information Technology, 2008. ICCIT 2008. 11th International Conference.
- [3] Ramm F., Topf J., Chilton S., OpenStreetMap: Using and Enhancing the Free Map of the World. UIT Cambridge 2010.
- [4] <http://www.openstreetmap.org/>
- [5] <http://wiki.openstreetmap.org/>
- [6] <http://josm.openstreetmap.de/>
- [7] <http://osmand.net/>
- [8] <http://www.math.us.edu.pl/> Paweł Gładki. Instytut Matematyki Uniwersytetu Śląskiego.

Mgr inż. Rafał Jachowicz
e-mail: rjachowicz@kis.p.lodz.pl

Mgr. inż. Rafał Jachowicz studia ukończył w 2010 roku na wydziale EEiA Politechniki Łódzkiej na kierunku Informatyka o specjalności Inżynieria Oprogramowania. Od 2010 roku jest uczestnikiem studiów doktoranckich w Instytucie Informatyki Stosowanej PL. Jest laureatem wielu stypendiów m.in.: Stypendium Miasta Łodzi dla najlepszych doktorantów I roku oraz Stypendium Marszałka Województwa Łódzkiego dla wybitnych młodych naukowców.

Prof. dr hab. inż. Dominik Sankowski
e-mail: dsan@kis.p.lodz.pl

Profesor Dominik Sankowski jest dyrektorem Instytutu Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej. Ponadto jest kierownikiem licznych projektów naukowych, m.in. "Autonomicznego Robota Pola Walki przeznaczonego do zadań zwiadu i wykrywania min", "Development of Excellence in Non-Invasive Diagnostic System for Industrials and Scientific Applications", "Metody oraz modelu automatycznego testera pomiaru lutowności lutów twardych dla zastosowań przemysłowych" i wiele innych. Jest autorem 6 monografii, 37 rozdziałów w książkach, 21 artykułów w czasopiśmie z listy filadelfijskiej oraz wiele innych.



POLE MAGNETYCZNE SZYNOPRZEWODÓW PROSTOKĄTNYCH O SKOŃCZONEJ DŁUGOŚCI

Tomasz Szczegielniak¹, Zygmunt Piątek¹, Dariusz Kusiak²

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, ² Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

Streszczenie. W artykule przedstawiono nową analityczną metodę obliczania pola magnetycznego układów szyn prostokątnych. Metoda wykorzystuje prawa Biota-Savarta. Zaproponowana metoda pozwala na wyznaczanie rozkładu pola magnetycznego w układach równoległych szynoprzewodów prostokątnych o dowolnych wymiarach w tym szynoprzewodów o skończonej długości. W szczególności wyznaczono pola magnetyczne w nieekranowanych trójfazowych torach wieloprądowych z prostokątnymi szynoprzewodami fazowymi i z szynoprzewodem neutralnym.

Słowa kluczowe: szynoprzewód prostokątny, tor wieloprądowy, pole magnetyczne, metoda analityczna

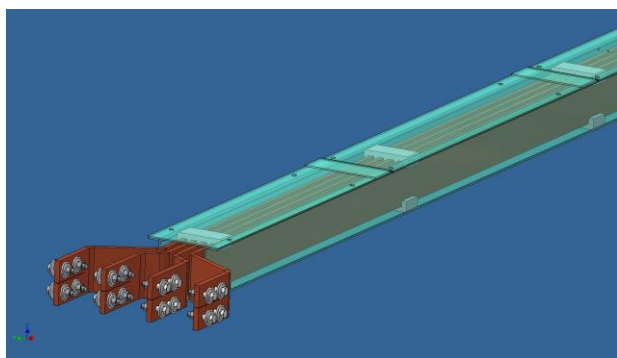
MAGNETIC FIELD IN RECTANGULAR BUS-BARS OF FINITE LENGTH

Abstract. This paper presents a new analytical computation method for determining the magnetic field distributions in high-current busducts of rectangular busbars. This method is based on Biot-Savart law. The proposed method allows us to calculate the magnetic field intensity distribution in a set of parallel rectangular busbars of any dimensions including any length. In particular, the magnetic fields in busbars of unshielded three-phase systems with rectangular phase and neutral busbars, and the use of the method are described.

Keywords: rectangular busbar, high-current bus duct, magnetic field, analytical method

Wstęp

Tory wieloprądowe z miedzianymi lub aluminiumowymi szynoprzewodami prostokątnymi często są stosowane w rozdzielniach i stacjach elektroenergetycznych ze względu na łatwość ich montażu i eksploatacji. Ich prądy znamionowe osiągają wartości do 10 kA, zaś napięcia znamionowe to zazwyczaj 10-30 kV [3, 9]. Typowy tor wieloprądowy z szynoprzewodami prostokątnymi przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Trójfazowy tor wieloprądowy z jednym szynoprzewodem prostokątnym na fazę i jednym szynoprzewodem neutralnym (Model EB produkowany przez Holduct Mysłowice)

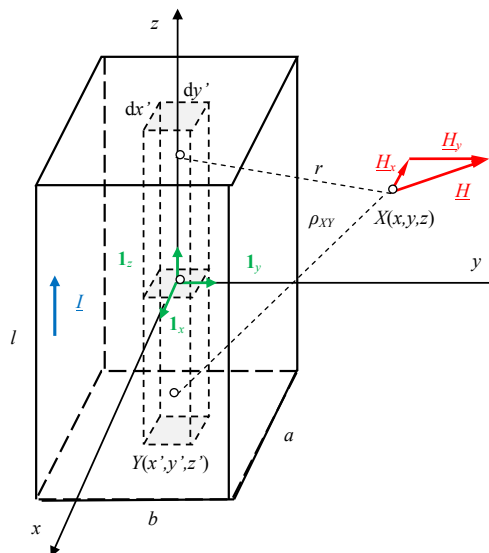
Pole magnetyczne generowane przez prądy w torze wieloprądowym osiąga duże wartości, co może zakłócać pracę sąsiednich urządzeń sterowania i zabezpieczeń jak również niekorzystnie wpływać na zdrowie ludzkie [1, 2, 5, 10]. Stąd też dokładne wyznaczenie pola magnetycznego w otoczeniu takich torów wieloprądowych jest zagadnieniem bardzo ważnym. Rozkład pola magnetycznego o częstotliwości przemysłowej w otoczeniu torów wieloprądowych może być względnie łatwo wyznaczony jedynie dla przypadków szynoprzewodów rurowych [7] oraz szynoprzewodów prostokątnych o dużych długościach w stosunku do ich wymiarów poprzecznych lub w przypadku przewodów taśmowych [4, 11]. Zatem celem niniejszego artykułu jest przedstawienie analitycznej metody wyznaczania pola magnetycznego w otoczeniu szynoprzewodów prostokątnych o dowolnych wymiarach poprzecznych jak również dowolnej długości.

1. Pole magnetyczne szynoprzewodu prostokątnego

Zakładamy, że w przewodzie prostokątnym o wymiarach $a \times b \times l$ (rys. 2) jest stały lub wolnozmienny prąd sinusoidalny

o zespolonej wartości skutecznej \underline{I} . Wtedy w każdym punkcie przewodu gęstość prądu jest stała i określona jest wzorem

$$\underline{J} = \frac{\underline{I}}{a b} \quad (1)$$



Rys. 2. Szynoprzewód prostokątny o skończonej długości

Prąd w obszarze elementarnym $ds = dx' dy'$ wyraża się wzorem

$$d\underline{I} = \underline{J} ds = \frac{\underline{I}}{a b} dx' dy' \quad (2)$$

a elementarny wektor pola magnetycznego generowany przez ten prąd opisany jest wzorem [8]

$$d\underline{H} = \frac{d\underline{I}}{2 \pi r} \underline{1}_z \times \underline{1}_r = d\underline{H}_x \underline{1}_x + d\underline{H}_y \underline{1}_y \quad (3)$$

Moduł wektora elementarnego możemy zapisać w postaci wzoru

$$d\underline{H} = \frac{d\underline{I}}{4 \pi r} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) = \frac{\underline{I}}{4 \pi a b} \frac{dx' dy'}{r} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) \quad (4)$$

$$\text{gdzie } \cos \alpha_1 = \frac{\frac{l}{2} + z}{\sqrt{r^2 + \left(z + \frac{l}{2}\right)^2}}, \quad \cos \alpha_2 = \frac{\frac{l}{2} - z}{\sqrt{r^2 + \left(z - \frac{l}{2}\right)^2}} \quad \text{oraz}$$

$$r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2}.$$

Wtedy też składowe natężenia elementarnego pola magnetycznego przedstawiamy za pomocą następujących wzorów:

$$\begin{aligned} d\vec{H}_x &= -dH \cos\theta = -dH \frac{y-y'}{r} = \\ &= -\frac{I}{4\pi ab} \frac{y-y'}{r^2} \left[\frac{\frac{l}{2}+z}{\sqrt{r^2 + \left(z + \frac{l}{2}\right)^2}} + \frac{\frac{l}{2}-z}{\sqrt{r^2 + \left(z - \frac{l}{2}\right)^2}} \right] dx' dy' \end{aligned} \quad (5a)$$

oraz

$$\begin{aligned} d\vec{H}_y &= dH \sin\theta = dH \frac{x-x'}{r} = \\ &= \frac{I}{4\pi ab} \frac{x-x'}{r^2} \left[\frac{\frac{l}{2}+z}{\sqrt{r^2 + \left(z + \frac{l}{2}\right)^2}} + \frac{\frac{l}{2}-z}{\sqrt{r^2 + \left(z - \frac{l}{2}\right)^2}} \right] dx' dy' \end{aligned} \quad (5b)$$

zaś długość wektora elementarnego pola wypadkowego

$$dH = \frac{I}{4\pi ab} \frac{1}{r} \left[\frac{\frac{l}{2}+z}{\sqrt{r^2 + \left(z + \frac{l}{2}\right)^2}} + \frac{\frac{l}{2}-z}{\sqrt{r^2 + \left(z - \frac{l}{2}\right)^2}} \right] dx' dy' \quad (6)$$

Wobec powyższego składowe \vec{H}_x i \vec{H}_y całkowitego wektora natężenia pola magnetycznego $\vec{H} = \vec{H}_x \mathbf{1}_x + \vec{H}_y \mathbf{1}_y$ wyznaczmy poprzez następujące całkowania:

$$\begin{aligned} \vec{H}_x(x, y) &= \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} d\vec{H}_x dx' dy' = \\ &= -\frac{I}{4\pi ab} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{y-y'}{(x-x')^2 + (y-y')^2} (\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2) dx' dy' \end{aligned} \quad (7a)$$

oraz

$$\begin{aligned} \vec{H}_y(x, y) &= \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} d\vec{H}_y dx' dy' = \\ &= \frac{I}{4\pi ab} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{x-x'}{(x-x')^2 + (y-y')^2} (\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2) dx' dy' \end{aligned} \quad (7b)$$

zaś moduł pola magnetycznego wypadkowego

$$\begin{aligned} H(x, y) &= \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} dH dx' dy' = \\ &= \frac{I}{4\pi ab} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{1}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}} (\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2) dx' dy' \end{aligned} \quad (8)$$

W obszarze zewnętrznym przewodu, tzn. dla $x > \frac{a}{2} \cup x < -\frac{a}{2} \cup y > \frac{b}{2} \cup y < -\frac{b}{2}$, punkt obserwacji $X(x, y, z)$ nigdy nie pokryje się z punktem źródłowym $Y(x', y', z')$ i powyższe całki są całkami właściwymi. W obszarze wewnętrznym przewodu, tzn. dla $-\frac{a}{2} \leq x \leq \frac{a}{2} \cap -\frac{b}{2} \leq y \leq \frac{b}{2}$, punkt obserwacji $X(x, y, z)$ może pokryć się z punktem

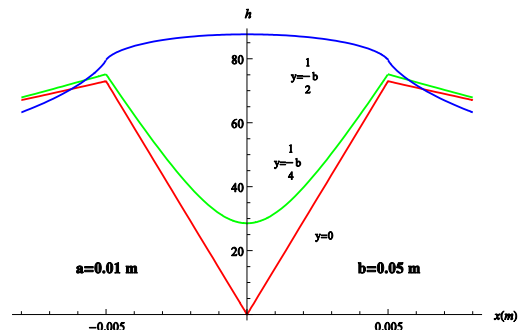
źródłowym $Y(x', y', z')$ i powyższe całki są całkami niewłaściwymi ale zbieżnymi. Problem zbieżności tych całek pojawia się w drugim całkowaniu. W rozwiązaniu otrzymujemy analityczne wzory na składowe natężenia pola magnetycznego wzdłuż osi Ox oraz wzdłuż osi Oy . Wzory te określają zespolone składowe natężenia pola magnetycznego w dowolnym punkcie $X(x, y, z)$ wewnątrz i na zewnątrz prostokątnego przewodu szynowego o skończonej długości. Moduł całkowitego pola magnetycznego wyznaczamy ze wzoru

$$H(x, y, z) = \sqrt{H_x^2(x, y, z) + H_y^2(x, y, z)} \quad (9)$$

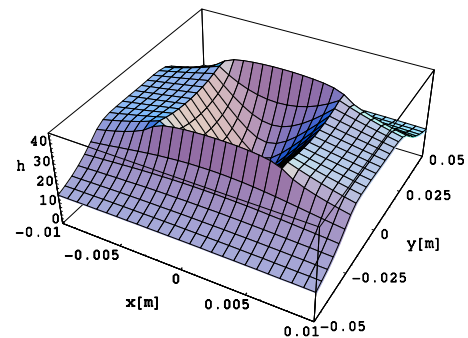
Rozkład modułu pola magnetycznego szynoprzewodu prostokątnego o skończonej długości na płaszczyźnie xOy przedstawiamy na rysunku 3, przy czym pole to jest wyrażone w jednostkach względnych jako funkcja dana wzorem

$$h(x, y, z) = \frac{H(x, y, z)}{H_0}, \quad \text{gdzie natężenia odniesienia}$$

$H_0 = \frac{I}{2(a+b)}$. Rozkład przestrzenny natężenia pola magnetycznego ilustruje rysunek 4.



Rys. 3. Rozkład pola $H(x, y, z)$ na płaszczyźnie xOy



Rys. 4. Rozkład przestrzenny pola $H(x, y, z)$ na płaszczyźnie $z=l/2$ dla $l=1\text{m}$, $a=0,01\text{m}$, $b=0,05\text{m}$

2. Pole magnetyczne jednofazowego toru wielopiętrowego

Zakładamy, że w linii o przewodach prostokątnych o wymiarach $a \times b$, długości l i odległości d między nimi (rys. 5) jest stały lub wolnozmienny prąd sinusoidalny o zespolonej wartościach skutecznych $\underline{I}_1 = \underline{I}$ oraz $\underline{I}_2 = -\underline{I}$.

Całkowite pole elementarne w punkcie $X(x, y, z)$ generowane przez prądy w obszarach elementarnych pierwszego i drugiego przewodu dane jest wzorem

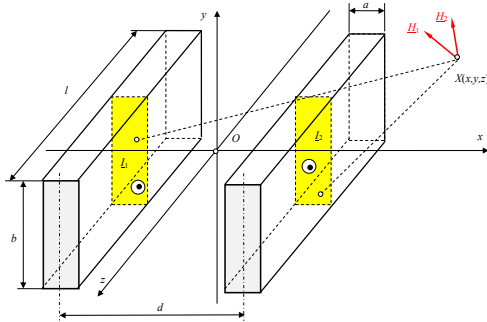
$$d\vec{H} = d\vec{H}_1 + d\vec{H}_2 \quad (10)$$

zaś pole magnetyczne całkowite w tym punkcie opisuje wzór

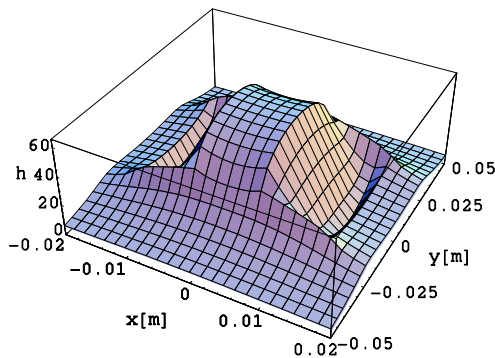
$$\vec{H} = (\vec{H}_{x1} + \vec{H}_{x2})\mathbf{1}_x + (\vec{H}_{y1} + \vec{H}_{y2})\mathbf{1}_y = \vec{H}_x \mathbf{1}_x + \vec{H}_y \mathbf{1}_y \quad (11)$$

We wzorze (11) składowe \vec{H}_{x1} i \vec{H}_{y1} dotyczą pola magnetycznego wytworzonego przez prąd \underline{I}_1 . Składowe \vec{H}_{x2} i \vec{H}_{y2}

dotyczą pola magnetycznego wytworzonego przez prąd \underline{I}_2 . Rozkład modułu całkowitego pola magnetycznego, w jednostkach względnych, na płaszczyźnie xOy przedstawiamy na rysunku 6.



Rys. 5. Jednofazowy tor wieloprzewodowy o skończonej długości



Rys. 6. Rozkład przestrzenny pola $H(x,y,z)$ jednofazowego toru wieloprzewodowego na płaszczyźnie $z=l/2$ dla $l=1m$, $a=0,01m$, $b=0,05m$, $d=2a$

3. Pole magnetyczne trójfazowego trójprzewodowego toru wieloprzewodowego

Zakładamy, że w trzyprzewodowej linii trójfazowej o przewodach prostokątnych o wymiarach $a \times b \times l$ (rys. 7) i odległości d między nimi jest stały lub wolnozmienny trójfazowy prąd sinusoidalny o zespolonej wartościach skutecznych \underline{I}_1 , \underline{I}_2 oraz \underline{I}_3 . Całkowite pole elementarne w punkcie $X(x,y,z)$ generowane przez prądy w obszarach elementarnych pierwszego, drugiego i trzeciego przewodu określone jest wzorem

$$d\underline{H} = d\underline{H}_1 + d\underline{H}_2 + d\underline{H}_3 \quad (12)$$

zaś pole magnetyczne całkowite w tym punkcie wyraża się wzorem

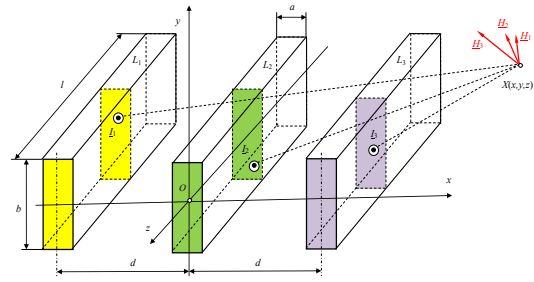
$$\underline{H} = (\underline{H}_{x1} + \underline{H}_{x2} + \underline{H}_{x3})\underline{1}_x + (\underline{H}_{y1} + \underline{H}_{y2} + \underline{H}_{y3})\underline{1}_y = \underline{H}_x \underline{1}_x + \underline{H}_y \underline{1}_y \quad (13)$$

W powyższym wzorze składowe \underline{H}_{x1} i \underline{H}_{y1} wyrażają się odpowiednio wzorami analitycznymi otrzymanymi z (7a) i (7b) po podstawieniu w nich $x+d$ za zmienną x oraz przyjmując prąd $\underline{I} = \underline{I}_1$, składowe \underline{H}_{x2} i \underline{H}_{y2} wyrażają się odpowiednio tymi samymi wzorami przyjmując w nich prąd $\underline{I} = \underline{I}_2$, a składowe \underline{H}_{x3} i \underline{H}_{y3} wyrażają się odpowiednio tymi samymi wzorami po podstawieniu w nich $x-d$ za zmienną x i po przyjęciu $\underline{I} = \underline{I}_3$.

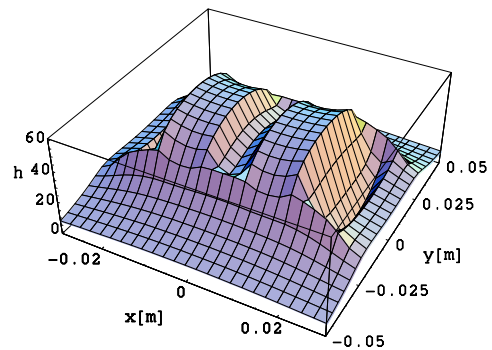
Rozkład modułu całkowitego pola magnetycznego, w jednostkach względnych, na płaszczyźnie xOy linii trójfazowej trójprzewodowej dla przypadku prądów symetrycznych w szynoprzewodach, czyli dla $\underline{I}_1 = \underline{I} e^{j0^\circ}$, $\underline{I}_2 = \underline{I} e^{j120^\circ}$ oraz $\underline{I}_3 = \underline{I} e^{j120^\circ}$, przedstawiamy na rysunku 8.

Niesymetria prądowa zmienia rozkład pola magnetycznego w otoczeniu rozpatrywanego toru. Dla przykładu przyjęto następujące prądy fazowe: $\underline{I}_1 = \underline{I} e^{j0^\circ}$, $\underline{I}_2 = 0,5 \underline{I} e^{j120^\circ}$ i wtedy

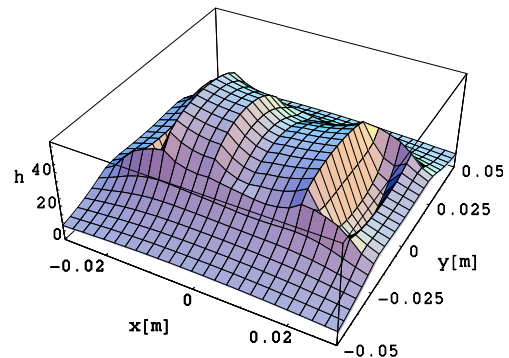
$\underline{I}_3 = -\underline{I}_1 - \underline{I}_2 = 0,866 \underline{I} e^{j150^\circ}$. Rozkłady pola dla tego przypadku przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 7. Trójfazowy trójprzewodowy tor wieloprzewodowy o skończonej długości



Rys. 8. Rozkład przestrzenny pola $H(x,y,z)$ trójfazowego trójprzewodowego toru wieloprzewodowego przy symetrii prądowej na płaszczyźnie $z=l/2$ dla $l=1m$, $a=0,01m$, $b=0,05m$, $d=2a$



Rys. 9. Rozkład przestrzenny pola $H(x,y,z)$ trójfazowego trójprzewodowego toru wieloprzewodowego przy asymetrii prądowej na płaszczyźnie $z=l/2$ dla $l=1m$, $a=0,01m$, $b=0,05m$, $d=2a$

4. Pole magnetyczne trójfazowego czteroprzewodowego toru wieloprzewodowego

Rozpatrzmy czteroprzewodowy tor wieloprzewodowy o szynoprzewodach prostokątnych (rys. 10) i asymetrii prądowej:

$\underline{I}_1 = \underline{I} e^{j0^\circ}$, $\underline{I}_2 = 0,5 \underline{I} e^{j120^\circ}$, $\underline{I}_3 = \underline{I} e^{j120^\circ}$ i prądem w szynie neutralnej $\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0,866 \underline{I} e^{j150^\circ}$.

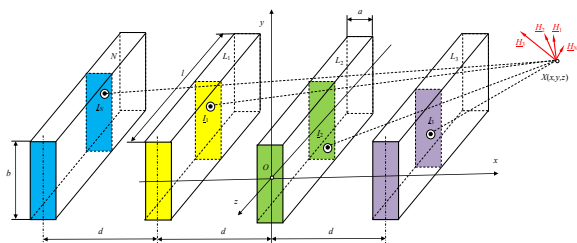
Wtedy całkowite pole elementarne w punkcie $X(x,y)$ generowane przez prądy w obszarach elementarnych przewodów fazowych i przewodu neutralnego

$$d\underline{H} = d\underline{H}_1 + d\underline{H}_2 + d\underline{H}_3 + d\underline{H}_N \quad (14)$$

zaś całkowite pole magnetyczne w tym punkcie

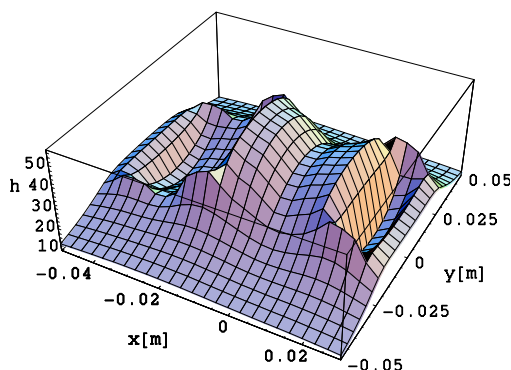
$$\underline{H} = (\underline{H}_{x1} + \underline{H}_{x2} + \underline{H}_{x3} + \underline{H}_{xN})\underline{1}_x + (\underline{H}_{y1} + \underline{H}_{y2} + \underline{H}_{y3} + \underline{H}_{yN})\underline{1}_y = \underline{H}_x \underline{1}_x + \underline{H}_y \underline{1}_y \quad (15)$$

gdzie składowe \underline{H}_{x1} i \underline{H}_{y1} , \underline{H}_{x2} i \underline{H}_{y2} oraz \underline{H}_{x3} i \underline{H}_{y3} wyrażają się odpowiednio wzorami zastosowanymi dla trójfazowego układu trójprzewodowego.



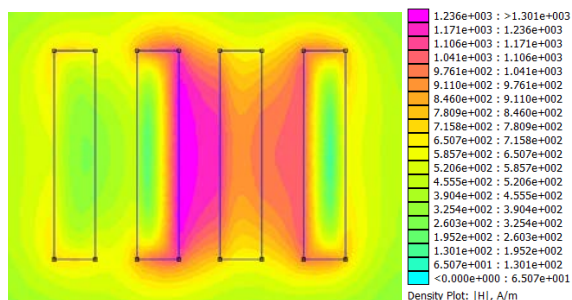
Rys. 10. Trójfazowy czteroprzewodowy tor wieloprzewodowy o skończonej długości

Składowe H_{xN} i H_{yN} wyrażają się odpowiednio wzorami otrzymanymi z (7a) i (7b) po podstawieniu w nich $x+2d$ za zmienną x oraz przyjmując prąd $I_N = I_1 + I_2 + I_3$. Rozkłady pola magnetycznego w takim torze prądowym dla przypadku asymetrii prądowej przedstawiamy na rysunku 11.



Rys. 11. Rozkład przestrzenny pola $H(x,y,z)$ trójfazowego czteroprzewodowego toru wieloprzewodowego przy asymetrii prądowej na płaszczyźnie $z=l/2$ dla $l=1m$, $a=0,01m$, $b=0,05m$, $d=2a$

W celu weryfikacji otrzymanych wyników przeprowadzono symulację korzystając z programu FEMM [6] opartego na metodzie elementów skończonych. Na rysunku 12 przedstawiono rozkład amplitudy pola magnetycznego przy asymetrii prądowej $I_1 = 100e^{j0^\circ}$, $I_2 = 50e^{j120^\circ}$, $I_3 = 100e^{j120^\circ}$.



Rys. 12. Rozkład pola magnetycznego przy asymetrii prądowej oraz dla $l=1m$, $a=0,01m$, $b=0,05m$, $d=2a$

5. Wnioski

Wyprowadzone wzory umożliwiają obliczanie natężenia pola magnetycznego wytworzone przez prądy szynoprzewodów prostokątnych w dowolnym punkcie przestrzeni w tym również w obszarach własnych szynoprzewodów.

Uwzględniając one skończone wymiary poprzeczne i skończoną długość szynoprzewodów. Mogą być stosowane dla dowolnych wartości prądów zespolonych, w szczególności dla przypadków trójfazowych torów wieloprzewodowych z asymetriami prądowymi.

Ponad to z tych wzorów można otrzymać analityczny opis pola magnetycznego dla długich szynoprzewodów jak również dla przewodów taśmowych.

W przypadku uwzględnienia wpływu zjawisk naskórkowości i zbliżenia na pole magnetyczne torów wieloprzewodowych z szynoprzewodami prostokątnymi, wyprowadzone wzory mogą być użyte do opisu pola magnetycznego generowanego przez prądy w tzw. prostokątnych obszarach elementarnych, na które zostają podzielone szynoprzewody badanego toru.

Literatura

- [1] Bottausio O. et al.: Numerical and experimental evaluation of magnetic field generated by power busbar systems. IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, No. 5, 1996, pp. 455-460.
- [2] Cucu M. and Popescu M.O.: Magnetic field in encapsulated bus-bar. U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 73, Iss. 1, 2011, pp. 129-142.
- [3] Ducluzaux A.: Extra losses caused in high current conductors by skin and proximity effects. Schneider Electric "Cahier Technique" no. 83, 1983.
- [4] Kazimierzczuk M. K.: High-frequency magnetic components. J. Wiley & Sons, Chichester, 2009.
- [5] Keiko T. et al.: Calculation of magnetic fields of the bus bar. UPEC'95, Vol. 2, 1995, pp. 554-557.
- [6] Meeker, D.C., Finite Element Method Magnetics, version 4.2 (11apr2012, Mathematica Build), <http://www.femm.info>.
- [7] Piątek Z.: Impedances of tubular high current busducts. Polish Academy of Sciences, Warsaw 2008.
- [8] Piątek Z., Jabłoński P.: Podstawy teorii pola elektromagnetycznego. WNT, Warszawa 2010.
- [9] Sarajčev P., Goić R.: Power loss computation in high-current generator bus ducts of rectangular cross-section. Electric Power Components and Systems, No. 39, 2010, pp. 1469-1485.
- [10] Sha X., et al.: Analysis of 3-D electromagnetic field for three-phase low voltage and heavy current busbar bridge system. Inter. J. of App. Electromagn. and Mechanics, No.26, 2007, pp. 37-49.
- [11] Zhou J., Lewis A.M.: Thin-skin electromagnetic fields around a rectangular conductor bar. J. Phys. D: Appl. Phys., No. 27, 1994, pp. 419-425.

Dr inż. Tomasz Szczepielniak

e-mail: szczepielniakt@interia.pl

Stopień doktora otrzymał w 2011 roku na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Obecnie pracuje jako adiunkt w Zakładzie Elektrotechniki i Automatyki w Inżynierii Środowiska Politechniki Częstochowskiej. Jego badania skupiają się na modelowaniu zjawisk elektromagnetycznych w torach wieloprzewodowych.



Prof. dr hab. inż. Zygmunt Piątek

e-mail: zygmunt.piatek@interia.pl

Jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Częstochowskiej. Jego zainteresowania naukowe to: zagadnienia pola elektromagnetycznego występujące w napowietrznych i kablowych liniach przesyłowych, torach wieloprzewodowych, szynoprzewodach oraz grzejnictwie indukcyjnym.



Dr inż. Dariusz Kusiak

e-mail: dariuszkusiak@wp.pl

Stopień doktora uzyskał w 2008 roku na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej. Obecnie pracuje jako adiunkt w Instytucie Elektrotechniki Przemysłowej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej. Jego zainteresowania naukowe to: zagadnienia pola elektromagnetycznego występujące w torach wieloprzewodowych oraz szynoprzewodach.



otrzymano/received: 06.06.2013

przyjęto do druku/accepted: 28.10.2013

ANALIZA NARAŻEŃ UKŁADÓW IZOLACYJNYCH TRANSFORMATORÓW OD PRZEPIEĆ ŁĄCZENIOWYCH

Piotr Pająk

Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki

Streszczenie. Intensywny rozwój łączników próżniowych, zastosowanie próżni jako elementu gaszącego, jak również postęp w dziedzinie materiałów stykowych przyczyniły się do szerokiego zastosowania wyłączników próżniowych w energetyce. Wyłączniki te wykazują jednak pewne niekorzystne właściwości, które mają wpływ na przebiegi pojawiające się na łączonych obiektach. W artykule przedstawiono wyniki symulacji oraz wyniki badań przebiegów generowanych podczas wyłączania transformatorów przy użyciu wyłączników próżniowych. Dokonano również analizy wpływu ograniczników przepięć.

Słowa kluczowe: przebiegi łączeniowe, wyłącznik próżniowy, model matematyczny

ANALYSIS OF INSULATION TRANSFORMERS SYSTEM RISKS FROM SWITCHING OVERVOLTAGES

Abstract. Intensive development in the area of vacuum switches, usage of vacuum as a extinguishing element, as well as progress in the area of contact materials contributed to broad usage of vacuum circuit breakers in energetics. However, vacuum circuit breakers show adverse characteristics that affect switching surge waveforms, which appear on switching objects. The article presents results of computer simulations and test results of overvoltages generated during switching off by vacuum circuit breakers. Influence of metal oxide surge arresters will be also presented.

Keywords: switching overvoltages, vacuum circuit breakers, mathematical model

Wstęp

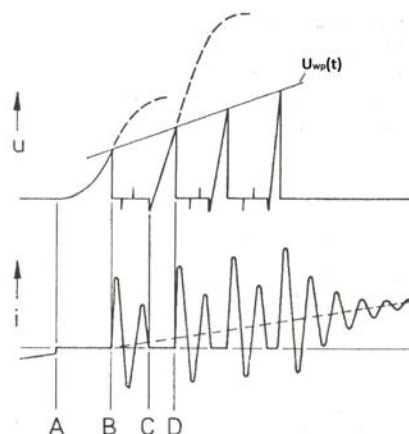
Coraz częściej w sieciach rozdzielczych średniego napięcia w celu przeprowadzenia łączeń urządzeń elektroenergetycznych, wykorzystywane są wyłączniki, w których medium gaszącym jest próżnia. Ten rodzaj wyłączników jest powszechnie stosowany w zakresie średnich napięć, a jego udział w europejskim rynku wszystkich łączników elektroenergetycznych cały czas rośnie. Dzieje się tak ze względu na szereg zalet, które wyróżniają go na tle innych rodzajów wyłączników. Są to m.in.: duża zdolność łączeniowa, zdolność wyłączania prądów o dużej częstotliwości, szybki wzrost wytrzymałości powrotnej jak również bezpieczeństwo oraz tania eksploatacja. Z zastosowaniem wyłączników próżniowych wiążą się również pewne problemy. Moment, w którym następuje otwarcie wyłącznika nie jest kontrolowany, co sprawia, że duże wartości przepięć mogą się pojawić w chwili, gdy prąd zostanie ucięty przed jego naturalnym przejściem przez zero. Prowadzi to do powstawania znacznych przepięć podczas łączenia obwodów o charakterze indukcyjnym. Decydujący wpływ na te przebiegi mają zjawiska zachodzące w komorach gaszeniowych wyłącznika podczas rozchodzenia się jego styków. Dlatego też, równocześnie z rozwojem tego rodzaju wyłączników, prowadzone są badania zjawisk zachodzących w komorach próżniowych, towarzyszących czynnościom łączeniowym, które mają decydujący wpływ na przebiegi napięć i prądów w łączonych obwodach [6 - 8]. Badania te mają na celu określenie charakteru przepięć, wyznaczenie wartości maksymalnych, jak również określenie skuteczności ochrony obecnie stosowanych metod przeciwprzepięciowych.

W artykule przeprowadzono analizę przepięć narażających układ izolacyjny transformatora średniego napięcia podczas czynności łączeniowych. Podstawą analizy były wyniki symulacji oraz wyniki badań przepięć w układzie stanowiącym fragment sieci średniego napięcia.

1. Stany przejściowe napięć i prądów podczas łączeń wyłącznikiem próżniowym

Bezpośrednio po zainicjowaniu rozchodzenia się styków wyłącznika, wartość prądu wzrasta do wartości określonej przez prąd ucięcia. Po ucięciu prądu (pkt. A na rys. 1), pomiędzy stykami wyłącznika pojawia się przejściowe napięcie powrotne, które zależy od parametrów układu. Od momentu, w którym nastąpiło zainicjowanie rozchodzenia się styków wyłącznika, w wyniku zwiększania się odległości pomiędzy nimi, wzrasta wytrzymałość dielektryczna przerwy międzystykowej (U_{wp}). W chwili, gdy napięcie powrotne pojawiające się na zaciskach

wyłącznika przewyższa wytrzymałość chwilową przerwy pomiędzy stykami wyłącznika (pkt. B na rys. 1), dochodzi do ponownego przeskoku łuku pomiędzy stykami i przez szczelinę wyłącznika zaczyna płynąć prąd.



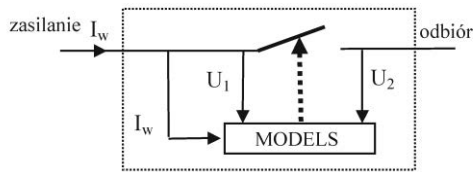
Rys. 1. Przebiegi napięcia oraz prądu podczas łączeń przy użyciu wyłącznika próżniowego [1]

Ze względu na bardzo dużą częstotliwość, jest on szybko tłumiony, ale nie gaśnie w naturalny sposób przy pierwszym przejściu przez zero. Przerwanie tego prądu następuje w chwili gdy jego wartość będzie mniejsza niż graniczna wartość prądu, która ściśle zależy od właściwości wyłącznika próżniowego (pkt. C na rys. 1). Kolejne powtórne przeskoki napięcia wystąpią, jeżeli wartość chwilowa w dalszym ciągu będzie przekraczać wytrzymałość elektryczną wyłącznika (pkt. D na rys. 1). Ostatecznie prąd jest przerywany, a odległość między stykami wyłącznika jest dostatecznie duża, aby wytrzymać napięcie powrotne.

2. Model cyfrowy wyłącznika próżniowego

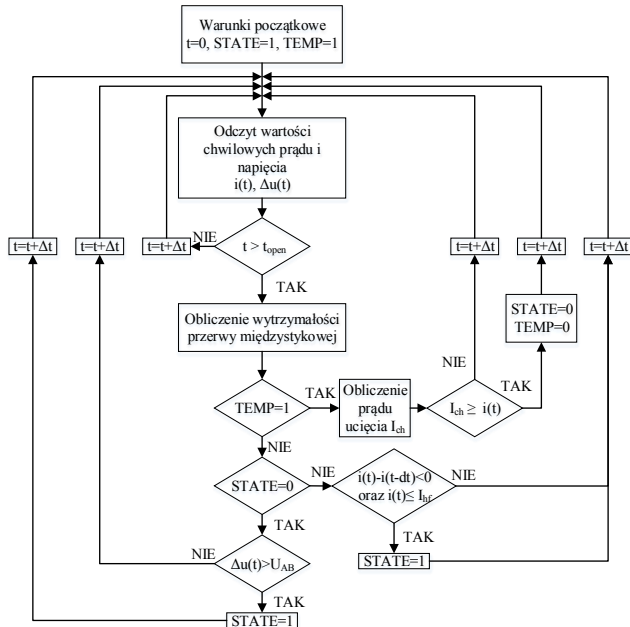
Aby stworzyć model wyłącznika próżniowego, który w pełni odwzoruje zjawisko przeskoków powtórnych, należy wziąć pod uwagę trzy podstawowe zagadnienia: wartość prądu ucięcia, wytrzymałość elektryczną przerwy międzystykowej oraz zdolność gaszenia prądów o dużej częstotliwości.

W tym celu zastosowano program komputerowy Electromagnetic Transients Program – Alternative Transients Program (EMTP/ATP) [4]. Model wyłącznika próżniowego, uwzględniający zjawiska zachodzące w komorze próżniowej podczas wyłączania urządzeń, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Model wyłącznika próżniowego

Sposób, w jaki odbywa się sterowanie wyłącznikiem, został zaprezentowany przy pomocy algorytmu na rysunku 3.



Rys. 3. Algorytm sterujący idealnym wyłącznikiem

Zastosowany model ma postać idealnego wyłącznika. W każdym kroku obliczeń kontrolowane jest napięcie na wyłączniku, które jest porównywane z aktualną wytrzymałością dielektryczną wyłącznika. Wyłącznik zamyka się wówczas, gdy wartość tego napięcia przekracza wartość chwilowej wytrzymałości elektrycznej przerwy pomiędzy stykami wyłącznika. Otwierany jest w chwili, kiedy prąd przepływający po zamknięciu będzie mniejszy od wartości zadanej, wynikającej ze zdolności do wyłączania prądów wysokiej częstotliwości przez wyłączniki próżniowe.

Mechanizm, który kontroluje pracę wyłącznika został zaprogramowany przy użyciu języka programowania MODELS, będącego wewnętrznym środowiskiem programowania EMT-ATP.

Zastosowany model wyłącznika próżniowego uwzględnia prąd ucięcia wyłącznika o częstotliwości 50 Hz. Wartość prądu ucięcia została wyznaczona na podstawie zależności:

$$I_{ch} = (2 \pi f i \alpha \beta)^q \quad (1)$$

gdzie: f – częstotliwość źródła zasilania, i – natężenie prądu 50 Hz, współczynniki $\alpha = 6,2 \cdot 10^{-16}$, $\beta = 14,3$, $q = -0,07512$ [3, 5].

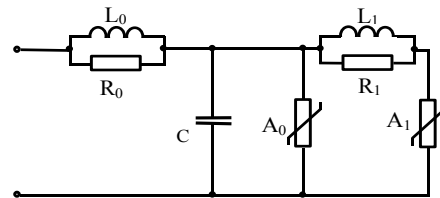
Wartości prądów wyznaczone na podstawie wyrażenia (1) odpowiadają prądom ucięcia w wyłącznikach próżniowych ze stykami miedziowo-chromowymi. Istotny wpływ na przepięcia ma również prędkość otwarcia wyłącznika. Szybkość narastania wytrzymałości powrotnej pomiędzy stykami wyłącznika ściśle zależy od prędkości rozchodzenia się jego styków. W większości nowoczesnych wyłączników można założyć, że prędkość rozchodzenia się styków jest stała, co powoduje, że odległość pomiędzy stykami zwiększa się liniowo.

W związku z tym, w przedstawionym modelu, napięcie wytrzymywane przerwy międzystykowej wyłącznika uzależniono liniowo od odległości pomiędzy stykami i zapisano wzorem:

$$U_d = E_{kr} \cdot v \cdot t \quad (2)$$

gdzie: E_{kr} – wytrzymywane natężenie pola elektrycznego między stykami, v – prędkość rozłączania styków, t – czas symulacji [1].

Podczas obliczeń przepięć łączeniowych ograniczniki przepięć z tlenków metali, stosowane do ochrony przepięciowej transformatora, zastąpiono modelem przedstawionym na rysunku 4 [5].

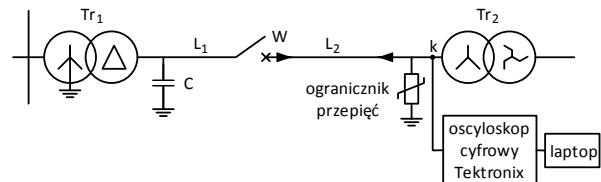


Rys. 4. Schemat zastępczy ograniczników przepięć z tlenków metali

Modele linii łączących wykonano przy pomocy procedury JMARTI. Do zamodelowania transformatora zastosowano procedurę SATURABLE.

3. Charakterystyka układu doświadczalnego

Schemat układu pomiarowego, stanowiący fragment sieci średniego napięcia, przedstawiono na rysunku 5. Stanowisko jest zasilane z sieci nn przy zastosowaniu transformatora Tr_1 . Transformator doświadczalny Tr_2 jest połączony z wyłącznikiem próżniowym W za pomocą linii kablowej L_2 o długości 85 m. Transformator doświadczalny pracuje na biegu jałowym. Przebiegi napięć na zaciskach transformatora Tr_2 są rejestrowane za pomocą sond wysokonapięciowych połączonych z oscyloskopem cyfrowym firmy Tektronix, który współpracuje z komputerem przy pomocy karty pomiarowej NI-GPIB-USB-HS.



Rys. 5. Schemat układu do badań przepięć łączeniowych w transformatorze: Tr_1 – transformator zasilający typu TNOSCT-250/15.75PNS, L_1 – szynoprzewody o długości 2m, L_2 – linia kablowa, W – wyłącznik próżniowy, Tr_2 – transformator doświadczalny typu TOC 20/10, C – bateria kondensatorów, k – punkt rejestracji przepięć

Podstawowe parametry elektryczne urządzeń zamieszczono w tabelach o numerach od 1 do 5.

Tabela 1. Podstawowe parametry transformatorów stosowanych w stanowisku doświadczalnym

parametr/typ	TNOSCT-250/15.75PNS	TOC 20/10
S_n , kVA	250	20
U_n , kV	15,75/0,4	6/0,4
U_z , %	4,5	4,29
ΔP_{Fe} , kW	0,486	0,02
ΔP_{Cu} , kW	3,509	0,22
I_0 , %	1,0	0,54

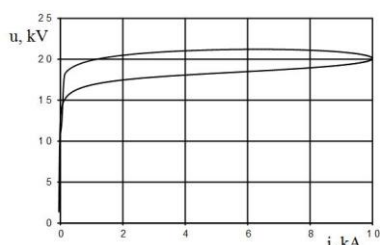
Tabela 2. Parametry wyłącznika próżniowego typu VD4

parametr	jednostka	wartość
napięcie znamionowe	kV	12
wytrzymywane natężenie pola elektrycznego	kV mm ⁻¹	12
szybkość rozchodzenia się styków	m s ⁻¹	1
maksymalny odstęp pomiędzy stykami	mm	5
prąd ucięcia wielkiej częstotliwości	A	0,125

Tabela 3. Napięcia obniżone ograniczników przepięć z tlenków metali typu POLIM-D 7,5 [8]

typ ogranicznika	U_n	U_c	napięcie obniżone przy uderzeniach prądowych					
			8/20μs			30/60μs		
			5 kA	10 kA	20 kA	0,5 kA	2 kA	
POLIM-D	7,5	6	19,6	21,0	23,9	16,6	18,2	

Do ochrony transformatora od przepięć zastosowano beziskierkowe ograniczniki przepięć z tlenków metali typu POLIM-D. Parametry ograniczników przepięć, o napięciu znamionowym 7,5 kV, stosowanych w sieciach 6 kV z uziemionym punktem neutralnym przez rezystor lub cewkę, przedstawiono w tabeli 3. Zależność dynamiczną $u=f(i)$ dla uderu 8/20 μs tych ograniczników, wyznaczoną przy zastosowaniu schematu ograniczników pokazanego na rysunku 4, przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zależność dynamiczna napięciowo-prądowa dla uderu prądowego 10 kA 8/20 μs ogranicznika typu POLIM-D, wyznaczona przy zastosowaniu schematu zastępczego ograniczników (rys. 4)

Tabela 4. Parametry linii L_1 i L_2

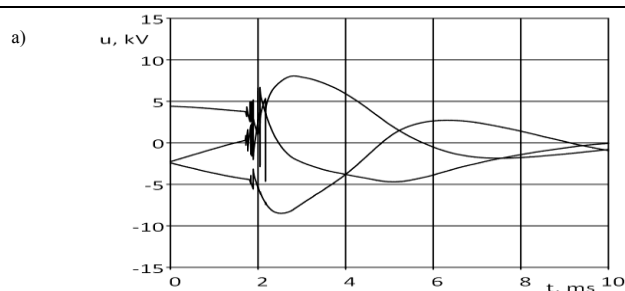
Parametr/typ	Linia L_1	Linia L_2
Oznaczenie	Drut miedziany	RG 213U MIL.C 17/D
Długość [m]	2	85
Impedancja [Ω]	–	50
Pojemność C [pF/m]	–	98 ± 3

Tabela 5. Parametry baterii kondensatorów

Parametr	jednostka	wartość
napięcie znamionowe U_N	kV	15
Pojemność C_N	μF±10%	0,5
Częstotliwość f	Hz	50
Temperatura pracy	°C	-25 ÷ 50

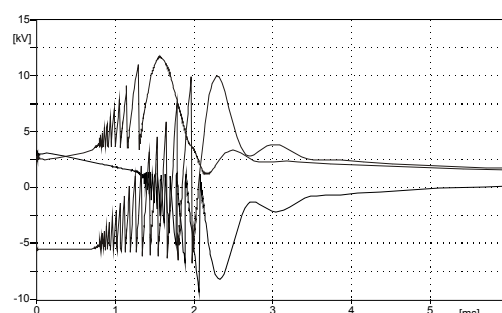
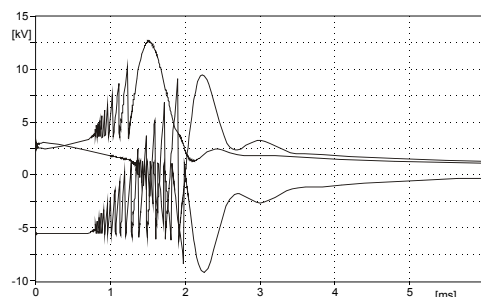
4. Wyniki symulacji komputerowych

Przeprowadzone symulacje komputerowe polegały na wyznaczeniu wartości przepięć doziemnych, powstających na zaciskach transformatora Tr_2 podczas wyłączeń transformatora pracującego na biegu jałowym. Przykładowe wyniki symulacji wykonane dla układu z zastosowaniem ograniczników przepięć,

Rys. 9. Przebiegi doświadczalne przepięć doziemnych na zaciskach wejściowych transformatora średniego napięcia Tr_2 (rys. 5), wyłączanego przy zastosowaniu wyłącznika próżniowego. a – przepięcia doziemne na zaciskach transformatora z ochroną przepięciową, b – wybrany fragment przebiegu z punktu a) w powiększeniu

jak również przy braku ochrony przepięciowej, zostały przedstawione na rysunkach 7 i 8.

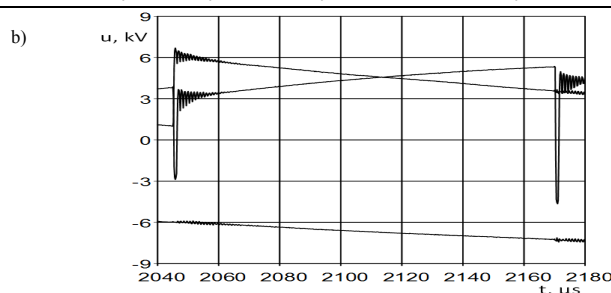
Z obliczeń przebiegów przepięć, powstających podczas wyłączania transformatora wyłącznikami próżniowymi wynika, że układ izolacyjny transformatora podczas tego typu łączy jest narażony na oddziaływanie przepięć o wartościach znacznie większych od wartości maksymalnych napięcia roboczego. Występujące wówczas przepięcia mają charakter oscylacyjny, wynikający z przeskoków pomiędzy stykami otwieranego wyłącznika próżniowego. Przeprowadzone obliczenia potwierdzają także, że ograniczniki przepięć z tlenków metali zmniejszają wartości maksymalne przepięć łączeniowych. Nie mają one jednak istotnego wpływu na zmianę przebiegów tych przepięć i nie powodują tłumienia składowych oscylacyjnych przepięć. Skutkiem czego napięcie docierające do zacisków transformatora może być dodatkowo wzmacniane wewnątrz samych już uzwojeń tych transformatorów, dodatkowo narażając jego izolację [9].

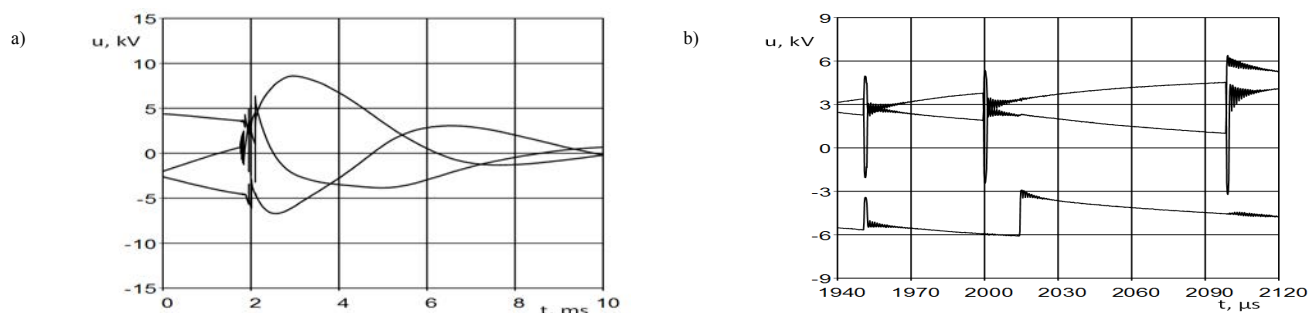
Rys. 7. Przebiegi teoretyczne przepięć na zaciskach wejściowych transformatora Tr_2 (rys. 5) po jego wyłączeniu w układzie bez ochrony przepięciowejRys. 8. Przebiegi teoretyczne przepięć na zaciskach wejściowych transformatora Tr_2 (wg. rys. 5) po jego wyłączeniu w układzie z ochroną przepięciową

5. Wyniki badań laboratoryjnych

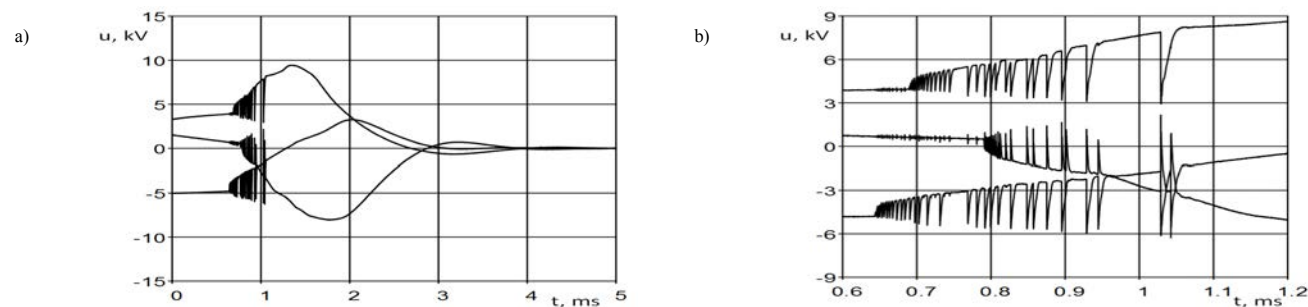
Badania obejmowały rejestracje przepięć doziemnych, generowanych na zaciskach transformatora Tr_2 podczas jego wyłączania.

Pomiary przeprowadzono w układzie stanowiącym fragment sieci średniego napięcia. Celem badań było wyznaczenie poziomów napięć narażających układ izolacyjny transformatora podczas wyłączania transformatora przy zastosowaniu wyłącznika próżniowego. Badania przepięć łączeniowych w transformatorach zostały wykonane dla czterech różnych przypadków układów połączeń. Otrzymane wyniki zostały zamieszczone na rys. 9 - 12.

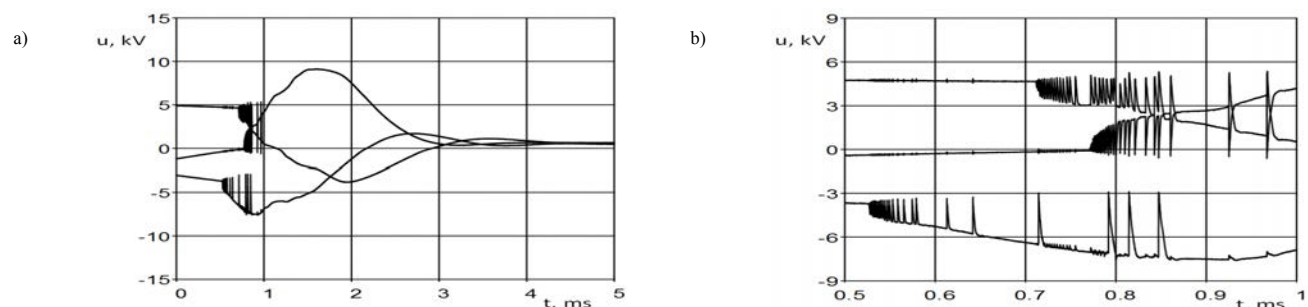




Rys. 10. Przebiegi doświadczalne napięć doziemnych na zaciskach wejściowych transformatora średniego napięcia Tr_2 (rys. 5), wyłączanego przy zastosowaniu wyłącznika próżniowego. a – napięcia doziemne na zaciskach transformatora bez ochrony przepięciowej, b – wybrany fragment przebiegu z punktu a) w powiększeniu



Rys. 11. Przebiegi doświadczalne napięć doziemnych na zaciskach wejściowych transformatora średniego napięcia Tr_2 (rys. 5), wyłączanego przy zastosowaniu wyłącznika próżniowego. a – napięcia doziemne na zaciskach transformatora z ochroną przepięciową, układ po zamianie miejscami linii L_1 oraz linii L_2 , b – wybrany fragment przebiegu z punktu a) w powiększeniu



Rys. 12. Przebiegi doświadczalne napięć doziemnych na zaciskach wejściowych transformatora średniego napięcia Tr_2 (rys. 5), wyłączanego przy zastosowaniu wyłącznika próżniowego. a – napięcia doziemne na zaciskach transformatora bez ochrony przepięciowej, układ po zamianie miejscami linii L_1 oraz linii L_2 , b – wybrany fragment przebiegu z punktu a) w powiększeniu

6. Podsumowanie

Podczas wyłączania transformatorów wyłącznikami próżniowymi, następuje wzrost narażeń układów izolacyjnych od przepięć generowanych na zaciskach wejściowych uzwojeń. Wartości maksymalne napięć powstających podczas wyłączania transformatorów są zależne od przebiegu zjawisk wewnątrz komór wyłączników oraz zjawisk przejściowych w układzie elektrycznym.

Symulacje napięć łączeniowych, potwierdzają, że przedstawiony model wyłączników próżniowych umożliwia wyznaczenie napięć generowanych podczas wyłączania urządzeń takimi wyłącznikami.

Wyniki badań pokazują również wpływ układu połączeń linii kablowej, na przebiegi napięć pojawiających się na zaciskach transformatora. Po zamianie miejscami linii L_1 z linią L_2 , zmianie ulega również kształt oraz częstotliwość przebiegów.

Literatura

- [1] ATPDRAW v.3.5 for Windows 9x/NT/2000/XP User's Manual, 2002.
- [2] Florkowski M., Furgał J., Pająk P.: Narażenia transformatorów od przepięć łączeniowych w układach elektroenergetycznych, Przegląd Elektrotechniczny, 86 n.5, 2010, s. 245-248.
- [3] Helmer J., Lindmayer M.: Mathematical Modeling of the High frequency Behavior of Vacuum Interrupters and Comparison with Measured Transients in Power Systems. XVIIth International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Berkeley, 1996, p. 323-331.
- [4] IEEE Working Group 3.4.11: Modeling of metal oxide surge arresters. IEEE Trans. on PWRD 7, n.1, 1992, p. 302-309.
- [5] Popov M., Acha E.: Overvoltages due to switching off an unloaded transformer with a vacuum circuit breaker. IEEE Trans. on Power Delivery 14, n.4, 1999, p. 317 – 1322.
- [6] Popov M., van der Sluis L.: Improved calculations for no-load transformer switching surges. IEEE Trans. on Power Delivery 16, n.3, 2001, p. 401-408.
- [7] Wong S.M., Snider L.A., Loi E.W.: Overvoltages and reignition behavior of vacuum circuit breaker. Int. Conf. on Power Systems Transients IPST'2003, 28 Sept.-2 Oct. 2003, New Orleans (USA), paper 14a.3.
- [8] Wróblewski Z.: Badania i symulacja cyfrowa wybranych właściwości łączników próżniowych. PAN: Komitet Elektrotechniki, Seria Wydaw.: Postępy Techniki Wysokich Napięć, t. 25, Ofic. Wydaw. Pol. Wrocławskiej, 2005.
- [9] Ograniczniki napięć z tlenków metali typu POLIM - D. ABB Power Distribution, Wyd. 08.2011 (strona internetowa: www.abb.pl).

Mgr inż. Piotr Pająk
e-mail: ppajak@agh.edu.pl

Absolwent Wydziału Elektrotechniki, Automatyki Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracuje w Katedrze Elektrotechniki i Elektroenergetyki AGH na stanowisku asystenta. Interesuje się stanami nieustalonymi w systemach elektroenergetycznych, ochroną przepięciową oraz przepięciami w układach elektroenergetycznych.



BIBLIOTEKA PEAR W TWORZENIU APLIKACJI INTERNETOWYCH

Beata Pańczyk¹, Michał Duszyk²

¹Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Instytut Informatyki, ²PayU S.A.

Streszczenie. Niniejszy artykuł prezentuje możliwości biblioteki PEAR w procesie szybkiego wytwarzania aplikacji internetowych w języku PHP. Na podstawie przykładów zostaną zaprezentowane zalety oraz korzyści płynące z użytkowania biblioteki PEAR. Stosowanie repozytoriów klas z niniejszej biblioteki pozwala znacznie uprościć i zoptymalizować kod w procesie programowania aplikacji PHP.

Słowa kluczowe: aplikacje internetowe, PHP, repozytorium klas PEAR

WEB APPLICATION DEVELOPMENT USING THE PEAR LIBRARY

Abstract. The paper presents the possibility of the PEAR library in the rapid production of the PHP applications. The advantages and benefits of the use of the PEAR are going to be presented. Use of this repository class library can significantly simplify and optimize the PHP code and accelerate the process of the web application programming.

Keywords: web applications, PHP, PEAR classes repository

Wstęp

W procesie wytwarzania aplikacji internetowych niezmiernie istotny jest czas poświęcony na ich budowę oraz możliwość wykorzystania sprawdzonych wzorców programistycznych. Progresja w programowaniu wiąże się z ciągłym tworzeniem narzędzi mających na celu szerokie zastosowanie w codziennym użytkowaniu, przy jednoczesnym skróceniu czasu pracy programisty. Zaczynając pisanie w języku PHP wielokrotnie można natrafić na problemy, które przeważnie rozwiązywane są poprzez tworzenie nowych funkcji od podstaw. Biblioteka PEAR umożliwia szybkie wdrożenie w aplikacjach sieciowych najczęściej wykorzystywanych funkcjonalności, dając gwarancję, że uzyskany kod będzie zoptymalizowany i bezpieczny.

PEAR (ang. PHP Extension and Application Repository) jest projektem zajmującym się katalogowaniem i udostępnianiem gotowych komponentów oraz modułów przeznaczonych dla PHP [9].

PEAR jest repozytorium dedykowanym dla programistów PHP, w którym tworzonych jest obecnie ponad 70% witryn internetowych. Źródło drukowanych przeznaczonych wyłącznie dla tej tematyki nie jest zbyt wiele. Informacje o bibliotece można sporadycznie napotkać w książkach związanych bezpośrednio z językiem PHP [1, 4, 6].

1. Biblioteka PEAR

Projekt narodził się w 1999 roku dzięki Stigowi S. Bakkenowi i miał na celu ponowne wykorzystanie kodu wykonującego typowe operacje. Pomysł ten bardzo szybko znalazł wielu zwolenników, tworząc społeczność pracującą nad jego rozwojem. Przedsięwzięcie polegało na stworzeniu gotowej biblioteki kodu, utrzymaniu i rozwijaniu dystrybucji, zarządzaniu pakietami oraz promowaniu standardowych stylów kodowania [10]. PEAR składa się z wielu małych komponentów, zawierających kod źródłowy lub binaria, specyficzne dla danego środowiska. Każdy z pakietów rozwijany jest przez grupę programistów jako osobny projekt, posiada ponadto własną dokumentację i zdefiniowane zależności między nią a innymi repozytoriami. Każde archiwum składa się z kodu źródłowego napisanego w PHP, zazwyczaj w stylu obiektowym.

Największą instytucją PEAR jest jej strona internetowa [9]. Witryna ta dostarcza dokumentację związaną bezpośrednio z samym PEAR oraz z jego każdym komponentem. W serwisie funkcjonuje także system PEP (PEar Proposal), w którym każdy ma możliwość zaprezentowania propozycji nowego repozytorium. System obsługuje pełen przepływ pracy (kod, przykłady, testy itp.) nad pakietem. Fora dyskusyjne są jednym z istotniejszych elementów instytucji PEAR.

Pakiety pogrupowane są w logiczne grupy (np. Authentication, File_System, Copy, Networking, XML), które pozwalają na łatwiejsze ich zestawienia. PEAR pozwala

twórcom pakietów dowolnie rozwijać swoje projekty, przy zachowaniu pewnych zasad w celu zapewnienia jakości oraz łatwości dostępu dla użytkowników. Jedną z zasad jest projektowanie API swoich pakietów bez używania kodu osadzonego w innej części repozytorium PEAR. Pakiety PEAR mogą zależeć od innych pakietów PEAR, rozszerzeń oraz wersji PHP, ale nie mogą być zależne od zewnętrznego kodu PHP. Zależności zewnętrzne PHP muszą być zastąpione przez wewnętrzne. Zależności są pokazane na stronach internetowych pakietów i są również obsługiwane przez instalatora PEAR.

Poza ogólnymi zasadami PEAR definiuje także stałe reguły, które muszą być bezwzględnie stosowane przez programistów. Wymagane są standardy kodowe np. jasno określone nazewnictwo funkcji, zmiennych oraz konstruktorów.

Instalator PEAR pozwala na bardzo łatwe instalowanie, aktualizowanie oraz usuwanie pakietów. Instalator dostarczany jest (w wersji stabilnej) wraz z PHP od wersji 4.3.0. Jeśli wybrana dystrybucja PHP dostarczana jest bez instalatora PEAR lub zawiera nieaktualne wydanie, można dokonać instalacji posługując się instrukcją przedstawioną na stronie:

<http://pear.php.net/manual/en/installation.getting.php>.

PEAR oferuje przede wszystkim:

- wysokiej jakości pakiety,
- elastyczne klasy wielokrotnego użytku,
- gotowe komponenty dla przedsiębiorstw (ang. enterprise-ready components),
- bezpieczeństwo,
- pomoc wspólnoty PEAR oraz bezpośredni kontakt z opiekunami pakietów,
- automatyczną instalację potrzebnych pakietów,
- łatwą i szybką aktualizację pakietów,
- wolne licencje, które mogą być używane bez opłat nawet w zastosowaniach komercyjnych.

2. Repozytoria PEAR

Najczęściej stosowane repozytoria klas PEAR to:

- HTML_QuickForm2,
- HTML_table,
- Text_CAPTCHA_Numeral,
- Image_QRCode,
- Validate_pl,
- HTML_menu,
- MDB2,
- i wiele innych.

HTML_QuickForm2

Formularze są nieodłączną częścią niemal każdej strony WWW. Każdy serwis, w którym użytkownik dokonuje zakupów, lub który wymaga rejestracji, jest w nie wyposażony. Repozytorium *QuickForm2* służy do łatwego i szybkiego

tworzenia formularzy HTML. Wspomaga wiele rodzajów formularzy poczynając od okien logowania a skończywszy na polach tekstowych, notatkach, mailach, postach i innych elementach strony WWW. Obsługuje wszystkie moduły określone przez standard HTML w zakresie formularzy; zawiera także kilka niestandardowych, dodatkowych elementów. Jest to klasa definitywnie usprawniająca, a przede wszystkim przyspieszająca pracę programisty. Skraca czas poświęcony budowie formularzy, ale też ułatwia możliwość ich późniejszej rozbudowy oraz modyfikacji. Posiada wiele przydatnych opcji jak np. opcja *addRule*, która automatycznie dodaje znak "*" sugerujący, iż miejsce przy którym się on znajduje obowiązkowo musi zostać wypełnione. Ponadto opcja ta automatycznie dodaje informację tekstową o konieczności wypełnienia danego pola.

W *QuickForm2* główną rolę odgrywa funkcja *addElement*, tworząca elementy takie jak pola tekstowe bądź ich opis. *QuickForm2* umożliwia również m.in. tworzenie przycisków typu *radio* i *checkbox*. Przy budowie serwisu internetowego, repozytorium *QuickForm2* można zastosować do budowy okna loginu, hasła oraz przycisku logowania. Przykładowy kod z wykorzystaniem tej klasy pokazano na listingu 1 [3].

Listing 1. Zastosowanie HTML_QuickForm2 w procesie logowania

```
<?php
function logowanie_pear() {
if ($_SESSION['uprawnienia']==0) {

    // utworzenie obiektu za pomocą konstruktora HTML_QuickForm2
    $form = new HTML_QuickForm2('tutorial','post',
        'action="..kontroler/funkcje.php"', FALSE);

    //zbiór pól formularza:
    $fieldset = $form->addElement('fieldset')->setLabel('Logowanie');

    //pakiet oferuje ograniczenie ciągu znaków w formularzu oraz ustawienie
    //długości formularza
    $name = $fieldset->addElement('text','login', array('size' => 36,
        'maxlength' => 255))->setLabel('Login'); raniczenia znaków
    $haslo = $fieldset->addElement('password','haslo', array('size' => 36,
        'maxlength' => 255))->setLabel('Hasło');
    $fieldset->addElement('hidden','loginForm');
    $fieldset->addElement('submit', null, array('value' => 'Zaloguj'));

    echo '<input type="submit" name="dodajUzytkownika"
        onClick="show_me(1)" value="dodajUzytkownika" class="center">';
    echo "$form";
} else {
    $form=new HTML_QuickForm2('tutorial','post','action="..kontroler/funkcje.php"',
        FALSE);
    $fieldset = $form->addElement('fieldset')->setLabel('Wylogowywanie');
    $fieldset->addElement('submit','wylogowanie', array('value' => 'Wyloguj'));
    echo "$form";
}
}
?>
```

Klasa *Quickform2* automatycznie generuje HTML potrzebny do budowania obiektów formularza i dodawania do niego pól.

HTML_table

Repozytorium *Html_table* to alternatywa dla serwisów, w których obszar tabel będzie z biegiem czasu się zwiększał a ich zawartość ma posiadać ściśle określony styl. Pakiet ten oferuje szybkie dodawanie wierszy oraz kolumny. Dodatkowo umożliwia ich uzupełnienie, poprzez pobieranie danych do tabeli bezpośrednio z bazy danych. Na listingu 2 przedstawiono wykorzystanie PEAR do budowy tabeli [3].

Listing 2. Zastosowanie HTML_table

```
<?php
//dołączenie pliku z definicją klasy HTML_Table
require_once 'HTML/Table.php';

$data = array(
    '0' => array('Artur', 'Kowalski', 'www.wp.pl', 'a.kowal@wp.pl'),
    '1' => array('Kurt', 'Cobain', 'kurt.cobain.com', 'k.cobain@gmail.com'),
    '2' => array('Krzysztof', 'Marcin', '', ''));
```

```
'3' => array('Michał', 'Duszyk', '', 'michal.duszyk@gmail.com'),
'4' => array('Janusz', 'Wojcik', 'o2.pl', 'jw@wp.pl')
);
```

```
$attrs = array('width' => '600');
$table = new HTML_Table($attrs);
```

```
//auto powiększanie tabeli
$table->setAutoGrow(true);
```

```
//wartosc ktora ma byc wstawiona w każdą pustą komórkę
$table->setAutoFill('n/a');
```

```
for ($nr = 0; $nr < count($data); $nr++) {
    //zawartosc nagłówka
    $table->setHeaderContents($nr+1, 0, (string)$nr);
    for ($i = 0; $i < 4; $i++) {
        if ("!" != $data[$nr][$i]) {
            //zmienia zawartość komórek dla istniejącej komórki
            $table->setCellContents($nr+1, $i+1, $data[$nr][$i]);
        }
    }
}
```

```
$altRow = array('bgcolor' => '#FF0000');
$table->spoko(1, null, $altRow);
$table->setHeaderContents(0, 0, '');
$table->setHeaderContents(0, 1, 'Imie');
$table->setHeaderContents(0, 2, 'Nazwisko');
$table->setHeaderContents(0, 3, 'Strona WWW');
$table->setHeaderContents(0, 4, 'E-Mail');
$hrAttrs = array('bgcolor' => '#808080');
$table->setRowAttributes(0, $hrAttrs, true);
$table->setColAttributes(0, $hrAttrs);
```

```
echo $table->toHtml();
?>
```

Text_CAPTCHA_Numerical

CAPTCHA (ang. Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart) jest bardzo powszechną techniką zabezpieczającą strony WWW przed dostępem botów. Tylko człowiek jest w stanie przejść test captcha. Technika ta chroni formularze na stronach WWW przed spamem, fora dyskusyjne i portale przed rejestracją automatu, blogi przed niechcianymi reklamami itp. Technologia ta zazwyczaj polega na rozmazywaniu tekstu bądź zadawaniu pytań matematycznych. System, po przedstawieniu zadania, oczekuje odpowiedzi, którą następnie weryfikuje. W przypadku podania poprawnej odpowiedzi, użytkownikowi zostają udostępnione odpowiednie prawa.

Repozytorium PEAR dostarcza programistom gotowe rozwiązania związane z technologią CAPTCHA. Pakiet oferuje wersję zarówno obrazkową jak i numeryczną. Listing 3 przedstawia przykład korzystania z wersji numerycznej [3]. W dobie szeroko stosowanych zabezpieczeń w serwisach WWW, rozwiązanie oferowane przez PEAR jest dobrą propozycją dla każdego programisty. Jest proste do instalacji oraz integracji, kod jest czytelny, przejrzysty, łatwy w modyfikacji.

Listing 3. Zastosowanie kodu Captcha w wersji numerycznej

```
<?php
function captcha() {
    $numcap = new
        Text_CAPTCHA_Numerical(Text_CAPTCHA_Numerical::TEXT_CAPTCHA_NUME
            RAL_COMPLEXITY_UNIVERSITY);
    //Text_CAPTCHA_Numerical::
    //TEXT_CAPTCHA_NUMERICAL_COMPLEXITY_ELEMENTARY
    //Text_CAPTCHA_Numerical::
    //TEXT_CAPTCHA_NUMERICAL_COMPLEXITY_HIGH_SCHOOL
    //Text_CAPTCHA_Numerical::
    //TEXT_CAPTCHA_NUMERICAL_COMPLEXITY_UNIVERSITY

    if (isset($_POST['captcha']) && isset($_SESSION['a'])) {
        if ($_POST['captcha'] == $_SESSION['a']) {
            $errors[] = 'Ok... You might be human...';
        } else {
            $errors[] = 'You are dumb or not human';
        }
    }
```

```

};

if (!empty($errors)) {
    foreach ($errors as $error) {
        print "<h1><font color='red'>$error</font></h1><br />";
    }
}

print '
<form name="capter" action="index.php?page=liveExample" method="post">
<table>
<tr>
<th>Jaki jest prawidłowy wynik?: ' . $numcap->getOperation() . '</th>
<td><input type="text" value="" name="captcha" /></td>
</tr>
<tr>
<th>
<td><input type="submit" value="udowodnij ze jestes czlowiekiem!" /></td>
</tr></table>
</form>';
$_SESSION['a'] = $numcap->getAnswer();
print $numcap->getAnswer();
?>

```

Rys. 1 przedstawia efekt działania kodu z listingu 3 a rys. 2 prezentuje przykładowy wynik działania w wersji graficznej.



Rys. 1. Przykład Captcha – wersja numeryczna [1]

Image CAPTCHA HTML QuickForm



Rys. 2. Przykład Captcha – wersja graficzna [11]

Validate_pl

Wprowadzając dane do formularzy, użytkownik może w pełni świadomie, bądź nie, popełnić błąd. Jeśli informacje odebrane od użytkownika poddane zostaną przetwarzaniu bez weryfikacji, wówczas, w zależności od odporności aplikacji, jej administrator może mieć do czynienia z różnymi rodzajami błędów, od drukowania w przeglądarce klienta komunikatów diagnostycznych PHP czy MySQL, poprzez utratę spójności bazy danych [6], aż po ujawnienie niepowołanym użytkownikom informacji poufnych. Z tego powodu niezbędna jest walidacja wszystkich danych wprowadzanych przez użytkownika. Jest to proces bardzo żmudny i pracochłonny dlatego warto poszukać rozwiązań wspomagających sprawdzanie danych.

Portale przeznaczone do sprzedaży wysyłkowej, zarządzające finansami, generujące dokumenty takie jak faktury, muszą posiadać narzędzie sprawdzające poprawność danych. Standardowymi, dość łatwo sprawdzalnymi, są takie elementy jak: poprawność adresu mail, imię, numer ulicy, kod miasta itp. Problem pojawia się, gdy system ma sprawdzić Pesel, NIP czy REGON, które stanowią unikalne ciągi cyfr generowane za pomocą specjalnych algorytmów. Biblioteka PEAR oferuje gotowe do zaimplementowania rozwiązania w zakresie tego typu walidacji. Listing 4 przedstawia wykorzystanie komponentu *Validate_PL*, tym niemniej dostępna jest także walidacja ukierunkowana na inne języki [3].

Walidacja dostarczana przez PEAR jest doskonałym rozwiązaniem dla producentów witryn np. o charakterze handlowym czy finansowym. Podczas wprowadzania danych składających się z samych cyfr bardzo łatwo o pomyłkę. Taka

walidacja jest nieodzowna jako zabezpieczenie przed ewentualnymi atakami botów podejmujących próby rejestracji czy też tworzenia kont.

Listing 4. Funkcje do walidacji danych

```

<?php
require_once "Validate/PL.php";

function testNIP($NIP) {
    $numer_nip = new Validate_PL();
    return $numer_nip->nip($NIP);
}

function testREGON($REGION) {
    $numer_regon = new Validate_PL();
    return $numer_regon->regon($REGION);
}

function testPESEL($PESEL) {
    $numer_pesel = new Validate_PL();
    return $numer_pesel->pesel($PESEL, $dsfs);
}
?>

```

Validate_PL jest bardzo dobrym narzędziem sprawdzania poprawności danych. Jest to pakiet bardzo dokładny i łatwy w użyciu. Implementacja repozytorium jest prosta, pozwalając nawet początkującym programistom na jej zastosowanie. Główną zaletą przemawiającą za zastosowaniem tego pakietu jest koszt pracy nad implementacją własnych algorytmów.

Image_QRCode

QR Code (ang. Quick Response), czyli szybka odpowiedź kodowa jest to dwuwymiarowy, alfanumeryczny, kwadratowy, matrycowy kod, początkowo stworzony z myślą o przemyśle samochodowym. Całkiem niedawno system stał się wyjątkowo popularny ze względu na swoją czytelność oraz dużą pojemność w porównaniu do standardowego kodu kreskowego. Kod składa się z czarnych modułów ułożonych w kwadracie na białym tle. Zakodowane informacje mogą składać się z różnych typów danych (np. dane numeryczne, alfanumeryczne, binarne). QR Code jest jednym z najbardziej popularnych typów kodów dwuwymiarowych, został zaprojektowany tak, aby jego zawartość możliwa była do odczytywania ze znacznie większą prędkością niż klasyczny kod kreskowy.

W ostatnich latach system stał się powszechny w reklamach i na opakowaniach. Temu stanowi rzeczy przysłużyła się popularność smartfonów, dzięki którym każdy posiada „czytnik kodów kreskowych” we własnej kieszeni.

QR kody mogą być używane w mobilnych systemach operacyjnych (np. Android, iOS, Windows Phone). Biblioteka PEAR w zakresie kodów QR udostępnia klasę, której zastosowanie prezentuje listing 5 [3].

Listing 5. Kod QR_Code

```

<?php
require_once "Image/QRCode.php";
$qrcode = new Image_QRCode();
$qrcode->makeCode('test', array(
    'image_type' => 'png',
    'error_correct' => 'H', <br>
));
//można zastosować także różne rozszerzenia jak jpg lub png
?>

```

Metoda *makeCode()* służy do tworzenia kodu QR. W metodzie poza informacją/adresem, które mają zostać zakodowane mogą zostać wykorzystane także atrybuty:

- *image_type* - określa format obrazu,
- *output_type* - ustawia co zrobić gdy kod został wygenerowany - 'display' or 'return',
- *error_correct* - ustawia poziom korekcji błędów (L: 7%, M: 15%, P: 25%, H: 30%),
- *module_size* - ustawia domyślny rozmiar modułu (PNG: 4, JPEG: 8).

W listingu 5 w miejsce łańcucha 'test' użytkownik może wprowadzić dowolny ciąg znaków. Może to być adres strony, opis, numery itd. Rys. 3 przedstawia przykład kodu QR wygenerowany dla strony uczelni.



Rys. 3. QrCode dla strony <http://www.pollub.pl/pl/uczelnia/organizacja-uczelni/wydzialy/wydzial-elektrotechniki-i-informatyki> [3]

Qr Code jest nowoczesnym i niezbędnym narzędziem każdego serwisu. Podczas wpisywania adresu WWW użytkownik traci ponad 50% czasu, a Qr Code gwarantuje bezpośrednie poprawne przeniesienie na oczekiwaną stronę. Z czasem każdy serwis zobowiązany będzie stosować tego typu kody.

HTML_Menu

Podstawą funkcjonowania serwisów internetowych jest jasna i intuicyjna nawigacja, oparta na odpowiednim elemencie menu. Każdy twórca strony internetowej zmuszony jest dostosować do niej taki element menu, zwykle za pomocą języka HTML, CSS, JavaScript, PHP itp. We wszystkich dostępnych technologiach każda zakładka tworzona musi być od początku. Programista musi rozbudowywać kod służący do spisu zawartości serwisu, tym samym jego czytelność oraz przejrzystość się zmniejsza. Aby zagwarantować stały układ, styl, kolory, wielkości przycisków i inne wizualne elementy menu trzeba zastosować zwykle dobrze zaprojektowany arkusz CSS. Istnieje wiele możliwości stworzenia spisu strony, ale każda wymaga czasu i znajomości dostępnych technologii. Jednym z rozwiązań może być pakiet *HTML_menu*, który pozwala budować nawigację na stronie w oparciu o układy menu pokazane na rys. 4.

HTML_menu oferuje pięć grup ustawień (rys.4):

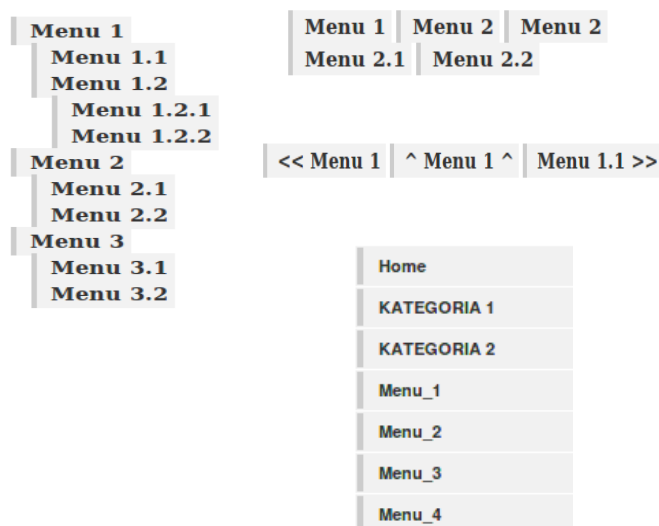
- rows,
- tree,
- urhere,
- prevnext,
- sitemap.

Rozwiązanie nie nakłada żadnych kosztów czasowych związanych z tworzeniem kodu menu. Sposób tworzenia menu prezentuje listing 6. System działania repozytorium opiera się głównie na tabelach *array*, w których programista podaje nazwę – *title* oraz adres URL strony, do której dany stopień menu ma przenieść użytkownika. W celu utworzenia podkategorii menu wystarczy zagnieździć identyczną tabelę w tabeli wyższego rzędu, podając kolejne dane takie jak *nr* tabeli np. *21=> array...*. Zagnieźdzenie podkategorii nie posiada ograniczeń ilościowych. Dzięki *HTML_menu*, można bardzo sprawnie rozbudowywać istniejące kategorie oraz dodawać nowe podkategorie.

Listing 6. Przykład zastosowania HTML_Menu

```
<?php
require_once 'HTML/Menu.php';
$data=array(
    1 => array(
        'title' => 'Menu 1',
        'url' => '/SKLEP/html_menu.php',
        'sub' => array(
            11 => array('title' => 'Menu 1.1', 'url' => '/SKLEP/nip.php'),
            12 => array(
                'title' => 'Menu 1.2',
                'url' => '/SKLEP/captcha.php',
                'sub' => array(
                    121 => array('title' => 'Menu 1.2.1',
                        'url' => '/SKLEP/widok/index.php?p=kategoria&kategoria=5'),
                    122 => array('title' => 'Menu 1.2.2',
```

```
                        'url' => '/SKLEP/widok/index.php?p=kategoria&kategoria=3')
                )
            )
        ),
        2 => array(
            'title' => 'Menu 2',
            'url' => '/SKLEP/html_menu.php',
            'sub' => array(
                21 => array('title' => 'Menu 2.1',
                    'url' => '/SKLEP/widok/index.php?p=nowyTowar'),
                22 => array('title' => 'Menu 2.2',
                    'url' => '/SKLEP/widok/index.php?p=nowaKategoria')
            )
        ),
        3 => array(
            'title' => 'Menu 3',
            'url' => '/SKLEP/html_menu.php',
            'sub' => array(
                31 => array('title' => 'Menu 3.1',
                    'url' => '/SKLEP/widok/index.php?p=edycjaKategoria'),
                32 => array('title' => 'Menu 3.2',
                    'url' => '/SKLEP/widok/index.php?p=kategoria&kategoria=1')
            )
        )
    );
// $data określa strukturę menu: rows, tree, urhere, prevnext, sitemap
$menu =& new HTML_Menu($data, 'urhere');
$menu->show(); ?>
```



Rys. 4. Przykładowe układy w HTML_Menu [1]

MDB2

W przeszłości przechowywanie informacji w pliku tekstowym lub w prostej bazie danych było wystarczającym rozwiązaniem. Obecnie każdy programista aplikacji musi posiadać wiedzę o tym, w jaki sposób przechowywać informacje w bazach danych. Od najwcześniejszych wersji PHP, programiści zawsze mogli liczyć na silne wsparcie dla baz danych. Jednak, aż do najnowszej wersji PDO (ang. PHP Data Objects), nie było standardowego sposobu posługiwania się różnymi sterownikami baz danych dołączanych do PHP [3]. Brak jednolitego API zrodziło potrzebę stworzenia warstwy abstrakcji bazy danych (DBAL – ang. DataBase Abstraction Layer). Jednym z oferowanych rozwiązań jest PEAR: MDB2 [9].

Na tworzenie warstw abstrakcji należy spojrzeć z trzech perspektyw:

- abstrakcji dla interfejsu bazy danych,
- abstrakcji dla kodu SQL,
- abstrakcji dla typów danych.

Abstrakcja interfejsu bazy danych jest niezwykle istotna, pozwala programiście na dostęp do każdej bazy danych przy użyciu tych samych metod wywołania. Oznacza to, że połączenie z instancją bazy danych, wysyłanie i pobieranie danych, będzie identyczne, niezależnie od rodzaju używanej bazy danych.

Większość nowoczesnych baz danych obsługuje standard SQL, tak więc znacząca część SQL, będzie działać niezależnie od tego, jaka w ostateczności baza będzie używana. Jednak wiele baz wprowadziło specyficzne funkcje SQL, co zwiększa prawdopodobieństwo, iż dany kod zadziała na jednej bazie, na innej już nie. Podczas progresji RDBMS (ang. Relational DataBase Management System) mogą być implementowane funkcje niekompatybilne ze starszymi wersjami tej samej bazy danych. Chcąc napisać SQL zgodny ze wszystkimi wersjami konkretnej bazy danych, najlepszym rozwiązaniem jest użycie warstwy abstrakcji. Chociaż nie ma sposobu, aby zebrać wszystkie możliwe funkcje SQL, MDB2 zapewnia wsparcie dla najbardziej popularnych. Korzystanie z mechanizmów abstrakcji kodu SQL, dostarczanego przez MDB2, daje gwarancję, że użytkownik będzie mógł posługiwać się zaawansowanymi funkcjami nawet, gdy baza danych nie będzie ich obsługiwała.

Kolejnym rodzajem abstrakcji jest abstrakcja typów danych [8]. Zapotrzebowanie na tego rodzaju abstrakcję wynika z faktu, iż różne bazy danych obsługują różne typy danych. Przy zastosowaniu warstwy abstrakcji bazy danych, w wielu przypadkach efektywność działania jest mniejsza. Nie jest to specyficzne dla MDB2 czy innych warstw abstrakcji baz danych, ale dla warstw abstrakcji i systemów wirtualizacji oprogramowania w ogóle. W przeciwieństwie do VMWare lub Microsoft Virtual PC, których abstrakcyjne są wszystkie systemowe wywołania, MDB2 dostarcza abstrakcję tylko w ostateczności, gdy dana funkcja jest niedostępna. Oznacza to, że wydajność w głównej mierze zależy od platformy, na której używany jest MDB2.

Projekt API MDB2 został stworzony, w celu zapewnienia maksymalnej elastyczności. Modularne podejście było stosowane w obsłudze baz danych i konkretnych zaawansowanych funkcjonalności. Każdy sterownik bazy danych jest spakowany i utrzymywany jako samodzielny moduł PEAR.

Drugi typ modularności wbudowany w MDB2 służy do dodawania rozszerzonych funkcji MDB2. Zamiast umieszczać te funkcje bezpośrednio w MDB2 lub dodawać nową klasę implementującą te funkcje, użytkownik ma możliwość utworzenia osobnej klasy w nowym module, którą następnie wczytuje za pomocą metody *loadModule()* do rdzenia MDB2. Kiedy moduł zostanie już załadowany do MDB2, będzie można uzyskać dostęp do jego metod, jak gdyby były wbudowane w pakiet MDB2. Działanie to jest podyktowane szybkością pracy jego wewnętrznych metod, jednocześnie umożliwiając użytkownikom swobodne dołączanie własnych klas do pakietu MDB2.

Gdy użytkownik zdecyduje się na użycie pakietu MDB2 musi pamiętać, że nie zawiera on żadnych sterowników baz danych. Sterowniki te należy zainstalować oddzielnie. Standardowo instalowane są tylko klasy tworzące rdzeń MDB2.

Instalacji sterowników odpowiedniej bazy danych dokonać można np. za pomocą polecenia:

- dla MySQL: `pear install MDB2_driver_mysql`,
- dla SQLite: `pear install MDB2_driver_sqlite`

Pełną listę aktualnych sterowników można znaleźć w [18].

Przykład kodu aplikacji pobierającej z bazy danych informacje zaprezentowany został na listingu 7 [3].

Listing 7. Kod warstwy abstrakcji MDB2

```
<?
require_once( 'MDB2.php' );
...
//funkcja pobierająca dane o towarze
function NowyTowar() {
    $db = MDB2::connect("mysql://sklep@127.0.0.1/sklep");
    if (PEAR::isError($db)) {
        die($db->getMessage());
    }
    $nazwa = $_POST["nazwa"];
    $producent = $_POST["producent"];
    $opis = $_POST["opis"];
    $parametry = $_POST["parametry"];
    $cena = $_POST["cena"];
    $VAT = $_POST["vat"];
```

```
$serwis = $_POST["serwis"];
$gwarancja = $_POST["gwarancja"];
$dostepnosc = $_POST["dostepnosc"];
$kategoria = $_POST["kategorie"];
```

```
$query = "insert into Towar
(nazwa, producent, opis, parametry, cena, vat, serwis, gwarancja,
dostepnosc, id_promocja, ilosc_sprzedanych, id_kategoria )
values ('$nazwa', '$producent', '$opis', '$parametry', '$cena', '$VAT', '$serwis',
'$gwarancja', '$dostepnosc', 0, 0, $kategoria );";
```

```
$res = $db->exec($query) or $error .= "ERROR SELECT $query<br>";
if (PEAR::isError($res)) {
    die($res->getMessage() . "<br>$query");
}
```

Zapytanie w MDB2 można wykonać za pomocą metod:

- *query*, która zwraca wynik zapytania,
- *exec*, która zwraca liczbę zmienionych przez zapytanie wierszy.

Przykład wykorzystania metody *query* przedstawia listing 8 [3].

Listing 8. Przykładowy kod z zastosowaniem metody *query*

```
<?php
//demo
$sql='select from grupy';
$demoResult=$db->query($sql);
While ($demoRow=$demoResult->fetchRow()) {
    echo $demoRow[2] . '<br>';
}
$db -> disconnect();
echo "testTESTtest";
?>
```

Zmienna *\$result* jest obiektem typu *MDB2_Result* a także klasą zależną od konkretnego sterownika bazy danych. Do przeglądania zbioru wyników wykorzystano metodę *fetchRow()*, która pobiera pojedyncze wiersze.

Poza metodą *fetchRow()* można wykorzystać jeszcze kilka innych metod z grupy *fetch*()*:

- *fetchAll()* zwraca tablicę zawierającą wszystkie rekordy,
- *fetchOne()* bez żadnych parametrów zwraca wartość pierwszego pola z bieżącego wiersza. Jeśli zostaną przesłane jej odpowiednie parametry, za jej pomocą będzie można pobrać dowolne pole z dowolnego wiersza np. *fetchOne(1,2)* zwróci drugą kolumnę trzeciego wiersza w tabeli,
- *fetchCol(\$column)* zwróci pola kolumny o numerze *\$column* dla wszystkich wierszy lub pierwszą kolumnę, w przypadku nieokreślenia parametru *\$column*.

Znacznie łatwiej jest pobierać dane z tablicy asocjacyjnej. Repozytorium MDB2 posiada dwa zestawy metod pobierania danych za pomocą klucza: *query** oraz *get**.

Różne systemy baz danych obsługują różne typy danych. Pakiet MDB2 omija tego typu problemy poprzez stosowanie własnych, uniwersalnych zestawów typów danych. Programista może z tych typów korzystać i pozwolić, aby to pakiet MDB2 zadbał o przenośność typów danych między systemami RDBMS, poprzez mapowanie swoich typów na typy odpowiedniego systemu baz danych.

Typy danych oferowane przez pakiet MDB2 to: *text*, *decimal*, *boolean*, *integer*, *float*, *blob*, *clob*, *date*, *time*, *timestamp* [19]. We wszystkich metodach z grupy *query()*, *fetch()* i *get()* można określać typ zbioru wyników, który użytkownik chce otrzymać. Pakiet MDB2 automatycznie konwertuje wartości na odpowiedni typ danych.

3. Wnioski

Dzięki bibliotece PEAR pisanie aplikacji PHP jest znacznie szybsze i skuteczniejsze. Ze względu na wielkość biblioteki, w artykule zaprezentowano wyłącznie jej podstawowe pakiety.

Przy prezentacji pakietów analizowana była przede wszystkim złożoność repozytorium oraz koszty czasowe nałożone na implementację konkretnej funkcjonalności przy użyciu powszechnie stosowanych technologii.

Klasy PEAR spełniają oczekiwania programistów, oferując zoptymalizowane pod kątem kodu i bezpieczeństwa gotowe rozwiązania najczęściej występujących problemów pojawiających się w trakcie tworzenia aplikacji internetowych w języku PHP.

Omawiane pakiety PEAR są łatwe w instalacji, a przez określoną strukturę i przejrzystość kodu, można łatwo i szybko przyswoić sobie ich budowę i zastosowania. PEAR jest bardzo elastyczny – oferuje nieskomplikowaną integrację z najbardziej popularnymi technologiami. Osoby początkujące, lecz posiadające doświadczenie w programowaniu, bez żadnych trudności wykorzystają zalety PEAR we własnych projektach.

Korzystanie z omówionej biblioteki dodatkowo gwarantuje poprawność zastosowanego w niej kodu. Programista nie musi obawiać się konfliktów między funkcjami aplikacji, bądź poświęcać dodatkowy czas na wyszukiwanie ewentualnych błędów.

Niezaprzeczalnie ogromną zaletą PEAR jest silna i prężnie działająca społeczność, z pomocy oraz porad której może skorzystać każdy zainteresowany wykorzystaniem któregoś z pakietów. PEAR jest doskonale udokumentowany, dzięki czemu można bardzo łatwo zrozumieć zasadę jego działania i poznać zarówno podstawowe jak i bardziej zaawansowane pakiety.

Reasumując biblioteka PEAR jest idealnym rozwiązaniem do szybkiego i w pełni funkcjonalnego tworzenia systemów webowych. Gwarantuje pewny kod, wsparcie, bezpłatne użytkowanie, prostą instalację, pełną dokumentację oraz ogromny wybór spośród swoich repozytoriów.

Literatura

- [1] Ballad B., Valade J.: PHP & MySQL Web Development All-in-One Desk Reference For Dummies, United States of America 2008.
- [2] Converse T., Park J., Suehring S.: PHP6 and MySQL Bible, United States of America 2009.
- [3] Duszyk M.: Zastosowanie biblioteki PEAR w tworzeniu aplikacji internetowych, praca inżynierska, Politechnika Lubelska, 2012

- [4] Holzner S.: PHP: The Complete Reference, United States of America 2007.
- [5] Hossain Tonu M. A.: PHP Application Development with NetBeans Beginner's Guide, Birmingham 2012.
- [6] MacIntyre P.: PHP: The Good Parts, United States of America 2010.
- [7] Thomson L., Welling L.: PHP i MySQL. Tworzenie stron WWW. Vademecum profesjonalisty. Wydanie trzecie, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.
- [8] Vela Nava E. A., Heiderich M., Heyes G., Lindsay D.: Web Application Obfuscation, United States of America 2011.
- [9] pear.php.net
- [10] pear.11abacus.com/dev/doc/HTML/QuickForm/examples/
- [11] www.captcha.net/

Dr Beata Pańczyk

e-mail: b.panczyk@pollub.pl

Ukończyła studia matematyczne na UMCS w Lublinie. W latach 1989-2011 pracownik naukowy (asystent, adiunkt) w Instytucie Informatyki Politechniki Lubelskiej. Tytuł doktora uzyskała w roku 1996 na Wydziale Elektrycznym PL. Temat rozprawy doktorskiej: Konstrukcja obrazu rozkładu właściwości fizycznych obiektu metodą Impedancyjnej Tomografii Komputerowej. Od roku 2011 na stanowisku starszego wykładowcy. Obszar zainteresowań dydaktycznych i naukowych to metody numeryczne i języki programowania.



Inż. Michał Duszyk

e-mail: michal.duszyk@gmail.com

Jest absolwentem kierunku Informatyka Politechniki Lubelskiej. Obecnie pracownik zespołu ds. integracji systemu płatnościowego PayU z aplikacjami partnerów biznesowych spółki. Wykonywane obowiązki są ściśle związane z pracą opartą na technologii PHP i MySQL. Obszary pozostające w sferze zainteresowań to przede wszystkim Business Intelligence, e-commerce, bankowość.



otrzymano/received: 13.05.2013

przyjęto do druku/accepted: 12.11.2013

LISTA RECENZENTÓW ARTYKUŁÓW OPUBLIKOWANYCH W ROKU 2013

- prof. Javier Ballester - University of Zaragoza (Hiszpania)
- dr inż. Dariusz Bober - Uniwersytet Rzeszowski
- prof. Marian Cholewa - Politechnika Rzeszowska
- prof. Antonii Cieśla - Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
- dr inż. Bogusław Dołęga - Politechnika Rzeszowska
- prof. Zbigniew Fedyczak - Uniwersytet Zielonogórski
- prof. Stefan Filipowicz - Politechnika Warszawska
- prof. Andrzej Garbacz - Politechnika Warszawska
- dr inż. Ryszard Goleman - Politechnika Lubelska
- prof. Andrzej Gontarz - Politechnika Lubelska
- prof. Marek Gotfryd - Politechnika Rzeszowska
- prof. Stanisław Gratkowski - Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- dr inż. Konrad Gromaszek - Politechnika Lubelska
- prof. Oleksandra Hotra - Politechnika Lubelska
- prof. Zenon Hotra - Lviv Polytechnic National University (Ukraina)
- dr inż. Paweł Jabłoński - Politechnika Częstochowska
- prof. Elżbieta Jartych - Politechnika Lubelska
- prof. Wojciech Jarzyna - Politechnika Lubelska
- dr inż. Dariusz Klepacki - Politechnika Rzeszowska
- prof. Jacek Kluska - Politechnika Rzeszowska
- dr inż. Tomasz Kołtunowicz - Politechnika Lubelska
- prof. Volodymyr Kovanko - National University of Water Management and Nature Resources Use (Ukraina)
- prof. Andrzej Kotyra - Politechnika Lubelska
- prof. Sławomir Kozak - Instytut Elektrotechniki
- dr inż. Michał Kruk - Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- prof. Roman Kubacki - Wojskowa Akademia Techniczna
- prof. Wiesława Kuniszyk-Józkowiak - Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
- prof. Volodymyr Lytvynenko - Kherson National Technical University (Ukraina)
- prof. Ewa Majchrzak - Politechnika Śląska
- prof. Tomasz Markiewicz - Politechnika Warszawska
- dr inż. Arkadiusz Miaskowski - Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
- prof. Bogdan Miedziński - Politechnika Wrocławska
- prof. Andrzej Nafalski - University of South Australia (Australia)
- prof. Andrzej Napieralski - Politechnika Łódzka
- prof. Ryszard Nawrowski - Politechnika Poznańska
- prof. Marian Noga - Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
- prof. Antoni Nowakowski - Politechnika Gdańska
- prof. Witold Pawelski - Politechnika Łódzka
- prof. Krystyn Bożydar Pawluk - Instytut Elektrotechniki
- prof. Zygmunt Piątek - Politechnika Częstochowska
- dr n. med. Sebastian Radej - Uniwersytet Medyczny w Lublinie
- prof. Dominik Sankowski - Politechnika Łódzka
- prof. Bartosz Sawicki - Politechnika Warszawska
- dr inż. Monika Siewczyńska - Politechnika Poznańska
- prof. Jarosław Sikora - Politechnika Lubelska
- dr Aleksander Sokołowski - Politechnika Rzeszowska
- dr inż. Ernest Staroń - Państwowa Agencja Atomistyki
- prof. Adam Szlag - Politechnika Warszawska
- prof. Elżbieta Szycha - Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu
- dr inż. Piotr Świszcz - Politechnika Śląska
- prof. Andrzej Wac-Włodarczyk - Politechnika Lubelska
- dr inż. Radosław Wajman - Politechnika Łódzka
- dr inż. Agnieszka Wantuch - Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
- dr inż. Paweł Wierzb - Politechnika Gdańska
- prof. Krzysztof Zaremba - Politechnika Białostocka
- prof. Krzysztof Zymmer - Instytut Elektrotechniki w Warszawie

USING OF NUMERICAL METHODS FOR CALCULATION THE EQUATION FOR CLUSTERS CONCENTRATIONS IN GASEOUS MATERIALS

Alexey Bublikov, Natalia Denisova, Tamara Segeda

D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University

Abstract: This article describes cluster model of gaseous materials and prospects of using the model. Equations set for the calculation of different sizes clusters concentrations are presented. The authors produce numerical solution of the equation set. Results of the numerical solution are compared with the results that derived from analytical solution.

Keywords: molecule, cluster, gas, cluster model, energetics, Newton's method, numerical methods

WYKORZYSTANIE METOD NUMERYCZNYCH DO ROZWIĄZYWANIA UKŁADU RÓWNAŃ KONCENTRACJI KLASTRÓW W MATERIAŁACH GAZOWYCH

Streszczenie. Ten artykuł zawiera opis modelu klastrowego materiałów gazowych i analiza perspektywy jego zastosowania. Przedstawiono układ równań do obliczania koncentracji klastrowych różnych rozmiarów. Autorzy przedstawiają rozwiązanie numeryczne danego układu. Wyniki rozwiązania numerycznego są porównane z wynikami otrzymanymi metodami analitycznymi.

Słowa kluczowe: molekula, klastery, gaz, model klastrowy, energetyka, metoda Newtona, metody numeryczne

At present, the success of innovation in heat and power engineering, like in any other sphere of up-to-date technologies, depends on the approach that uses preliminary calculations to a considerable degree. The more accurate is the model used as the basis for predictive computational and theoretical research, the more appropriate the assessment of expected outcome is. For example, in heat pump systems a heat pump power efficiency calculation is very important because these systems use substances under various values of pressure and temperature [6]. In this case, models of liquid and gaseous states in which properties of substances are explained by the movement and interaction of thermodynamic system's structural parts of are used for calculation. These structural parts can be not only molecules but also multi-molecular formations – clusters which preserve chemical properties of pure substances. It was found that models based only on the interactions of molecules cannot reflect all the peculiarities of complicated thermal process [1, 7]. If we research a phase transition like evaporation or condensation or the process of equilibration in gas, the ideal gas model cannot be used even at pressure of about several millimeters of mercury. What is more, it is impossible to take measurements under all conditions which could occur in practice in heat and power engineering. Therefore, it is necessary to develop a theory which is based on a reliable model [2].

Specializing of the ideal gas law for describing systems which much more complicated than ideal gas lead to corrections in the ideal gas law which often don't have explicit physical meaning [10]. The description of equilibrium and non-equilibrium properties of dense gases is currently based on the ideal gas model which already takes into account that molecules of gases generate bound or quasi-bound states [1] and these clusters make their specific contribution in physical properties [2, 7]. In such cluster model every gas should be considered like a multicomponent gas mixture; the number of these components and their concentration change with changing of macro parameters. The kinetic theory is used to describe the transfer processes, according to which the transfer coefficients are calculated by the formulae where gas mixture components are cluster subcomponents [4, 12, 13].

Proportionality of a cluster's potential energy to the number of molecules this cluster contains is used as a primary principle in the cluster gas and liquid model and this proportionality gives the clusters' size distribution in the form:

$$C_g^{(c)} = C_1^{(c)} \exp[-\beta(g-1)] \quad (1)$$

where: $C_g^{(c)}$ is the numerical fraction of g -dimensional clusters (clusters which consist of g molecules), $C_1^{(c)}$ is the numerical

fraction of monomers (clusters with size 1), β is the normalization factor, g is the size of cluster (number of molecules in cluster).

Numerical fraction is used as the concentration of a cluster subcomponent through which additive parameters or a cluster mixture are expressed. The fraction is represented at a ratio of a cluster's numerical density to the numerical density of all clusters:

$$C_g^{(c)} \equiv \frac{n_g}{\sum_{g=1}^r n_g} \quad (2)$$

where: n_g is the numerical density of g -dimensional clusters,

$\sum_{g=1}^r n_g = n^{(c)}$ is the numerical density of all clusters, r is the size of the largest accountable cluster in this problem.

Using this concentration average molar mass is expressed like [3]:

$$\langle M \rangle = \sum_{g=1}^r C_g^{(c)} M_g \quad (3)$$

where: M_g - molar mass of g -dimensional clusters, $\langle M \rangle$ - average molar mass of cluster mixture.

The most acceptable form of the equation of state in the cluster model is the equation which uses a compressibility factor z [3] by way of the deviation from the idealness factor:

$$p = zn^{(n)}kT \quad (4)$$

where: $n^{(n)}$ - numerical density of molecules.

The compressibility factor of cluster mixture is expressed through the concentration of cluster subcomponents [3]:

$$z = \frac{1}{(1-b) \sum_{g=1}^r g C_g^{(c)}} \quad (5)$$

What is more, the applied model medium principle also plays a significant role. According this principle, the particles pass through the sequence of locally equilibrium states: when they transit from one domain to the next one, they undergo maxwellization process, when they meet equilibrium particles and lose no longer belong to the previous domain [2]. The next step goes according to the same pattern; it makes the sequence of particles' states additive chain of numbers which can be used for the description of gas processes. It allows to get the following set of equation (1.6 – 1.8) for calculating cluster concentrations.

$$C_1^{(c)} \left(1 + \sum_{g=2}^r \exp[-\beta(g-1)] \right) - 1 = 0 \quad (6)$$

$$C_1^{(c)} \sum_{g=1}^r \{ g \exp[-\beta(g-1)] \} - \frac{\rho RT}{pM_1(1-b)} = 0 \quad (7)$$

$$C_1^{(c)} \exp[-\beta(g-1)] - C_g^{(c)} = 0 \quad (8)$$

$$g = 1 + r.$$

The set of equation takes into consideration a proper volume fraction of particles that is expressed in terms of effective collision diameter in the following general rule [1]:

$$b = \frac{2}{3} n^{(n)} \pi \sigma^3 \quad (9)$$

where: σ - effective molecules collision diameter.

After the transformation of this set of equation, through substitutions and algebraic transformations, we obtain a homogeneous nonlinear equation in $(g-1)$ power. For example, for the calculation of cluster concentrations to the size five inclusive [11]:

$$(2B-1)x + (3B-1)x^2 + (4B-1)x^3 + (5B-1)x^4 + (B-1) = 0,$$

where: $e^{-\beta} = x$, B factor is calculated in the following way:

$$B = \frac{pM_1(1-b)}{\rho RT} \quad (10)$$

where: ρ is the density of gas, T is the gas temperature, R is the gas constant.

Methods of solution of nonlinear equations are divided into direct (analytical, exact) ones and iterative ones. Direct methods allow writing a solution as a certain proportion (formula). Thereby, the values of roots can be found by the formula in a finite number of arithmetic operations. Such methods are

developed for trigonometric, logarithmic and elementary algebraic equations.

However, the equation that is derived in this problem cannot be solved by direct methods. It's impossible to get a solution in the form of formula which can be solved in a finite number of arithmetic operations even for an equation in the power more than four. In cases like that, it is necessary to use numerical methods which allow obtaining approximate values of the roots with any given accuracy.

The solution of nonlinear equations by numerical methods is divided into two steps [8]:

- the location of roots, that is finding of such segments on X-axis which are the limits within of that there is only one root,
- the roots refining, that is calculating approximate values of roots within fixed precision.

The following methods of roots refining were examined: the bisection method, the secant method, the iteration method, Newton's method, Ridders' method [9]. After comparison of the results, Newton's method was chosen for the realization. On the basis of Newton's method the algorithm for finding concentrations of large-size (up to 100) clusters was developed. This algorithm is shown in the figure 1.

To test the algorithm and evaluate the approximate calculation results we used such experimental conditions for which there is a direct solution and cluster concentrations of size 5 in water vapor were obtained [11]. The comparison of the concentration values derived by numerical and analytic methods are shown in Table 1.

The relative error with this method compared with analytical method is from 0.2% to 3% with a significant clusters concentration. So it makes it possible to use this method for the calculation of clusters concentrations of various sizes.

Obtaining a satisfactory results on the example data of water vapor the concentration of clusters were calculated for the following refrigerants: R600 (Isobutane), R290 (Propane), R717 (Ammonia). The results are presented in Table 2.

Table 1. Comparison of the derived concentration values

Method	P, MPa	T, K	C1	C2	C3	C4	C5
Analytic	8,922	758	0,86345	0,11631	0,01567	0,00211	0,00028
Numerical	8,922	758	0,86328	0,11806	0,01615	0,00221	0,0003
Analytic	9,02	798	0,91621	0,07546	0,00622	0,00051	0,00004
Numerical	9,02	798	0,91762	0,0756	0,00623	0,00051	0,00004
Analytic	8,824	713	0,846	0,12865	0,01956	0,00298	0,00045
Numerical	8,824	713	0,84816	0,12885	0,01957	0,00297	0,00045
Analytic	3,922	648	0,91456	0,07682	0,00645	0,00054	0,00005
Numerical	3,922	648	0,91262	0,07975	0,00697	0,00061	0,00005
Analytic	1,108	563	0,98692	0,01252	0,00016	0	0
Numerical	1,108	563	0,98763	0,01222	0,00015	0	0

Table 2. Concentration of clusters in refrigerants

P, Pa	T, K	ρ , kg/m3	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀
R600 (Isobutane)												
124600	278,15	3,2858	0,951448	0,046195	0,002243	0,000109	0,000005	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
R290 (Propane)												
530000	278,15	12,5	0,807060	0,155714	0,030044	0,005797	0,001118	0,000216	0,000042	0,000008	0,000002	0,000000
R717 (Ammonia)												
290800	263	2,394	0,939893	0,056494	0,003396	0,000204	0,000012	0,000001	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
429400	273	3,46	0,923036	0,071040	0,005468	0,000421	0,000032	0,000002	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
615000	283	4,87	0,903457	0,087223	0,008421	0,000813	0,000078	0,000008	0,000001	0,000000	0,000000	0,000000
857400	293	6,697	0,881480	0,104473	0,012382	0,001468	0,000174	0,000021	0,000002	0,000000	0,000000	0,000000
1167000	303	9,033	0,856320	0,123036	0,017678	0,002540	0,000365	0,000052	0,000008	0,000001	0,000000	0,000000
1555000	313	11,983	0,828154	0,142315	0,024456	0,004203	0,000722	0,000124	0,000021	0,000004	0,000001	0,000000

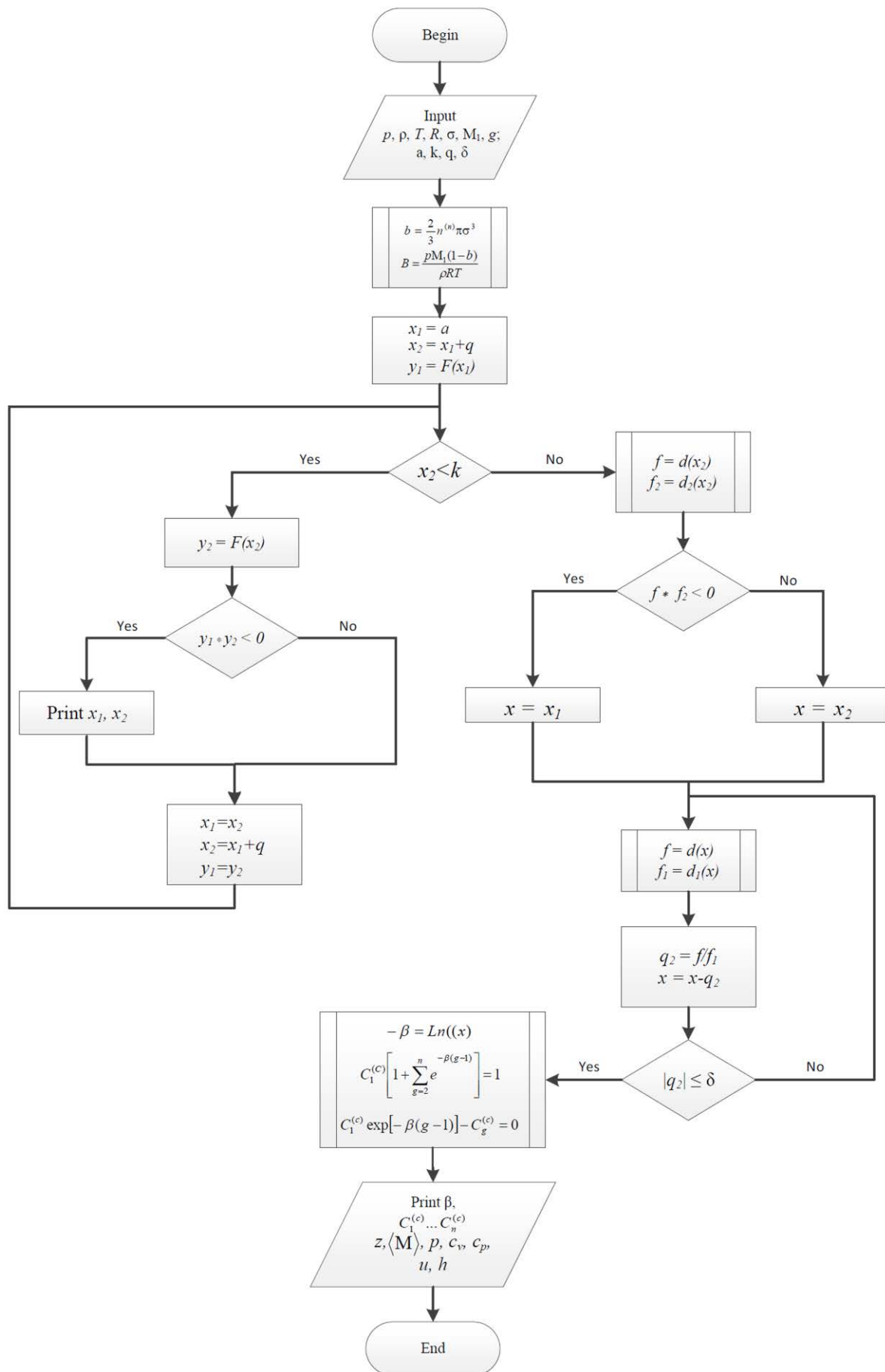


Fig. 1. The concentration-calculating algorithm

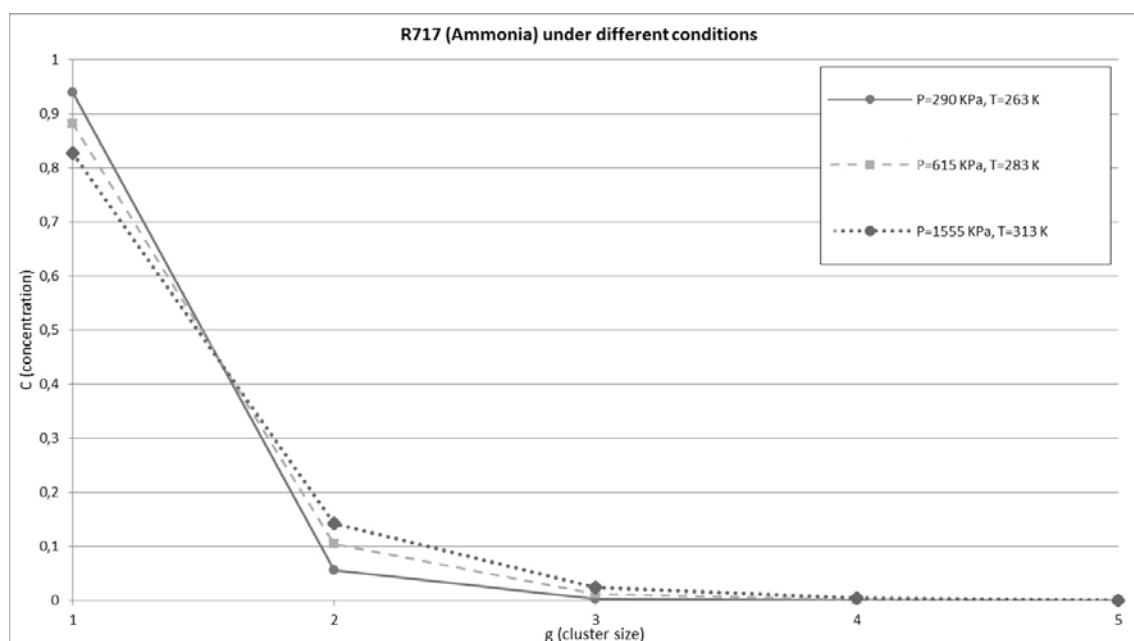


Fig. 2. The effect of conditions on the concentration of clusters

The effect of conditions on the concentration of clusters is shown in Figure 2, the example of the refrigerant R717 (Ammonia).

The parameters for the calculation of the concentration of clusters and calculated on this basis the characteristics of the gas mixture are considered experimental conditions and the characteristics of the mixture (gas). These include the following:

- 1) pressure of gas (mixture),
- 2) temperature of gas (mixture),
- 3) effective molecules collision diameter of gas (mixture),
- 4) density of gas (mixture),
- 5) molar mass of gas (mixture).

As intermediate outputs, which are also of interest to consider the problem as a whole, were used:

- 1) correction to their own volume of the molecules (formula 1.9);
- 2) B factor (formula 1.10).

Goal data that is the output parameters are the totals:

- 1) compressibility factor of cluster mixture (formula 1.5),
- 2) enthalpy of molecular-cluster mixture,
- 3) relative internal efficiency.

For practical application of the method of calculating concentrations of clusters required software implementation and information support of the system. For software implementation was chosen the free integrated development environment Visual Studio Express 2012, developed by Microsoft. From the languages of this environment it was chosen programming language C # 4.0. As a free database was chosen Microsoft SQL Server Express 2012.

References

- [1] Girshfel'der Dzh., Kertiss Ch., Berd R.: Molekulyarnaya teoriya gazov i zhidkostei. M.: IL, 1961, s. 930.
- [2] Kurlapov L.I.: Issledovanie protsessov perenosa v gazakh. Dep. v KazNIINTI, 21.05.90, № 4035, Ka, D90, Alma-Ata, 1990, s. 38.
- [3] Kurlapov L.I.: Klaster'naya model' gaza ZhTF. T. 73, vyp. 2, 2003, s. 51 - 55.
- [4] Kurlapov L.I., D'yachenko E.A.: Kharakteristiki sostava klaster'nogo gaza. Dep. v KazgosINTI, 21.03.2001, № 8871, Ka01, Almaty, 2001, s. 13.
- [5] Melikhov I.V., Dolgonosov B.M.: O klaster'noi modeli zhidkosti, Zhurnal fizicheskoi khimii. T. LIII, vyp.7, 1979.
- [6] Morozyuk T.V.: Teoriya kholodil'nykh mashin i teplovykh nasosov. Odessa: Studiia «Negotsiant», 2006, s.
- [7] Nemukhin A.V.: Van-der-vaal'sovy klaster'y, Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal. T. 7, № 1, 2001, s. 39 - 44.
- [8] Polyaniin A. D., Zaitsev V. F., Zhurov A. I.: Metody resheniya nelineinykh uravnenii matematicheskoi fiziki i mekhaniki. M.: Fizmatlit, 2005.
- [9] Rashchikov V.I., Roshal' A.S.: Chislennyye metody resheniya fizicheskikh zadach. SPb.: Lan', 2005.
- [10] Rid R., Prausnits Dzh., Shervud T.: Svoistva gazov i zhidkostei: Spravochnoe posobie. L.: Khimiya, 1982, s. 592.
- [11] Rodionova A.M.: Opredelenie termodinamicheskikh svoystv vodyanogo para s uchetom molekulyarno-klaster'nogo sostava: avtoref. ... mag. teploenergetiki. Ust'-Kamenogorsk, 2011, s. 16.
- [12] Rybin E.N., Valyukhov V.P., Kuptsov V.D.: Termodinamika nukleatsii peresyschennogo para na molekulyarnykh yadakh kondensatsii, ZhTF. T. 82, vyp. 8, 2012, s. 22 - 27.
- [13] Segeda T.A., Kurlapov L.I.: Osobennosti kineticheskikh effektiv v molekulyarno-klaster'nykh smesyakh gazov, Materialy 5-i mezhdunarodnoi nauchnoi konf. «Khaos i struktury v nelineinykh sistemakh. Teoriya i eksperiment». Astana, 2006, Ch. 2, s. 203 - 206.

Alexey Bublikov

e-mail: bublikov.alexey@gmail.com

Master's Degree student «Computing and Software» of D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university. The winner of the contest «Best degree work of 2012». The field of the scientific interests includes informational part of ecological monitoring of atmospheric air and cluster model of matters.



Ph.D. Natalia Denisova

e-mail: ndenisova@ektu.kz

Head of the Information Systems sub-department of D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university. Defence of the thesis was in 2006. N. Denisova has published 81 publications in the last 5 years. She actively takes part in basic and applied researches in such spheres like education, ecology, using of mineral resources.



Ph.D. Tamara Segeda

e-mail: tsegeda@ektu.kz

Head of the Industrial Power Engineering sub-department of D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university. Defence of the thesis was in 2006. The field of researches includes problems of energy processes optimization, renewable energy, cluster model of matters.



otrzymano/received: 19.04.2013

przyjęto do druku/accepted: 12.11.2013

ANALIZA STEROWANIA UŁAMKOWEGO $P^{\lambda}D^{\mu}$ MOCĄ REAKTORA JĄDROWEGO

Bartosz Puchalski, Kazimierz Duzinkiewicz, Tomasz Rutkowski

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Inżynierii Systemów Sterowania

Streszczenie. W artykule przedstawiono syntezę regulatora $P^{\lambda}D^{\mu}$ niecałkowitego rzędu dla potrzeb sterowania mocą reaktora jądrowego lekko wodnego określanego, jako typu PWR (Pressurized Water Reactor). W tym celu wykorzystano nieliniowy model matematyczny reaktora PWR o parametrach skupionych obejmujący procesy generacji i wymiany ciepła oraz termicznych efektów reaktywnościowych. Nastawy regulatora $P^{\lambda}D^{\mu}$ niecałkowitego rzędu dobrano w sposób optymalny, minimalizując klasyczne całkowite wskaźniki jakości określone na bazie odpowiedzi skokowej. Na przykładzie najpierw układu oscylacyjnego drugiego rzędu, a potem na przykładzie liniowego modelu reaktora PWR otrzymanego z linearyzacji modelu nieliniowego w określonym punkcie pracy wykazano, że proponowany ułamkowy regulator $P^{\lambda}D^{\mu}$ może stać się alternatywą dla powszechnie stosowanego klasycznego regulatora PID.

Słowa kluczowe: regulator ułamkowy, regulator PID, reaktor PWR, zaawansowane systemy sterowania, model punktowy kinetyki neutronów

ANALYSIS OF FRACTIONAL ORDER $P^{\lambda}D^{\mu}$ POWER CONTROL OF A NUCLEAR REACTOR

Abstract. In this paper, the synthesis of fractional –order $P^{\lambda}D^{\mu}$ power controller for the PWR (Pressurized Water Reactor) nuclear reactor is presented. For this purpose the point kinetics and heat transfer nonlinear model of the PWR nuclear reactor with thermal feedback mechanisms from lumped fuel and coolant temperature was used. The parameters of the fractional-order $P^{\lambda}D^{\mu}$ controller were tuned due to optimization of the standard integral performance indexes determined on the basis of the step response. Firstly – the typical second order oscillatory dynamic system and secondly – the linear PWR nuclear reactor model derived from nonlinear model was used to show that the fractional order $P^{\lambda}D^{\mu}$ controller may become a alternative to standard PID controller.

Keywords: fractional order control, PID controller, PWR reactor, advanced control systems, point kinetics model

Wstęp

W niniejszym artykule została podjęta próba zbadania możliwości poprawy jakości regulacji mocy reaktora jądrowego lekko wodnego, określanego jako typu PWR. Próba ta została przeprowadzona w oparciu o rozbudowaną wersję powszechnie stosowanego klasycznego algorytmu regulacji PID. Rozbudowana wersja ww. regulatora posiada dwa dodatkowe stopnie swobody, niecałkowity rząd operatora całkowania λ oraz niecałkowity rząd operatora różniczkowania μ , co prowadzi do algorytmu regulatora niecałkowitego rzędu $P^{\lambda}D^{\mu}$.

Dla potrzeb syntezy algorytmu $P^{\lambda}D^{\mu}$ wykorzystany zostanie wstępnie model przykładowego układu oscylacyjnego drugiego rzędu a następnie zlinearyzowany model matematyczny dynamiki reaktora PWR obejmujący model punktowy kinetyki neutronów z sześcioma grupami prekursorów neutronów opóźnionych (model generacji ciepła), model wymiany ciepła oraz model efektów reaktywnościowych. Model zbudowano dla wielkości mierzonych w wartościach względnych. Model reaktora PWR zawiera w swojej strukturze parametry zależne od stanu – względnej gęstości neutronów.

W rozdziale pierwszym przedstawiono model reaktora PWR który zostanie wykorzystany do syntezy regulatora $P^{\lambda}D^{\mu}$.

W rozdziale drugim przedstawiono syntezę ułamkowego regulatora $P^{\lambda}D^{\mu}$.

W rozdziale trzecim przedstawiono wyniki badań symulacyjnych porównujące jakość sterowania klasycznego regulatora PID oraz ułamkowego regulatora $P^{\lambda}D^{\mu}$ w oparciu o całkowite kryteria jakości określone z odpowiedzi skokowej.

W ostatnim rozdziale zestawiono podsumowanie wyników.

1. Model punktowy kinetyki i wymiany ciepła (linearyzacja)

Dynamika szybkozmiennych procesów reaktora rozważana dla długich horyzontów czasowych przedstawia się za pomocą nieliniowych równań różniczkowych ze zmieniającymi się parametrami [13]. Parametry te są funkcjami odpowiednich wielkości charakteryzujących środowisko i stan rdzenia reaktora np. skład izotopowy rdzenia, wytworzona energia cieplna [1, 13].

Dla krótkich horyzontów czasowych, przy rozważaniu jedynie szybkich procesów zachodzących w rdzeniu, zmienność parametrów wynikającą z przebiegu procesów wolnozmiennych

można zaniedbać. Z tego powodu rozważany model nie uwzględnia procesów wolnozmiennych, takich jak zatrucie i wypalanie paliwa. Można je pominąć gdyż powodowane ich zachodzeniem zmiany reaktywności ujawniają się dopiero po zaniku przebiegów przejściowych procesów szybkozmiennych związanych z kinetyką neutronów (generacją mocy), wymianą ciepła, oraz temperaturowymi zmianami reaktywności. Skala czasowa procesów wolnozmiennych wynosi od kilku godzin do kilku dni, zaś szybkozmiennych ułamki sekund do kilkunastu minut [1].

Dla opisu szybkich procesów reaktora w niniejszym artykule wykorzystuje się model punktowy (model o parametrach skupionych) który jest aproksymacją modelu przestrzennego [2]. Reaktory PWR są reaktorami w których w łańcuchowej reakcji rozszczepienia uczestniczą neutrony natychmiastowe, powstające w akcie rozszczepienia jądra izotopu paliwowego i neutrony opóźnione, emitowane w akcie rozpadów promieniotwórczych produktów wcześniejszego rozszczepienia (prekursorów). W niniejszym artykule wykorzystano model punktowy kinetyki neutronów z sześcioma grupami prekursorów neutronów opóźnionych zapisany w postaci równań (7-8) wraz z modelem cieplno-hydraulicznym przedstawionym za pomocą zależności (10-14) – stanowią one rozważany w artykule model generacji i wymiany ciepła w reaktorze typu PWR.

Model punktowy kinetyki neutronów z sześcioma grupami prekursorów neutronów opóźnionych, przy założeniu utrzymywania stanu tych procesów blisko stanu krytycznego równowagi ($\rho=0$, $n \neq 0$), przedstawia się w następującej ogólnej postaci [1]:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta}{\Lambda} n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) \quad (1)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} n(t) - \lambda_i C_i(t) \quad i = 1, \dots, 6 \quad (2)$$

gdzie: n – średnia gęstość neutronów termicznych, C_i – gęstość jąder prekursorów i -tej grupy neutronów opóźnionych, ρ – reaktywność, β – udział neutronów opóźnionych pochodzących z jednego rozszczepienia w liczbie wszystkich neutronów powstających w tym procesie, β_i – udział i -tej grupy neutronów opóźnionych pochodzących z jednego rozszczepienia w liczbie wszystkich neutronów powstających w tym procesie, Λ – efektywny czas życia neutronów natychmiastowych [s], λ_i – stała rozpadu jąder prekursorów dla i -tej grupy neutronów opóźnionych [s^{-1}].

Model kinetyki (1-2) poddaje się normalizacji względem stanu ustalonego gęstości neutronów odpowiadającego mocy cieplnej reaktora na poziomie ustalonym 100%, wykorzystując następujące podstawienia:

$$n(t) = n_{100} n_r(t) \quad (3)$$

$$C_i = C_{i100} c_{ri}(t) \quad (4)$$

$$C_{i100} = \frac{\beta_i n_{100}}{\Lambda \lambda_i} \quad (5)$$

$$\rho(t) = \delta\rho \quad (6)$$

gdzie: n_{100} – średnia gęstość neutronów termicznych w stanie ustalonym, C_{i100} – średnia gęstość jąder prekursorów dla i -tej grupy neutronów opóźnionych w stanie ustalonym, n_r – względna gęstość neutronów termicznych, c_{ri} – względna gęstość prekursorów neutronów opóźnionych i -tej grupy, $\delta\rho$ – reaktywność.

Powyższe zapisy prowadzą do następującej, znormalizowanej postaci modelu kinetyki [13]:

$$\frac{dn_r(t)}{dt} = \frac{\delta\rho - \beta}{\Lambda} n_r(t) + \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^6 \beta_i c_{ri} \quad (7)$$

$$\frac{dc_{ri}(t)}{dt} = \lambda_i n_r(t) - \lambda_i c_{ri}(t), \quad i = 1, \dots, 6 \quad (8)$$

Bazując na danych zawartych w [13] wartości poszczególnych parametrów znormalizowanego modelu kinetyki (7-8) zestawiono w tabeli 1 [5,13].

W modelu przyjęto, że reaktor znajduje się w połowie cyklu paliwowego (okres czasu przebywania paliwa w reaktorze jądrowym) ze stężeniem ksenonu w stanie równowagi [13].

Tabela 1. Parametry sześciu grup neutronów opóźnionych dla środka kampanii paliwowej

i	β_i	λ_i
1	0,0001745	0,01255
2	0,001257	0,0307
3	0,0011405	0,1165
4	0,0023495	0,3125
5	0,000821	1,1900
6	0,0002765	3,15
$\beta = 0,006019; \lambda = 0,150; A = 0,00002$		

Wykorzystując znormalizowany model kinetyki (7-8), moc cieplną reaktora można wyrazić za pomocą następującego równania [7]:

$$P_a(t) = P_{a100} n_r(t) \quad (9)$$

gdzie: $P_a(t)$ – moc cieplna [MW_{th}], P_{a100} – moc w stanie ustalonym [MW_{th}].

Model cieplno-hydrauliczny będący kolejnym elementem modelu generacji i wymiany ciepła, przedstawia się w następującej postaci [7,13]:

$$P_c(t) = \Omega(T_f - T_c) \quad (10)$$

$$P_e(t) = M(T_i - T_e) \quad (11)$$

$$T_c = \frac{T_i + T_e}{2} \quad (12)$$

gdzie: Ω – współczynnik przewodności cieplnej pomiędzy paliwem a chłodziwem [MW/°C], M – przepływ masowy pomnożony przez pojemność cieplną chłodziwa [MW/°C], T_f – średnia temperatura paliwa jądrowego [°C], T_c – średnia temperatura chłodziwa reaktora [°C], T_i – temperatura chłodziwa opuszczającego reaktor, T_e – temperatura chłodziwa wpływającego do reaktora.

Równania (10-12) przedstawiają odpowiednio przepływ ciepła z paliwa do chłodziwa $P_c(t)$ oraz ciepło unoszone z rdzenia

reaktora przez chłodziwo $P_e(t)$. Na ich podstawie można zapisać równania różniczkowe o parametrach skupionych określające średnią temperaturę paliwa oraz chłodziwa w następującej formie [7]:

$$f_f P_a(t) = \mu_f \frac{dT_f(t)}{dt} + P_c(t) \quad (13)$$

$$(1 - f_f) P_a(t) + P_c(t) = \mu_c \frac{dT_c(t)}{dt} + P_e(t) \quad (14)$$

gdzie: f_f – współczynnik określający udział mocy generowanej w paliwie jądrowym do całkowitej mocy generowanej w objętości rdzenia reaktora, μ_f – pojemność cieplna paliwa jądrowego [MWs/°C], μ_c – pojemność cieplna chłodziwa reaktora [MWs/°C].

Typowe wartości parametrów oraz nominalne wartości zmiennych występujących w równaniach (9-14) odpowiadające pracy reaktora z mocą znamionową (100% mocy projektowej reaktora) dla reaktora jądrowego typu PWR znajdującego się w połowie cyklu paliwowego zestawiono w Tabeli 2 [13].

Tabela 2. Parametry typowego reaktora PWR w środku kampanii paliwowej

$\alpha_r = 0,0145$	$\mu_f = 26,3$ [MWs/°C]	$^*T_{c0} = 302,2$ [°C]	$^*n_{r0} = 1$
$f_f = 0,98$	$T_e = 290$ [°C]	$^*T_{f0} = 673,8$ [°C]	
$^*T_{i0} = 314,4$ [°C]	$^*P_{a0} = 2500$ [MW _{th}]	$^*c_{ri} = 1 \quad i = 1, \dots, 6$	

Wartości zmiennych oznaczone symbolem (*) w tabeli 2 są dalej warunkami początkowymi dla modelu kinetyki (7-9) oraz dla modelu cieplno hydraulicznego (10-14).

Wartości temperatur T_{c0} , T_{f0} oraz parametr α_r (17-18) są też zmiennymi i parametrami modelu efektów reaktywnościowych który przedstawiony został w następnym podrozdziale. Wartości początkowe temperatur T_{c0} , T_{f0} można otrzymać z następujących zależności [13]:

$$T_{c0} = \frac{P_{a0}}{2M} + T_e \quad (15)$$

$$T_{f0} = \frac{f_f P_{a0}}{\Omega} + T_{c0} \quad (16)$$

1.1. Model efektów reaktywnościowych

Rozważając dynamikę generacji i wymiany ciepła w reaktorze jądrowym dla krótkich horyzontów czasowych w bilansie reaktywności $\delta\rho$ (17) wystarczy uwzględnić następujące składniki: efekt reaktywnościowy związany ze zmianą położenia kaset sterujących w stosunku do ich położenia odpowiadającego stanowi nominalnemu $\delta\rho_s$, oraz efekty reaktywnościowe temperatur chłodziwa $\delta\rho_c$ i paliwa $\delta\rho_f$ związane z odchyleniami tych temperatur od stanu nominalnego. Całościowy model efektów reaktywnościowych można dla krótkich horyzontów czasowych przedstawić w następującej ogólnej postaci [13]:

$$\delta\rho = \delta\rho_r + \delta\rho_c + \delta\rho_f = \alpha_r(h_r - h_{r0}) + \alpha_c(T_c - T_{c0}) + \alpha_f(T_f - T_{f0}) \quad (17)$$

gdzie: α_r – współczynnik reaktywnościowy od zmiany położenia kaset sterujących, α_c [1/°C] – współczynnik reaktywnościowy od zmiany temperatury chłodziwa, α_f [1/°C] – współczynnik reaktywnościowy od zmiany temperatury paliwa, h_{r0} – położenie kaset w stanie nominalnym (100% mocy reaktora), T_{c0} – temperatura chłodziwa reaktora w stanie nominalnym [°C], T_{f0} – temperatura paliwa jądrowego w stanie nominalnym [°C].

Przebieg efektu reaktywnościowego $\delta\rho_r$ w czasie można opisać za pomocą równania różniczkowego [13]:

$$\frac{d\delta\rho_r}{dt} = \frac{d\delta\rho_r}{dh_r} \cdot \frac{dh_r}{dt} = \alpha_r \cdot \frac{dh_r}{dt} = \alpha_r \cdot h_r(t), \quad \delta\rho_r(0) = 0 \quad (18)$$

Położenie kaset sterujących wyrażane jest w niniejszym artykule w jednostkach względnych odniesionych do górnej krawędzi rdzenia, zatem:

$$0 < h_r < 1 \quad (19)$$

Również wartość h_{r0} spełnia warunek (19). Sterowanie mocą reaktora realizowane jest na dwa sposoby, charakteryzujące się różną dynamiką układów wykonawczych [1]. Pierwszy sposób – sterowanie przez zmianę stężenia kwasu borowego w chłodziwie reaktora jest procesem powolnym (skala czasu – godziny) i nie będzie wykorzystywany z omówionych wcześniej powodów. Drugi sposób – sterowanie przez zmianę położenia kaset sterujących z pochłaniaczami neutronów w rdzeniu jest procesem szybkim (skala czasu – sekundy, minuty) i będzie wykorzystany w niniejszym artykule. Podczas pracy reaktora jądrowego z mocą nominalną, pręty regulacyjne zagłębione są w rdzeń reaktora na pewną głębokość.

Jak wcześniej wspomniano, w przedstawianych w niniejszym artykule wynikach badań, przyjęto że reaktor znajduje się w połowie cyklu paliwowego. Reaktor jest obiektem niestacjonarnym. Charakteryzujące jego dynamikę współczynniki zależą od czasu, ale też od aktualnego stanu obiektu. Przykładowe wartości współczynników reaktywnościowych dla trzech różnych okresów kampanii paliwowej (początek, środek, koniec) oraz dla mocy reaktora na poziomie 10% i 100% przedstawiono w tabeli 3 [13].

Tabela 3. Współczynniki reaktywnościowe od temperatury chłodziwa i paliwa dla 10% i 100% mocy reaktora i trzech różnych okresów kampanii paliwowej

	początek		środek		koniec	
	10%	100%	10%	100%	10%	100%
$\alpha_c (10^{-5})$	-2,50	-4,71	-17,7	-21,3	-41,9	-47,4
$\alpha_f (10^{-5})$	-3,86	-3,06	-4,14	-3,24	-4,42	-3,43

Zależności parametrów modelu od względnej gęstości neutronów n_r , podają zależności podane niżej, które zaczerpnięto z [6, 7]:

$$\alpha_c(n_r) = (-4n_r - 17,3) \cdot 10^{-5} \quad \%_C \quad (20)$$

$$\alpha_f(n_r) = (n_r - 4,24) \cdot 10^{-5} \quad \%_C \quad (21)$$

$$\Omega(n_r) = \left(\frac{5}{3}n_r + 4,933 \right) \text{ MW}\%_C \quad (22)$$

$$\mu_c(n_r) = \left(\frac{160}{9}n_r + 54,022 \right) \text{ MW}\%_C \quad (23)$$

$$M(n_r) = (28n_r + 74) \text{ MW}\%_C \quad (24)$$

1.2. Linearyzacja

Przedstawiony powyżej model punktowy kinetyki i wymiany ciepła reaktora PWR jest typowym przykładem systemu nieliniowego. Klasyczny regulator PID jest elementem liniowym dlatego też powinien być w głównej mierze stosowany w liniowych systemach sterowania. Jeżeli jednak założy się że dany obiekt nieliniowy pracuje wokół ustalonego punktu pracy z niewielkimi odchyłkami od tego punktu, to istnieje możliwość aproksymacji obiektu nieliniowego jego liniowym ekwiwalentem. Taki liniowy odpowiednik jest uważany jako równoważny nieliniowemu obiektowi w wąskim zakresie zmian punktu pracy. Linearyzacja modelu nieliniowego w bardzo dużym stopniu upraszcza syntezę regulatora PID w tym także badanego regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$ niecałkowitego rzędu ponieważ spełnione są wtedy postulaty zasady superpozycji [4, 9].

Do celów syntezy regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$, przedstawiony wcześniej nieliniowy model reaktora PWR został zlinearyzowany w punkcie pracy wynoszącym 85% mocy projektowej. Punkt ten jest środkowym punktem przedziału mocy od 70% do 100%, który jest typowym obszarem mocy elektrowni jądrowej [1]. Transmittancja liniowego modelu reaktora przedstawia się następująco:

$$\frac{P(s)}{U(s)} = \frac{b_8 s^8 + \dots + b_1 s + b_0}{s^{10} + a_9 s^9 + \dots + a_1 s + a_0} \quad (25)$$

Odpowiednie współczynniki równania (25) przedstawione zostały w tabeli 4.

Tabela 4. Parametry transmittancji modelu liniowego reaktora PWR w punkcie pracy wynoszącym 85% mocy nominalnej.

b	Wartość	a	Wartość
b_8	616,2	a_9	324,3
b_7	4014	a_8	2050
b_6	8865	a_7	4575
b_5	8392	a_6	4677
b_4	3475	a_5	2328
b_3	653,1	a_4	534,8
b_2	52,2	a_3	47,34
b_1	1,441	a_2	1,304
b_0	0,01107	a_1	0,009836
		a_0	0

2. Synteza ułamkowego regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$

Ułamkowy rachunek całkowy stanowi uogólnienie całkowania i różniczkowania na ułamkowy operator ${}_a D_t^{\alpha}$, gdzie a i t symbolizują granice operacji, natomiast $\alpha \in R$. Ciągły operator całkowo-różniczkowy zdefiniowany jest jako [10]:

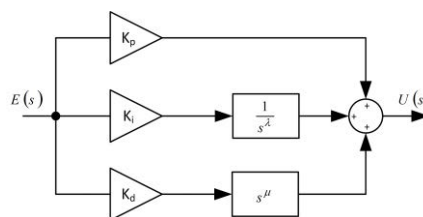
$${}_a D_t^{\alpha} = \begin{cases} \frac{d^{\alpha}}{dt^{\alpha}}, & \alpha > 0, \\ 1, & \alpha = 0, \\ \int_a^t (dt)^{\alpha} & \alpha < 0. \end{cases} \quad (26)$$

Ułamkowy regulator $PI^{\lambda}D^{\mu}$ stanowi rozszerzenie koncepcji algorytmu sterowania PID o dwa dodatkowe stopnie swobody λ i μ . Parametry λ oraz μ symbolizują niecałkowity rząd operatora całkowania $s^{-\lambda}$ oraz operatora różniczkowania s^{μ} . Ogólna postać transmittancyjna regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$ przedstawiona jest w postaci [11]:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_i s^{-\lambda} + K_d s^{\mu} \quad (27)$$

gdzie: K_p – wzmacnienie części proporcjonalnej, K_i – wzmacnienie części całkującej, K_d – wzmacnienie części różniczkującej.

Struktura regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$ została przedstawiona na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura ułamkowego regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$

Nastawy parametrów ułamkowego regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$ oraz klasycznego regulatora PID służącego jako porównanie zostały dobrane w sposób optymalny wykorzystując algorytm ewolucyjny minimalizujący całkowite kryterium określone z odpowiedzi skokowej przedstawione w ogólnej postaci jako [3]:

$$J_n(\theta) = \int_0^{\infty} [t^n e(\theta, t)]^2 dt \quad (28)$$

gdzie: $e(\theta, t)$ – sygnał uchybu z wektorem θ parametrów regulatora, t – czas regulacji.

Dla $n = 0$ oraz 1 otrzymujemy całkowite kryteria jakości wykorzystane w syntezie regulatora:

$$ISE(\theta) = \int e^2(\theta, t) dt \quad (29)$$

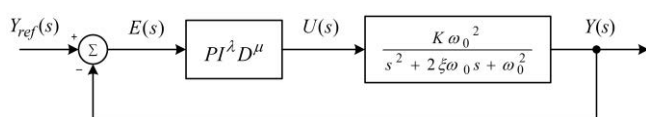
$$ITSE(\theta) = \int t e^2(\theta, t) dt \quad (30)$$

Algorytmy ewolucyjne [8] poszukują rozwiązania optymalnego w oparciu o mechanizmy doboru naturalnego oraz dziedziczności. Wykorzystują one zasadę przeżycia najlepszych rozwiązań z systematyczną wymianą informacji pomiędzy pokoleniami. W każdym pokoleniu powstają nowe rozwiązania utworzone z połączenia fragmentów najlepiej przystosowanych osobników poprzedniego pokolenia (krzyżowanie), dodatkowo wprowadza się elementy mutacji i elityzmu w celu poprawy efektywności poszukiwań. Funkcja przystosowania jest postaci:

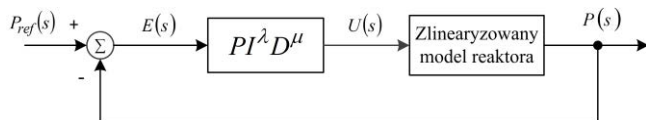
$$\min_{\theta} [J_n(\theta)] \text{ dla } n \in \{0,1\} \quad (31)$$

Zagadnienie to jest nieliniowe, niewypukłe i posiada minima lokalne. Wybór algorytmu genetycznego podyktowany był chęcią znalezienia rozwiązania globalnego, czego nie gwarantują klasyczne algorytmy optymalizacji.

Struktury układów regulacji wykorzystane do syntezy regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$ przedstawione są na rysunkach 2 oraz 3.



Rys. 2. Struktura układu regulacji z modelem obiektu oscylacyjnego



Rys. 3. Struktura układu regulacji ze zlinearyzowanym modelem reaktora PWR

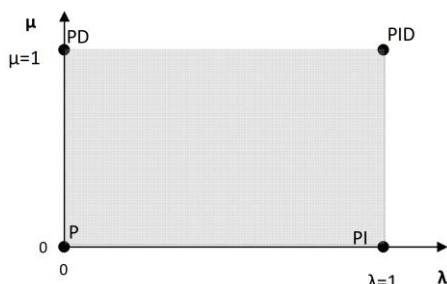
Parametry modelu układu oscylacyjnego z rysunku 2 przedstawiają się następująco: $K = 0,8$ – wzmacnienie w stanie ustalonym, $\omega_0 = 1$ [rad/s] – częstotliwość drgań własnych, $\xi = 0,2$ – współczynnik tłumienia.

3. Wyniki badań symulacyjnych

Wyniki badań stanowią porównanie działania dwóch regulatorów: klasycznego regulatora PID oraz ułamkowego regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$. Badania symulacyjne zostały przeprowadzone w środowisku szybkiego prototypowania Matlab/Simulink [15] z wykorzystaniem biblioteki FOMCON [12, 14], która oferuje zestaw narzędzi pozwalających na programową implementację elementów związanych z ułamkowymi systemami sterowania oraz modelowanie obiektów z wykorzystaniem ułamkowego rachunku całkowego.

W procesie optymalizacji narzucono ograniczenia wyłącznie na zakres wartości parametrów λ oraz μ regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$. Parametry te były dobierane z przedziału wartości $\lambda, \mu \in \langle 0,1 \rangle$.

Dobór parametrów z przedziału $\langle 0,1 \rangle$ oznacza eksplorację pełnego pola zmian parametrów λ, μ przedstawionego na rysunku 4 [10]. Pole to obejmuje wszystkie możliwe ułamkowe stopnie operatora całkowania i różniczkowania oraz stopnie całkowite 0 lub 1



Rys. 4. Pole zmian parametrów λ, μ ułamkowego regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$

3.1. Model układu oscylacyjnego

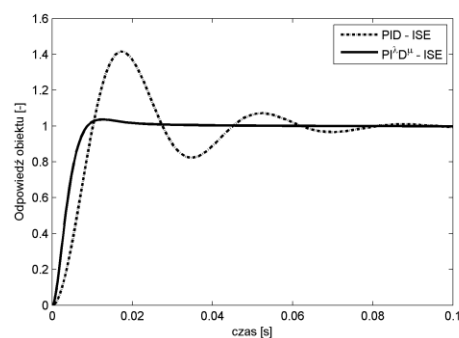
W pierwszej kolejności został przeprowadzony test porównujący klasyczny regulator PID oraz regulator ułamkowy $PI^{\lambda}D^{\mu}$ w układzie sterowania z modelem przykładowego układu oscylacyjnego. W Tabeli 5 zestawiono optymalne wartości parametrów regulatorów oraz wartości funkcji celu J dla poszczególnych zestawów parametrów. Proces optymalizacji był kończony gdy zmiana średniej ważonej wartości funkcji celu (28-30) przystosowania osobników populacji była mniejsza niż wartość $1e-6$ [15]. W przypadku uwzględnianych kryteriów ISE i ITSE wartości funkcji celu J dla zastosowania regulatora ułamkowego $PI^{\lambda}D^{\mu}$ była niemal dwukrotnie mniejsza niż w przypadku zastosowania regulatora PID.

Tabela 5. Zestawienie parametrów regulatorów współpracujących z modelem układu drugiego rzędu.

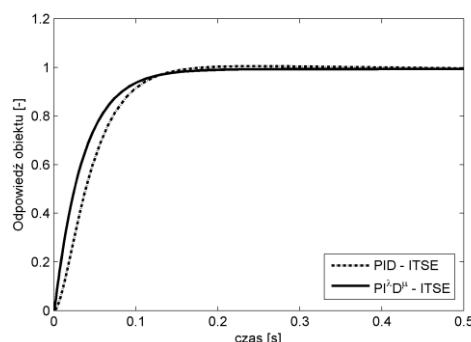
	ISE		ITSE	
	PID	$PI^{\lambda}D^{\mu}$	PID	$PI^{\lambda}D^{\mu}$
Kp	36,9561	37,7809	3,7791	3,7972
Ki	37,7701	38,2571	24,4479	28,9670
Kd	44,2748	52,7525	2,5583	3,9154
λ	-	0,9921	-	0,9774
μ	-	0,9360	-	0,9988
J	0,0069	0,0029	$7,0256E^{-4}$	$3,504E^{-4}$
Czas symulacji	20[s]			

Na rysunkach 5 i 6 zestawiono odpowiedzi układów sterowania na wymuszenie będące skokiem jednostkowym. rysunek 5 przedstawia odpowiedzi układów sterowania w których parametry regulatorów zostały dobrane według kryterium ISE (29), natomiast rysunek 6 przedstawia odpowiedzi układów sterowania w których parametry regulatorów zostały dobrane według kryterium ITSE (30).

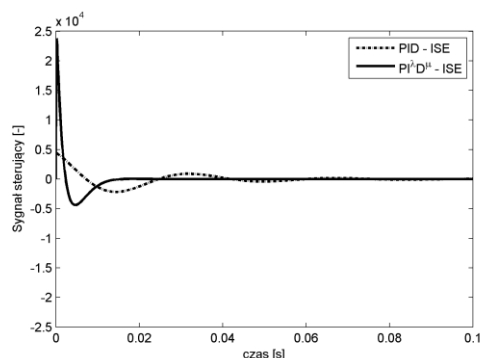
Na rysunkach 7 i 8 zestawiono przebiegi sygnałów sterownia $u(t)$ na wyjściu z regulatorów w tej samej kolejności czyli najpierw kryterium ISE a następnie kryterium ITSE doboru parametrów regulatora.



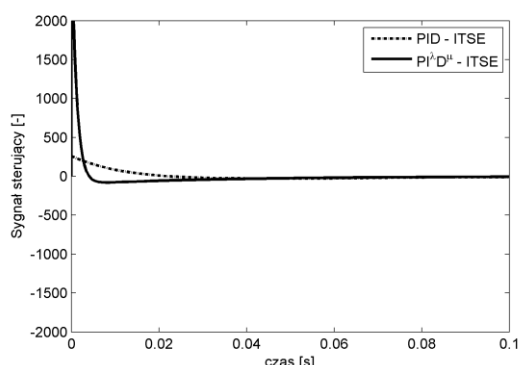
Rys. 5. Odpowiedź układu sterowania z modelem drugiego rzędu na skok jednostkowy – nastawy regulatorów dobrane według kryterium ISE



Rys. 6. Odpowiedź układu sterowania z modelem drugiego rzędu na skok jednostkowy – nastawy regulatorów dobrane według kryterium ITSE



Rys. 7. Sygnały sterujące z regulatorów, układ sterowania z modelem drugiego rzędu – nastawy regulatorów dobrane według kryterium ISE



Rys. 8. Sygnały sterujące z regulatorów, układ sterowania z modelem drugiego rzędu – nastawy regulatorów dobrane według kryterium ITSE

Wyniki badań z modelem układu drugiego rzędu pokazują iż dla przyjętego sposobu optymalizacji uzyskano przewagę regulatora ułamkowego nad jego klasycznym odpowiednikiem. Na rysunku 5 przedstawiającym sygnał odpowiedzi modelu obiektu z wykorzystaniem regulatorów których nastawy dobrane zostały według kryterium ISE można zaobserwować krótszy czas regulacji oraz praktycznie brak przeregulowania w przypadku zastosowania regulatora ułamkowego. Na rysunku 6 gdzie przedstawiono odpowiedzi obiektu drugiego rzędu z regulatorami nastrojonymi według kryterium ITSE można zauważyć że odpowiedzi te są zbliżone do siebie, jednak układ sterowania z regulatorem ułamkowym cechuje się krótszym czasem regulacji.

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiających sygnały sterujące z regulatorów można zaobserwować znacznie większe wartości sygnału sterującego w przypadku regulatora ułamkowego. Jest to cecha niepożądana, gdyż w rzeczywistych systemach sterowania występujące pomiędzy regulatorem a obiektem urządzenie wykonawcze przy zbyt dużych wartościach sygnałów wejściowych wchodzi w obszar nasycenia. Należy zatem unikać takich sygnałów sterujących.

3.2. Zlinearyzowany model reaktora PWR

Testy z wykorzystaniem modelu obiektu drugiego rzędu pokazują znacznie lepszą jakość sterowania regulatora ułamkowego w stosunku do swojego klasycznego odpowiednika. W tej części zostaną przedstawione wyniki symulacji z wykorzystaniem liniowego modelu reaktora PWR zlinearyzowanego z punkcie pracy odpowiadającym 85% mocy projektowej. Sygnałem wymuszającym w tym przypadku jest również skok jednostkowy (1% mocy).

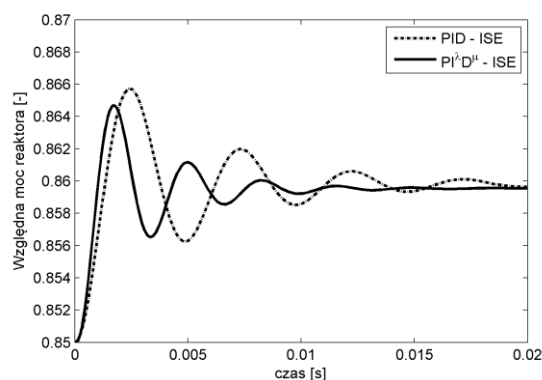
W Tabeli 6 zestawiono optymalne wartości parametrów regulatorów oraz wartości funkcji celu J dla poszczególnych zestawów parametrów. Jak poprzednio proces optymalizacji był kończony gdy zmiana średniej ważonej wartości funkcji celu (28-30) przystosowania osobników populacji była mniejsza niż wartość $1e-6$ [15]. Również w tym przypadku, dla zastosowania regulatora ułamkowego $PI^λD^μ$, wartości funkcji

celu J uwzględnionych kryteriów ISE i ITSE były mniejsze niż w przypadku zastosowania regulatora PID.

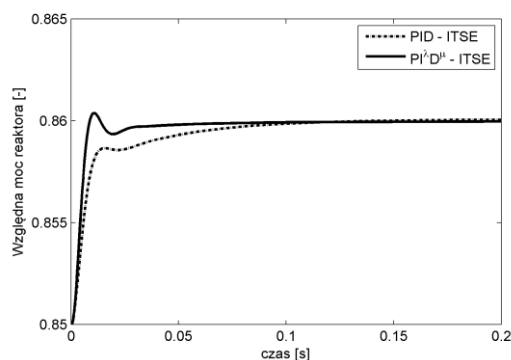
Tabela 6. Zestawienie parametrów regulatorów współpracujących z modelem liniowym reaktora PWR

	ISE		ITSE	
	PID	$PI^λD^μ$	PID	$PI^λD^μ$
K_p	29,4880	15,7786	37,9765	26,0633
K_i	21,5358	10,9234	21,9195	29,6072
K_d	27,0478	15,9209	0,7246	26,6315
$λ$	-	0,2768	-	0,3244
$μ$	-	0,8907	-	0,3029
J	$1,5485E^{-7}$	$6,6362E^{-8}$	$6,7603E^{-9}$	$1,3189E^{-9}$
Czas symulacji	20[s]			

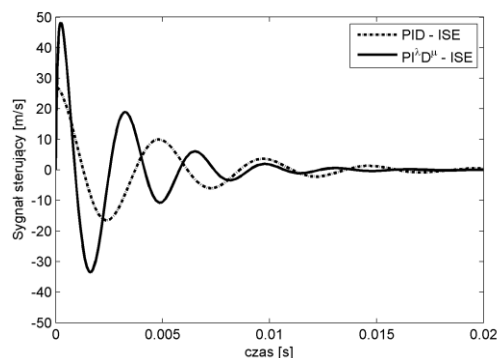
Na rysunkach 9 i 10 zestawiono odpowiedzi układu sterowania ze zlinearyzowanym modelem reaktora PWR na wymuszenie będące skokiem jednostkowym. Natomiast na rysunkach 11 i 12 zestawiono przebiegi sygnałów sterujących z regulatorów.



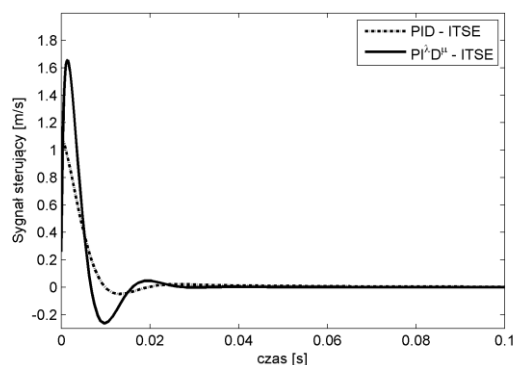
Rys. 9. Odpowiedzi układu sterowania ze zlinearyzowanym modelem reaktora PWR na skok jednostkowy – 1% mocy projektowej – nastawy regulatorów dobrane według kryterium ISE



Rys. 10. Odpowiedzi układu sterowania ze zlinearyzowanym modelem reaktora PWR na skok jednostkowy – 1% mocy projektowej – nastawy regulatorów dobrane według kryterium ITSE



Rys. 11. Sygnały sterujące z regulatorów w układzie sterowania ze zlinearyzowanym modelem reaktora PWR – nastawy regulatorów dobrane według kryterium ISE



Rys. 12. Sygnały sterujące z regulatorów w układzie sterowania ze zlinearyzowanym modelem reaktora PWR – nastawy regulatorów dobrane według kryterium ITSE

W przedstawionych wynikach badań symulacyjnych z wykorzystaniem zlinearyzowanego modelu reaktora PWR również można zaobserwować że jakość sterowania regulatora ułamkowego $PI^{\lambda}D^{\mu}$ jest lepsza w porównaniu do klasycznego odpowiednika PID. Na rysunkach 9 i 10 wyraźnie widać krótsze czasy regulacji. Na rysunku 9 gdzie parametry regulatorów zostały dobrane optymalnie z uwzględnieniem kryterium ISE można również zauważyć że regulator ułamkowy powoduje mniejsze przeregulowanie.

Tak jak w symulacjach z modelem drugiego rzędu oscylacyjnym, tak i tu, regulator ułamkowy generuje znacznie większe wartości sygnałów sterujących. W przypadku reaktora PWR może to powodować konieczność wprowadzenia bardziej zaawansowanych układów wykonawczych wpływających na położenie kaset sterujących w rdzeniu reaktora. W innym przypadku systemy sterowania należy projektować w taki sposób aby nie wchodzić w obszary nasycenia elementów wykonawczych. Ten warunek powinno się uwzględnić na etapie optymalnego doboru parametrów regulatora w formie ograniczeń w algorytmie optymalizacji. Każdy regulator a w szczególności regulator ułamkowy nie powinien powodować wchodzenia w strefę nasycenia urządzenia wykonawczego.

4. Podsumowanie wyników

W niniejszym artykule, bazując na badaniach symulacyjnych wykazano że ułamkowy regulator $PI^{\lambda}D^{\mu}$ stanowi dobrą alternatywę dla swojego klasycznego odpowiednika. Jakość regulacji regulatora $PI^{\lambda}D^{\mu}$ jest zadowalająca i przewyższa pod względem czasu regulacji (rys. 5, 6, 9, 10) oraz pod względem przeregulowań (rys. 5, 9) klasyczny regulator PID. Jako wadę regulatora ułamkowego można wymienić generowanie zbyt dużych wartości sygnału sterującego. Dodatkowo wartości sygnału sterującego generowane przez regulator ułamkowy przewyższają wartości sygnału sterującego generowane przez klasyczny regulator PID (rys. 7, 8, 11, 12). Ta właściwość może stanowić trudności w przypadku współpracy z urządzeniami wykonawczymi które stanowią nieodzowny element każdego systemu sterownia.

Podziękowania

Badania zostały wsparte przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Strategicznego Projektu Badawczego Nr SP/J/10/176450/12. Autorzy pragną wyrazić podziękowanie za wsparcie.

Literatura

- [1] Ackerman G. (red.): Eksploatacja elektrowni jądrowych. WNT, Warszawa 1987.
- [2] Anglart H.: Nuclear Reactor Dynamics and Stability. Institute of Heat Engineering – Warsaw University of Technology, Warszawa 2013.
- [3] Atherton D. P., Xue Dingyu, Chen YangQuan: Linear Feedback Control. Analysis and design with Matlab. Siam, 2009.
- [4] Cannon R. H. jr.: Dynamika układów fizycznych. WNT, Warszawa 1973.
- [5] Duzinkiewicz K., Baum G., Michalak A.: Model symulacyjny podstawowych procesów dynamicznych reaktora typu WWR oparty o modele o parametrach skupionych. Raporty. Instytut Elektroenergetyki i Automatyki, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1989.
- [6] Edwards R.M.: Robust Optimal Control of Nuclear Reactor, Ph.D. Thesis in Nuclear Engineering. The Pennsylvania State University, University Park 1991.
- [7] Edwards R.M., Chao-Chee Ku, Kwang Lee Y.: Improved Nuclear Reactor Temperature Control Using Diagonal Recurrent Neural Networks. IEEE Transactions on Nuclear Science vol. 39 no. 6, 1992.
- [8] Goldberg D. E.: Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. Wydanie drugie. WNT, Warszawa 1998
- [9] Ogata K.: Modern control engineering. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, cop. 1970.
- [10] Petráš Ivo Fractional-order nonlinear systems. Modeling, analysis and simulation. Springer.
- [11] Petráš I., YangQuan Chen, Dingyu Xue: Fractional Order Control - a tutorial. American Control Conference June 10-12 2009.
- [12] Tepljakov A., Petlenkov E., Belikov J.: FOMCON: Fractional-Order Modeling and Control Toolbox for Matlab. MIXDES 2011, 18th International Conference, June 16-18, Gliwice 2011.
- [13] Torabi Keivan, Safarzadeh Omid, Rahimi-Moghaddam Abolfazl: Robust Control of the PWR Core Power Using Quantitative Feedback Theory. IEEE Transactions on Nuclear Science, vol.58, no.1:258–266, 2011.
- [14] www.fomcon.net
- [15] www.mathworks.com

Mgr inż. Bartosz Puchalski
e-mail: bpuchalski@eia.pg.gda.pl

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, kierunek studiów Automatyka i Robotyka, specjalność Automatyka (tytuł mgr inż.) oraz kierunek studiów Elektrotechnika (tytuł inż.). Obecnie wykładowca oraz doktorant wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Obszar zainteresowań to: modelowanie i symulacja układów sterowania w pętli sprzętowej, struktury i algorytmy sterowania, systemy czasu rzeczywistego.



Dr hab. inż. Kazimierz Duzinkiewicz
e-mail: k.duzinkiewicz@eia.pg.gda.pl

Studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Gdańskiej, specjalność Automatyka i Metrologia Elektryczna. W roku 1983 także doktorat, a w 2009 r. stopień doktora habilitowanego na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Obszar zainteresowań to: modelowanie i estymacja w warunkach niepewności, struktury i algorytmy sterowania, sterowanie optymalizujące wielkimi systemami.



Dr inż. Tomasz Rutkowski
e-mail: t.rutkowski@eia.pg.gda.pl

W 2004 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie automatyka i robotyka nadany przez Wydział Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Jego obecne zainteresowania naukowe obejmują zaawansowane algorytmy sterowania, algorytmy estymacji, techniki inteligencji obliczeniowej oraz przemysłowe systemy sterowania.



otrzymano/received: 01.10.2013

przyjęto do druku/accepted: 22.11.2013

COMBINED CLONAL NEGATIVE SELECTION ALGORITHM FOR DIAGNOSTICS OF COMBUSTION IN INDIVIDUAL PC BURNER

Andrzej Smolarz¹, Volodymyr Lytvynenko², Olga Kozhukhovskaya³, Konrad Gromaszek¹

¹Lublin University of Technology, Institute of Electronics and Information Technologies, ²Kherson National Technical University. Department of Informatics & Computer Sciences, ³Cherkasy State Technological University, Department of Computer Systems

Abstract. *In pulverised coal (PC) burners that are most widespread in Poland an individual air excess ratio rules an amount of pollution generated, yet there is a lack of method that allows measurement of output parameters of a burner. It is therefore necessary to use indirect methods, which could primarily include acoustic, and optical methods. These methods are non-invasive and can provide virtually not delayed and additionally spatially selective information about the combustion process. Additional problems are generated biomass co-firing. The article shows application of relatively new class of classification methods – the artificial immunology algorithms to the combustion process diagnostics consisting in detection of incorrect air excess in PC burner.*

Keywords: Artificial Immune Systems, industrial diagnostics, pulverised coal burner

HYBRYDOWY ALGORYTM NEGATYWNEJ SELEKCJI KLONALNEJ DO DIAGNOSTYKI SPALANIA W POJEDYNCZYM PALNIKU PYŁOWYM

Streszczenie. *W palnikach pyłowych, które są najbardziej rozpowszechnione w Polsce współczynnik nadmiaru powietrza decyduje o ilości emitowanych zanieczyszczeń, jednak brak metody umożliwiającej pomiar parametrów wyjściowych palnika. Konieczne jest więc stosowanie metod pośrednich, do których można zaliczyć przede wszystkim metody akustyczne i optyczne. Metody te są bezinwazyjne i pozwalają na otrzymanie praktycznie nieopóźnionej i dodatkowo selektywnej przestrzennie informacji o zachodzącym procesie spalania. Dodatkowe problemy powstają przy współspalaniu biomasy. Artykuł przedstawia zastosowanie stosunkowo nowej klasy metod klasyfikacji - sztuczne algorytmy immunologiczne do diagnostyki procesu spalania polegająca na wykrywaniu nieprawidłowej wartości nadmiaru powietrza palnika pyłowego.*

Słowa kluczowe: Sztuczne systemy immunologiczne, diagnostyka przemysłowa, palnik pyłowy

Introduction

Power industry and coal based especially has its important share in air pollution. In order to decrease an amount of toxic substances originated in a combustion process the so-called low emissive combustion technology has been introduced. It generally consists in gradual supply of air, in order to create reduction zones in a flame, what reduces emission of gaseous pollutants e.g. like NO_x. The main advantage of such modifications is relatively low investment cost. Unfortunately, such technology has some adverse side effects. In order to minimise their consequences it is necessary to obtain information about the course of combustion process as well as its adequate control. Both tasks are relatively difficult because of high complexity of the phenomena proceeding during combustion. Commonly used control systems employ process variables such as: flow of the air-pulverised coal mixture from each mill, air fans load, unit power or emission of gasses (CO, O₂, NO_x). There are also successful attempts to replace a classic controller with a neural network one [1, 4]. However, in spite of big complexity, all these systems have one basic disadvantage: the control is based on averaged and heavily delayed measurements. Even the most advanced of recently available control systems is not able to control an individual burner, while an individual air excess ratio rules an amount of pollution generated.

The analysis of the problem let us conclude that there is a lack of method that allows measurement of output parameters of an individual burner like for example air excess level. It is therefore necessary to use indirect methods, which could primarily include acoustic, and optical methods. These methods are non-invasive and can provide virtually not delayed and additionally spatially selective information about the combustion process.

Artificial immunology algorithms are relatively new class of classification methods. This article describes their application to the combustion process diagnostics consisting in detection of incorrect air excess in pulverised coal burner.

1. Artificial immune algorithms

In the 1990s, Artificial Immune System (AIS) emerged as a new computational research field inspired by simulation of biological behavior of Natural Immune System (NIS). The NIS is a very complex biological network with rapid and effective mechanisms for defending the body against a specific foreign body material or pathogenic material called antigen.

During the reactions, the adaptive immune system memorizes the characteristic of the encountered antigen by producing plasma or memory cells. The obtained memory promotes a rapid response of the adaptive immune system to future exposure to the same antigen [8].

In order to respond only to antigen, the immune system distinguishes between what is normal (self) and foreign (non-self or antigen) in the body. The NIS is made up of lymphocytes which are white blood cells circulating throughout the body, mainly of two types, namely B-cells and T-cells. These cells play main role in the process of recognizing and destroying of any antigen [8].

Both T-Cell and B-Cell are created in the bone marrow and they have receptor molecules on their surfaces (the B-cell receptor molecule is also called the antibody). The way B-cells and T-cells identify specific antigen is called a key and key-hole relationship. In this case, antigen and receptor molecule have complementary shapes, therefore they can bind together with a certain binding strength, measured as affinity. After a binding between an antibody's paratope and an antigen's epitope, an antigen-antibody-complex is formed which results in deactivation of the antigen. The B-Cell is already mature after creation in the bone marrow, whereas the T-Cell first becomes mature in the thymus. However a T-Cell becomes mature if and only if it does not have receptors that bind with molecules that represent self cells. Consequently, it is very important that the T-Cell can differentiate between self and non-self cells [8].

The Artificial Immune Systems, as defined by de Castro and Timmis [2] are: "Adaptive systems inspired by theoretical immunology and observed immune functions, principles and models, which are applied to problem solving". However AIS are one of many types of algorithms inspired by biological systems, such as neural networks, evolutionary algorithms and swarm intelligence. There are many different types of algorithms within AIS and research to date has focused primarily on the theories of immune networks, clonal selection and negative selection. These theories have been abstracted into various algorithms and applied to a wide variety of application areas such as anomaly detection, pattern recognition, learning and robotics [3].

1.1. Negative selection algorithm

The negative selection of T-cells is responsible for eliminating the T-cells whose receptors are capable of binding with self-peptides presented by self-MHC molecules. This process guarantees that the T-cells that leave the thymus do not recognize

any self-cell or molecule. Forrest et al. [6] proposed a change detection algorithm inspired by the negative selection of T-cells within the thymus. This procedure was named as negative selection algorithm and was originally applied in computational security. A single type of immune cell was modelled: T-cells were represented as bit strings of length L . The negative selection algorithm of Forrest and collaborators is simple. Given a set of self-peptides, named self-set S , the T-cell receptors will have to be tested for their capability of binding the self-peptides. If a T-cell recognizes a self-peptide – it is discarded, else it is selected as an immune-competent cell and enters the available repertoire A .

The idea of negative selection algorithm is to generate a set of detectors in a complementary set of N and then to use these detectors for binary classification as “Self” or “Non-Self”. Formally, the negative selection algorithm can be represented as [5, 10]:

$$NegAlg = (\Sigma^L, L, S, N, r, n, s, pr) \quad (1)$$

where Σ^L denotes shape-space; L is receptor length; S is “Self” detector set; N is “Non-Self” detector set; r denotes cross-reactive threshold; n is total number of appointed detectors; s is detector set size; pr denotes rule matching rows in adjacent positions.

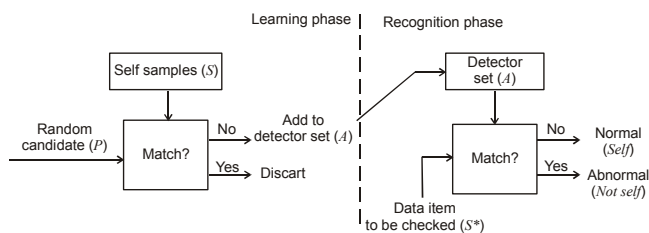


Fig. 1. Negative selection algorithm

The negative selection algorithm can be summarized as follows [10]:

- **Initialization:** randomly generate strings and place them in a set P of immature T-cells, assuming all the molecules (receptors and self-peptides) are represented as binary strings of the same length L .
- **Affinity evaluation:** determine the affinity of all T-cells in V with all elements of the self set S .
- **Generation of the available repertoire:** if the affinity of an immature T-cell with at least one self-peptide is greater than or equal to a give cross reactive threshold, then the T-cell recognizes this self-peptide and has to be eliminated (negative selection); else the T-cell is introduced into the available repertoire A .

The process of generating the available repertoire in the negative selection algorithm was termed learning phase. The algorithm is also composed of a monitoring phase. In the monitoring phase, a set S^* of protected strings is matched against the elements of the available repertoire A . The set S^* might be the own set S , a completely new set, or composed of elements of S . If recognition occurs, then a non-self pattern (string) is detected.

It is well known, that the algorithm of negative selection (NS) has the some restrictions and limitations [2, 8]. When it is not appropriate, for example, the number of self samples is small and sparse.

Some limitations of the binary-string representation in NS algorithms are as follows:

- binary matching rules are not able to capture the semantics of some complex self/non-self spaces,
- it is not easy to extract meaningful domain knowledge,
- in some cases a large number of detectors are needed to guarantee better coverage (detection rate),
- it is difficult to integrate the NS algorithm with other immune algorithms,
- the crisp boundary of “self” and “non-self” may be very hard to define.

In real-valued representation the detectors are represented by hyper-shapes in n -dimensional space. The algorithms use geometrical spaces and use heuristics to distribute detectors in the non-self space.

Some limitations of the real-valued representation in NS algorithms are:

- the issue of holes in some geometrical shapes, and may need multi-shaped detectors,
- curse of dimensionality,
- the estimation of coverage,
- the selection of distance measure.

During our experiments it has been established that generation of set of detectors in at training phase occurs casually owing to what it is in advance impossible to define is minimum necessary quantity of detectors which will provide the maximum quality of recognition. The increase in quantity of detectors conducts to delay of a phase of recognition, and its reduction – to deterioration of work of algorithm since the probability of formation of the “cavities” which are areas in space of “Non-self” which are not distinguished by any of detectors increases. Thus, a problem of the given research is working out of an advanced method of generation of the detectors, capable to adaptive selection of their options, quantity and an arrangement.

1.2. Clonal selection algorithm

Today the algorithm CLONALG exists in two forms [4]: (1) for optimization problems solving, and (2) for solving problems of classification and pattern recognition.

Basic clonal selection algorithm [2], named CLONALG, operates as shown in Fig. 2.

1. Initialization; randomly initialize a repertoire (population) of attribute strings (immune cells).
2. Population loop .for each antigen, do:
 - 2.1. Selection; select those cells whose affinities with the antigen are greater.
 - 2.2. Reproduction and genetic variation: generate copies of the immune cells: the better each cell recognizes the antigen, the more copies are produced. Mutate (perform variations) in each cell inversely proportional to their affinity: the higher the affinity, the smaller the mutation rate.
 - 2.3. Affinity evaluation: evaluate the affinity of each mutated cell with the antigen.
3. Cycle: repeat Step 2 until a given convergence criterion is met.

Fig. 2. Standard clonal selection algorithm

Formally algorithm of clonal selection can be represented as [5]:

$$CLONALG = (P^l, G^k, l, k, m_{Ab}, \delta, f, I, \tau, AG, AB, S, C, M, n, d)$$

where P^l is space of search (space of forms); G_k is space representation; l is the length of vector of attributes (dimension of space of search); k is the length of antibody receptor; m_{Ab} is dimension of population of antibodies; δ is the expression function; f is the affinity function; I is the function of initialization of the initial population of antibodies; τ is the condition of completion of algorithm work; AG is the subset of antigens; AB is population of antibodies; S is the operator of selection; C is the operator of cloning; M is the mutation operator; n is the number of the best antibodies selected for cloning; d is the number of the worst antibodies subjected to substitution for new ones.

The process of converting a population of antibodies by clonal selection algorithm can be represented as a sequence of the following statements:

$$\begin{aligned} AB_t &\xrightarrow{\text{Selection}(S)} G_S \xrightarrow{\text{Cloning}(C)} G_C \\ G_C &\xrightarrow{\text{Mutation}(M)} G_M \xrightarrow{\text{Repeat mutation}(S)} G_S \\ G_S &\xrightarrow{\text{Replacement}(d)} AB_{t+1} \end{aligned}$$

where t is the number of generation, AB is the population of antibodies (detectors), G_S is the subset of selected best antibodies, G_C is the subset of clones and G_M is the subset of clones after mutation.

1.3. Combined clonal and negative selection algorithm

The second problem is the fact that the negative selection algorithm is intended only to solve the problems of anomaly detection and binary classification. Only a small number of works devoted to the use of negative selection algorithm of multi class classification problems [3, 5, 8]. However, none of these studies have not solved these problems simultaneously. The classifier presented in this paper is based on the hybridization process of negative selection with clonal selection, and was designed to solve problems of classification to many classes. Concept of classification is used in terms of supervised learning, which allows categorizing objects into known groups using training set prepared beforehand. The main task of every classifier based on supervised learning is to create an internal representation of classes (in the form of a function, set of rules or any other). It acquires it during training. When the training is completed the classifier is ready to produce an answer to any (known or unknown) pattern given subsequently.

In this study the efficiency of immune classifiers is researched, when as the classifier, in general, is a function that for attributes vector of object shall decide to which class it belongs [2, 5]:

$$F: \mathcal{R}^n \rightarrow Y$$

The function F represents the space of sign vectors in the space of the class labels Y . In the case of two classes $Y = \{0, 1\}$, '1' corresponding to a case of the detection event and '0' the event is not detected. We consider the variant of training with a teacher (supervised learning), when the classifier training available to us a set of vectors $\{x_i\}$ for which is known their valid membership in one of the classes.

In developing this model treated the problem of developing an improved method of generation of detectors capable to adaptively select their debugging and localization. This modification propose in a phase of training to optimize coverage by detectors set of "Non-self" via the mechanism of clonal selection. For the solution of the problem is introduced following submission of antibodies (Fig.3).

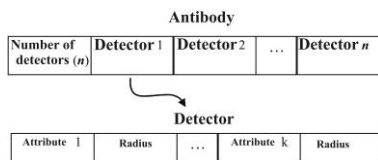


Fig. 3. View of clonal negative model antibody [6]

In this view, attributes are the coordinates of the center of the detector and the radius - the threshold sensitivity of the detector (cross-reactive threshold). Thus, each antibody encodes a possible alternative arrangement of detectors in space "Non-self", that option schemes covering. By manipulating the population of antibody-like structure, is the best option scheme covering.

The proposed Combined Clonal Negative Selection Algorithm for Multi-Class problem classification) consists of ensemble of n elements responsible for assigning patterns to corresponding n classes, as it is presented in Figures 4 and 5.

The procedure of the algorithm is shown in Fig. 6 [7].

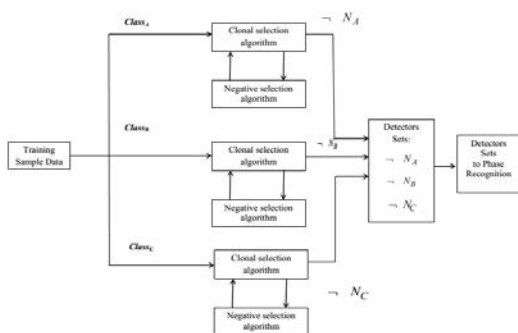


Fig. 4. Multi-class combination of negative clonal selection algorithm (Training phase)

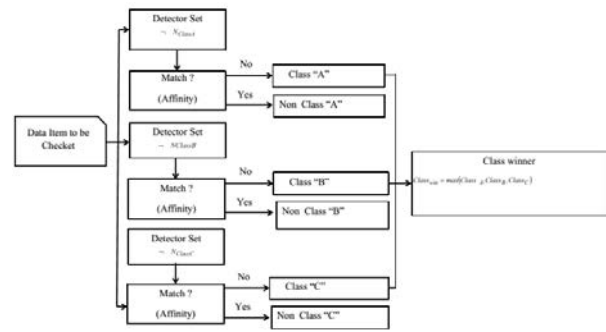


Fig. 5. Multi-class combination of negative clonal selection algorithm (Recognition phase)

- Step 1. Create an initial population of antibodies (detectors)
- Step 2. The transformation of each antibody in the scheme cover. Coverage scheme is a set of antibodies in which the attribute values are the centre and the radius is the boundary value of the sensitivity of the detector, i.e. cross-reactive threshold. Thus, each antibody encodes one possible location of the detectors in the space of "Non-self", one has the option "scheme covering"
- Step 3. Recognition on the learning sample (Negative selection algorithm)
- Step 4. Conversion obtained results of recognition in the numerical values of affinity antibodies (detector). In other words, the percentage of examples which has been recognized correctly.
- Step 5. Stop criteria evaluation: If $C_{m-1} > C_m$ then end, otherwise go to step 6
- Step 6. Ranking detectors (antibodies) in the degree of discrepancy
- Step 7. Selection of those antibodies which are most "not match" (usually 30%)
- Step 8. Cloning of selected antibodies
- Step 9. Mutation of antibodies (greater difference, the smaller the rate of mutation and vice versa)
- Step 10. Conversion of each antibody in all clones in the coating scheme
- Step 11. Recognition on the learning sample (Negative selection algorithm)
- Step 12. Conversion of obtained results of recognition into numerical values of antibodies affinity (detector). In other words, the percentage of examples which has been recognized correctly.
- Step 13. Ranking of detectors (antibodies) in the degree of discrepancy
- Step 14. Selection of those antibodies which do not match the most (usually 30%)

Fig. 6. Block diagram of clonal selection with a modified phase learning method of negative selection

2. Test methodology and facility

Combustion of pulverized coal was examined through optical methods, which were based on analysis of wide spectrum radiation emitted by the flame. The analysis also takes into account spatial features of such radiation source. Combustion of pulverized coal in the power burner takes place in a turbulent flow. In its each point local fluctuations of both fuel and gaseous reagents concentrations, as well as temperature occur. It leads to permanent local changes in combustion process intensity, which result in continuous changes in flame luminosity that can be observed as flame flicker. As combustion process affects the turbulent movement of its products and reagents it determines the way the flame flicker parameters such as e.g. mean luminosity and luminosity frequency spectrum.

A number of combustion supervision and flame-fault protection systems use information contained within flame flicker.

The multichannel fibre-optic flame monitoring system developed at Lublin University of Technology belongs to this class of solutions but additionally it allows observation of selected areas of the flame.

Experiments were made on test rig located in the Institute of Power Engineering in Warsaw. It is a combustion chamber with a single pulverized coal swirl burner made in 1:10 scale in relation to a low-emission industrial burner. This object was chosen because of the ability to perform experiments with a single burner, and it's a good instrumentation. All measured quantities are visualized and recorded by the data acquisition system. Sampling period is 1s. The combustion chamber is equipped with the above mentioned optical fibre probe which allows observation of five different areas of the flame. Figure 7 shows section of part of the chamber with marked areas of view.

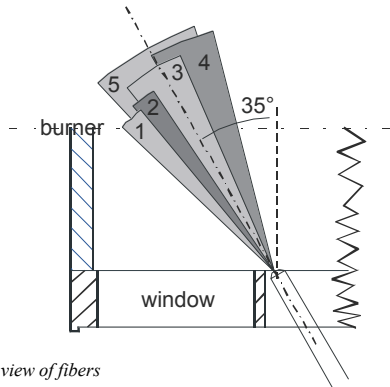


Fig. 7. Areas of view of fibers

3. Measurements

The experiment begins with bringing the chamber to the proper temperature. When the temperature stabilizes the series of measurements are performed with changing air and fuel flows. During an individual measurement the amounts of fuel and air are kept constant. A single measurement lasts approximately 300 seconds. Such a measurement method is to eliminate the impact of the transport delay of gas analysers. It is assumed that during the measurement the conditions are fixed and the emission values stabilized.

The tests were made at three different thermal loads, for pure pulverised coal and 10% blend with biomass (shredded straw). The amount of secondary air was being changed in order to achieve the air excess corresponding to normal operation, too high and too low conditions.

Voltage signals corresponding to the instantaneous brightness of the flame of the areas observed by individual optical fibres were sampled at the rate of 8KS/s and saved by a dedicated system. Figure 8 shows example measurements corresponding to normal, too low and too high air excess ratio.

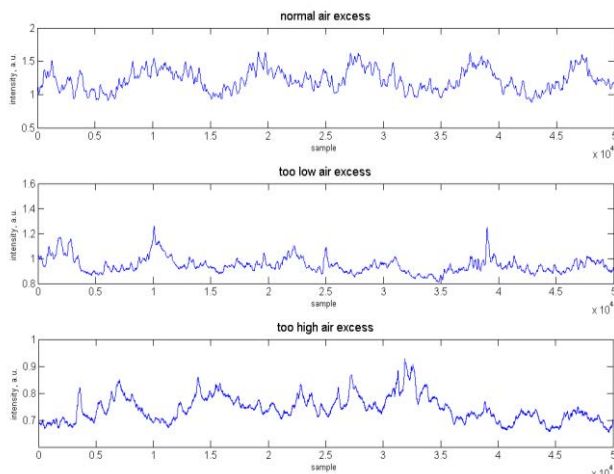


Fig. 8. Example measurements corresponding to normal, too low and too high air excess ratio

Feature extraction was the next step. Selected coefficients of discrete wavelet transform (DWT) [10] of a local signal intensity of the flame radiation were chosen as features of the flame. The negative clonal selection was used as classification algorithm. There are three classes to be recognised so the classifier contained three subsets of detectors (Fig. 9). The measurement data was processed with DWT (Daubechies 6) in the windows of length 16,384 samples. Subsequently, the statistical parameters (maximum value, minimum and average and standard deviation) of the most significant transform coefficients – D1, D2, D3, D4 and A1 were calculated to give the vector of 20 features for each class. A set of features was randomly divided into learning and testing subsets by 30% / 70% and 70% / 30%.

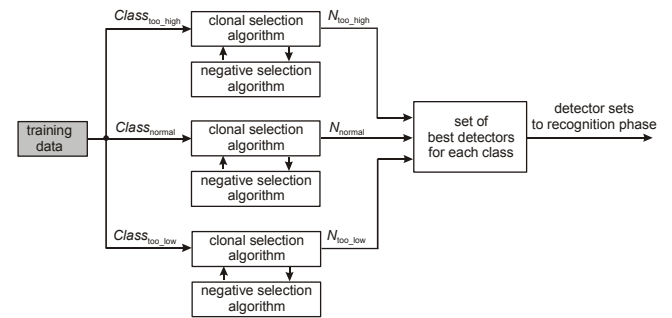


Fig. 9. Synthesis of adaptive binary classifiers – learning phase in negative clonal selection algorithm

In order to avoid the bias associated with the random sampling of the training data the k-fold cross-validation was also performed. In k-fold cross-validation, the data is partitioned into k subsets of approximately equal size. Training and testing the algorithm is performed k times. Each time, one of the k subsets is used as the test set and the other k-1 subsets are put together to form a training set. Thus, k different test results exist for the algorithm. However, these k results are used to estimate performance measures for the classification system. Table 1 contains class distribution of the data points in the training and testing datasets.

Table 1. Class distribution of the data points in the training and testing datasets

Class	Training set	Testing set	Total
λ too high	720	1680	2400
λ correct	720	1680	2400
λ too low	720	1680	2400
Total	2160	5040	7200
λ too high	1680	720	2400
λ correct	1680	720	2400
λ too low	1680	720	2400
Total	5040	2160	7200
λ too high	1920	480	2400
λ correct	1920	480	2400
λ too low	1920	480	2400
Total	5760	1140	7200

The common performance measures used in diagnostics are accuracy, sensitivity and specificity. Accuracy expresses the ability of the classifier to produce accurate diagnosis. The measure of the ability of the model to identify the occurrence of a target class accurately is determined by sensitivity. Specificity is determined the measure of the ability of the algorithm to separate the target class. The accuracy can be expressed as:

$$Accuracy(Z) = \frac{\sum_{i=1}^{|Z|} Assess(z_i)}{|Z|}$$

while

$$Assess(z) = \begin{cases} 1, & \text{if } classify(z) = z.c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

where z denotes the patterns in testing set to be classified, z.c is the class of pattern z, classify(z) returns the classification of z by

classification algorithm. For sensitivity and specificity analysis, the following equations can be used:

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP}$$

where TP, TN, FP i FN denote respectively true positive, true negative, false positive and false negative classification.

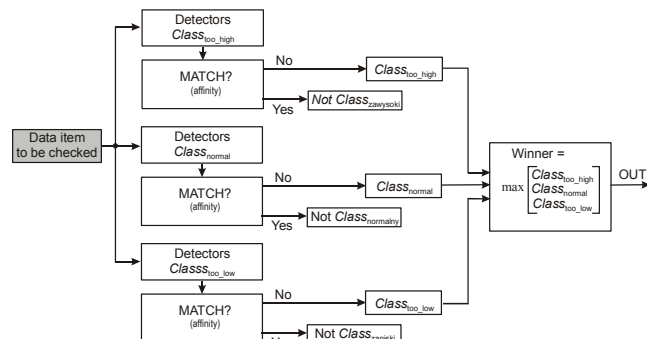


Fig. 10. Classification phase in negative clonal selection algorithm

4. Results

Classification tests using negative clonal selection algorithm were made according to the algorithm shown in Fig 10. Table 2 contains the results of performance analysis. Average accuracy was about 98,99%. Classification accuracy obtained using fuzzy networks (TSK) was about 96,4% [9]. Normalised execution time of both algorithms was similar.

Table 2. Performance measures for negative clonal selection algorithm

learning set/testing set distribution	accuracy	sensitivity	specificity
40/60	98,95	99,25	99,10
60/40	99,18	99,20	99,45
80/20 5-fold cross-validation	98,85	98,75	99,25
mean	98,99	99,07	99,27

5. Conclusions

The modified negative selection procedure that uses optimization as well as the artificial immune network for optimization parameters detectors are developed. A distinctive feature of this procedure is a modification of the learning process, through which is implemented to adaptive selection settings, the number and location of detectors.

A distinctive feature of this procedure is a modification of the learning process, due to which is implemented the adaptive selection settings, the number and location of detectors. Experimental studies have shown high efficiency of the proposed procedure, which is evident in its stability through adaptive value of cross-reactive threshold; optimality due to the adaptive immune network configuration size, i.e. the number of required detectors; accuracy by reducing the number and size created "cavities".

Classification accuracy of the negative clonal selection algorithm was better than one of fuzzy (TSK) algorithm when applied to the problem of detection of anomalies in air excess ratio using optical system. Considering similar computational complexity of above mentioned algorithms the advantage of the former one is clear. The negative clonal selection algorithm can then be used for diagnostics of correct cofiring of pulverised coal blends with biomass in individual PC burner.

References

- [1] Arabas J., Białobrzeski L., Chomiak L., Domański T., Świrski K., Neelakantan R.: Pulverized Coal Fired Boiler Optimization and NOx Control using Neural Networks and Fuzzy Logic, Proc AspenWorld'97, Boston, Massachusetts, 1997.
- [2] De Castro L. N., Timmis J. I.: Artificial Immune Systems as a Novel Soft Computing Paradigm, vol. 7, 2003, Soft Computing Journal, vol 7, 2003, pp. 526-544.
- [3] Forrest S.: Self-Nonself Discrimination in a Computer, w Proc. of the 1994 IEEE Symposium on Research in Security and Privacy, Los Alamos, CA:IEEE Computer Society Press, Los Alamos, CA, USA, 1994.
- [4] Kalogirou, S. A.: Artificial intelligence for the modelling and control of combustion processes: a review, Progr Energy Comb Sci, 29, 2003, 515-566.
- [5] Lytvynenko V. I.: Comparative experimental study of a modified negative selection algorithm and clonal selection algorithm negative for solving classification (in Russian), Vestnik Kherson National Technical University, nr 4(33), 2008, pp. 7-14.
- [6] Lytvynenko V. I.: Immune classifier for solving binary classification - Theoretical Aspects (in Russian), System technologies, nr 1(42), 2006, pp. 32-47.
- [7] Lytvynenko V., Smolarz A., Kozhuhovska O.: Combined Clonal Negative Selection Algorithm for Multi-Class problem classification/ Proceedings of the VIIIth Scientific and Technical Conference CSIT, 2013, Lviv, p.163-165.
- [8] Roitt I.M., Delves P.J.: Encyclopedia of Immunology, 2nd ed., Academic Press, London, 1998.
- [9] Smolarz A., Wójcik W., Gromaszek K.: Fuzzy modeling for optical sensor for diagnostics of pulverized coal burner, Procedia Engineering - 2012, vol. 47, pp. 1029-1032.
- [10] Wójcik W., Kotyra A., Smolarz A., Wojciechowski C.: Application of wavelet transformation for analysis of measurements in fibre optic flame monitoring system, Proceedings of SPIE, tom 4239, 2000, pp. 96-101.

Ph.D. Andrzej Smolarz
e-mail: a.smolarz@pollub.pl

Assistant professor in Institute of Electronics and Information Technologies at Lublin University of Technology. Research field covers wide variety of optical methods in industrial diagnostics and control as well as applications of artificial intelligence methods in industrial diagnostics. Author of nearly 100 publications in this research area.



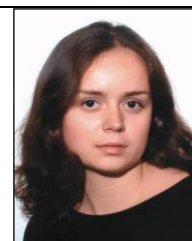
D.Sc. Volodymyr Lytvynenko
e-mail: immun56@gmail.com

Kherson National Technical University. DSc (Eng. hab.), Professor, Head of the Department Informatics & Computer Sciences. Research interests: artificial immune systems, time series forecasting, multifractal analysis, reinforcement learning.



Ph.D. Olga Kozhuhovskaya
e-mail: olga-kozuhovska@mail.ru

Ph.D., Senior Lecturer, Department of Computer Systems Cherkasy State Technological University. Research interests: mathematical modelling and computational methods, information technologies based on Bayesian methods, soft computing, reinforcement learning.



Ph.D. Konrad Gromaszek
e-mail: k.gromaszek@pollub.pl

Assistant professor in Institute of Electronics and Information Technologies at Lublin University of Technology. IEEE member. Research interests: hierarchical and adaptive control algorithms, computer networks, ICT systems, digital signal processing, PACs, DAQs, databases and data mining.



DETERMINATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION EMITTED BY TELECOMMUNICATION EQUIPMENT OF TRANSMISSION CENTERS

Oleksandr M. Naumchuk

National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne, Ukraine

Abstract. *Determining and forecasting of environmental influence of telecommunication equipment that is a source of electromagnetic radiation is still an actual challenge. The approach proposed enables to assess an impact of wide spectral electromagnetic sources on environment as well as to elaborate practical means of minimizing their influence.*

Keywords: wide spectral electromagnetic sources, cellular network, antenna, base station, frequency, spectral density, voltage

WYZNACZENIE PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO URZĄDZEŃ KOMUNIKACYJNYCH CENTRÓW PRZESYŁOWYCH

Abstrakt. *Wyznaczenie i prognozowanie wpływu urządzeń komunikacyjnych będących źródłami różnorodnościowego promieniowania elektromagnetycznego na otaczające środowisko jest problemem aktualnym. Zaproponowane podejście pozwala ocenić wpływ promieniowania elektromagnetycznego źródeł różnorodnościowych na otaczające środowisko i opracować praktyczne sposoby na jego zmniejszenie.*

Słowa kluczowe: źródła różnorodnościowego promieniowania elektromagnetycznego, sieć komórkowa, antena, stacja bazowa, częstotliwość, gęstość spektralna, napięcie

Introduction

Determination and forecasting of environmental influence of telecommunication equipment that is a source of electromagnetic radiation will enable to propose specific means of its reduction. The main aim of the paper is assessment of influence factors of multispectral electromagnetic radiation on environment.

Determination of parameters to be measured when sources of electromagnetic radiation were active was done for different frequency ranges, separately for each band. In particular it has to be taken into account that television transmitting devices operates at different frequencies and the measurements have to be made for both nearer and farther zone of the device.

In most cases, the amount of electromagnetic radiation emitted separately by various radio devices does not exceed its maximum limit values. However, an increasing number of these devices in a single object, especially of different kinds and frequencies (TV, radio, CDMA, GSM) often results in exceeding the total limiting values for given distances and heights. Therefore, practical works have been proposed, particularly constant monitoring of electromagnetic field combined with the frequency analysis of sources of radiation.

For given sources, spectral density of electromagnetic radiation of different frequency has been determined as well as the necessary limitations for adjacent sites. As a result, methods of narrowing. The results permit to predict the electromagnetic situation from similar sources and indicate a few practical steps to reduce their harmful effects.

1. Statement of the problem and its relationship to important scientific and practical tasks

Mechanism of the influence of electromagnetic radiation on living organisms currently is not sufficient. There are several hypotheses to explain the biological effects of electromagnetic field. Basically, they all boil down to induce currents in tissues and to effect cellular structures, especially in the membrane.

It is believed that under the influence of electromagnetic fields (EMF) the rate of diffusion through cell membranes, as well as orientation and confirmation of biological macromolecules and the state of the electronic structure of free radicals may change [7, 9].

In recent years tangible a broad scientific and public interest to the problem of effects of electromagnetic radiation on the environment, both in Ukraine and abroad. Reports from the World Health Organization (WHO) provided one of the main priorities to this problem [7], but a common approach to solve this problem has not proposed yet. For example, in many countries are quite different indicators of maximum permissible levels (MPL) of electromagnetic radiation. Thus, in Ukraine MPL is set

in 0,025 W/m², in Russia and Belarus 0,1 W/m², and in the Scandinavian countries 1 W/m².

Due to the impact of the electromagnetic field, the condition of biological objects changes. This can be evident in the decrease of motion activity and survival rate of microorganisms, increase of their death rate, deterioration of tissue regeneration, impaired embryonic and larvae development, reduction of biochemical reactions, metabolic disorders, reduction of the energy potential of all vital body systems.

The problem is compounded by the fact that the intensity of electromagnetic radiation is increasing every year, this is due to: construction of new and reconstruction of existing cellular base stations, reconstruction of transmission centers, facilities for radio navigation and radiolocation, stations of satellite communications, intensive development of wireless access to the Internet and local networks, and so on.

Therefore, the effect of electromagnetic fields on the environment, including living organisms, in the last 30 years has grown and became the subject of many scientific studies [3, 5].

1.1. Analysis of recent research and publications, which discuss current issues

First study of the influence of electromagnetic fields on the human nervous system was made by Professor Y.A. Holodov back in the 60 s. As a result of long-term observations a direct influence of electromagnetic fields on brain, neurons' membranes, memory and conditional reflex activity were founded [8].

Some model experiments demonstrated possibility of weak electromagnetic fields influence on the nerve cells synthesis. Results show distinct changes of pulsation of cortical neurons, leading to disruption of transmission of information in more complex structures of the brain.

In general, changes at the cellular level, due to EMF, occur for the following reasons [2, 9]:

- 1) The electromagnetic field affects charged particles, as a result, the energy of the field at the cellular level become another form of energy. Atoms and molecules in an electric field polarized and oriented in the direction of the magnetic field distribution.
- 2) After the impact of external electromagnetic fields in electrolytes, which are the basis of tissue of living organisms, ionic currents arise. Alternating electric field causes tissue heating due to variable polarization and due to the occurrence of conduction currents.
- 3) Emergence of heat effect due to the absorption of electromagnetic fields, moreover, the greater field strength and the time of its action, the more pronounced those effects. To the value of 0.00001 W/m, which is conventionally accepted

as a threshold for heat, excess of heat is removed through the mechanism of thermoregulation. At the same time, the most sensitive to overheating are such organs: eyes, brain, kidney and gall bladder, as well as nervous and immune systems.

Influence of electromagnetic fields of different frequencies and intensities on the growth and development of plants and their root systems occurs differently: some influence is very significant (corn); on the other hand, other does not have significant implications (barley, radish, mustard). Studies conducted by many scientists suggest that EMF may differently affect plant growth, while time of the year, the intensity and frequency of radiation are very important as well [4].

1.2. Highlight of the unsolved aspects of the problem

Recent research of effects of electromagnetic radiation on the body of humans and animals indicate a dependence of EMF on: radiated power, antenna system design features, terrain, distance to the source of EMF, etc. [1, 3, 6].

Taking into account all these factors we still have pending question on determining the impact of EMF sources that have a lot of different frequency components. We carried out detailed experimental study of the sources, the results of which can be applied to similar situational conditions.

1.3. Formulation of the problem

In this paper, we showed how the electromagnetic radiation affects the environment by the joint application of cellular systems with television, radio broadcasting and radio relay transmitters that are located on the same tower.

2. Statement of main research data with full justification of scientific results

Designs of transmit-receive antenna, relay and microwave antennas used in radio transmission systems shall provide adequate coverage of corresponding signal. To do this, they are set at high altitude (sometimes antennas mounted on existing structures, if they are of sufficient height).

To maintain the quality of communication, the signal is directed parallel to face of the earth but the electromagnetic radiation decreases proportional to the square of distance. Signal intensity affecting by artificial and natural obstacles such as trees, buildings, hills, etc.

Therefore, at some distance from the object, level of radio emission is small, and therefore, its impact on the environment is negligible.

We have studied the effect of electromagnetic radiation from antenna systems with joint application of cellular GSM and CDMA standards, television, radio and microwave transmitters, which are located in the tower of the Rivne regional radio transmission center (RRTC) at Antopil village. However, results were taken as the basis of measurement of electromagnetic radiation that was performed by Rivne Regional Sanitary-Epidemiological Station of the Ministry of Health of Ukraine during 2006-2011.

Location of antenna television systems, radio transmitters and base stations of mobile operators at this facility is different, both in altitude and for guidance. This approach is used because the radiation patterns in the vertical and horizontal planes are different. To transfer TV signal 5 plots are given in high frequency (HF) and ultra-high frequency (UHF) ranges, and for radio frequency modulation (FM) two frequency lines are using in HF range: 66,74 MHz and 100,108 MHz. Technical means of television and radio broadcasting forming EMF radiation due to a strong signal transmitters.

Directional characteristics of emitting equipment in the horizontal plane is much smaller than the vertical expansion of all these parameters together form the so-called "cosecant" radiation

pattern, indicating a gradual decrease of the electric field is proportional to the square of the distance from the antenna. Thus, the emitting equipment of television and radio broadcasting to increase the coverage area are located at a height 250...300 m, and in some cases even higher, because most of the energy of such radiation is in the main lobe of diagram at distances 100...200 m and the electric field intensity is hundreds of V/m. With increasing distance from the phase center of the antenna and to the earth's surface the electric field intensity decreases, and in reception area is equal tenths of a V/m at the maximum allowable value of 3 V/m.

The average flux density of the electromagnetic field S_{ave} is calculated by the formula

$$S_{ave} = \frac{8PG\Phi_E F^2(\Theta)\eta_{aft}}{R^2}, \text{ W/m}^2$$

where P – radiation power of antenna and feeder, W , G – antenna gain, Φ_E – the impact factor of the Earth (1,1÷1,5), $F^2(\Theta)$ – value of the normalized Patterns in the relevant direction (azimuth), η_{aft} – efficiency of the antenna-feeder path for signal transmission, R – distance from the point of radiation, m.

The radiation power P of antenna and feeder is given by:

$$P = P_{nom}\eta_{aft} \left(1 - \left[\frac{K_c - 1}{K_c + 1} \right]^2 \right), \text{ W}$$

where P_{nom} – nominal power of transmitter (for TV transmitters the transmitter power of imagery and sound signals should be taken into account).

$$P_{nom} = 0,327P_{pict} + P_{sou}, \text{ W}$$

K_c – standing wave intensity factor at the antenna input.

As a result of calculations, parameters of investigated electromagnetic fields with different frequency were set (Table 1). At the same time, was set an excess of established maximum allowable values MPL in the vertical component.

Table 1. Defined parameters of electromagnetic field

No.	Channel name	Frequency band, MHz	Density of electromagnetic fields at an altitude of 2 m from the surface of earth, W/m ²	Intensity of EMF at an altitude of 2 m from the surface of earth, V/m	Maximum allowable values at a height of 2 m from the surface of earth, V/m
1	3 TV	76-84	0,0013	0,7-0,007	4,6
2	10 TV	206-214	0,0000025	0,031-0,001	2,9
3	27 TV	518-526	0,00047	0,42-0,0049	2,0
4	32 TV	558-566	0,000021	0,09-0,0022	2,0
5	37 TV	598-606	0,0000219	0,091-0,0021	2,0
6	39 TV	614-622	0,00036	0,37-0,0025	2,0
7	43 TV	646-654	0,0000095	0,06-0,0015	1,9
8	47 TV	678-686	0,000021	0,09-0,0025	1,9
9	49 TV	694-702	0,000000024	0,003-0,0007	1,9
10	51 TV	710-718	0,0000215	0,09-0,002	1,9
11	57 TV	758-766	0,0000215	0,09-0,0021	1,8
12	59 TV	774-782	0,0000215	0,09-0,0025	1,8
13	62 TV	798-806	0,00001	0,062-0,0017	1,8
14	64 TV	814-822	0,0000095	0,06-0,0016	1,8
15	67 TV	838-846	0,00021	0,28-0,0019	1,7
16	UHF, GSM and other	900-1800	0,0117	2,1-0,17	3,0

By measuring the intensity and density of the electromagnetic field, we obtained graph of spectral density of electromagnetic radiation in the range of the meter and decimeter waves (Fig. 1).

This diagram helps to define impact on the environment in the relevant frequency range. It shows that the most significant effect on the electromagnetic field transmitter has a frequency of 900 MHz, ie, UHF, GSM or other channels. Unfortunately, within this study it is impossible to establish exactly the most significant of all existing sources of exposure. Such calculations we plan to conduct in the future, based on the measurement results of specialized tools that will allow us to carry out differential

frequency analysis of available sources of electromagnetic radiation, as required by the State sanitary norms of Ukraine.

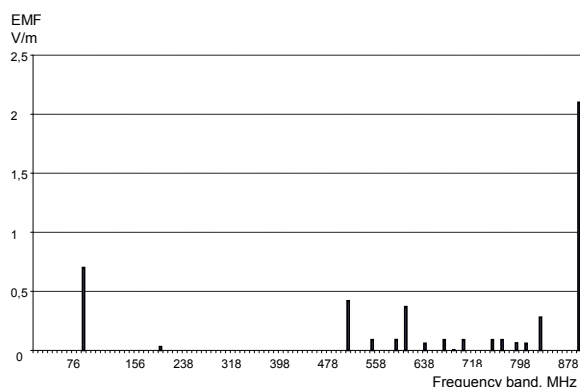


Fig. 1. Spectral density of electromagnetic radiation in the meter and decimeter wavelengths range

As a result of our studies, we obtained total vertical radiation pattern of the antenna systems of TV and radio channels and base stations of mobile operators (Fig. 2). After analyzing the situation around the adjacent area the object being studied, we found that the intensity of electromagnetic fields at a height of 2 m above the ground and at a distance of 5...1000 m does not exceed maximum permissible levels, but at a height of 16 m and 550 m distance from the source of radiation, one can observe and exceed of maximum permissible level of electromagnetic field.

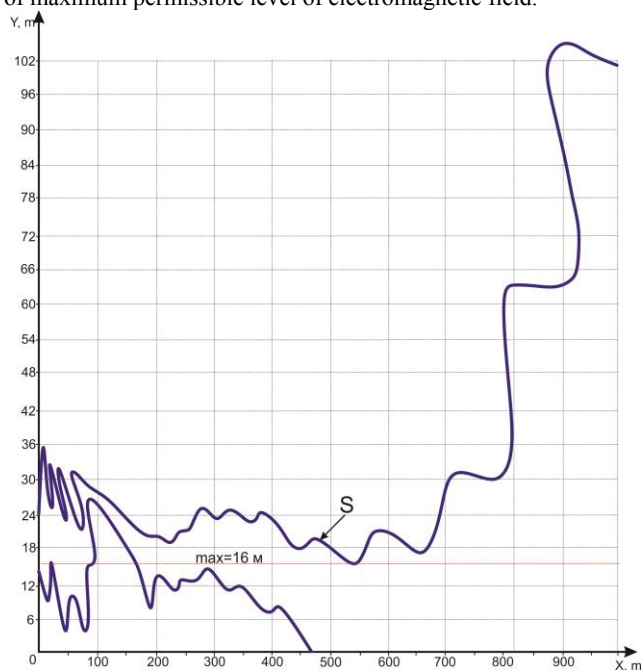


Fig. 2. Maximum level of total electromagnetic load

According to studies, we proposed some recommendations to improve situation with electromagnetic radio and television transmitting center of Rivne city:

- exploit this facility to comply with design standards and passport data corresponding to the performance of the receiving and transmitting equipment, and to avoid their excess even for a short period of time;
- conduct ongoing monitoring of electromagnetic situation around the object;
- involve specialized measurement tools for comprehensive analysis of radiation sources by frequency range, as required by the State health standards;
- local authorities need to limit the use of adjacent areas, especially for construction of housing and other use.

3. Conclusions

In summary, it was concluded that the object tested is characterized by a wide range of frequencies and the complicated situation/condition that is characterized by the use of radiation sources with significantly different frequency ranges. Assessment of ra-diation levels was carried out for each channel separately, which greatly complicates the process of research, because each has its own range of frequencies has its own permissible level defined by a specific standard. A common use of relaying tower in Rovno for retransmission of television and radio channels signals and mobile opera-tors complicates the electromagnetic environment. To carry out comprehensive monitoring of the electromagnetic state use specialized measuring tools has to be applied so as to help analyze the frequency of various sources of radiation, in accordance with the requirements of the state standards of Ukraine. During the observations a high rate of energy flux density of 3,86 ... 5.9 W/m² in the 900 MHz range has been reported, which may indicate to incompatibility of passport parameters of individual radiation sources or abnormal conditions of operation of the sending-receiving equipment. Taking the above into account, the electromagnetic state of the test object requires constant monitoring and further detailed studies.

References

- [1] Bezverkha A.P.: Gigiyenicheskaya otsenka vliyaniya elektromagnitnogo izlucheniya na organizm cheloveka i zhivotnykh. - Gigiena naselenikh mists: Zb. nauk. prats. DU «IGME AMNU». Vip. 53. Kiiv. 2009, s. 228-231.
- [2] Derzhavni sanitarni normi i pravila zakhistu naselennya vid vplivu yelektromagnitnikh viprominyuvan. DSNiP №239-96 vid 01.08.96r., m.r. №4550/88.
- [3] Grudziński E., Nichoga V., Antonyuk V., Prudyus I.: Monitoring źródeł pól elektromagnetycznych w diagnozowaniu zagrożeń dla środowiska. Przegląd Elektrotechniczny. 2009, R. 85 nr 11, s. 105-110.
- [4] Kovaleva A.V.: Vliyaniye elektromagnitnykh poley i izlucheniya na bioobyekty, Zaporizkiy Natsionalniy Universitet. Z., 2009, s. 64-85.
- [5] Naumchuk A.O., Safonov R.V., Yarmolyuk T.I., Naumchuk O.M.: Vpliv elektromagnitnogo viprominyuvannya bazovikh stantsiy stilnikovoї telefonii GSM standartu., Bezpeka pratsi: Naukovo-virobnichiy zhurnal. Vip. 1., Rivne. 2011, s. 17-19.
- [6] Nikitina N.G., Barkevich V.A.: Vpliv elektromagnitnikh viprominyuvan na zdorov'ya naselennya (naukoviy oglyad). Gigiena naselenikh mists: Zb. nauk. prats. DU «IGME AMNU». Vip. 50. Kiiv. 2007, s. 209-214.
- [7] WHO handbook on Establishing a Dialogue on Risks from Electromagnetic Fields <http://www.who.int/peh-emf/publications/riskrussian/en/index.html#>
- [8] Kholodov Yu.A.: Mozh v elektromagnitnykh polyakh. M.: Nauka, 1982, s. 123.
- [9] http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/74465/E89486R.pdf.

Associate prof., Ph.D. Oleksandr M. Naumchuk
e-mail: alexnu@ukr.net

Associate professor of the Department of automation, electrical engineering and computer integrated technologies of the Institute of Automation, Cybernetics and Computer Engineering, National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne, Ukraine.
Engaged in scientific research of effects of electromagnetic radiation from the mobile communication equipment on the environment.



otrzymano/received: 28.09.2013

przyjęto do druku/accepted: 30.11.2013



DOTACJE NA INNOWACJE

Politechnika Warszawska **w Projekcie Centrum Badań Przedklinicznych i Technologii CePT**

Utworzyliśmy sieć laboratoriów stanowiących nowoczesną platformę naukowo-badawczą dla potrzeb medycyny:

- Laboratorium technik projektowania i wytwarzania biomateriałów,
 - Prof. dr hab. inż. Tadeusz Wierchoń
- Laboratorium sztucznych narządów ruchu, biomechaniki i inżynierii rehabilitacyjnej,
 - Prof. dr hab. inż. Konstanty Skalski
- Laboratorium sztucznych narządów i modelowania procesów metabolicznych,
 - Prof. dr hab. inż. Tomasz Sosnowski
 - Prof. dr hab. inż. Tomasz Ciach
- Laboratorium komputerowego wspomaganie diagnostyki medycznej,
 - Prof. dr hab. inż. Jacek Starzyński
- Laboratorium hybrydowego modelowania układu krążenia i oddychania,
 - Prof. dr hab. inż. Tadeusz Pałko
- Laboratorium sensorów, metod ultradźwiękowych i słabych sygnałów biologicznych,
 - Prof. dr hab. inż. Krzysztof Kałużyński
 - Prof. dr hab. inż. Tadeusz Pałko
- Laboratorium miniaturowych systemów analitycznych,
 - Prof. dr hab. inż. Andrzej Dybko
- Laboratorium elektroniki, informatyki medycznej i bioinformatyki,
 - Prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba
 - Prof. nzw. dr hab. inż. Janusz Marzec
 - Dr hab. inż. Piotr Bogorodzki
- Laboratorium aparatury radiologicznej, dozymetrii i nanodozymetrii,
 - Prof. dr hab. Natalia Golnik
- Laboratorium wytwarzania i charakteryzowania biomateriałów,
 - Prof. nzw. dr hab. inż. Wojciech Świąszkowski

Zakupiliśmy zaawansowany sprzęt badawczy:

- urządzenia do obróbek CVD i plazmowych,
- stanowiska do badań biomechanicznych stawów człowieka i symulacji zderzeń w wypadkach samochodowych,
- zestaw do mikroskopii fluorescencyjnej i elektroforezy kapilarnej,
- tomograf MRI,
- stanowiska do badań jakości w zastosowaniach promieniowania jonizującego,
- systemy do pomiaru i analizy słabych sygnałów (elektrycznych, magnetycznych) oraz pokój ekranowany,
- zestaw ultrasonograficzny (otwarty) do badań właściwości tkanek,
- stanowiska do hybrydowego modelowania układu krążenia i oddychania,
- klaster obliczeniowy do przetwarzania i analizy sygnałów obrazów,
- zestaw urządzeń dla inżynierii tkankowej.

Sprzęt stosujemy do:

- przeprowadzania badań przedklinicznych, umożliwiających charakteryzację (pomiar i obrazowanie) biomateriałów oraz obszarów tkankowych i na tej podstawie wykrywanie wczesnych zmian struktury i czynności tkanek na poziomie komórkowym i narządowym w przebiegu różnych procesów czynnościowych, chorobowych, degeneracyjnych i leczniczych,
- opracowania i wdrażania instrumentalnych metod leczenia bądź wspomagania czynności narządów.

DESIGN OF DYNAMIC STRUCTURAL MODELS OF INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM OF MOVING OBJECTS

Maksym Korobchynskyi¹, Oleg Mashkov²

¹Space-air society of Ukraine, ²State Ecological Academy for postgraduate education and management

Abstract. In the following work the authors attempt to find the best way to design a dynamic structural model of information management system of moving objects. This structural model allows organizing various management systems of moving objects, considering the spatial and time dependencies between the key components or parameters of the said management system. An example of such system may be a group of UAVs.

Keywords: structural model, information management systems, Petri-net, unmanned aerial vehicle (UAV)

BUDOWA DYNAMICZNYCH MODELI STRUKTURALNYCH INFORMACYJNYCH SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA PORUSZAJĄCYMI SIĘ OBIEKTAMI

Streszczenie. W pracy autorzy próbują znaleźć najlepszy sposób zaprojektowania dynamicznego modelu strukturalnego systemu zarządzania informacją poruszających się obiektów. Ten model strukturalny umożliwia organizowanie różnych systemów zarządzania poruszającymi się obiektami, biorąc pod uwagę przestrzenne i czasowe zależności pomiędzy kluczowymi komponentami lub parametrami tego systemu zarządzania. Przykładem takiego systemu może być grupa bezzałogowych statków powietrznych.

Keywords: model strukturalny, systemy zarządzania informacją, Petri-net, bezzałogowe statki powietrzne

Introduction

The structural models allow describing properties of the objects of any type. Based on the understanding of the structure of these objects, one can get an idea about it and separate the required parameters. In this case, they represent the following: integral characteristic, which integrates the whole object to the maximum extent; a parameter, which describes the spatial or time representation of the object; and the functioning process of an object taken as a whole.

Depending on the characteristics of the object, a description of its structure can be introduced in different forms.

1. Problem analysis

The organization of an information system, in which one component is a moving object (*RO*), having features, namely: spatial distribution of its components; mobility of individual system elements in space and in the process of its functioning; the existence of critical parameters, which have their own specific interpretation, directly linked to the entire system functioning process.

Spatial distribution is determined by the necessity to create an object structure, which would bring spatially distributed components together in one system. This feature is shown in physical objects, having complex structure. In this case, a graphic display of the corresponding structure is used in the form of classic graphs. Thus, the minimum information load of such interpretation structure includes nodes of a graph $e_i \in E$, which identify the uniting elements and links between the nodes $v_{ij} \in V$, which identify the existence of the link between the individual elements e_i and e_j .

Maximum information load of such interpretation structure lies in the fact that the links orientation is added to a minimum load in the form of arrows between the nodes, which is technically described as $e_i \rightarrow e_j$, and the introduction of a link weight concept, which by some means or other determines the significance of a certain link, which is written as following: as $v_{ij}(u_i)$ where u_i is the link weight v_{ij} between e_i and e_j nodes [1, 2, 6]. Such means are largely used for statistic structures, therewith the structure is considered statistic in terms of stiffness of physical cross-linking between the individual elements. This means that the directed lines, connecting individual components of the object, are characterized by weights,

the amount of which is defined on bounded intervals, and physics of corresponding system functioning determines the possibility of changes in relevant intervals. For example, if there is a number of power objects, which are spatially distributed and are not mobile within the space of such distribution, the links between them, for instance, in form of electrical lines, are described by the structure graphic elements, which are the edges of graph u_{ij} ,

whereas a relevant line length is used as an edge weight. In this case, the line length u_{ij} is defined within a closed interval, where the lower limit corresponds to the minimum distance and the upper limit corresponds to the maximum distance between stations.

2. Problem solving

Function expansion of structural models, which consists of expanding the functional interpretation of nodes, in general can be introduced by Petri net [8]. It provides an analysis of the interaction of separate information flows, which in their interpretation are narrowed down to their designation in the form of signals. This interaction lies in synchronization of signals, which enter the node from different edges v_{ik} and v_{jk} , which

are included into the node e_k and may come out from the node

e_k through the edges v_{kg} ; signal delay in the node e_i for some time τ_i , before such signal can come out from the node e_i through the edge v_{ij} ; performing logical operations in the node e_i , which in realization of conjunction & or disjunction V of two or more signals, which enter the node e_i . Moreover, the logical interpretation of signals can be determined by their absence or presence in the relevant nodes of Petri graph.

The expansion of the possibilities of graph means through their complication does not seem correct, since in this case the appropriate means stop corresponding to the core of structural means, which primarily provides simplicity and display of an object as a single set of different components.

In the case of distributed dynamic system, which is the information management system *RO*, which will be denoted as IUS, in order to introduce general structural descriptions, one must use at least those parameters, reflecting the spatial and time dependencies between the key components or parameters, which identify them at the required high level.

Considering that in dynamic system we talk about the time interdependencies, thus time parameter can be taken as integral parameter, each value of which identifies a specific condition of individual components, which, in general, exist within the system and define it. The parameters, describing changes, which occur in the system, can illustrate examples of such parameters. Furthermore, since the dynamic characteristic of the system is linked to the changes within it, then the following integral parameters, except the time, can be other unspecified parameters, identifying the relevant changes within the system. Such parameters can be exemplified by parameters, describing changes of spatial coordinates, which determine the location of object individual components and other parameters related to it.

The classic method for describing time or dynamic dependencies lies in the use of graphs in the form of certain net. In order to describe some dynamic system structure, it is necessary to resolve a task of graph structure or net structure synthesis.

Classic oriented loaded graph is formally described by the following formula:

$$G = F[f(V, E), U] \quad (1)$$

where $f(V, E)$ describes edges orientation, which is given by the sequence of two nodes, assigned to one edge and is described by the formula: $f(v_i) = (e_{ij}, e_{km})$.

Often a functional relation $f(V, E)$ is depicted in an explicit form as a description of some multitudes of node pairs:

$$f(V, E) = \{v_1(e_{1,1}, e_{1,2}), \dots, v_n(e_{n,1}, e_{n,2})\}.$$

This functional relation can be depicted in the form of one or some multitudes of simply ordered set, defined on the structure of G graph, in which common edges are absent. That can be written as a formula:

$$f(V, E) = \{\omega_1[v_{11}(e_{1,1}, e_{1,2}), \dots, v_{1n}(e_{n,1}, e_{n,2})], \dots, \omega_n[v_{n1}(e_{1,1}, e_{1,2}), \dots, v_{nn}(e_{n,1}, e_{n,2})]\} \quad (2)$$

where $\omega_i[v_{i1}(e_{1,1}, e_{1,2}), \dots, v_{i+j}(e_{(i+j),1}, e_{(i+j),2})]$ is a separate simply ordered set, which exists within the structure of G graph. If the condition of the absence of common edges in simply ordered sets is met, the formula (2) can be written as follows:

$$f(V, E) = \forall \omega_i \forall v_{ij} \neg \exists v_{ij} \{ \omega_1[v_{11}(e_{1,1}, e_{1,2}), \dots, v_{1n}(e_{n,1}, e_{n,2})], \dots, \omega_n[v_{n1}(e_{1,1}, e_{1,2}), \dots, v_{nn}(e_{n,1}, e_{n,2})] \}.$$

In order to describe time dependencies in a system, as already mentioned, the nets [7] are used in the form of graph structures. A particular feature of such graphs is their time ordering. Formally, the graphs, reflecting the nets, are described by the following formula and are called nets:

$$D = \Phi(G, T) \quad (3)$$

where G is a graph with formula (1), and T is parameter, according to which method of ordering, defined by a multitude $f(V, E)$, is realised. Such ordering is defined on the level of edges and is formally written as a following formula:

$$D = \Phi\{F[f(V, E), U(T)]\} \quad (4)$$

where $U(T)$ is functional relation, which defines the ordering in G graph. If the ordering is considered as synchronization of events, which create the process of object functioning, the structural model (4) degenerates into a Petri graph. Within the considered IUS, the ordering is understood in the broader sense of the term. For example, let us assume that time, which value is measured according to some functional relation $y = \varphi(t)$, which in order to simplify the model can be linear function, or $y = at + b$, is chosen as the T parameter.

A synchronization of the functioning process is an example of a situation, where the functional parameter, which determines the fact of one specific event or a chain of events, is used as the T parameter. In this case, the ordering in the dynamic structure of the object is determined by the identification of occurrence of events and logical analysis, defining the conditions of system transition to the next state. In this case, the functioning process within the structural model is described as a time-varying function with the ordinary moment t_0 , which corresponds to the beginning of functioning process and the finishing moment t_n , corresponding to the completion of functioning process or the completion of the separate cycle of functioning process.

Implicitly the dynamic structural model is described by the formula (4). In order to be able to introduce this model explicitly or in another constructive form, we shall consider several features of IUS system. Since the structural model is most common, compared to the models of individual components, it should reflect all the requirements, imposed to the IUS system in general. It must be noted that the reflection and provision of functioning dynamics to reduce to synchronization processes are not sufficient for the following reasons: the synchronization process makes it possible to continue the functioning only if all required events have occurred in the system till the specified moment; a key parameter of the synchronization process is time parameter, which represents the moment in which the object fluidity is tested when it comes to the functioning process in real-time mode; mainly the task of fluid value of time in the form of linear function corresponds to the most common interpretation of this parameter, which does not depend on the characteristics of the object of management.

In the case of RO management system of the UAV type, IUS functioning must continue irrespective of whether all identified events are carried out in the system or not [3, 4, 5]. This means that IUS functioning process of UAV must be divided and shall continue by some means or other depending on its fluidity. In order to arrange this, the possibility to change the key fluid parameter of dynamics control to another parameter has to be foreseen. For example, the time parameter is replaced by liveness parameter, or another parameter, which is determined based on the analysis of IUS fluidity. If it is impossible to select the dynamic parameter in the functioning process, in order replace the fluid parameter, a modification of task objective is done; the task is further resolved in such a manner, which makes it possible to determine the new dynamic parameter. As a part of this approach, it is vital to solve the task of synthesis of the static component of the G structural model with a dynamic component of the structural model, which will enable to get a synthesized dynamic structural model D . As mentioned above, the static structural model is described by the direct marked graph:

$$G = F[f(V, E), U],$$

where U is a multitude of graph labeling, which can lie in the nodes or edges labeling. The functioning process can be introduced in the following ways.

It is possible to draw a maximal graph, describing all possible situations, which may occur in the process of system management, for example, UAV. In this case, such graph is described by a following formula:

$$G^{\max} = G_1 \cup G_2 \cup \dots \cup G_n,$$

where G_i is a separate expansion. Within the structural model the following tasks, which have interpretation in the IUS, can be resolved:

- A task of reaching selected nodes,
- A task of structural model core allocation,
- A task of constructing isomorphic structure within the structural model and a number of other tasks.

A statistic structure in a structural model (MS) is a multitude of all events, which are generated in the IUS, while resolving the management tasks, which join together by their edges, defining

their dependencies and orientation in the *MS*. If resolving one class of tasks is implemented by several options of their resolving implementation, such graph grows from the simply ordered set ω_i into some structure. Therefore, the statistic structural model (*SMS*) is a description of all possible processes and their fragments. The dynamic structural model only includes the components, which participate in the fluid process.

The second method of *MS* structural introduction for the IUS of UAVs lies in the implementation of graph structure, reflecting the basic graph system. The expansion of such a structure is done in the process of implementing various types of *IUS* functioning, which are defined by the objective of a task to be solved, and the conditions to be met during its resolving. Since the functioning processes are considered within the *MS* model at the structural level, the mechanisms for the *MS* core expansion can be based not only on graph extension methods, but methods of logical means of transformations.

Generally, the *MS* is divided into active and passive components. The degree of passivity is determined by the number of structure fragments initiations $ms_i \in MS$, which are defined for a given period of the IUS functioning, which is defined as follows: $\Delta t_i = t_{ij} - t_{i(j-1)}$. Thus, the value Δt_i is formed in each case, and depends on the requirements, complementing the description of the task objective to be resolved.

Let us assume that the structure $G(V, E, U)$ is a static substructure or a static fragment of *MS*. *MS* dynamic expansion or structure $G(V, E, U)$ is a certain set of rules, which provides the construction of new simply ordered set in the structure $G(V, E, U)$. Now let us consider the definition of fluid expansion *MS* by a dynamic component.

Definitions 1. The dynamic expansion of the structure $G(V, E) \subset MS$ is a multitude of simply ordered sets, generated by the system:

$$\begin{aligned} &L(L_1, \dots, L_m) \& L_i(y_{i1}, \dots, y_{in}) \& \\ &[y(y_1, \dots, y_k) \Rightarrow [E \subset G(V, E, U)]], \\ &\forall (y_{ij} \in y) \{P[y_i(u_i) \Rightarrow D]\}, \\ &\forall y_{ij}(y_{ij}(u_i) \rightarrow [e_i^*(u_i) \cup G(V, E, U)]), \end{aligned}$$

where y_{ij} are logical variables, which have interpretation in the dyadic multitude d , \Rightarrow is a symbol, which in this case is used to describe the fact that the left side allows the interpretation in the components of the right side, $y_{ij}(u_i) \rightarrow e_i^*$ is an output of variables y_{ij} of a new node in $G(V, E, U)$, graph, which has a common edge with the node, which weight or index is u_i .

Definitions 2. The dynamic element of *MS* model is a fragment g_i , which is generated by the rule of derivation system $L(L_1, \dots, L_m)$ and is a separate simply ordered set $\omega_i \in W_i$, having common nodes e_i^* in G , and also may have common nodes $e_i^*(e_j)$ with G_i or $e_i^* \equiv e_j$.

The dynamic expansion $D_i(\omega_{i1}, \dots, \omega_{i2})$ of closed form is some fragments of graphic structure $G(V, E, U)$. Accordingly, such expansions should not lead to the appearance of anomalies within the full model structure, such as occurrence of deadlock vertexes, process looping, initiated in $G = D(V, E, U, L)$ and a number of other anomalies typical for graph structures and, thus, the structural models.

3. Conclusion

The dynamic expansion of *MS* structural model of the IUS system can be implemented in the following ways:

- in the process of setting the IUS to solve some task;
- in the process of task solving, which involves the maintenance of a process in real-time mode;
- in the case of occurrence in IUS space in the process of resolving a particular task, of a specific anomaly, which is interpreted as a certain indeterminateness.

References

- [1] Busacker R.G., Saaty T.L.: Finite Graphs and Networks: An Introduction with Applications/ Published by McGraw-Hill Book Company, Inc., 1965
- [2] Harary F.: Graph theory. M.: Mir, 1973
- [3] Korobchinskiy M.V.: Analyzing a method of modeling relations between individual components of information system The National Academy of Sciences of Ukraine, Issue 65, 2012, p. 174-182.
- [4] Korobchinskiy M.V.: Analyzing the possibilities of mathematical logic means to identify the anomalies in control system of the UAV of UAV, The National Academy of Sciences of Ukraine, Issue 65, 2012, p. 165-172.
- [5] Korobchinskiy M.V.: Topical issues of organization of the UAV's team flights control, Collected volume of scientific works of G.E.Pukhov Institute of modeling issues in power industry. The National Academy of Sciences of Ukraine, Issue. 61, 2011, p. 14-25.
- [6] Yevstigneyev V.A.: Application of graph theory and programming. M.: Nauka, 1985.
- [7] Yemelichev V.A., Melnikov O.I., Sarvanov V.I., Tyshkevitch R.I.: Lectures on graph theory, M.: Nauka, 1990.
- [8] Zambitskiy D.K., Lozovanu D.D.: Algorithms and resolving optimization tasks in the networks. Kishinev: Shtiitsa, 1983.

Ph.D. Maksym Korobchynskyi

e-mail: maks_kor@ukr.net

Associate Professor, Ph.D. (technical sciences), presented a thesis in 2006 titled "Design Methods for the UAV-Based Communications Systems". Research interest: complex dynamic systems modeling.



Prof. Oleg Mashkov

e-mail: mashkov_oleg_52@mail.ru

Professor, Doctor of Technical Sciences, Honored Leader in Science and Technology, Academician of the Aerospace Academy of Sciences. Vice-rector for Scientific Work at State Ecological Academy for postgraduate education and management. Research interest: modeling and research of the stable movement and navigation control systems.



otrzymano/received: 27.09.2013

przyjęto do druku/accepted: 30.11.2013

AUTOMATION OF THE SMART HOUSE SYSTEM-LEVEL DESIGN

Vasyl Teslyuk¹, Vasyl Beregovskiy², Andrii Pukach¹

¹ Lviv Polytechnic National University, CAD Department, ² College of Electronic Devices of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Abstract. In the article the smart house (SH) structural scheme, the general performance algorithm of the SH system, and the SH system model based on colored Petri nets, which enables exploring dynamics of the whole system as well as internal interaction of its main structural and functional subsystems at the system level design, have been developed.

Keywords: smart house, automation, design, system, colored Petri nets

AUTOMATYZACJA SYSTEMOWEGO POZIOMU PROJEKTOWANIA INTELIGENTNEGO DOMU

Streszczenie. W artykule przedstawiono opracowanie schematu strukturalnego inteligentnego domu (ID), ogólny algorytm pracy systemu ID, a także model systemu ID na podstawie kolorowej sieci Petri, co pozwala badać dynamikę zachowania zarówno całego systemu ID, jak i wewnętrznych współdziałania jej głównych podsystemów.

Słowa kluczowe: inteligentny dom, automatyzacja, projektowanie, system, kolorowe sieci Petri

Introduction

The energy saving issues becomes more and more argent in recent days all over the world [15]. One of the possible partial solution to this problem is a widespread use of the smart house technologies (SH) [19] that enables saving energy consumption up to 30%-40% and even more [15]. This technology is named differently: smart house, intelligent, obedient, energy-efficient house and others [2, 6, 11], but the core is a hardware-software system, which ensures comfortable accommodations and possibility of substantial energy savings.

Nowadays there are a lot of companies, which offer modules ready for the implementation of this project [2, 6, 11, 19] and there are many design solutions of smart houses and theirs components [1, 5, 8, 21, 23, 24].

Various systems for domestic appliances control via the Internet and mobile phones have been created and implemented [19].

Smart houses design as well as the majority of complex technical systems requires application of the block-hierarchical approach [22], which includes such hierarchical levels, namely: system level, subsystems and elements levels. For the analysis of smart house systems and subsystems performance models based on Petri theory [3, 4, 6, 9, 10, 16], which enables integrating different functional components and investigate their joint work, are proposed to be used.

The purpose of the research is the development of the SH system model that provides automation of the inner system processes and the relationship of its main subsystems on the system design level.

1. Development of the SH system model

To ensure the maximum efficiency and functionality, the smart house system should include the following major subsystems: climate-control subsystem, lighting and domestic appliances subsystem, safety and security subsystems and number of other additional subsystems [1, 5, 8, 19, 21, 23, 24].

In order to ensure an effective synchronization mechanism among the main subsystems and components of the developed SH system as well as with the user, the SH system should also include the remote SH controls, the inner SH control module, the central management module and SH subsystems controllers. Taking into account the above components the structural SH system scheme, presented in Fig. 1 has been developed.

The developed structural scheme of the SH system (Fig. 1) includes several major subsystems, namely, climate-control subsystem, lighting and domestic appliances subsystems, safety and security subsystems as well as the monitoring subsystem. Each of the subsystems is responsible for the instant response to

the sensors triggering, indicating the change of the corresponding input SH system parameter, with the aim of the further correction of the system in a given area (areas). Data exchange between the major functional components of the SH system is done through the internal network (Fig. 1).

The system can operate in three modes – in automatic mode, user mode and in the standby mode. In the automatic mode the SH system oversees a response to the change of any input system parameter and running mechanism of the system correction using the appropriate controller (Fig. 1) in automatic mode, and the user is only receiving informational messages about system changes.

The user mode provides synchronization of the SH system with the user through the central management module and remote SH controls using intranet (wired or wireless LAN) or an appropriate Internet connection (Fig. 1).

During this in case of any input parameters changes the corresponding subsystem is activated and the monitoring subsystem forms the information message that requests the user to activate the necessary mechanism for the system correction. Thus, the system correction mechanism is launched exclusively with the user's consent.

The standby mode is intended to temporary suspend (turn off) the SH system performance.

Correction of the SH system is carried out with the use of the appropriate controller (s) (Fig. 1), and actuators.

Each SH subsystem includes the number of individual input and output parameters, sensors and actuators, and is designed for monitoring and correction of the specific SH area.

Sensors are responsible for the collecting input information on the system state, while the actuators are responsible for the implementation of the system correction mechanism in the desired direction.

According to the developed structural scheme (Fig. 1), the general SH system algorithm is presented in the Fig. 2. At the very beginning the system goes into the automatic mode. In case of any event (activation of one or more input parameters) the according associative link of the activated input parameters reference to their domain subsystems and launch of such subsystems are set. In the selected automatic mode the neurcontroller is run [7, 13, 14, 17, 20, 25], which activates the mechanism required for the according SH system parameters correction.

In the user mode the system generates the appropriate request and pends the user permission confirmation to perform the required SH parameters correction, in case of confirmation the neurcontroller is run. After this the system switches to its start state expecting events, or goes into the standby mode and temporary suspension of the system operation.

On the base of the proposed algorithm the SH system model based on colored Petri nets [1-8, 1-9], presented below in Fig. 3, has been developed.

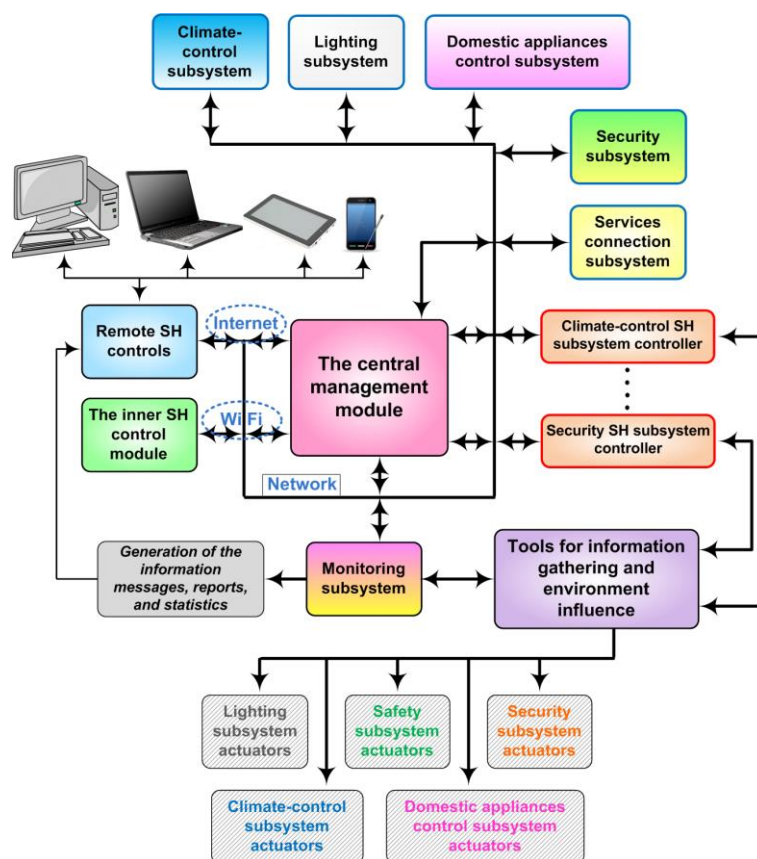


Fig. 1. Structural scheme of the smart house system

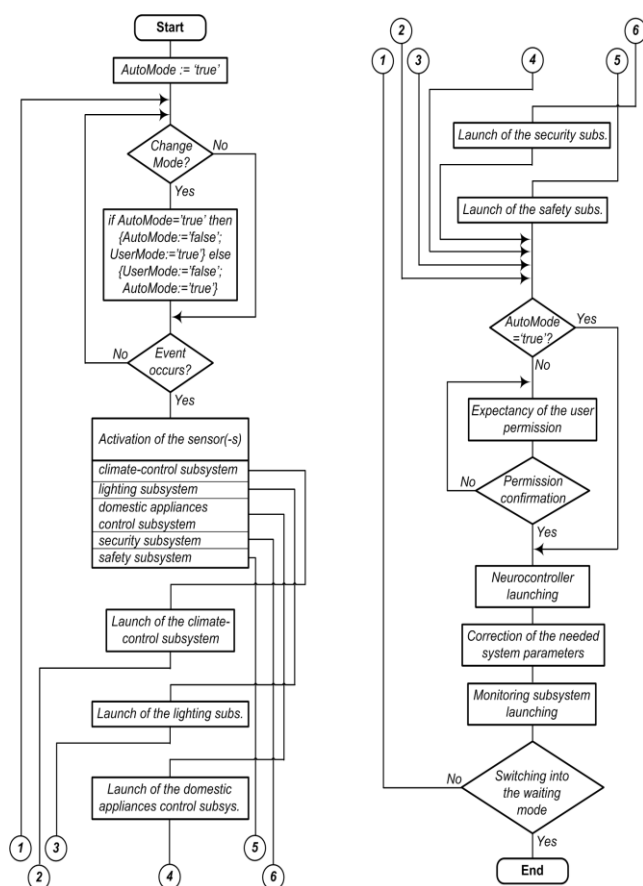


Fig. 2. The general SH system algorithm

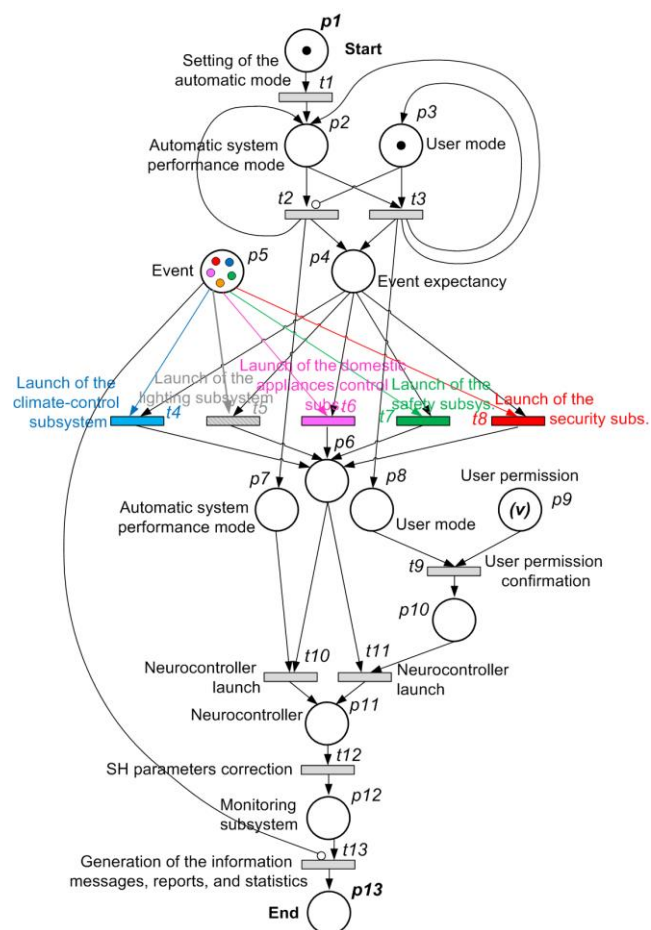


Fig. 3. The SH system model based on colored Petri nets

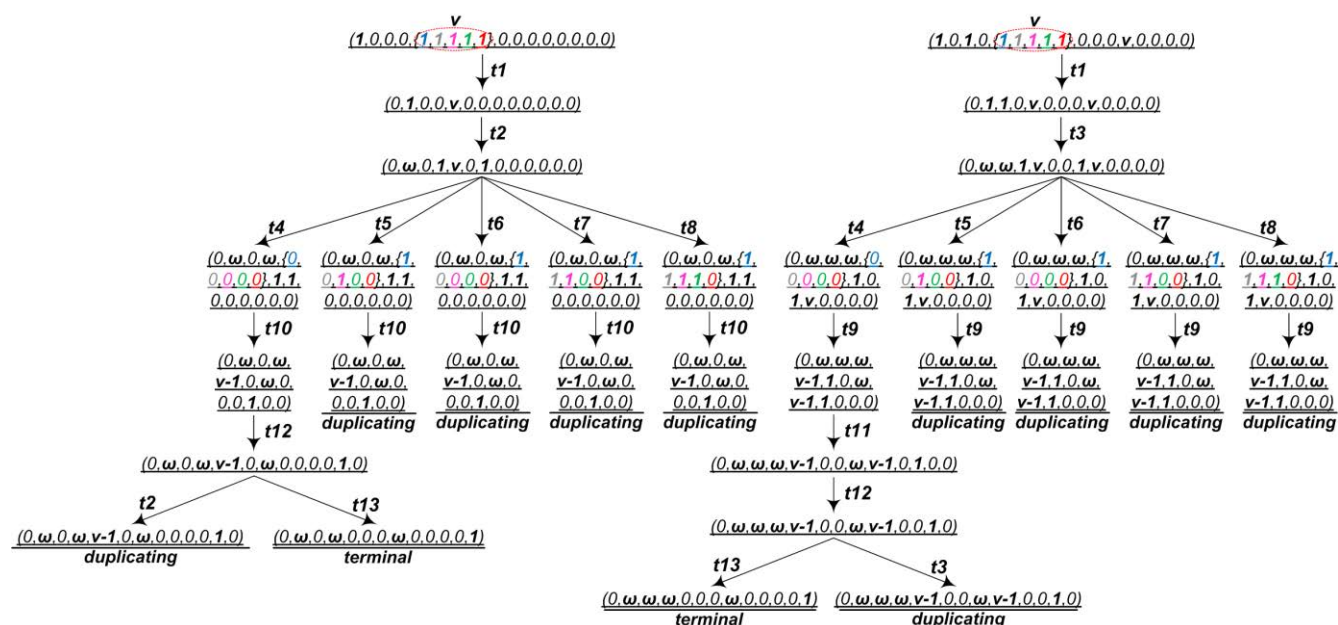


Fig. 4. The state reach graph developed on the base of colored Petri nets SH model

Table 1. The SH model based on colored Petri nets states and their primary purpose

No.	State e	Purpose
p1	Beginning	The state is responsible for launching the model, placing a marker at this position starts the work
p2	The automatic mode of the SH system	The marker state in this position affirms the automatic operation mode of the SH system
p3	The user mode of the SH system	The marker state in this position affirms choice of the user mode of the SH system
p4	Events expectancy	The marker in this position indicates a readiness to identify the active system events
p5	Event	The “event shop” state. This position includes the active events markers that emerged in the different SH subsystems
p6	Readiness to launch the neurocontroller	The marker in this position indicates the system readiness to launch the mechanism of the SH system parameters correction
p7	The automatic mode of the system	The marker in this position indicates the selected automatic mode of the system operation and the subsequent neurocontroller launching
p8	The user mode	The marker in this position affirms the selected user mode of the SH system and waiting for the user permission confirmation to perform the correction of the SH system
p9	The user permission	The marker in this position indicates the user acquaintance with the necessity of making SH system parameters correction in the selected fields and his or her permission to run the neurocontroller
p10	Confirmation of the user permission	The marker in this position affirms the selected user mode of the SH system and the subsequent launch of the neurocontroller
p11	Neurocontroller	The marker in this position indicates the successful neurocontroller launching and moving to the required system parameter correction phase
p12	The monitoring subsystem	The marker in this position affirms the launch of the SH system monitoring subsystem
p13	End	The marker in this position indicates the successful completion of the model performance

Description and purpose of the developed model states and transition are presented below in table 1 and table 2, respectively.

As according to the proposed SH system block diagram (Fig. 1), the system has a number of structural and functional subsystems with different functional purposes, in order to prevent any conflict situations among subsystems, there is a strict levels hierarchy (from the first to fifth, where the 1st has the highest priority) of the basic functional SH subsystems. It is presented below in table 3.

Table 2. The SH model based on colored Petri nets transitions and their primary purpose

No.	Purpose
t1	The launch of the model
t2	Setting of the SH system automatic operation mode
t3	Setting of the SH system user mode
t4	The launch of the climate-control SH subsystem
t5	The launch of the lighting SH subsystems
t6	The launch of the domestic appliance control SH subsystem
t7	The launch of the safety SH subsystem
t8	The launch of the security SH subsystem
t9	Confirmation of the user permission to launch the neurocontroller for the indicated SH parameters correction
t10	Launch of the neurocontroller (in the automatic mode)
t11	Launch of the neurocontroller (in the user mode)
t12	SH parameters correction
t13	Generation of the information messages, reports, and statistics

Table 3. The priority levels hierarchy of the basic functional SH subsystems

Subsystem	Priority level
The security subsystem	1
The safety subsystem	2
The lighting subsystem	3
The domestic appliance management subsystem	4
The climate-control subsystem	5

Thus, according to the proposed hierarchy, the security subsystem has the highest priority, which is responsible for the material values saving and general protection of the SH system against the unauthorized penetration and external influence. In the same time, the climate control subsystem has the lowest priority, primarily due to the high inertia to change the basic parameters of the subsystem. The state reach graph developed on the base of colored Petri nets SH model is depicted below in Fig. 4. Each link of the graph corresponds to a possible state of the developed model. So, built graph represents the reachability of each of the states of the developed model based on colored Petri nets, and it allows to keep the full picture of the behavior of SH system, represented by the developed model, based on colored Petri nets.

2. Conclusions

The work presents the structural scheme of the SH system, the general algorithm of the SH system and the SH system model based on colored Petri nets. The developed structural scheme of the SH system includes a number of key structural and functional subsystems that allow implementing automatic correction of the basic SH parameters for the most comfortable inner climate conditions and maximum energy savings, while providing protection against intruders penetration into the SH, as well as against probable property damage caused by emergency man-made situations (leak of the natural gas, water flowing, fire inside the SH premises, etc.) In order to avoid potential conflicts that may arise among the basic functional subsystems, there is a strict priority levels hierarchy in the SH system.

References

- [1] Grynk O., Denysyuk P., Teslyuk V.: System for Automation Testing Components of the Smart Home. Proc. of the VII-th Intern. Conf. of Computer Science & Information Technologies 2012 (CSIT'2012). Lviv: Publishing House Vezha&Co 2012, pp. 44 - 46.
- [2] Harper R.: Inside the Smart Home. London, Springer, August, 2003.
- [3] James L. Peterson A.: Note on Colored Petri Nets, Information Processing Letters, Volume 11, Number 1, August 1980, p. 40-43.
- [4] Jensen K., Kristensen L.M.: Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems: 1st edition Springer, 2009.
- [5] Kis Y.P., Teslyuk V. M.: Methods and tools of authentication biometric data in information systems, Actual Problems of Economics, 2012, № 12(138), p. 174 -182.
- [6] Niezabitowska E.: Budynek inteligentny Tom I, II Potrzeby użytkownika a standard budynku inteligentnego, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- [7] Rosenblatt F.: The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain, Cornell Aeronautical Laboratory, Psychological Review, v 65, No. 6, pp. 386-408.
- [8] Teslyuk V., Beregovska C.: Schematic Model of Protection and Lighting Subsystems for Analysis of Intellectual House, Proc. of the XII Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2013). Lviv - Polyana, Ukraine, 2013. p. 436 - 437.
- [9] Teslyuk V., Denysyuk P., Hamza Ali Yousef Al Shawabkeh, Kernysky A.: Developing Information Model Of The Reachability Graph, Proc. of the XVth International Seminar, Workshop Of Direct And Inverse Problems Of Electromagnetic And Acoustic Wave Theory (DIPED - 2010). Tbilisi, Georgia, 2010, p. 210 - 214.

- [10] Teslyuk V., Hamza Al-Shavabkeh, Pereyma M., Al Omari Tarik: The formalization of the MEMS automated design process by usage of Petri Networks. Proc. of the IIIrd International Conference of Young Scientists (MEMSTECH'2007) Lviv - Polyana, May, 23-26, 2007, p. 133 - 134.
- [11] Гірик М.А.: Інтелектуальна споруда – інтегрована інформаційна система <http://www.dabi.gov.ua>
- [12] Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984.
- [13] Омару С., Халид М., Юсоф Р.: Нейроуправление и его приложения, пер. с англ. М.: ИПРЖР, 2000.
- [14] Осовский С.: Нейронные сети для обработки информации Пер. с польского И.Д. Рудинского, М.: Финансы и статистика, 2002.
- [15] Перспективи ринку систем Розумний будинок: <http://alls.in.ua/17818-perspektivi-rinku-sistem-rozumnijj-budinok.html>
- [16] Питерсон Дж.: Теория сетей Петри и моделирование систем. М. Мир, 1984.
- [17] Розенблатт, Ф.: Принципы нейродинамики: Перцептроны и теория механизмов мозга, Principles of Neurodynamic: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms, М.: Мир, 1965.
- [18] Ротач В. Я.: Теория автоматического управления, М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
- [19] Системи безпеки Інтелектуального будинку: <http://dim.promotion-soft.com/bud-remont-2012-07-07-5508/>
- [20] Стюарт Р., Норвиг П.: Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Издательский дом, Вильямс, 2006.
- [21] Теслюк В.М., Березький О.М., Береговський В.В., Теслюк Т.В.: Розроблення нейроконтролера для управління підсистемою освітлення інтелектуального будинку, 36. наук. пр. ІППМЕ ім.Г.С.Пухова НАН України. Київ, 2012, Вип. 64, с.137 – 143.
- [22] Теслюк В.М., Денисюк П.Ю.: Автоматизація проектування мікроелектромеханічних систем на компонентному рівні: Монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011.
- [23] Теслюк В.М., Денисюк П.Ю., Теслюк Т.В., Береговський В.В.: Програмно-апаратна реалізація нейроконтролера для підсистеми клімат контролю інтелектуального будинку, Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій. Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. с. 211 – 212.
- [24] Теслюк В.М., Теслюк Т.В., Ляпандра А.С.: Модель підсистеми клімат контролю для аналізу роботи інтелектуального будинку, 36. наук.-техн. пр.: Науковий Вісник НЛТУ України. 2012. Вип. 22.9, с. 132 - 135.
- [25] Хайкин С.: Нейронные сети: полный курс, Neural Networks: A Comprehensive Foundation. 2-е изд., М.: Вильямс, 2006.

Vasyl Teslyuk
e-mail: vtesliuk@polynet.lviv.ua

Professor of CAD department. Research interests: Computer aided design and modeling of microelectromechanical systems and integrated circuits.



Andrii Pukach
e-mail: andrey_pukach@mail.ru

Junior Research Fellow of research group DB/SEB. Research interests: Microelectromechanical systems.



Vasyl Beregovsky
e-mail: bvasylv@mail.ru

Teacher of higher category of College of electronic devices of the Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas. Research interests: Microcircuitry; microsystems; digital technique; computing and microprocessor devices at electronic vehicles, computer circuit technology; technological practice, architecture of the computer systems and networks.



otrzymano/received: 23.10.2013

przyjęto do druku/accepted: 20.11.2013

JUBILEUSZ PROFESORA TADEUSZA JANOWSKIEGO

Rok 2013 jest dla Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej splotem rocznic kilku ważnych wydarzeń, z którymi nierozzerwalnie wiąże się osoba Profesora Tadeusza Janowskiego. W dniu Święta Politechniki Lubelskiej i Jubileuszu jej 60-lecia, 13 maja 2013 r., prof. dr hab. inż. Tadeusz Janowski otrzymał tytuł Honorowego Profesora PL, nadany uchwałą Senatu Uczelni. W tym roku obchodziliśmy też 45-lecie pracy naukowej Profesora w Politechnice Lubelskiej oraz Jego 80. urodziny. Jubileusz Profesora był jednym z pierwszych akcentów rozpoczynających się w tym roku obchodów 50-lecia Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Z jubileuszem tym w naturalny sposób łączy się Seminarium Technologii Nadprzewodnikowych i Plazmowych w Energetyce i Ekologii, zorganizowane na Wydziale EiI PL w dniach 14-15.11.2013 r.



Fot. 1. Prof. Tadeusz Janowski



Fot. 2. Uczestnicy seminarium jubileuszowego

Pierwszą część Seminarium wypełniła sesja poświęcona podwójnemu jubileuszowi Profesora Tadeusza Janowskiego. Dziekan Wydziału EiI PL prof. Henryka Danuta Stryczewska przedstawiła profesorom, reprezentującym ośrodki i towarzystwa naukowe oraz inne uczelnie, stan aktualny, potencjał badawczy i osiągnięcia naszego Wydziału. Następnie zaprezentowała sylwetkę prof. Tadeusza Janowskiego, inicjatora i współtwórcy najważniejszych osiągnięć Wydziału oraz Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii. Działalność i osiągnięcia Profesora opisane zostały szczegółowo w wydanej z okazji jubileuszu w listopadzie 2013 r. książce „Tadeusz Janowski – Profesor Honorowy Politechniki Lubelskiej”.

W dalszej części sesji profesorowie z Politechniki Lubelskiej oraz innych ośrodków naukowych i uczelni w Polsce wręczyli Jubilatowi okolicznościowe dyplomy, adresy i odznaczenia, dzieląc się przy tym z uczestnikami refleksjami dotyczącymi Jego działalności i sukcesów. Wśród nich byli: były rektor PL prof. Włodzimierz Sitko, prorektor PL ds. nauki prof. Marzenna Dudzińska, były prezes SEP prof. Stanisław Bolkowski, prezes Oddziału Lubelskiego SEP inż. Jacek Woźniak, przewodniczący Komitetu Elektrotechniki PAN prof. Andrzej Demenko, przewodniczący Rady Naukowej Instytutu Elektrotechniki w Warszawie prof. Kazimierz Zakrzewski, dyrektor tego Instytutu prof. Wiesław Wilczyński, prorektor ZUT w Szczecinie prof. Ryszard Palka, dziekan Wydziału EAIiB AGH prof. Antoni Cieśla, przewodniczący PTETiS prof. Krzysztof Kluszczyński oraz rektor Politechniki Lubelskiej prof. Piotr Kacejko. W jubileuszowej książce zawarto wypowiedzi, wspomnienia i refleksje również innych profesorów: Bolesława Mazurka z Oddziału Instytutu Elektrotechniki we Wrocławiu, Mariana Pasko z Politechniki Śląskiej, Jerzego Mizeraczyka z Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Andrzeja Nafalskiego z University of South Australia, Kenji Ebihary z Kumamoto University (Japonia), Henryki Stryczewskiej, Andrzeja Wac-Włodarczyka i Pawła Surdackiego z Politechniki Lubelskiej.



Fot. 3. Rektor PL prof. Piotr Kacejko składa gratulacje Jubilatowi; z tyłu prof. H. D. Stryczewska i prof. A. Wac-Włodarczyk

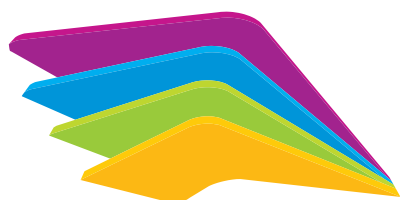


Fot. 4. Od lewej profesorowie: H. D. Stryczewska, B. Mazurek, J. Szczygłowski, K. Zakrzewski, T. Janowski, S. Bolkowski

W drugiej części Seminarium odbyła się sesja naukowa, w której profesorowie - wychowankowie szkoły naukowej prof. T. Janowskiego przedstawili wyniki badań w głównych obszarach zainicjowanych i kierowanych przez Jubilata: zastosowania nadprzewodnictwa (prof. Sławomir Kozak, dr hab. inż. Paweł Surdacki), materiały magnetyczne i ich zastosowania (prof. Andrzej Wac-Włodarczyk) oraz wykorzystanie technologii plazmowych w eko- i bioinżynierii (prof. Henryka Danuta Stryczewska). Po części oficjalnej odbyło się spotkanie towarzyskie, w czasie którego goście składali Jubilatowi indywidualne życzenia oraz odśpiewali gromkie „Sto lat”.

Dalsza część Seminarium odbyła się w ośrodku „Energetyk” w Nałęczowie, gdzie odbyło się wyjazdowe posiedzenie Zarządu Głównego PTETiS oraz kolacja koleżeńską na cześć Jubilata. Następnego dnia zaproszeni profesorowie: Andrzej Demenko (Pol. Poznańska), Ryszard Sikora (ZUT w Szczecinie) i Zbigniew Kołociński (Pol. Łódzka) oraz Jubilat prof. Tadeusz Janowski wygłosili wykłady nt. wybranych zastosowań elektromagnetyzmu.

Paweł Surdacki



ZAINWESTUJMY 2
W INNOWACJE – INKUBATOR TECHNOLOGICZNY
www.zainwestujmy.pl

Zainwestujmy w Innowacje Inkubator Technologiczny 2

Do współpracy zapraszamy Pomysłodawców, którzy chcą osiągnąć sukces w biznesie. Nasza oferta kierowana jest do osób fizycznych - przedsiębiorców, naukowców, pracowników naukowych i wynalazców.



Szukasz dotacji by móc zrealizować swój pomysł?
Wejdź na www.zainwestujmy.pl i dowiedz się więcej!



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



CITT LPNT

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Fundusze Europejskie - dla rozwoju innowacyjnej gospodarki. Inwestujemy w Waszą przyszłość!