

Zeszyty Studenckiego Towarzystwa Naukowego

59. Hutnicza Konferencja
Studenckich Kół Naukowych AGH



Nr 38

Publikacje laureatów



Wydawnictwo
Studenckiego Towarzystwa Naukowego
Kraków 2022

Wydawnictwo Studenckiego Towarzystwa Naukowego
ISSN 1732-0925

Stowarzyszenie – Studenckie Towarzystwo Naukowe
afiliowane przy
Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica

Redaktor naczelny: Zbigniew Sulima

Członkowie: Agnieszka Cebo-Rudnicka
Olga Ciężkowska
Grzegorz Luty
Arkadiusz Kuta
Łukasz Wzorek
Mateusz Wędrychowicz

Komitety Naukowy Wydawnictwa:
prof. dr hab. inż. Mirosław Karbowniczek
dr inż. Leszek Kurcz, prof. AGH

Druk publikacji wykonano zgodnie z oryginałami dostarczonymi przez
Autorów i oceną dokonaną przez Recenzentów

Projekt okładki i strony tytułowej: Jadwiga Orewczyk, Leszek Kurcz,
Jakub Michalik

Nakład: 120 egzemplarzy

Redakcja Wydawnictwa Studenckiego Towarzystwa Naukowego
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
Tel./fax: (12) 617-38-22
e-mail: stn@agh.edu.pl

Artykuły Laureatów

59. HUTNICZEJ KONFERENCJI
STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ

pod redakcją
Joanny Augustyn-Nadziei
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

CONTENTS

Summaries.....	13
Brzyk J., Gliwiński Ł., Gładyś K., Gibiec M. – Application of innovative mechanical solutions in the autonomous planetary robot “Kalman”	41
Chmiel E. – Multi-instrument based on four elements – conception, prototype.....	49
Chudy Ł., Krawczyk J., Bembenek M. – Briquetting of waste materials	58
Cudok B., Trojanowska M., Zagórski K. – Modernization of an electric off-road E-Moto AGH motorcycle with the nominal power of 30 kW	66
Derżko M. – Plasma organ – Project and prototype building.....	74
Dubrov D.S. – Design of contactless infra-red device with temperature sensor MLX90614 based on Arduino	82
Fic M., Michta G. – Microstructure of 15-5 PH steel manufactured by selective laser melting.....	88
Ficak G., Lisiecki Ł. – The technology of multiple forging of the lever for the fuel system.....	95
Gilek P., Krawczyk J., Kokosza A. – Analysis of the relation between selected mechanical properties of steel elements and the magnitude of Barkhausen magnetic noise	103
Gocyk K. – FEM analysis of deformation and durability of biomimetic composite laminates inspired by Mantis Shrimp appendages	111
Halejcio D. – Design of the casting technology of an object from popular series computer games	119
Jeziorek K., Kryjak T. – Traffic sign detection and recognition using event camera image reconstruction	127
Kopeć P. – Analysis of the forging process of the cannon barrel on swaging machine.....	135
Król M. – Effect of production parameters on the properties of sintered Fe-Cu-Sn-Ni-P materials	141
Kuglarz K., Michta G., Włodarczyk D. – The microstructure and properties of the three-layer 410S – Cu-DHP –316L plate and tests of welding.....	148
Olszewski M., Bednorz S., Łagan M., Gibiec M. – Kalman Rover – Electronics, Software and Science.....	156

Pabich B., Cichocki K., Lisiecki Ł., Muszka K., Bała P. – Development of technological parameters of forging and rolling processes of FeMnNiCoMo high-entropy alloy intended for military applications	165
Pietras M.T.– The process of modelling the blade geometry for a wind turbine based on the operation of three generators.....	174
Furgała M., Margielewska J., Piontek A., Poloczek P., Wojtanek K. – Fibrous carbon substrates with an active surface to fill cartilage tissue damage simulating the process of its regeneration	183
Tomal P., Michta G. – Welding methods usage in additive methods of construction elements manufacturing	193
Żegleń F., Mucha M., Kustra P. – Development and implementation of the user interface and server for the Soft Bastion portal supporting the process of remote learning based on gamification.....	198

SPIS TREŚCI

Streszczenia.....	27
Brzyk J., Gliwiński Ł., Gładyś K., Gibiec M. – Aplikacja innowacyjnych rozwiązań mechanicznych w autonomicznym robocie planetarnym „Kalman”	41
Chmiel E. – Multi-instrument z wykorzystaniem czterech żywiółów – koncepcja, prototyp.....	49
Chudy Ł., Krawczyk J., Bembenek M. – Brykietowanie materiałów odpadowych.....	58
Cudok B., Trojanowska M., Zagórski K. – Modernizacja terenowego motocykla elektrycznego e-moto agh o mocy 30 kW.....	66
Derżko M. – Organy plazmowe – projekt i budowa prototypu.....	74
Dubrov D.S. – Design of contactless infra-red device with temperature sensor MLX90614 based on Arduino.....	82
Fic M., Michta G. – Mikrostruktura stali 15-5 PH wytwarzanej metodą selektywnego topienia laserowego.....	88
Ficak G., Lisiecki Ł. – Technologia kucia wielokrotnego odkuwki dźwigni do układu paliwowego.....	95
Gilek P., Krawczyk J., Kokosza A. – Analiza zależności między wybranymi własnościami mechanicznymi elementów stalowych oraz wielkością szumów magnetycznych Barkhausena.....	103
Gocyk K. – Analiza MES odkształcalności i wytrzymałości kompozytów biomimetycznych inspirowanych pancerzem krewetki boksującej.....	111
Halejcio D. – Zaprojektowanie technologii odlewu artystycznego przedmiotu pochodzącego z popularnej serii gier komputerowych.....	119
Jeziorek K., Kryjak T. – Detekcja i rozpoznawanie znaków drogowych z wykorzystaniem rekonstrukcji obrazów z kamery zdarzeniowej.....	127
Kopeć P. – Analiza procesu obkuvania łuf na kowarkach.....	135
Król M. – Wpływ parametrów wytwarzania na własności spieków Fe-Cu-Sn-Ni-P.....	141
Kuglarz K., Michta G., Włodarczyk D. – Mikrostruktura i właściwości trójwarstwowego plateru 410S – Cu-DHP – 316L oraz próby jego spawania	148
Olszewski M., Bednorz S., Łagan M., Gibiec M. – Łazik Kalman – elektronika, software oraz science.....	156

Pabich B., Cichocki K., Lisiecki Ł., Muszka K., Bała P. – Opracowanie parametrów technologicznych procesu kucia i walcowania stopu wysokoentropowego FeMnNiCoMo z przeznaczeniem do zastosowań militarnych.....	165
Pietras M.T.– Proces modelowania geometrii łopatek dla turbiny wiatrowej opartej na działaniu trzech generatorów	174
Furgala M., Margielewska J., Piontek A., Poloczek P., Wojtanek K. – Włókniste podłoża węglowe z aktywną powierzchnią jako wypełnienia uszkodzeń tkanki chrzęstnej symulujące proces jej regeneracji.....	183
Tomal P., Michta G. – Zastosowanie metod spawalniczych w przyrostowych metodach wytwarzania elementów konstrukcyjnych.....	193
Żegleń F., Mucha M., Kuśtra P. – Opracowanie oraz implementacja interfejsu użytkownika i serwera dla portalu Soft Bastion wspomagającego proces nauki zdalnej na bazie grywalizacji	198

STUDENT SCIENTIFIC CONFERENCES AT AGH STRATEGY – ACTION – RESULT

The presented below Student Scientific Association Journal contains 21 articles submitted by the Awardees of this year's 59th Metallurgical Conference of AGH University of Science and Technology Students. With joy and enthusiasm, we returned to the conference stationary mode, with its inaugural opening in Aula A-0 on May 12th. After delivering inaugural speeches from KN Metaloznawców – Monika Cupiał entitled "Modern applications of additive methods" and KN Telephoners – Dominik Dobrowolski, entitled "Where did those routers go", debates began in the lecture halls of individual AGH UST faculties.

This year, we registered 280 attendees and 166 abstracts, including 14 in English. We hosted 12 students from the Lviv University of Technology and students from the Technical University in Ostrava. Moreover, we had the pleasure of listening to students' scientific papers from our partners at Wrocław and Cracow University of Technology.

Conference participants presented their research and construction work in 13 scientific sections including: Space Technologies, Bioengineering, Power Engineering, Metal Science, Foundry, Mechanics and Information Technologies. The variety of scientific disciplines proved the wide possibilities of our students and the enormous research and development potential of the University. The AGH University of Science and Technology is a place where we take pride in enabling our students to develop their invention-driven mindset, enhance their engineering sense and gain experience in independent research with subsequent interpretation of the obtained results.

It should be emphasized, that the activity of students in research clubs and the amount of work put in by the supervisors of the clubs allow to educate new generations of highly skilled professionals. Our staff provide students with not only with scientific expertise, but also practical knowledge supported by the needs of the ever-so-changing labor market. Our close collaboration with industries, joint research projects and other activities allow students to expand their competences and accelerate their career development, in turn enabling their self-fulfillment. Bearing in mind the above-mentioned aspects, representatives of the industry, AGH UST alumni and ambassadors were invited to the Jury of this year's conference.

Students presented their works, achievements and gained experience not only in terms of science, but also application. I would like to emphasize the very high scientific level of the presented works. During the lecture, students shared their scientific thought and construction sense, as well as a bold visionary view of translating the technological solution into real-life applications. The presented modern and innovative design solutions in the presented papers deserve a great honor and praise! A wide spectrum of research carried out, valuable scientific discussions held during the sessions and the appeal of the presented research results are great assets of our students.

Quoting Jim Stovall, who said: “*Learning is a journey that lasts a lifetime. For open minds, the world is full of questions worth knowing the answers to*”, I would like to thank all the students participating in the conference, the scientific supervisors of the papers and the supervisors of scientific circles for their collective effort to achieve such a wonderful success of the conference.

I would like to thank the AKNET Editorial Team for their help in folding and composing the text of the book, and the STN Publishing House for the opportunity to publish the notebook with scientific articles of our this year’s Laureates of the 59th AGH University of Science and Technology Students’ Conference.

PhD Joanna Augustyn-Nadzieja
AGH University of Science and Technology
Representative of the Rector for Student Research Clubs

STUDENCKIE KOŁA NAUKOWE AGH STRATEGIA – DZIAŁANIE – REZULTAT

Prezentowany Państwu Zeszyt Studenckiego Towarzystwa Naukowego zawiera 21 artykułów zgłoszonych przez Laureatów tegorocznej 59 Hutniczej Konferencji Studenckich Kół Naukowych AGH. Z radością i entuzjazmem wróciliśmy do trybu stacjonarnej konferencji, przy inauguracyjnym jej otwarciu w Auli A-0 w dniu 12 maja. Po wysłuchaniu referatów inauguracyjnych wygłoszonych przez studentów z KN Metaloznawców – Monikę Cupiał pt. „Nowoczesne aplikacje metod addytywnych” oraz KN Telephoners – Dominika Dobrowolskiego pt. „Gdzie się podziały tamte routery” rozpoczęto obrady w salach wykładowych na poszczególnych wydziałach AGH.

W tym roku na konferencję zgłosiło się ponad 280 osób, zostało wygłoszonych 166 referatów, w tym 14 w języku angielskim. Gościliśmy 12 studentów z Politechniki Lwowskiej oraz studentów z Uniwersytetu Technicznego w Ostrawie. Mieliśmy przyjemność wysłuchania prac naukowych studentów z naszych zaprzyjaźnionych polskich Uczelni – Politechniki Wrocławskiej i Krakowskiej.

Uczestnicy konferencji przedstawili wyniki swoich prac badawczych i konstrukcyjnych w 13 sekcjach naukowych takich jak Technologie Kosmiczne, Bioinżynieria, Energetyka, Metaloznawstwo, Odlewnictwo, Mechanika czy Technologie Informatyczne. Różnorodność sekcji tematycznych świadczy o bardzo szerokich możliwościach naszych studentów oraz ogromnym potencjale badawczo-rozwojowym Uczelni. Akademia Górniczo-Hutnicza jest miejscem, które stanowi postument, gdzie studenci rozwijają swoje zdolności myśli konstrukcyjnej, szlifują zmysł inżynierski i nabywają doświadczenia w samodzielnym prowadzeniu badań naukowych z późniejszą interpretacją otrzymanych wyników badań.

Należy podkreślić, że działalność studentów w kołach naukowych i ogrom pracy jaki jest wkładany przez Opiekunów kół pozwala kształcić przyszłych inżynierów, magistrów i doktorów. Opiekunowie przekazują swoim podopiecznym nie tylko wiedzę naukową, ale także praktyczną podpartą potrzebami rynku pracy. Ścisła współpraca Uczelni z przemysłem, prowadzone wspólnie projekty naukowe oraz inne działania pozwalają na poszerzanie kompetencji studentów, a tym samym możliwość znalezienia pracy, która umożliwi ich samorealizację. Mając na uwadze wymienione aspekty, do Jury tegorocznej konferencji zostały

zaproszone osoby z przemysłu, absolwenci i ambasadorzy AGH. Studenci prezentowali swoje prace, osiągnięcia i zdobyte doświadczenie nie tylko od strony naukowej ale i aplikacyjnej. Chciałabym podkreślić bardzo wysoki poziom naukowy prezentowanych prac. Podczas prelekcji studenci dzielili się myślą naukową i zmysłem konstrukcyjnym, a także odważnym wizjonerskim spojrzeniem wdrażanych rozwiązań technologicznych. Zaprezentowane nowoczesne i innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne w prezentowanych referatach zasługują na ogromne wyróżnienie i pochwałę! Szerokie spektrum wykonanych badań naukowych, prowadzone podczas sesji cenne naukowe dyskusje czy atrakcyjność prezentowanych wyników badań to wspaniałe atuty naszych studentów.

Cytując Jim'a Stovall'a, który powiedział *„Nauka to podróż, która trwa przez całe życie. Dla otwartych umysłów świat jest pełen pytań, na które warto poznać odpowiedzi”*, chciałabym serdecznie podziękować wszystkim studentom biorącym udział w konferencji, dziękuję Opiekunom naukowym referatów, Opiekunom kół naukowych, bez których w dużej mierze nie udałooby się osiągnąć tak wspaniałego sukcesu konferencji.

Dziękuję Zespołowi Redakcyjnemu AKNET za pomoc w składaniu i łamaniu tekstu książki, oraz Wydawnictwu STN za możliwość opublikowania prezentowanego Państwu zeszytu z artykułami naukowymi naszych tegorocznych Laureatów 59 Hutniczej Konferencji Studenckich Kół Naukowych AGH.

dr inż. Joanna Augustyn-Nadzieja
Pełnomocnik Rektora ds. Kół Naukowych
Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie

SUMMARIES

Brzyk J., Gliwiński Ł., Gładysz K., Gibiec M.

Application of innovative mechanical solutions in the autonomous planetary robot “Kalman”

The subject of the paper will be the review of the mechanical improvements of the Kalman planetary rover – a project of the AGH Space Systems. Namely: a new robot frame, the development of a robotic arm, a modular gripper. Constant improvements also affected the mobile laboratory module and the rover's propulsion system.

Using the advantages of the previous frame, a completely new module was designed and manufactured. Guided by lightness and durability, a new frame with similar dimensions as before was obtained. Due to the loose mounting to the suspension, the stresses on the structure were reduced significantly reducing the weight. The running system has been extended with a mechanism to reduce misalignment. The honeycomb tires have been optimized in terms of weight. The robotic arm has been redesigned to a new version made of aluminium to increase strength and stiffness. Much focus was paid to weight reduction, modularity and reliability of the structure. Backward compatibility of new and old manipulator dependencies is included. In correspondence with the new arm, a new gripper is created with a simplified and reliable kinematic structure. The distinctive design reveals many advantages. It uses silicone molding and the idea of a replaceable jaw depending on the challenge.

Chmiel E.

Multi-instrument based on four elements – conception, prototype

The purpose of this project is to build a multi-instrument. It is composed of four self-made instruments, which use different centers of sound propagation. It is planned to use hydraulophone to generate sound by using water, plasma speaker as the substitute of fire, an octave pipe organ to produce sound from the vibrations of the air column, and gaitophone, which will use waves picked up in

the ground. Ultimately it is aimed to use microcontroller, which will allow one person to play all of the instruments by themselves from the app.

In this work, there are presented construction plans for each instrument, their operating principles, the process of building a hydraulophone prototype, early stages of work with pipe organ and functioning plasma speaker generating acoustical frequencies with the use of a microcontroller.

Chudy Ł., Krawczyk J., Bembenek M.

Briquetting of waste materials

The main purpose of this thesis was to develop effective methods in structure examining of a briquette and evaluate applied technological solutions. Hardness and roughness measurements were made on the briquette surface, and an analysis of the geometry and particle distribution in the material was carried out. The research results were analysed. The importance of briquetting for ecological purposes has been confirmed. The presented research allowed for a detailed description of the structure parameters and material properties of the briquette.

Cudok B., Trojanowska M., Zagórski K.

Modernization of an electric off-road E-Moto AGH motorcycle with the nominal power of 30 kW

The paper deals with the modernization of an electric motorcycle which has a nominal power of 30 kW and was built by students as part of the E-Moto AGH project. The aim of the modification is to obtain the possibly lightest and manoeuvrable design that competes with mass-produced combustion motorcycles.

The work includes a description of a comprehensive modification of the load-bearing structure as well as a modification of the battery pack. The protective and visual elements in the form of motorcycle fairings have also been redesigned. The paper presents the advantages of changing the structure to a self-supporting one and the use of an integrated drive transmission system. The problem of combining a modern look with functionality and ergonomics was raised through the design of the motorcycle's external covers. The final part of the paper is to present the challenges posed by the new structure.

The aim of the work is to make recipients aware that electric motorcycles have the driving parameters comparable to combustion ones, but they are free from disadvantages such as exhaust emissions and noise generation, and at the same time provide adrenaline and a positive driving experience.

Derżko M.

Plasma organ – Project and prototype building

The music industry has been growing for years, not only on a technical level, but also on artistic level. A lot of performers are looking for their unique sound, which makes the room to create a new device, meeting their needs.

The presented device will provide a non – standard timbre, it may also catch the eye with unusual design. It will be made from a dozen or so pipes, made from PVC, in which the air will be stimulated from plasma discharge. It will be achieved by air ionization inbetween the electrodes, located at the bottom of each pipe. The instrument will also have the ability to be controlled by the MIDI interface, implemented on the microcontroller controlling the operation of the device.

The preliminary research has been carried out, which confirmed the ability to use plasma stimulants for pipes, allowing further work on the instrument.

Fic M., Michta G.

Microstructure of 15-5 PH steel manufactured by selective laser melting

The microstructure of a material has an undeniable influence on the properties of the elements produced from it. Many of the material's properties, such as its strength parameters, fatigue resistance and, consequently, its applicability under specific environmental conditions and under prevailing stresses, depend on its microstructure and its characteristics. Therefore, a thorough analysis of the microstructures is a prerequisite for the appropriate use of the material.

A number of factors influence the microstructure of a material after manufacture. It is influenced by both heat treatment and a number of other processes designed to give the component its projected parameters. The output

microstructure is also important; by studying it and comparing it with the final microstructure, it is possible to obtain a range of information from the changes that have taken place in the material to obtaining data on the effectiveness of the processes carried out.

The microstructure was analysed using both the elementary powder, which was used to print the sample, and the finished component. Both light microscopy and scanning electron microscopy imaging techniques were used in the study.

Ficak G., Lisiecki L.

The technology of multiple forging of the lever for the fuel system

The development of programs for numerical calculations means that already at the design stage there is an opportunity to analyze the course of the shaping process and its possible correction. Modern software makes it possible, already during the calculations, to perform an analysis of the distribution of selected parameters influencing the quality of the product and tool life.

The paper presents the existing technology of drop forging and the defects located in the forging. Then, a modification of the technology was proposed, aimed at obtaining a finished product without defects and minimizing the tools wear. Ultimately, the aim of the work was achieved - a product without defects was obtained, the tool life in two forging operations was improved and the forging yield was increased.

Gilek P., Krawczyk J., Kokosza A.

Analysis of the relation between selected mechanical properties of steel elements and the magnitude of Barkhausen magnetic noise

NDT issues mainly focus on damage detection. Their examples may be defects related to, among others, with fatigue wear (e.g. in the form of pitting), corrosion or manufacturing defects. An important issue is also the study of the causes as a result of which they arise. In the case of metallic materials, this may be, for example, the presence of residual stresses. These stresses are one of the reasons for the occurrence of cracks and deformations. The cause of residual stresses is heat treatment as well as plastic and loss working processes. One of the

methods that enable the measurement of residual stresses on an industrial scale is the Barkhausen magnetic noise method.

As part of this study, it was decided to determine whether the amount of the above-mentioned noise shows a dependence on selected mechanical properties. The aim was also to determine whether the test item is not defective. The research material was the landing gear of a Cessna light sports aircraft, made of chrome-silicon spring steel. The element has not been operated before. The production process included, among others plastic working, machining and heat treatment. As part of the research, magnetic noise measurements using the Barkhausen method, hardness measurements and a static tensile test were performed, which were used to determine the mechanical properties. Some of the above-mentioned research activities required taking samples from the element, which was done using the waterjet method.

The conducted research showed a high dependence of the magnitude of Barkhausen magnetic noise on the material properties determined in the study. A particularly close relationship was related to the results of measurements of magnetic noise and hardness. The relationship between the Barkhausen magnetic noise and the results of the static tensile test is also important, but no relationship was observed with regard to the directions of sample collection.

Gocyk K.

FEM analysis of deformation and durability of biomimetic composite laminates inspired by Mantis Shrimp appendages

Nowadays the development in technology in all sectors requires very damage resistant and specific new materials. Many inventive technologies are blocked due to the lack of proper construction material. For the project regarding the stress and strain FEM (Finite Element Method) analysis of biomimetic composite inspired by mantis shrimps carapace. To analyze the composite laminate a Finite Element Method simulations in ANSYS Workbench were conducted. The simulated tests were specific, normalized mechanical tests for composite laminates, with composite being made of carbon fiber and epoxy resin. Composite was biomimetically designed to mimic crust of *Odontodactylus Scyllarus*, otherwise known as the Mantis Shrimp. Simulations were created in order to analyze the behavior of plies in laminate while under working load.

This research aimed to examine the potential issues of the laminate and its properties that could be applied in engineering new constructions. To explore the properties of this composite, virtual models of several samples were made, which differed by the orientation of layers and the boundary conditions. Results of those tests were stress and strain distribution visualizations and diagrams for all of the simulated models. Simulation outcomes were analyzed and precisely described, which results in understanding composite's and all the layers reaction to tensile test. The most important results obtained turned out to be the stress and strain distribution within the sample that were color-coded using ANSYS Workbench. Those distributions prove extremely useful for analysis of composite laminate inner construction and properties of stress distribution within the layers.

Halejcio D.

Design of the casting technology of an object from popular series computer games

Art foundry is broad area through which modern culture develops. Nowadays, many young people are spending more and more time in virtual reality. The object of article was use state-of-the-art technique to coverage technology realize witchers school cat medallion from third part of popular game series Witcher from game developer CD PROJEKT RED.

By the use of modern techniques, many of artifacts created in the video games can be reproduced in our reality. Mentioned before element was developed with help of 3D models. Next step was creating technologies on software SolidWorks 2021, running proper simulations in software MagmaSoft 5.4., received results: velocity of liquid metal in gate system and propose space where arise shrinkage porosity. Finally the real cast has made from alloy silicon bronze 331. The art casting was compared with results of simulations. Conlucions from carried results was: alloy which was made cast copy mould cavity perfectly, results of simulation are helpful in design gate system.

Jeziorek K., Kryjak T.

Traffic sign detection and recognition using event camera image reconstruction

Event cameras are a new type of sensor based on the action of the human eye. They are characterized by a high dynamic range, high time resolution and low power consumption. Compared to traditional vision cameras, they work better in unfavorable lighting conditions, enable the registration of fast movement and low latency.

This work presents the implementation of a system which enables the detection and recognition of road signs based on reconstructed images from an event camera. In order to perform the reconstruction, the FireNet convolutional neural network was used, which is one of the newest solutions enabling image reconstruction. On the other hand, the YOLOv4 network was used as a road sign detector, which is characterized by high accuracy and relatively low computational complexity. As the base for the recordings from the event camera, the DSEC (Stereo Event Camera Dataset) collection and the Driving Event Camera Dataset were used. Time and quality tests of both algorithms were carried out using the NVIDIA GeForce RTX 2060 computing platform.

The time needed to perform the reconstruction from the collected events in 1 ms and 10 ms was 19.15 ms and 52.25 ms, respectively. Better results were achieved by the model trained on gray images. For the $\text{mAP}@0.5\text{IoU}$ metric, a high mAP value of 87.03% was obtained, while for $\text{mAP}@0.75\text{IoU}$ it was 64.17%. The average detection time per frame was 30.86 ms, regardless whether the model was trained in colour or grayscale images.

Kopeć P.

Analysis of the forging process of the cannon barrel on swaging machine

The manufacture of barrel weapons, due to its specific working conditions and high requirements, makes it necessary to use swaging machines. Forging on swaging machines allows the cross-section of the material to be altered and the internal surface of through-hole products such as pipes or thick-walled sleeves

to be shaped. The deformation caused by a single impact of the anvils is small, which allows the material to be superficially strengthened. The process can allow for high volume production. The barrels allow the projectile to move in a specific direction and direct the energy created by the shot. Thanks to the forging process on swaging machines, barrels can be threaded without the need for machining. This weapon component has to endure significant increases in temperature and pressure over a short period of time. The process was simulated in the FEM-based program Qform. It was possible to construct a model of the swaging machine, anvils and mandrel (models of the individual components were created using SolidWorks), define the charge, operating conditions of the machine and tools, the material, as well as the boundary conditions. A simulation of forging a section of the barrel for 50 blows was carried out. As a result of the simulation, maps of the actual stress distribution, average stress, temperature, strain intensity, tool temperature as well as the desired geometry were obtained. The data were analysed. A satisfactory shape of the forging was obtained by extending the axis of the charge without significant defects and forging.

Król M.

Effect of production parameters on the properties of sintered Fe-Cu-Sn-Ni-P materials

The work presents the possibility of fabrication of inexpensive iron-base powders intended to form the matrix in sintered diamond-impregnated tool components. In this study, a finely dispersed, pre-alloyed steel powder, containing over 94 wt.% Fe, has been designed and fabricated by means of a proprietary process developed at AGH-University of Science and Technology in Krakow.

The second sample was obtained from elemental powders by mixing in a Turbula mixer, pressing and sintering.

The sintered parts were tested for density, hardness, three-point bending test and subjected to metallographic observations on both fracture surfaces and metallographic cross sections.

It has been shown that the experimental powder can be consolidated to a closed porosity condition (>95% TD) by pressure-less sintering. The as-consolidated material is characterised by an excellent combination of hardness and mechanical strength.

Kuglarz K, Michta G., Włodarczyk D.

The microstructure and properties of the three-layer 410S – Cu-DHP –316L plate and tests of welding

The use of explosive cladding technology has many advantages. In this case, it was the high strength properties and the ability to select the composition of the composite material for specific applications and weldability.

The aim of the article was to show the results of the strength tests of tri-metal and the results of the welding tests. The plater was made of 410S, Cu and 316L steel. For this purpose, the strengths test typical of plated materials were carried out. All attempts were successful. Subsequently, a material-specific RGP value was calculated, which yielded promising results. To investigate, the characteristic elements of this process, such as the curling of the compound and the enlarged grain due to the exceedance of the critical crushing during cladding, were detected.

The tests showed the high strength properties of the plate and showed that it can be welded. They also revealed the characteristic elements of this process.

Olszewski M., Bednorz S., Łagan M., Gibiec M.

Kalman Rover – Electronics, Software and Science

The topic of the lecture is presentation and general overview of current development of the Kalman rover project in terms of electronics, software and science. Most of the robot's functions, e.g. autonomous driving, manipulating the manipulator or soil testing in the on-board laboratory, are based on electronic systems and software that uses them. For this reason, members of these sections must work closely together. The electronics section will present the new, unified standard of printed circuit boards increasing the modularity and reliability of the system. The software section will describe the progress of work on the advanced recognition of obstacles during autonomous robot driving, as well as other modules responsible for intelligent navigation. The science section deals with methodology of research performed by the rover, such as the analysis of soil samples for the presence of traces of life or the study of the geology of the area. Every year, each of the presented functionalities is intensively used during international Mars rover competitions.

Pabich B., Cichocki K., Lisiecki Ł., Muszka K., Bala P.

Development of technological parameters of forging and rolling processes of FeMnNiCoMo high-entropy alloy intended for military applications

The development of military technology and changes in global threat situations necessitate the continuous development of materials used as ballistic protection. Both in collective and personal protection, these materials are designed to absorb explosive and kinetic energy as well as provide the highest possible resistance to munition impact. A new class of materials with promising properties fulfilling the requirements for ballistic armor are high-entropy alloys. Unlike standard metal alloys, they are not based on one chosen element, which constitutes most of the alloy's chemical composition, but they represent a new group of multi-component alloys containing equilibrium content of elements with a simple solid solution structure.

The aim of the project was to develop technological parameters of the metal forming of a high-entropy ingot dedicated to armour of a military vehicle. On the basis of the literature review and the previously conducted studies, the chemical composition of the material was selected. Then the ingot was smelted and the parameters for forging and rolling were developed. The material was formed to obtain a flat bar of the desired dimensions. At the last stage, in cooperation with the AGH ADAMANTIUM Military Structures Scientific Club, a composite with Al_2O_3 ceramic was prepared, and subjected to ballistic tests. The deformed flat bar after ballistic test was examined by backscattered electron diffraction and its hardness was measured.

Pietras M.T.

The process of modelling the blade geometry for a wind turbine based on the operation of three generators

Nowadays, energy and the methods of obtaining it constitute one of the most important problems faced by the economies of many countries in the world. Due to the pro-ecological policy applied in the world, most countries are developing its renewable energy infrastructure. One of the most commonly used technologies

are high-power wind turbines located in areas with favorable weather conditions. Among the operational problems of wind turbines there is a small range of wind speed in which electric power is produced. One of the options that allows to increase their annual efficiency is the construction of a turbine based on the operation of three generators (low, medium and high power). The whole concept of the system is based on automation that allows connecting a generator of appropriate power under given weather conditions to the shaft. When the wind speed changes, the mechanical energy stored on the toothed wheel will allow the connection of another (larger) generator. The paper presents a methodology for modeling the geometry of turbine blades based on the operation of three generators. At the beginning, it is illustrated what the individual segments of wind turbine blades consist of and why the selection of an appropriate airfoil is crucial in terms of selecting the appropriate aerodynamic parameters. Next, the methodology of calculating the Reynolds number is presented, assuming appropriate geometric parameters of the system. It was also shown how important the lift to drag ratio of the blade is as a parameter that allows the selection of appropriate airfoils. The selection of the appropriate tip speed ratio, i.e. the main parameter influencing the shape of the blades' geometry and their appropriate aerodynamics, is also presented. The possibilities of the free QBlade software enabling the creation and import of the blade model were also illustrated. The rest of the article refers to the process of simplifying and repairing the geometry in order to perform the analysis in the Ansys Static Structural program. This analysis accepts some simplifications due to reality and is carried out for the assumed critical conditions that will probably never occur during the system operation.

Furgala M., Margielewska J., Piontek A., Poloczek P., Wojtanek K.

Fibrous carbon substrates with an active surface to fill cartilage tissue damage simulating the process of its regeneration

The fibrous scaffolds are microstructurally convergent with the extracellular matrix that builds the cartilage tissue. The form of the fiber is optimal due to the substrate morphology, density and mechanical strength. Low-modulus carbon fibers are a material known in medicine due to their high biocompatibility and safe degradation products removed by macrophages in the process of phagocytosis. Thus, a carbon non-woven fabric with a controlled fiber diameter and

a defined surface is an example of a substrate that can stimulate the regeneration process of cartilage tissue damage.

Chitosan is a biocompatible and biodegradable polysaccharide that exhibits high absorbent and antibacterial properties. Due to its polycationic structure, it relieves pain and induces anti-inflammatory responses. The aim of the research was to create biomimetic microstructurally and chemically carbon substrates by applying a hydrogel in the form of chitosan to their surfaces. Such activation of the fiber surface should lead to better stimulation of the regeneration process of cartilage.

The research was carried out in four stages: (1) microscopic characterization of the carbon substrate before and after modification with chitosan (scanning microscope), (2) structural characteristics of the fiber surface (FTIR-DRIFT studies), (3) physicochemical characteristics of the fibers and the influence of the degree of chitosan cross-linking on wettability surface, (4) biological studies with MG-63 osteoblast-like cells.

As a result of the research, material and modification method were selected, suited best for filling cartilage defects, fulfilling role as a scaffold and initiator of the auto-repair process.

Tomal P., Michta G.

Welding methods usage in additive methods of construction elements manufacturing

The presentation deals with the complex issue of welding metallic materials. In additive processes, the material is applied in layers to obtain a finished product. In the WAAM arc welding process (Wire Arc Additive Manufacturing), the metal parts are assembled layer by layer with an electrode wire under protective gases. Considering conventional material production methods, there are many similarities that are discussed in this presentation. These methods connect unlimited planning freedom and the quick production of complex low cost components shapes. The materials used in the tests were alloy of 304L, 316L and 307Si. These materials are used in many industries, including in the aviation, maritime and space industries. Incremental technologies in the 21st century are widely spreaded, and new methods and materials are being constantly researched to optimally depict metallic products. Analysis of microstructures samples obtained by various methods was conducted.

Żegleń F., Mucha M., Kuśtra P.

Development and implementation of the user interface and server for the Soft Bastion portal supporting the process of remote learning based on gamification

The project concerns the development and implementation of the application supporting the remote learning process based on the basic mechanisms known from video games. The application was created with the usage of Design Thinking as a tool for managing a creative process. As a part of the demo version of the Soft Bastion there was prepared of a remote C++ code compilation mechanism to allow the performance of algorithmic tasks from the Algorithms and Data Structures starter course.

STRESZCZENIA

Brzyk J., Gliwiński Ł., Gładysz K., Gibiec M.

Aplikacja innowacyjnych rozwiązań mechanicznych w autonomicznym robocie planetarnym „Kalman”

Tematem referatu będzie przedstawienie i przegląd ulepszeń mechanicznych podzespołów łazika planetarnego Kalman – projektu koła naukowego AGH Space Systems. Mianowicie: nowa rama robota, rozwój robotycznego ramienia, modułowy chwytak. Ciągłe ulepszenia nie ominęły również modułu mobilnego laboratorium i systemu napędowego łazika.

Wykorzystując zalety uprzedniej ramy, zaprojektowano i wykonano całkowicie nowy moduł. Kierując się lekkością oraz wytrzymałością, uzyskano nową ramę o podobnych gabarytach co poprzednio. Dzięki luźnemu mocowaniu do zawieszenia, zredukowano działające na konstrukcję naprężenia, zmniejszając znacząco ciężar. System jezdny został rozszerzony o mechanizm redukujący nieosiowość. Opony o strukturze plastra miodu zostały zoptymalizowane względem kryterium masy. Ramię robotyczne zostało przeprojektowane do nowej wersji wykonanej z aluminium, aby zwiększyć wytrzymałość i sztywność. Dużą uwagę przyłożono do redukcji masy, modułowości oraz niezawodności konstrukcji. Uwzględniono kompatybilność wsteczną nowych i starych zależności manipulatora. W korespondencji do nowego ramienia powstaje nowy chwytak o uproszczonej i niezawodnej strukturze kinematycznej. Wyróżniająca się konstrukcja ujawnia wiele zalet. Wykorzystuje odlewy z silikonu i ideę wymiennych szczęki w zależności od wyzwania.

Chmiel E.

Multi-instrument z wykorzystaniem czterech żywiołów – koncepcja, prototyp

Celem projektu jest budowa multi-instrumentu. Jego konstrukcję stanowią cztery własnoręcznie wykonane instrumenty, wykorzystujące różne metody

generacji dźwięku. W projekcie planowane jest wykorzystanie hydraulofonu jako konstrukcji generującej dźwięk z użyciem wody, głośnika plazmowego jako odpowiadnika ognia, oktaowych organów piszczałkowych produkującego dźwięk pod wpływem drgań słupa powietrza, oraz gajafonu, wykorzystującego fale rozchodzące się w gruncie. Docelowo w projekcie planowane jest zastosowanie rozwiązań umożliwiających sterowanie instrumentem przez jedną osobę z poziomu aplikacji.

W pracy przedstawione zostały koncepcje działania poszczególnych instrumentów, etapy budowy prototypu hydraulofonu, prace początkowe nad konstrukcją organów oraz funkcjonalny głośnik plazmowy generujący częstotliwości akustyczne z wykorzystaniem mikrokontrolera.

Chudy Ł., Krawczyk J., Bembenek M.

Brykietowanie materiałów odpadowych

Celem niniejszej pracy było opracowanie skutecznych metod badań struktury brykietu, ocena stosowanych rozwiązań technologicznych oraz zaprezentowanie problematyki surowców brykietowanych. Zostały wykonane pomiary twardości i chropowatości na powierzchni brykietu, przeprowadzono analizę geometrii i rozkładu cząstek w materiale. Wykonano analizę wyników badań. Potwierdzono znaczenie brykietowania dla celów ekologicznych. Prezentowane badania pozwoliły na dokładny opis parametrów struktury oraz własności materiałowych brykietu.

Cudok B., Trojanowska M., Zagórski K.

Modernizacja terenowego motocykla elektrycznego E-Moto AGH o mocy 30 kW

Referat porusza temat modernizacji motocykla elektrycznego o mocy nominalnej 30 kW zbudowanego przez studentów w ramach projektu E-Moto AGH. Celem modyfikacji jest uzyskanie możliwie lekkiej i zwrotnej konstrukcji konkurującej z seryjnie produkowanymi motocyklami spalinowymi.

Praca obejmuje opis kompleksowej zmiany konstrukcji nośnej jak również modyfikację pakietu baterii. Przeprojektowane zostały również elementy ochronne i wizualne w postaci owiewek motocykla. W pracy zostały przedsta-

wione zalety zmiany konstrukcji na samonośną oraz zastosowania zintegrowanego układu przeniesienia napędu. Poruszony został problem połączenia nowoczesnego wyglądu z funkcjonalnością i ergonomią zrealizowany poprzez projekt zewnętrznych obudów motocykla. Finalną częścią referatu jest zaprezentowanie wyzwań stawianych nowej konstrukcji.

Praca ma na celu uświadomienie odbiorcom, że elektryczne motocykle posiadając parametry jazdy porównywalne ze spalinowymi, pozbawione są przy tym wad takich jak wydzielanie spalin i generowania hałasu, a jednocześnie zapewniają adrenalinę i pozytywne doświadczenia z jazdy.

Derżko M.

Organy plazmowe – projekt i budowa prototypu

Branża muzyczna od lat rozwijała się na poziomie nie tylko technicznym, ale również artystycznym. Wielu wykonawców szuka nowego brzmienia co powoduje konieczność tworzenia sprzętu spełniającego ich potrzeby.

Prezentowane urządzenie będzie dostarczało niestandardową barwę dźwięku, może również zainteresować niecodziennym wyglądem. Instrument będzie zbudowany z kilkunastu piszczałek zbudowanych z rur PVC w których pobudzeniem akustycznym będzie wyładowanie plazmowe. Będzie ono osiągnięte poprzez jonizację powietrza pomiędzy elektrodami, które zostaną umieszczone u dołu każdej z piszczałek. Instrument będzie posiadał możliwość sterowania poprzez interfejs MIDI który zostanie zaimplementowany w mikrokontrolerze sterującym pracą sprzętu.

Przeprowadzone zostały wstępne badania, które potwierdziły możliwość zastosowania pobudników plazmowych do piszczałek, co pozwala na dalsze prace nad instrumentem.

Fic M., Michta G.

Mikrostruktura stali 15-5 PH wytwarzanej metodą selektywnego topienia laserowego

Mikrostruktura materiału ma niezaprzeczalny wpływ na własności wytworzonych z nich elementów. Od jej elementów, a także charakterystyki zależy

wiele własności materiału, takich jak jego parametry wytrzymałościowe, odporność zmęczeniowa, a także w konsekwencji możliwości jego zastosowanie w określonych warunkach środowiskowych jak i panujących naprężeń. Dlatego dokładna analiza mikrostruktur jest koniecznym warunkiem w celu odpowiedniego wykorzystywania materiału.

Na mikrostrukturę materiału po procesie wytwarzania ma szereg czynników. Wpływa na nią zarówno obróbka cieplna, jak i szereg innych procesów mających nadać elementowi zaprojektowane parametry. Nie bez znaczenia jest również mikrostruktura wyjściowa, której poznanie i porównanie z mikrostrukturą końcową, pozwala uzyskać szereg informacji od zmian jakie zaszły w materiale po otrzymanie danych o skuteczności przeprowadzonych procesów.

Analizie mikrostruktury poddano proszek elementarny który posłużył do wydrukowania próbki jak i gotowy już element. W badaniach posłużono się technikami obrazowania przy pomocy mikroskopu świetlnego jak i skaningowego mikroskopu elektronowego.

Ficak G., Lisiecki L.

Technologia kucia wielokrotnego odkuwki dźwigni do układu paliwowego

Rozwój programów służących do obliczeń numerycznych sprawia, że już na etapie projektowania istnieje sposobność analizy przebiegu procesu kształtowania i jego ewentualnej korekty. Współczesne oprogramowanie umożliwia, już w czasie trwania obliczeń wykonać analizę rozkładów wybranych parametrów wpływających na jakość wyrobu i trwałość narzędzi.

W artykule przedstawiono istniejącą technologię kucia matrycowego oraz wady zlokalizowane w odkuwce. Następnie zaproponowano modyfikację technologii, która miała na celu uzyskanie wyrobu gotowego, pozbawionego wad oraz minimalizację zużycia narzędzi. Ostatecznie, cel pracy został osiągnięty – uzyskano wyrób bez wad, poprawiono żywotność narzędzi w dwóch operacjach kucia matrycowego oraz zwiększono uzysk kuźniczy.

Analiza zależności między wybranymi własnościami mechanicznymi elementów stalowych oraz wielkością szumów magnetycznych Barkhausena

Zagadnienia dotyczące badań nieniszczących skupiają się głównie na wykrywaniu uszkodzeń. Ich przykładami mogą być defekty związane m.in. ze zużyciem zmęczeniowym (np. w formie pittingu), korozją lub wadami produkcyjnymi. Istotną kwestię stanowi również badanie przyczyn, w wyniku których dochodzi do ich powstania. W przypadku materiałów metalicznych może to być na przykład obecność naprężeń własnych. Naprężenia te stanowią jeden z powodów występowania pęknięć oraz odkształceń. Przyczyną naprężeń własnych jest obróbka cieplna oraz procesy obróbki plastycznej i ubytkowej. Jedną z metod umożliwiających pomiar naprężeń własnych na skalę przemysłową, jest metoda szumów magnetycznych Barkhausena.

W ramach niniejszej pracy postanowiono ustalić, czy wielkość wspomnianych szumów wykazuje zależność od wybranych własności mechanicznych. Celem było również określenie, czy badany element nie jest wadliwy. Materiałem do badań była goleń podwozia lekkiego samolotu sportowego typu Cessna, wykonana ze stali sprężynowej chromowo-krzemowej. Element nie był wcześniej eksploatowany. Proces produkcji obejmował m.in. obróbkę plastyczną, obróbkę skrawaniem oraz obróbkę cieplną. W ramach badań zostały wykonane pomiary szumów magnetycznych metodą Barkhausena, pomiary twardości oraz statyczna próba rozciągania, która posłużyła do określenia własności mechanicznych. Niektóre z wyżej wymienionych czynności badawczych wymagały pobrania próbek z elementu, co zostało wykonane z wykorzystaniem metody waterjet.

Przeprowadzone badania wykazały dużą zależność wielkości szumów magnetycznych Barkhausena od ustalonych w pracy własności materiału. Szczególnie bliski związek dotyczył wyników pomiarów szumów magnetycznych oraz twardości. Istotny jest także związek szumów magnetycznych Barkhausena z wynikami statycznej próby rozciągania, lecz nie zaobserwowano zależności w odniesieniu do kierunków pobrania próbki.

Gocyk K.

Analiza MES odkształcalności i wytrzymałości kompozytów biomimetycznych inspirowanych pancerzem Krewetki Boksującej

W obecnych czasach potrzeba tworzenia wytrzymałych materiałów staje się większa z każdym kolejnym rokiem. Niektóre innowacyjne technologie w wielu sektorach są zatrzymywane przed wprowadzeniem na rynek jedynie z powodu braku odpowiedniego materiału. W badaniach dotyczących analizy MES (metoda elementów skończonych) odkształcalności i wytrzymałości kompozytów biomimetycznych inspirowanych pancerzem krewetki boksującej (Rawka Błazen *Odontodactylus Scyllarus*) zostały opracowane symulacje wykonane za pomocą Metody Elementów Skończonych w programie ANSYS Workbench z wykorzystaniem modułu Static Structural.

Symulowano normowane próby wytrzymałościowe dla kompozytu złożonego z włókna węglowego i żywicy epoksydowej. Badania miały na celu określenie właściwości kompozytu i zweryfikowanie zachowania poszczególnych warstw pod obciążeniem. Kompozyt został zaprojektowany z wykorzystaniem biomimetyzmu i był wzorowany na pancerzu skorupiaka *Odontodactylus Scyllarus*, czyli Krewetki Boksującej.

Celem zbadania właściwości kompozytu wykonano wirtualne modele kilku próbek, różniących się między sobą układem warstw oraz zadanymi warunkami brzegowymi. Próbki miały także różny rozmiar, który zgodnie z normami był uwzględniany. W wyniku wirtualnych prób uzyskano rozkłady naprężeń oraz odkształceń dla wszystkich symulowanych modeli. Rezultaty prób zostały przeanalizowane i dokładnie opisane, czego wynikiem jest poznanie zachowania się kompozytu biomimetycznego oraz jego poszczególnych warstw pod obciążeniem. Najważniejszym wynikiem okazały się graficznie zobrazowane za pomocą barw rozkłady naprężeń oraz odkształceń w próbkach. Dają one wskazówki i informacje potrzebne do oceny wad i zalet laminatu, a także wewnętrznej struktury kompozytu i sposobu rozchodzenia się w nim naprężeń pod obciążeniem.

Halejcio D.

Opracowanie technologii odlewu artystycznego przedmiotu pochodzącego z popularnej serii gier komputerowych.

Odlewnictwo artystyczne to szeroko pojęta dziedzina, dzięki której rozwija się współczesna kultura. W dzisiejszych czasach wiele młodych osób spędza coraz więcej czasu w wirtualnej rzeczywistości. Celem pracy było wykorzystanie nowoczesnych technik modelowania do opracowania technologii wykonania medalionu z wiedzyńskiej szkoły kota pochodzącego z trzeciej odsłony popularnej serii gry Wiedźmin wydawnictwa CD PROJEKT RED.

Za pomocy nowoczesnych technik, wiele powstałych w grach artefaktów można odtworzyć w naszej rzeczywistości. Wspomniany wcześniej element został wygenerowany przy pomocy programów do tworzenia modeli 3D. Następnie zaprojektowano technologię w programie SolidWorks 2021, przeprowadzono odpowiednie symulacje w programie MagmaSoft 5.4., otrzymano wyniki związane z krzepnięciem metalu w formie, rozkładu prędkości metalu w układzie wlewowym podczas zalewania oraz zaproponowane miejsce powstania porowatości skurczowej. Końcowym etapem badań było wykonanie realnego odlewu z stopu brązu krzemowego 331. Uzyskane wyniki symulacji porównano z powstałym odlewem. Z przeprowadzonych badań wywnioskowano że, użyty stop doskonale odwzorowuje wnękę formy, przeprowadzone symulacje pomagają w opracowaniu układu wlewowego.

Jeziorek K., Kryjak T.

Detekcja i rozpoznawanie znaków drogowych z wykorzystaniem rekonstrukcji obrazów z kamery zdarzeniowej

Kamery zdarzeniowe to nowy typ czujników wzorowanych na działaniu ludzkiego oka. Charakteryzują się wysoką rozpiętością tonalną, dużą rozdzielczością czasową oraz niskim poborem mocy. W porównaniu do tradycyjnych kamer wizyjnych działają one lepiej w niekorzystnych warunkach oświetleniowych, umożliwiają rejestrację szybkiego ruchu oraz cechują się niskim opóźnieniem.

W niniejszej pracy zaprezentowano realizację systemu umożliwiającego detekcję i rozpoznawanie znaków drogowych na podstawie zrekonstruowanych

obrazów z kamery zdarzeniowej. W celu dokonania rekonstrukcji zastosowano konwolucyjną sieć neuronową FireNet, która jest jednym z najnowszych rozwiązań umożliwiających odtworzenie obrazu. Natomiast jako detektor znaków drogowych wykorzystano sieć YOLOv4, która charakteryzuje się wysoką dokładnością przy stosunkowo niewielkiej złożoności obliczeniowej. Jako bazę nagrań z kamery zdarzeniowej zastosowano zbiory DSEC (ang. *Stereo Event Camera Dataset*) oraz *Driving Event Camera Dataset*. Oba zostały wykonane przy pomocy kamer zdarzeniowych o rozdzielczości 640×480.

Czas potrzebny do wykonania rekonstrukcji na podstawie zebranych zdarzeń w czasie 1 ms oraz 10 ms, wyniósł odpowiednio 19.15 ms oraz 52.25 ms. Najlepsze rezultaty uzyskał model nauczony na obrazach w odcieniach szarości. Dla metryki mAP@0.5IoU wartość wskaźnika mAP wyniosła 87.03%, natomiast dla mAP@0.75IoU 64.17%. Średni czas detekcji na jedną klatkę wyniósł 30.86 ms, niezależnie czy model nauczony był na obrazach kolorowych, czy w odcieniach szarości.

Kopeć P.

Analiza procesu obkuwania luf na kowarkach

Produkcja broni lufowej ze względu na jej specyficzne warunki pracy i wysokie wymagania wprowadza konieczność stosowania kowarek. Kucie na kowarkach pozwala na zmianę przekroju poprzecznego materiału oraz ukształtowanie powierzchni wewnętrznej wyrobów przelotowych takich jak rury czy tuleje grubościenne. Odkształcenie zadane przez jednorazowe uderzenie kowadełek jest niewielkie, pozwala to na powierzchniowe umocnienie materiału. Proces pozwala na produkcję wielkoseryjną. Lufy umożliwiają nadanie pociskowi ruchu w określonym kierunku oraz ukierunkowują energię powstałą w wyniku wystrzału. Dzięki procesowi kucia na kowarkach możliwe jest gwintowanie luf bez konieczności obróbki ubytkowej. Ten element broni musi znosić znaczne wzrosty temperatury oraz ciśnienia w krótkim czasie. Symulacja procesu została przeprowadzona w programie Qform opartym o MES. Możliwe było skonstruowanie modelu kowarki, kowadełek oraz trzpienia (modele poszczególnych elementów zostały stworzone za pomocą programu SolidWorks), zdefiniowanie wsadu, warunków pracy urządzenia i narzędzi, materiału, a także warunków brzegowych. Przeprowadzono symulację obkuwania fragmentu lufy dla 50 uderzeń. W wyniku

symulacji uzyskano mapy rozkładu naprężeń rzeczywistych, średnich, temperatury, intensywności odkształcenia, temperatury narzędzi jak również pożądaną geometrię. Dane zostały poddane analizie. Uzyskano zadowalający kształt odlewki poprzez wydłużenie osi wsadu bez znacznych defektów oraz zakuć.

Król M.

Wpływ parametrów wytwarzania na własności spieków Fe-Cu-Sn-Ni-P

W pracy przedstawiono możliwość wytwarzania niedrogich proszków na bazie żelaza przeznaczonych jako osnowa w narzędziach metaliczno-diamentowych. Proszek zawierający ponad 94% mas. Fe zaprojektowano i wyprodukowano metodą opracowaną w Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie i objętą ochroną patentową.

Zostały wytworzone dwa rodzaje próbek wykorzystując dwie różne mieszanki proszków stanowiące materiał wyjściowy. W pierwszej próbce wykorzystano mieszankę proszków tlenkowych, które poddano mieleniu, suszeniu oraz wyżarzaniu redukującym przez 4 godziny w temperaturze 700°C w atmosferze wodoru. Następnie tę próbkę poddano prasowaniu i spiekaniu. Drugą próbkę otrzymano z proszków elementarnych poprzez mieszanie w mieszalniku Turbula, prasowanie oraz spiekanie. Otrzymane spieki poddano badaniom gęstości, twardości, próbie trójpunktowego zginania oraz obserwacjom mikroskopowym. Wykazano, że w wyniku spiekania swobodnego można uzyskać spieki powyżej 95% gęstości teoretycznej oraz dobre połączenie twardości i wytrzymałości na zginanie.

Kuglarz K., Michta G., Włodarczyk D.

Mikrostruktura i właściwości trójwarstwowego plateru 410S – Cu-DHP – 316L oraz próby jego spawania

Zastosowanie technologii platerowania wybuchowego niesie za sobą wiele korzyści. W tym przypadku były to wysokie własności wytrzymałościowe i możliwości precyzyjnego doboru składu kompozytu do określonych zastosowań oraz jego spawalność.

Celem artykułu było pokazanie wyników badań wytrzymałościowych tri-metalu oraz przedstawienie rezultatów prób jego spawania. Plater był wykonany ze stali 410S, Cu i 316L. W tym celu przeprowadzono badania wytrzymałościowe typowe dla materiałów platerowanych. Wszystkie próby dały bardzo dobre wyniki. Następnie obliczono charakterystyczny dla materiałów współczynnik RGP, który również dał bardzo wysoki wynik. W następnym kroku przeprowadzono próbę spawania plateru, która dała obiecujące rezultaty. W celu zbadania mikrostruktury wycięto próbkę materiału i poddano analizie za pomocą mikroskopu świetlnego wraz z odczytnym Nomarskiego, oraz mikroskopu skaningowego. W trakcie badań znaleziono charakterystycznego dla tego procesu elementy, jakimi są falisty charakter połączenia oraz powiększone ziarno wynikające z przekroczenia zgniotu krytycznego podczas platerowania.

Przeprowadzone próby pokazały wysokie własności wytrzymałościowe plateru oraz wskazały na możliwość jego spawania. Dodatkowo ujawniły charakterystyczne dla tego procesu elementy.

Olszewski M., Bednorz S., Łagan M., Gibiec M.

Łazik Kalman – Elektronika, Software oraz Science

Tematem referatu jest przedstawienie i ogólny przegląd obecnego rozwoju projektu łazika marsjańskiego Kalman pod kątem sekcji elektroniki, software oraz science. Większość funkcji robota np. jazda autonomiczna, poruszanie manipulatorem czy badanie gleby na pokładowym laboratorium, jest opartych o układy elektroniczne i wykorzystujące je oprogramowanie. Z tego powodu, członkowie wspomnianych grup muszą ze sobą ściśle współpracować. Sekcja elektroniki przedstawi nowy ujednolicony standard płytek drukowanych, zwiększający modularność i niezawodność konstrukcji. Sekcja software opisie postęp prac nad zaawansowanym rozpoznawaniem przeszkód podczas autonomicznej jazdy robota, a także inne moduły odpowiedzialne za inteligentną nawigację. Sekcja science zajmuje się metodyką badań wykonywanych przez łazik takich jak analiza próbek gleby pod kątem obecności śladów życia lub badanie geologii terenu. Co roku każda z przedstawionych funkcjonalności jest intensywnie wykorzystywana podczas międzynarodowych zawodów łazików marsjańskich.

Pabich B., Cichocki K., Lisiecki Ł., Muszka K., Bała P.

Opracowanie parametrów technologicznych procesu kucia i walcowania stopu wysokoentropowego FeMnNiCoMo z przeznaczeniem do zastosowań militarnych

Rozwój technologii wojskowych oraz zmienne sytuacje zagrożenia na świecie wymuszają ciągły rozwój materiałów stosowanych jako ochrona balistyczna. Zarówno w ochronie zbiorowej jak i osobistej, materiały te mają na celu pochłonięcie energii wybuchowej i kinetycznej oraz zapewnienie jak największej odporności na uderzenia amunicją. Nową klasą materiałów o obiecujących właściwościach, spełniającą wymagania stawiane pancerzom balistycznym są stopy wysokoentropowe. W odróżnieniu od standardowych stopów metali nie bazują one na jednym wybranym pierwiastku, stanowiącym główny element składu chemicznego, lecz stanowią one nową grupę stopów wieloskładnikowych zawierających równowagowe zawartości pierwiastków o prostej strukturze roztworu stałego.

Głównym celem projektu było opracowanie parametrów technologicznych przeróbki plastycznej wlewką ze stopu wysokoentropowej dedykowanego na pancerz pojazdu wojskowego. Na podstawie analizy literaturowej oraz dotychczas wykonanych badań dobrano skład chemiczny materiału. Następnie wytopiono wlewek oraz opracowano parametry do procesów kucia i walcowania. Materiał przerobiono plastycznie, otrzymując płaskownik o żądanych wymiarach. W ostatnim etapie w ramach współpracy z Kołem Konstrukcji Militarnych ADAMANTIUM AGH przygotowano kompozyt z ceramiką Al_2O_3 , który poddano testom balistycznym. Odształcony po próbach balistycznych płaskownik zbadano poddając go badaniu dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych oraz wykonano pomiary jego twardości.

Pietras M.T.

Proces modelowania geometrii łopatek dla turbiny wiatrowej opartej na działaniu trzech generatorów

W obecnych czasach energia i sposoby jej pozyskiwania stanowią jeden z najważniejszych problemów, z którym spotykają się gospodarki wielu krajów na świecie. W związku z polityką proekologiczną stosowaną na świecie

większość krajów rozwija swoją infrastrukturę energii odnawialnej. Jedną z najczęściej stosowanych technologii są turbiny wiatrowe dużej mocy umieszczone na obszarach, gdzie panują korzystne warunki atmosferyczne. Wśród problemów eksploatacyjnych turbin wiatrowych wymienia się mały przedział prędkości wiatru, w którym produkowana jest moc elektryczna. Jedną z opcji pozwalającą na zwiększenie ich efektywności rocznej jest budowa turbiny opartej na działaniu trzech generatorów (mało, średnio oraz wysoko-mocowy). Cała koncepcja układu polega na automatyce pozwalającej na podpinanie generatora o odpowiedniej mocy w zadanych warunkach atmosferycznych do wału. Przy zmianie prędkości wiatru energia mechaniczna zmagazynowana na kole zębatym pozwoli na podpięcie kolejnego (większego) generatora.

W pracy przedstawiono metodykę modelowania geometrii łopatek turbiny opartej na działaniu trzech generatorów. Na wstępie zobrazowano z czego składają się poszczególne segmenty łopatek turbin wiatrowych i dlaczego dobór odpowiedniej airfoil jest kluczowy w kwestii dobrania odpowiednich parametrów aerodynamicznych. Kolejno przedstawiono metodykę obliczania liczby Reynoldsa przy założeniu odpowiednich parametrów geometrycznych układu. Pokazano także jak ważna jest nośność łopatki jako parametr pozwalający na dobór odpowiednich airfoil. Przedstawiono także dobór odpowiedniego tip Speed ratio czyli głównego parametru mającego wpływ na kształt geometrii łopatek oraz ich odpowiednią aerodynamikę. Zobrazowano także możliwości darmowego oprogramowania QBlade umożliwiającego stworzenie i import modelu łopat. W dalszej części artykułu odniesiono się do procesu upraszczania oraz naprawiania geometrii w celu przeprowadzenia analizy wytrzymałościowej w programie Ansys Static Structural. Analiza ta przyjmując pewne uproszczenia w związku z rzeczywistością i przeprowadzona jest dla założonych warunków krytycznych, które prawdopodobnie nigdy nie wystąpią podczas pracy układu.

Furgala M., Margielewska J., Piontek A., Poloczek P., Wojtanek K.

Włókniste podłoża węglowe z aktywną powierzchnią jako wypełnienia uszkodzeń tkanki chrzęstnej symulujące proces jej regeneracji

Rusztowania włókniste są mikrostrukturalnie zbieżne z macierzą zewnątrzkomórkową budującą tkankę chrzęstną. Postać włókna jest optymalna ze względu na morfologię podłoża, gęstości i wytrzymałości mechanicznej. Niskomodulowe

włókna węglowe stanowią materiał znany w medycynie ze względu na ich wysoką biogodność i bezpieczne produkty degradacji usuwane przez makrofagi w procesie fagocytozy. Tym samym włóknina węglowa o kontrolowanej średnicy włókien a także zdefiniowanej powierzchni to przykład podłoża, które może stymulować proces regeneracji uszkodzeń tkanki.

Chitozan jest biogodnym i biodegradowanym polisacharydem, który wykazuje wysokie właściwości chłonne i antybakteryjne. Dzięki swej polikationowej strukturze działa uśmierzająco względem bólu i indukuje reakcje przeciwzapalne. Celem badania było wytworzenie biomimetycznych mikrostrukturalnie i chemicznie podłoży węglowych przez nanoszenie na ich powierzchnie hydrożelu w postaci chitozanu. Taka aktywacja powierzchni włókien powinna doprowadzić do lepszej stymulacji procesu regeneracji tkanki chrzęstnej.

Badania prowadzono w czterech etapach: (1) mikroskopowa charakterystyka podłoża węglowego przed i po modyfikacji chitozanem (mikroskop skaningowy), (2) charakterystyka strukturalna powierzchni włókien (badania FTIR-DRIFT), (3) charakterystyka fizykochemiczna włókien i wpływ stopnia usieciowania chitozanu na zwilżalność powierzchni, (4) badania biologiczne z udziałem komórek osteoblastopodobnych MG-63.

W wyniku badań wytypowano materiał i metodę modyfikacji, najlepiej nadającą się do wypełnienia uszkodzeń chrząstki, spełniając rolę rusztowania i inicjatora autonaprawy.

Tomal P., Michta G.

Zastosowanie metod spawalniczych w przyrostowych metodach wytwarzania elementów konstrukcyjnych

Referat obejmuje analizę wieloaspektowego zagadnienia spajania materiałów metalicznych. Metody addytywne polegają na warstwowym nakładaniu materiału w celu otrzymania gotowego wyrobu. Biorąc pod uwagę metody konwencjonalnego wytwarzania materiałów, można zauważyć wiele zależności. W procesie spawania łukowego WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) metalowe elementy są budowane warstwa po warstwie przy użyciu stopianego drutu elektrodowego w osłonie gazów ochronnych. Wszystkie te metody łączy nieograniczone swoboda projektowania oraz wytwarzanie złożonych geometrii elementów w krótkim czasie przy niewielkim koszcie. Materiałem użytym w czasie

badan jest stop 304L, 316L oraz drut austenityczny 307Si. Materiały te używane są w wielu branżach m.in. w przemyśle lotniczym, morskim, kosmicznym. Technologie przyrostowe w XXI wieku są niezwykle powszechne oraz ciągle trwają badania nad nowymi metodami i materiałami w celu jak najlepszego odwzorowania produktów metalowych. Przeprowadzono analizę uzyskanych mikrostruktur próbek wytworzonych różnymi procesami.

Żegleń F., Mucha M., Kustra P.

Opracowanie oraz implementacja interfejsu użytkownika i serwera dla portalu Soft Bastion wspomagającego proces nauki zdalnej na bazie grywalizacji

Projekt dotyczy opracowania oraz implementacji aplikacji wspomagającej proces nauki zdalnej na bazie podstawowych mechanizmów znanych z gier wideo. Aplikacja powstała z wykorzystaniem Design Thinking, jako narzędzia do zarządzania procesem kreatywnym. W ramach pokazowej wersji portalu Soft Bastion udostępniono mechanizm zdalnej kompilacji kodu C++, pozwalającego na wykonywanie zadań algorytmicznych z kursu startowego dotyczącego Algorytmów i Struktur Danych.

APLIKACJA INNOWACYJNYCH ROZWIĄZAŃ MECHANICZNYCH W AUTONOMICZNYM ROBOCIE PLANETARNYM „KALMAN”

Jan Brzyk ¹, Łukasz Gliwiński ¹, Kacper Gładys ¹,
Mariusz Gibiec ²

1. WSTĘP

Członków zespołu Koła Naukowego AGH Space Systems łączy pasja nie tylko do inżynierii mechanicznej i robotyki, ale również do kosmosu, technologii kosmicznych i odkrywania tego co nieznane. Zespół od ponad 5 lat rozwija projekt łazika planetarnego o imieniu „Kalman”, będącego platformą do rozwoju mechaniki, elektroniki, oprogramowania i eksperymentów naukowych w szerokim kontekście robotyki mobilnej i problematyki inżynierii kosmicznej. Ten czterokołowy robot jest budowany i rozwijany z myślą o uczestnictwie i zajmowaniu wysokich miejsc na międzynarodowych zawodach z serii Rover Challenge Series (przykładowo 4. miejsce na najważniejszych zawodach University Rover Challenge w Utah, USA 2-4.06.2022 [5]) symulujących warunki i wyzwania misji kosmicznych.

2. NOWA RAMA ROBOTA

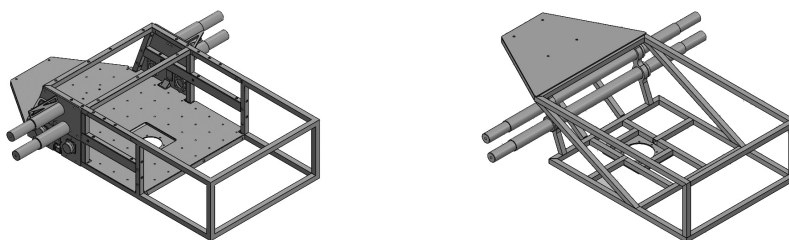
2.1. Wady poprzedniej konstrukcji

Łaziki planetarne powinny cechować się niską awaryjnością, wysoką wytrzymałością i jak najmniejszą masą. Były to główne założenia, którymi się kierowano przy projektowaniu nowej ramy dla „Kalmana”. Wcześniejsze rozwiązanie konstrukcyjne odkrywało szereg wad. Kluczowymi aspektami, wymagającym

1 student, Koło Naukowe AGH Space Systems, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH.

2 dr inż., Katedra Robotyki i Mechatroniki, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH.

modernizacji były duża masa konstrukcji oraz miejsce mocowania manipulatora ograniczające jego przestrzeń roboczą. Charakterystyczny montaż zawieszenia do starej ramy znacząco wpływał na wielkość naprężeń, które konstrukcja przenosiła. Poprzez sztywne połączenie mocowań zawieszenia do ramy, uniemożliwiające ruch poprzeczny względem zawieszenia, cała konstrukcja podczas jazdy łazika ulegała mikro odkształceniom sprężystym generującym duże naprężenia. To spowodowało konieczność usztywnienia konstrukcji poprzez zastosowanie grubszych elementów i dodatkowych wsporników. Ponad połowa dolnej części ramy oraz części powierzchni bocznej ramy została wyłożona aluminiową blachą zwiększającą dodatkowo sztywność konstrukcji (rys. 1 po lewej). Całość tych zabiegów przełożyła się na dużą masę ramy wynoszącą około 5 kg. Niekorzystne było także dość niskie umiejscowienie manipulatora względem ziemi, które zmniejszało jego przestrzeń roboczą i znacząco utrudniało wykonanie niektórych zadań na konkurencjach w trakcie zawodów.



Rys. 1. Porównanie starego i nowego projektu ramy. Po lewej model starej ramy ze sztywno zamocowanymi łącznikami zawieszenia. Po prawej obecne, zmodernizowane rozwiązanie

2.2. Nowe rozwiązanie konstrukcyjne

W projekcie nowej ramy największą uwagę przyłożono do zmniejszenia masy. Kluczowym okazał się nowy sposób montażu zawieszenia redukujący naprężenia. Pomysł zakładał połączenie dwóch stron zawieszenia z wykorzystaniem dwóch rur aluminiowych, na których poprzez łączniki, przez które rury mogą luźno przechodzić, zawieszona zostałaby konstrukcja ramy w taki sposób, aby możliwy był ruch poprzeczny względem zawieszenia (rys. 1 po prawej). Taki sposób montażu pozwalałby na dużą redukcję naprężeń, zmniejszając potrzebę dużego usztywniania konstrukcji i stosowania grubszych elementów. Słuszność założeń potwierdzona została przez symulacje wytrzymałościową. Do budowy

ramy wykorzystano profile $15 \times 15 \times 1,5$ z aluminium o oznaczeniu 6060 i stopniu utwardzenia T66 [3] oraz arkusz blachy z tego samego materiału o grubości 3 mm. Średnia klasa wytrzymałości materiału w połączeniu z nową konstrukcją przełożyły się na zmniejszenie masy o około 35%. Dodatkowo zmianie uległo miejsce mocowania manipulatora. Błat montażowy podniesiono na wysokość górnej powierzchni ramy czyli o około 0,17 m względem starej ramy (rys. 1).

Zmiany okazały się na tyle znaczące, że podczas zawodów URC 2022 [5], na żadnej z konkurencji nie przekroczono limitu wagowego, co przy starym rozwiązaniu konstrukcyjnym zdarzało się często. Ponadto, istotnie zwiększyła się przestrzeń robocza manipulatora. Wprowadzone zmiany pomogły również w wprowadzeniu nowego porządku elementów elektronicznych w korpusie robota.

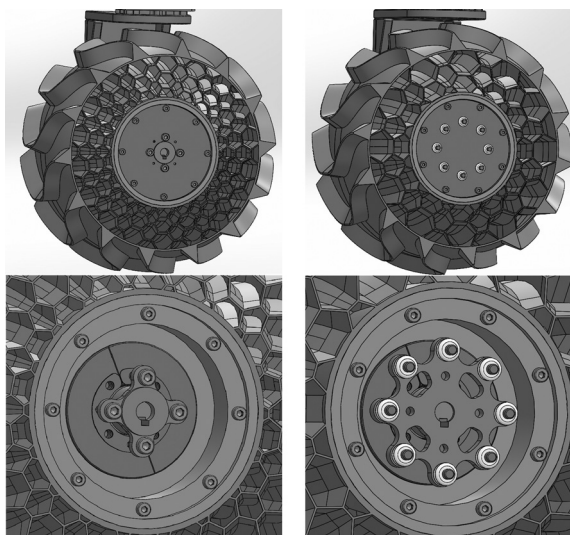
3. MODERNIZACJA NAPĘDÓW

3.1. System jezdny

Udoskonaleniu uległ również system jezdny łazika planetarnego, poprzednie rozwiązanie wykazywało brak zdolności do redukcji niewspółosiowości oraz drgań przekazywanych z opony na silnik. Wiązało się to z szybszym zużyciem łożysk, przekładni oraz silników zastosowanych w konstrukcji, natomiast duże drgania prowadziły do wykręcania się śrub mocujących silnik. Było to spowodowane sztywnym połączeniem wału silnika z flanszą opony, toteż w nowym rozwiązaniu zostało zastosowane sprzęgło umożliwiające względne przemieszczanie pomiędzy elementem czynnym i biernym. Z uwagi na to, że ograniczenia masowe oraz geometryczne dyskwalifikują sprzęgła rynkowe, wdrożono własną konstrukcję, która korzysta ze zmodyfikowanych części użytych w poprzedniej aplikacji (rys. 2 na dole).

W nowej piaście zamocowano na stałe gwintowane kołki, które pełnią rolę „kłów” przekazujących napęd, dodatkowo ich liczba oraz średnica rozstawu została zwiększona w stosunku do śrub w poprzednim rozwiązaniu, przez co pojedynczy kołek generuje mniejszą siłę (rys. 2 na dole po prawej). W elemencie wykonano również dodatkowe otwory, które jednocześnie ułatwiają montaż jak i redukują masę elementu. Zmianie uległa również flansa opony w której dostosowano rozstaw otworów oraz umieszczono w nich pierścienie wykonane z miękkiego PCW. Dobra odkształcalność sprężysta pierścieni pozwala na względny ruch kłów piastry i flanszy opony oraz tłumi drgania przenoszone z opo-

ny. Dodatkowym atutem konstrukcji jest możliwość wcześniejszego wykrycia luzowania się śrub montażowych, przez to, że kły połączone z wałem silnika są widoczne, a symptomem jest ich zbyt duże przemieszczenie wzdłużne.



Rys. 2. Porównanie poprzedniego rozwiązania (po lewej) i obecnej konstrukcji (po prawej). Widoczna jest zmiana struktury opony, poszerzona piasta wraz z zamocowanymi kołkami oraz pierścienie z PCW zamocowane w nowej flanszy

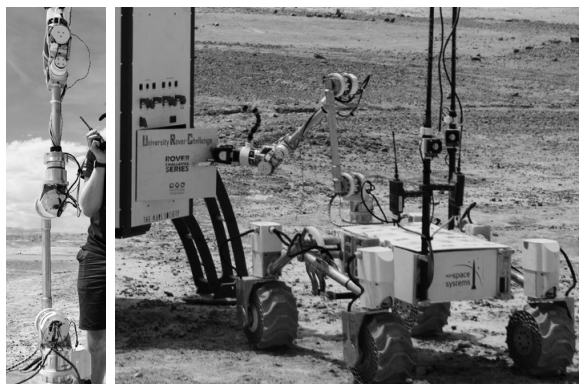
3.2. Opony

Zmianom uległy także opony łożnika. Istotnym czynnikiem projektowania mechanicznego jest kryterium masy. Jej redukcja jest podstawowym aspektem wpływającym na projektowanie systemów techniki kosmicznej. Z tego powodu ulepszono obecną strukturę kół typu „plaster miodu” redukując ilość zwojów oraz zwiększając rozmiar pojedynczego zwoju (rys. 2 na górze). Większa podatność opon wpłynęła pozytywnie na zdolności amortyzacyjne całego zawieszenia. Zmniejszono również liczbę agresywnie zarysowanych bieżników z 14 na 12 sztuk, ze względu na brak problemów z przyczepnością w dotychczasowej eksploatacji. Zastosowano druk 3D metodą FDM (*Fused Deposition Modeling*) oraz termoplastyczny poliuretan (TPU), który sprawdził się w poprzedniej wersji kół. Te działania skutkowały oszczędnością około 0,2 kg na każdej z czterech opon.

4. APLIKACJA MANIPULATORA

Poprzednia generacja manipulatora, mimo wysokiej bezawaryjności i wytrzymałości, miała wiele istotnych ograniczeń takich jak: brak szóstego stopnia swobody, nie wystarczająco duża przestrzeń robocza, zbyt wysoka masa. Po wielu miesiącach intensywnej pracy i paru zmianach koncepcyjnych projektu, udało się wytworzyć i wdrożyć nowe robotyczne ramię stanowiące istotny postęp techniczny.

Celem był projekt oraz aplikacja manipulatora na bazie opracowanego wcześniej prototypu [1]. Wiązało się to z wytworzeniem nowych elementów konstrukcyjnych z aluminium oraz mniej obciążonych części z PLA (polilaktyd). Projekt opierał się na zastosowaniu szeregu analiz MES w celu optymalizacji wytrzymałości i masy ramienia, co prowadziło do kilku zmian koncepcyjnych jak np. rezygnacja z zastosowania włókna węglowego na rzecz aluminium. Wykorzystanie rur z tego kompozytu, prowadziło do użycia większej średnicy profilu oraz odpowiednich łączników w stosunku do rur aluminiowych, które przy podobnych parametrach wytrzymałościowych wykazały mniejszą masę. Eksploatacja oraz testy prototypu pozwoliły na wykrycie problemów konstrukcyjnych, a następnie usunięcie ich w fazie projektowania obecnego rozwiązania. Nowe ramię robotyczne w stosunku do starej wersji, jest lżejsze o około 1 kg, posiada dodatkowy stopień swobody oraz większą przestrzeń roboczą (rys. 3). Model obliczeniowy zakłada udźwieg w najmniej korzystnym położeniu równy 10 kg, co zostało potwierdzone doświadczalnie.



Rys. 3. Nowy manipulator podczas zawodów University Rover Challenge 2022

Poza minimalizacją masy postawiono na wysoką modułowość manipulatora, co pozwala na szybką modyfikację w zależności od wymagań oraz daje możliwość

łatwej modernizacji rozwiązania w przyszłości. Flansa montażowa przystosowana jest do szybkiego mocowania ramienia na łożyku (około 40 s), a także uwzględnia kompatybilność wsteczną. Przewidziano również łatwy demontaż rur łączących poszczególne człony, co daje możliwość ich bezinwazyjnej wymiany w przypadku awarii lub modernizacji na inne długości oraz szybkiego rozłożenia manipulatora do transportu.

Nowy manipulator został wykorzystany podczas zawodów University Rover Challenge 2022 [5], gdzie jego wytrzymałość została potwierdzona, a jego inne zalety jak modułowość okazały się bardzo przydatne w eksploatacji oraz transporcie.

5. CHWYTAK

Końcówka manipulatora opisanego w rozdziale 4. została wyposażona w kołnierz przyłączeniowy na wzór normy ISO 9409 [2]. Zamontowane w kołnierzu złącze obrotowe SR012-12 Yumo pozwoliło w pełni wykorzystać potencjał nielimitowanego obrotu kiści podczas zadań serwisowych typu „przekręć, odkręć, zakręć”. Aplikacja nowego manipulatora okazała się zatem niepowtarzalną okazją na zaprojektowanie i budowę nowego chwytaka bazującego na zaletach ramienia o sześciu stopniach swobody.

Firma Boston Dynamics w 2015 roku zaprezentowała robota „Spot”, który może być rozszerzony o manipulator z chwytakiem o wyjątkowej prostocie i użyteczności. Składa się on z zaledwie jednego elementu ruchomego – górna szczeka – i jednej osi obrotu z napędem. Podczas czynności uchwytu dolna szczeka pozostaje nieruchoma i przykładowo może spełniać rolę haka bez obciążania wału napędowego. To kinematycznie prymitywne rozwiązanie wykazuje jednak szereg zalet, które zdecydowały o wdrożeniu tej idei do projektu nowego chwytaka łożnika: uproszczony proces projektowania, uproszczone modelowanie cyfrowe, wysoka sprawność, wysoka modularność, łatwa serwisowalność.

Założono, że maksymalna masa obiektu manipulacji podczas chwytu czysto siłowego naprężeniowego to: $m_{max} = 1$ kg. Oczywiście układ jest w stanie podnosić cięższe obiekty do 5 kg chwytem kształtowym, i siłowo-kształtowym. Zaokrąglając wartość przyspieszenia ziemskiego do: $g = 10$ m/s² maksymalny ciężar obiektu manipulacji to:

$$Q_{max} = m_{max} \cdot g = 10 \text{ N} \quad (1)$$

Założono współczynnik tarcia między szczękami a obiektem: $\mu = 0,5$. Siła chwytu (F_{ch}), którą górna szczeka oddziałuje na obiekt powoduje powstanie siły reakcji o tej samej wartości i przeciwnym zwrocie od dolnej szczęki. Dla pesymistycznego scenariusza – działania siły ciężkości obiektu prostopadle do siły chwytu – pojawiają się dwie siły tarcia (T) opisane wzorem (2). Nierówność (3) warunkuje bezpieczny uchwyt. Uwzględniając maksymalne przyspieszenia od drgań i ruchu ramienia powstałe w trakcie transportu obiektu: $a_{max} = 5 \text{ m/s}^2$, wartość siły bezwładności dla obiektu o masie m_{max} to (4).

$$T = \mu \cdot F_{ch} \quad (2)$$

$$2 \cdot T = Q_{max} \quad (3)$$

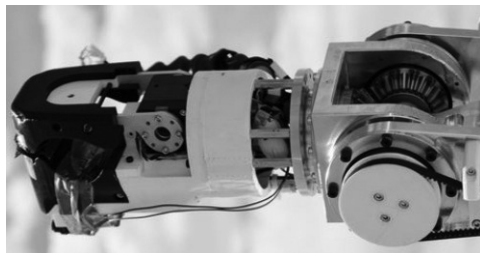
$$F_a = m_{max} \cdot a_{max} = 5 \text{ N} \quad (4)$$

Na podstawie warunku (3), zakładając najmniej korzystny zwrot siły F_a (4) (zgodny ze zwrotem siły ciężkości Q_{max}), na podstawie wzorów (1) i (2) można obliczyć minimalną siłę chwytu (5). Na etapie projektowania przyjęto długość górnej szczęki: $d = 0,1 \text{ m}$. Zatem wymagany moment obrotowy (M) jednostki napędowej to (6):

$$F_{ch} = 15 \text{ N} \quad (5)$$

$$M > F_{ch} \cdot d_{max} = 1,5 \text{ Nm} \quad (6)$$

Powyższy, prosty schemat obliczeniowy jest zdecydowanie wystarczający. Aby zapewnić taką (6) wartość momentu obrotowego, wybrano Serwo DYNAMIXEL XH540-V270-R [4], będące napędem z systemem monitorowania parametrów oferującym 9,2 Nm momentu utyku.



Rys. 4. Nowy chwytak montowany na kiści manipulatora podczas zawodów URC 2022

Ostateczny projekt łączy zalety drukowanych elementów z tworzywa Impact PLA (polilaktyd o zwiększonej udarności mechanicznej i odporności temperaturowej) oraz części aluminiowych wycinanych laserowo. Aby zapewnić wysoką modułowość i serwisowalność dla obu szczęk wprowadzono wymienne końcówki, które, wytworzone z elastycznych materiałów: Fiberflex 40D oraz silikon, zwiększyły rzeczywisty współczynnik tarcia (rys. 4).

6. PODSUMOWANIE

Patrząc wstecz na historię sekcji łazika w Kole Naukowym AGH Space Systems, niniejszy tekst ukazuje najbardziej dynamiczny okres rozwoju części konstrukcyjnych robota. Każdy z opisanych podzespołów został przetestowany w najtrudniejszych warunkach na pustyni Utah, USA i spełnił wymagania z etapu projektowania.

Referat pt. „Aplikacja innowacyjnych rozwiązań mechanicznych w autonomicznym robocie planetarnym „Kalman”” – autorstwa Jan Brzyka, Łukasza Gliwińskiego i Kacpra Gładysia, został wygłoszony na LIX Sesji Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH w Sekcji Aeronautyki i Technologii Kosmicznych oraz wyróżniony III nagrodą. Opiekun naukowy referatu: dr Mariusz Gibiec.

LITERATURA

- [1] Brzyk J., Olszewski M.: *Łazik Kalman – technologiczne zmiany oraz rozwój mobilnego laboratorium*. 58. Konferencja Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH, Kraków 06.05.2021. Wydawnictwo Studenckiego Towarzystwa Naukowego Kraków 2021, s. 39–45.
- [2] ISO 9409-1:2004: *Manipulating industrial robots – Mechanical interfaces – Part 1: Plates*.
- [3] PN-EN 755-2:2016-05: *Aluminium i stopy aluminium – Pręty, rury i kształtowniki wyciskane – Część 2: Własności mechaniczne*.
- [4] Robotis, DYNAMIXEL XH540-V270-R: <https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/x/xh540-v270/>, dostęp 29.06.2022.
- [5] The Mars Society, wyniki zawodów University Rover Challenge 2022: <https://urc.marssociety.org/home/about-urc/urc2022-scores>, dostęp: 29.06.2022.

MULTI-INSTRUMENT Z WYKORZYSTANIEM CZTERECH ŻYWIOŁÓW – KONCEPCJA, PROTOTYP

Emilia Chmiel ¹

1. WSTĘP

W historii ludzkości od zawsze przewija się motyw żywiołów. W średnio-wiecznej Europie trwały dyskusje na temat roli podstawowych pierwiastków, pojmowanych jako zasady, z których każda miała określone działanie i dopiero ich połączenie w odpowiednich proporcjach tworzyło rzeczy materialne. Był to początek rozwoju alchemii, która często odwoływała się do Arystotelesowskiej koncepcji czterech żywiołów, do których zaliczano ogień, powietrze, wodę i ziemię. Alchemicy wprowadzali często również dodatkowe substancje do uznawanych za nich zasad stworzenia wszechświata, próbując między innymi stworzyć złoto, czy też odnaleźć kamień filozoficzny. Wraz z rozwojem nauki zaczęto skupiać się bardziej na poznaniu otaczającego świata, co pozwoliło skorygować pojęcie pierwiastka, tym razem określanego jako substancji, nie dającej rozłożyć się na czynniki.

Oprócz znaczenia naukowego, ogień, powietrze, woda i ziemia miały również swój udział w rozwoju kultury na całym świecie. Przykładowo wśród artystów poszczególnym żywiołom przypisywane były konkretne kolory [1], z kolei kompozytorzy, muzycy oraz poeci od dawna wykorzystywali motyw natury, aby wzbudzić w słuchaczu pożądane emocje. [2] Powstało wiele utworów, których konstrukcja opierała się na czterech częściach, odpowiadających kolejnym siłom przyrody. Ich rozdzielenie było możliwe dzięki skrajnie różnej symbolice elementów. Energia, pasja, wolność, ale także złość i zniszczenie to cechy, które symbolizuje ogień. W kontraście stawiana jest woda – reprezentująca uzdrowienie, stabilność, regenerację oraz bezwarunkową miłość. Powietrze z kolei utożsamiane jest z inteligencją, wiedzą, kreatywnością i harmonią, element ziemi

¹ Student, Koło Naukowe Inżynierii Akustycznej, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, AGH.

odpowiada za dobrobyt, solidność oraz poczucie bezpieczeństwa. [3] Jedną z osób, które powiązały muzykę z czterema żywiołami był francuski kompozytor Jean-Féry Rebel, który w symfonii *Les Éléments* (1737) za pomocą nut basowych przedstawił ziemię, kaskady fletów reprezentowały wodę, długo utrzymujące się nuty na piccolo odpowiadały za powietrze, a intensywne brzmienie skrzypiec oddawało charakter ognia. [4]

Przewijający się wszędzie motyw czterech żywiołów, od muzyki, poprzez bajki aż do książek, wzbudził chęć stworzenia instrumentu, który wygeneruje dźwięki w oparciu o ogień, powietrze, wodę i ziemię. Podczas poszukiwania istniejących rozwiązań, zauważyć można było częstą klasyfikację instrumentów do konkretnych żywiołów, jednak nie były to rozwiązania, które spełniałyby założenia tego projektu.

W niniejszym artykule opisana została koncepcja stworzenia takiego instrumentu, jego elementy oraz początkowe etapy budowy prototypów.

2. MULTI-INSTRUMENT, KONCEPCJA

Multi-instrument będzie składał się z czterech instrumentów. Każdy z nich wykorzystywać będzie inny żywioł do generowania dźwięku. Ze względu na chęć stworzenia jednego głównego instrumentu konieczne jest zapewnienie komunikacji ze wszystkimi urządzeniami w czasie rzeczywistym. Planowane jest wykorzystanie mikrokontrolerów do obsługi poszczególnych instrumentów oraz mikrokomputera do zarządzania całością. Etapem końcowym projektu będzie zaprojektowanie i wykonanie aplikacji, która pozwoli na sterowanie całym multi-instrumentem poprzez przyjazny użytkownikowi interfejs.

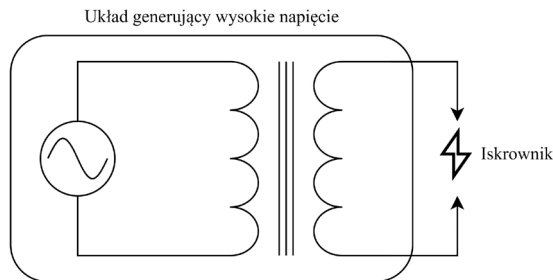
Instrumentami odpowiadającymi za kolejne żywioły będą plazmofon (ogień), aerofon (powietrze), hydraulofon (woda) oraz gajafon (ziemia).

3. POSZCZEGÓLNE OŚRODKI

3.1. Plazmofon

Żywioł ognia reprezentowany będzie przez generator plazmowy. Plazma jest zjonizowaną materią, przypominającą gaz, która powstaje ona wskutek naładowania dwóch elektrod iskrownika, znajdujących się w pewnej odległości od siebie. Uzyskujemy wtedy ciągłe wyładowanie elektryczne, którego obecność

powoduje podniesienie się temperatury powietrza wokół plazmy. Wywiera to wpływ na zmianę ciśnienia powietrza poprzez jego rozszerzenie, co z kolei pozwala na wyemitowanie fali akustycznej. [5]



Rys. 1. Schemat ideowy generatora plazmowego

Wytworzenie stałego łuku elektrycznego jest możliwe dzięki wykorzystaniu układu generującego wysokie napięcie oraz iskrownika (rys.1).

W przypadku wykorzystania trafopowielacza, aby uzyskać nieprzerwaną, stabilną iskrę, konieczne jest podanie na wejście transformatora napięcia o wysokiej częstotliwości, rzędu kilkuset kHz. Pełni ona funkcję częstotliwości nośnej, którą następnie należy zmodulować, aby uzyskać falę z zakresu częstotliwości słyszalnych.

3.2. Aerofon

Powietrze przedstawione zostanie poprzez wykorzystanie rezonatora akustycznego półfalowego, w którym generacja fali akustycznej odbywa się poprzez wykorzystanie energii pochodzącej z drgań własnych ustroju. Przykładem na wykorzystanie tego zjawiska, jest rezonans kolumn powietrza w rurze. Strumień przechodzący przez ustrój odbija się w jego wnętrzu i wzbudza drgania własne, co skutkuje wzmocnieniem pewnej częstotliwości, zwanej rezonansową. Jej wartość jest możliwa do wyliczenia, przy skorzystaniu ze wzoru:

$$f = \frac{c}{2(L + 0,8 \cdot d)} \quad (1)$$

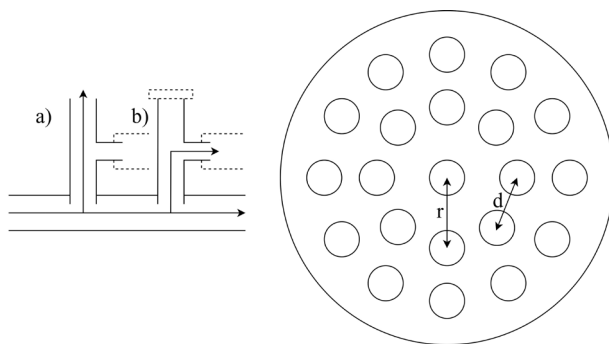
gdzie f jest szukaną częstotliwością rezonansową, c jest prędkością dźwięku, L długością rezonatora, a d średnicą jego wylotu.

3.3. Hydraulofon

W przypadku wody wykorzystane będzie zjawisko generowania dźwięku podczas padania strumienia wody naprzemiennie na otwór i jego brak w odpowiednio przygotowanej wirującej tarczy. Ideą działania tego instrumentu jest przepływ wody poprzez rurę z otworami, w których umiejscowione są trójniki. W sytuacji, gdy górny otwór jest niezamknięty, wypływa nim woda, natomiast gdy zostanie on zasłonięty, woda popłynie boczną rurką w kierunku obracającego się dysku z otworami. Każdy rząd otworów na tarczy odpowiada innej częstotliwości, którą wyznaczyć możemy przy użyciu wzoru [6]:

$$f = \frac{r \cdot \omega}{d} \quad (2)$$

gdzie f jest szukaną częstotliwością, r jest odległością od środka tarczy do rzędu otworów, a d odległością między kolejnymi otworami w rzędzie (rys. 2).



Rys. 2. Kierunek przepływu wody, gdy trójnik jest a) otwarty, b) zamknięty oraz wizualizacja tarczy

3.4. Gajafon

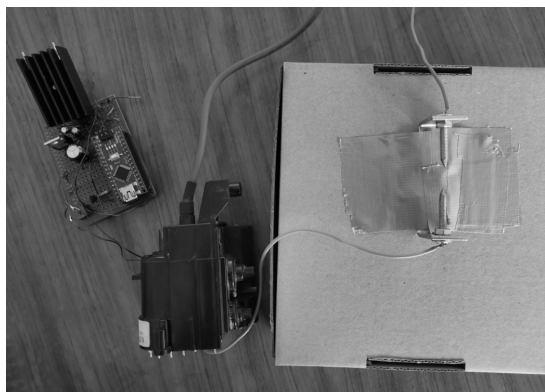
W przypadku gajafonu rozważane są dwie koncepcje. Pierwsza z nich wykorzystywać będzie drgania rozchodzące się w ziemi do wytworzenia dźwięku. Planowane jest wykorzystanie czujnika drgań, umiejscowionego wewnątrz osłony z ziemią, pobudzenie układu do drgań, a następnie odpowiednie nadpróbkowanie uzyskanego sygnału tak, aby znalazł się on w paśmie słyszalnym. Wygenerowany w ten sposób przebieg, podawany będzie na głośnik, który

pozwole na usłyszenie efektu działania gajafonu. Pobudzenie do drgań wykonane będzie w sposób inspirowany przez mechanizmy stosowane w fortepianach. Z wykorzystaniem elektromagnesu w zależności od podanego stanu, kolejno będzie przyciągany i puszczany młoteczek zamocowany na sprężynie.

Drugim pomysłem jest wykorzystanie mikrofonów kontaktowych lub piezoelektrycznych oraz roślin. Przy dotknięciu rośliny, na której powierzchni zamontowany jest mikrofon, następuje rejestrowanie drgań, które następnie zostają wzmacnione i odtworzone.

4. PROTOTYP PLAZMOFONU

Zbudowany został w pełni funkcjonalny głośnik plazmowy, oparty o generator wysokiego napięcia i iskrownik. Prototyp oparty był o mikrokontroler Atmega328P programowanego poprzez platformę Arduino. Jako transformator wysokiego napięcia wykorzystany został trafopowielacz wymontowany ze starego monitora od komputera. Wysokie napięcie na jego wyjściu wyprowadzone zostało na dwie śruby, pełniące funkcje elektrod. Stała iskra między nimi zapewniona jest dzięki częstotliwości równej 100 kHz, podawanej z jednego z wyjść mikrokontrolera. Drugie z wykorzystanych wyjść odpowiada za podawanie sygnału PWM którego częstotliwość była zależna od fali akustycznej, którą chcemy odtworzyć i pełni ona funkcję częstotliwości modulacyjnej. Cały układ sterujący znajduje się na płytce drukowanej, z zapewnieniem możliwości wymiany tranzystorów, w przypadku ich uszkodzenia. Głośnik zasilany jest z napięcia równego 24 V (rys. 3).



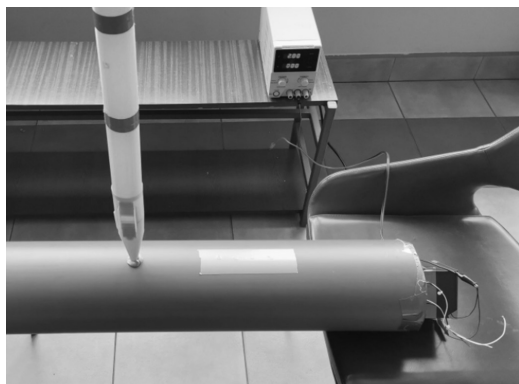
Rys. 3. Prototyp plazmofonu

Kolejnym etapem w przypadku tego instrumentu jest implementacja MIDI oraz zaprojektowanie i wydrukowanie obudowy.

5. PROTOTYP AEROFONU

Budowa aerofonu polega na skonstruowaniu organów piszczałkowych, w których zakres generowanych dźwięków wynosił będzie co najmniej jedną oktawę. Piszczałki wykonane zostaną w technologii FDM druku 3D oraz umieszczone na wiatrownicy z trakturą elektromagnetyczną. Stałość ciśnienia zapewniają będzie poprzez regulację prędkości obrotowej wiatraków, w odróżnieniu od klasycznych organów, gdzie wykorzystywane do tego są miechy.

Wydrukowany został przykładowy model piszczałki znajdujący się na stronie Thingiverse, zaprojektowany przez AREmedia. Dodatkowo dodrukowane zostały rury, aby przedłużyć słup powietrza znajdujący się wewnątrz rezonatora. Wykonane zostały badania wstępne w których prototyp piszczałki umieszczony został na wiatrownicy wykonanej z rury PVC, do której przymocowane zostały dwa wiatraki z komputera oraz uszczelnione taśmą zbrojoną, aby zapewnić jak największą szczelność (rys. 4).



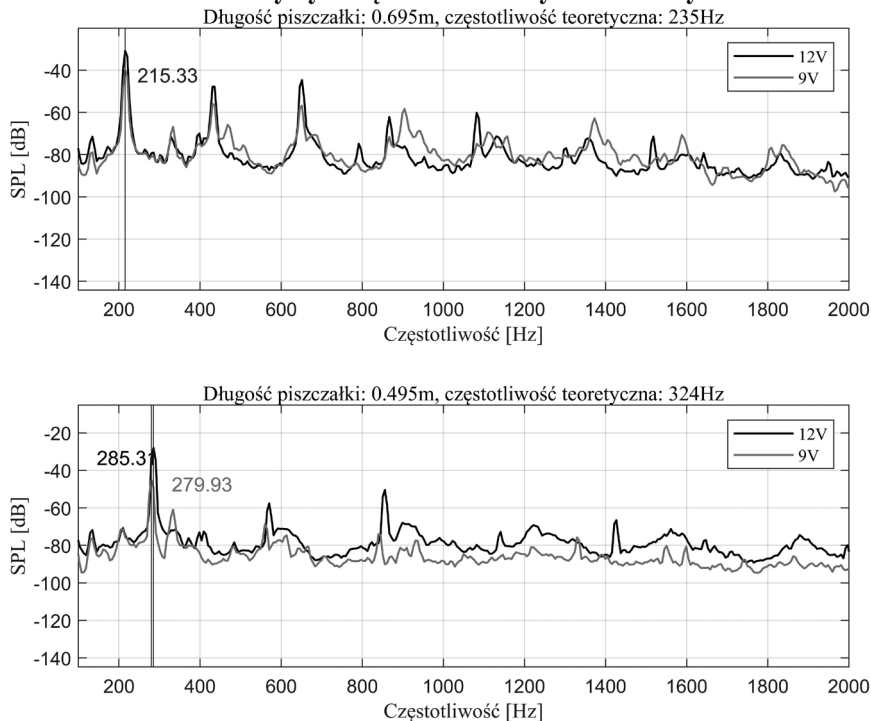
Rys. 4. Stanowisko badań wstępnych

Zbadane zostały charakterystyki częstotliwościowe piszczałki dla długości rezonatora równej 0,495 m oraz 0,695 m (rys. 5) oraz dwóch różnych napięć zasilania wiatraków, równych 12 V oraz 9 V.

Uzyskane wyniki wskazują na niewielki wpływ zasilania wentylatorów na charakterystykę częstotliwościową piszczałek. Problematyczny jest jednak fakt,

że częstotliwości zarejestrowane przez mikrofon, różnią się o 20–40 Hz, od teoretycznych, wyliczonych dla danych parametrów fizycznych piszczałki.

Porównanie charakterystyk częstotliwościowych dla różnych wartości napięć



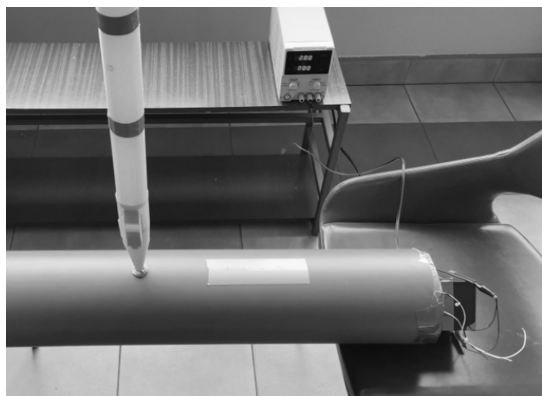
Rys. 5. Charakterystyki częstotliwościowe uzyskane dla badanych rezonatorów

6. HYDRAULOFON

Wykonany został również prototyp hydraulofonu, w oparciu o zaprezentowaną w punkcie 3.3. zasadę działania (rys. 6).

Do jego budowy wykorzystane zostały: rura PVC, silnik DC, pompka stosowana w akwariach, zaprojektowana oraz wydrukowana na drukarce 3D tarcza z otworami oraz wężyki, doprowadzające wodę w pożądane miejsce. Niestety konstrukcja okazała się nie być wystarczająca, aby uzyskać oczekiwany efekt. Największym problemem okazał się zbyt słaby silnik, aby obrócić tarczę. Utrudnienie stanowił również charakter instrumentu – z racji generowania dźwięku przy użyciu wody, konieczne było testowanie w łazience, które warunki akustyczne

nie sprzyjały analizie i obserwacjom. Z racji, iż okres prac nad tym instrumentem przypadł w zimie, niemożliwe były badania przeprowadzane na zewnątrz.



Rys. 6. Prototyp hydrofonu

7. PODSUMOWANIE

Przedstawione prototypy wymagają jeszcze wiele dopracowania, zarówno pod kątem działania jak i optymalizacji parametrów. Z pewnością konieczne jest odnalezienie źródła problemu rozbieżności częstotliwości w przypadku aerofonu oraz wznowienie pracy nad prototypem hydrofonu, tym razem z wykorzystaniem mocniejszego silnika. Jest to projekt obszerny w fazie początkowej pracy, zatem wymaga jeszcze wiele wysiłku, aby móc uznać go za skończony. Uzyskane jednak do tej pory wyniki są obiecujące i pozwalają na kontynuację prac.

LITERATURA

- [1] Ball P.: *The Elements. A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- [2] Stewart K.D.F.: *The Essentialism of Music in Human Life and Its Roots in Nature*. Linfield University, Senior Theses, 2014.
- [3] <https://www.ancient-symbols.com/four-elements.html>.
- [4] <https://musictales.club/article/four-elements-nature-expressed-musical-form-jean-féry-rebel>.

- [5] Severinsen D., Sen Gupta G.: *Design and Evaluation of Electronic Circuit for Plasma Speaker*. London, UK, 2013.
- [6] Gupta S.: *The Hydraulophone*. Applied Science Research, 2011.

BRYKIETOWANIE MATERIAŁÓW ODPADOWYCH

Łukasz Chudy ¹, Janusz Krawczyk ², Michał Bemberek ³

1. PROBLEMATYKA BRYKIETOWANIA

W nomenklaturze naukowej termin „brykiet” definiuje się jako aglomerat uzyskany pod wysokim ciśnieniem lub obiekt o określonym kształcie i wielkości, uzyskany w wyniku kompresji materiału rozdrobnionego lub proszku. Brykiet może zostać wytworzony z wielu rodzajów materiałów, takich jak: rudy metali, ceramika, tworzywa sztuczne, paliwa stałe, metale oraz kompozyty. Najczęściej właściwości brykietów zależą od zastosowanego lepiszcza. Lepiszczce jest rodzajem spoiwa dodawanego do materiału sypkiego, aby łatwiej łączyć cząsteczki proszku. Umożliwia zastosowanie niższego ciśnienia w porównaniu z prasowaniem samego proszku i produkcję materiału o większej porowatości [1].

Największą w kraju grupą odpadów droбноziarnistych są popioły i żużle energetyczne z procesów spalania, frakcje węglowe z procesów wydobywania, wzbogacania i wykorzystania węgla oraz droбноziarniste odpady poprodukcyjne z przemysłu ciężkiego, w szczególności metalurgicznego, chemicznego oraz instalacji odpylających. Odpady te nie są wykorzystane w należyтым stopniu. Duża ilość uzasadnia potrzebę zwiększenia zagospodarowania powstałych odpadów. Do roku 2019 w kraju zgromadzono 1,7 mld ton odpadów na hałdach czy w stawach osadowych [2]. Jest to ogromna ilość niewykorzystanych pierwiastków i związków chemicznych, które prawidłowo odzyskane mogłyby zasilić na nowo wiele gałęzi przemysłu. Rok temu Akademia Górniczo-Hutnicza oraz ArcelorMittal Poland podjęły współpracę w celu usunięcia odpadów z huty w Krakowie, co tylko utwierdza w przekonaniu jak palący jest to problem w dzisiejszych czasach [3].

1 student, Koło Naukowe Metaloznawców, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej AGH

2 dr hab. inż., prof. AGH, Katedra Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

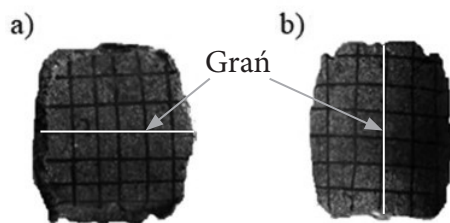
3 dr hab. inż., prof. AGH, Katedra Systemów Wytwarzania, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Jednak wykorzystanie odpadów droбноziarnistych w formie nieprzetworzonej jest nieefektywne ze względu na problemy z transportem, składowaniem i dozowaniem, oraz niejednorodność właściwości fizykochemicznych. Przetworzenie i nadanie im określonych właściwości umożliwia zwiększenie użytecznych walorów odpadów. W tym celu wykorzystywane są między innymi procesy ujednoludnienia oraz scalania materiału odpadowego do postaci kawałkowej. Często wykorzystywanym sposobem scalania jest brykietowanie. Proces ten pozwala na ponowne wykorzystanie materiałów w różnych dziedzinach przemysłu np.:

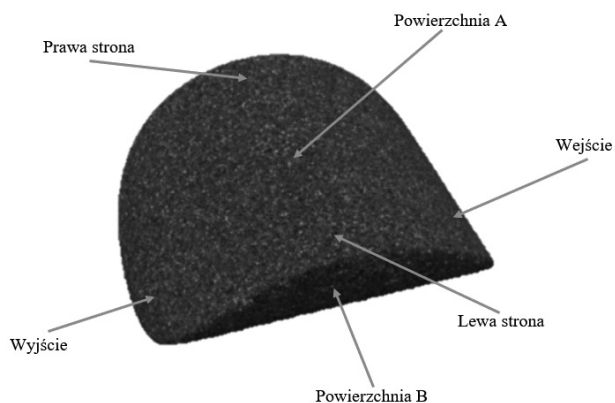
- w energetyce, jako paliwo do spalania w kotłach grzewczych,
- w budownictwie, jako dodatek na podbudowy drogowe,
- w metalurgii, jako dodatek do wsadu w piecach stalowniczych [1,4].

2. CHARAKTERYSTYKA BRYKIETU

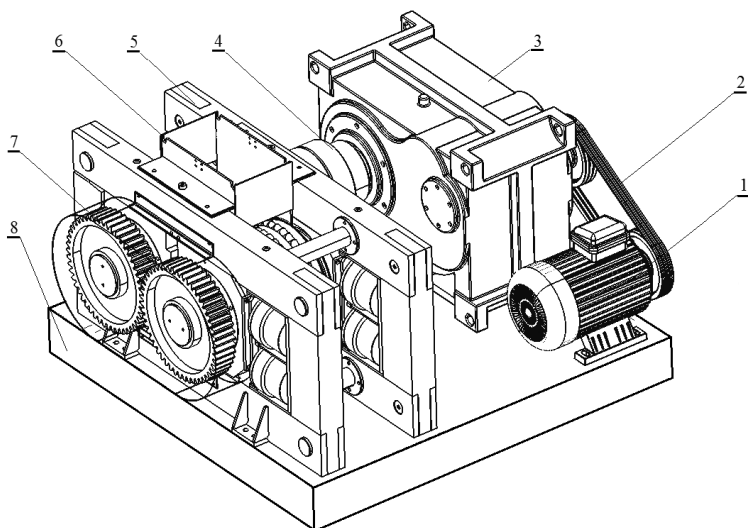
Jako próbki do badań użyte zostały brykiety wytworzone z fosforytu. Próbki powstały przy użyciu prasy walcowej z walcami o średnicy 450 mm, bez użycia lepiszcza i przy 3% wilgotności. Wykorzystano gniazda formujące do produkcji brykietów w kształcie siodła o rozmiarach $31 \times 30 \times 13$ mm. Badany brykiet został poddany kilkunastoletniemu sezonowaniu w normalnych warunkach otoczenia. Na dwie z próbek naniesiono siatkę kwadratów o boku 5 mm oraz nadano osobne oznaczenia dla każdego z pól (rys. 1). Niezbędne okazało się zastosowanie nomenklatury brykietu (rys. 2): określenie strony wejścia i wyjścia oraz rozróżnienie powierzchni na powierzchnię A (grań prostopadła do linii wejście-wyjście) i powierzchnię B (grań równoległa do linii wejście-wyjście). Dwie z opisanych próbek wykorzystano do pomiarów twardości oraz chropowatości. Jedną próbkę przeznaczono do wykonania badań mikro- i makroskopowych. Zgład wykonano poprzez przecięcie brykietu równoległe do linii wejścia-wyjścia, wzdłuż grani [5].



Rys. 1. Próbki brykietu z fosforytu wykorzystane do badań:
a) powierzchnia A, b) powierzchnia B



Rys. 2. Przedstawienie nomenklatury brykietu na modelu wykonanym w programie Autodesk Fusion 360



Rys. 3. Rysunek poglądowy prasy walcowej PW500:

- 1 – silnik asynchroniczny, 2 – przekładnia pasowa,
- 3 – trzystopniowa przekładnia zębata, 4 – sprzęgło zębate,
- 5 – klatka walców formujących, 6 – zasilacz grawitacyjny,
- 7 – koła zębate sprzęgające, 8 – rama [6]

Proces scalania brykietu determinuje właściwości fizyczne powstałego aglomeratu, dlatego tak ważnym jest, aby dobrać odpowiednie parametry wytwarzania. Brykietowanie z wykorzystaniem prasy walcowej jest optymalną metodą produkcji. Ze względu na wysoką wydajność i niską energochłonność a przy tym odporność na zużycie elementów formujących, prasy walcowe są

jednym z najczęściej stosowanych w przemyśle. Brykieciarki walcowe działają na zasadzie zagęszczania materiału przez dwa równocześnie i przeciwnieobracające się walce (rys. 3) [6].

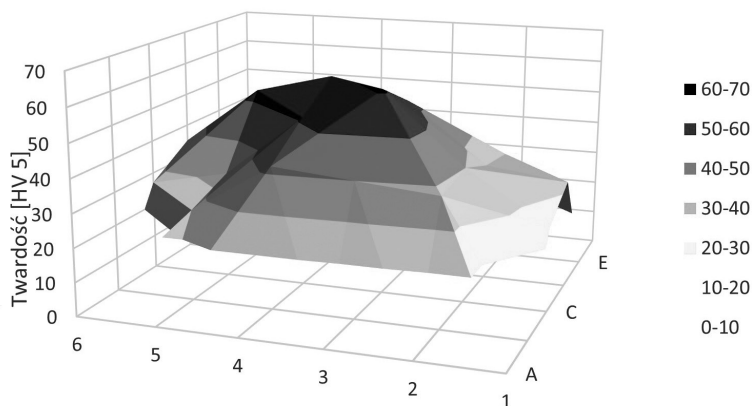
3. CEL BADAŃ

Aby znaleźć nowe zastosowania wielu różnych materiałów odpadowych przeprowadza się badania dotyczące wytrzymałości, gęstości i innych właściwości brykietów pozwalających na analizę dotyczącą potencjalnego wykorzystania, a także wydajności i optymalizacji procesu zagęszczania. I to w tym miejscu brykietowanie jest najmocniej powiązane z inżynierią materiałową. Zaprezentowane w dalszej części badania to przegląd analiz i prezentacja możliwego podejścia do istotnego ekologicznie i ekonomicznie zagadnienia.

4. ZASTOSOWANE METODY BADAŃ

4.1. Pomiar twardości

Pomiary twardości na powierzchni brykietu przeprowadzono za pomocą przenośnego twardościomierza „Equotip 550”, umożliwiającego pomiar powierzchni materiałów zakrzywionych metodą Leeba. Wykorzystano naniesioną siatkę prostokątów do zbadania każdego z 72 pól na brykiecie, po 36 pomiarów na każdej z powierzchni brykietu (rys. 4).

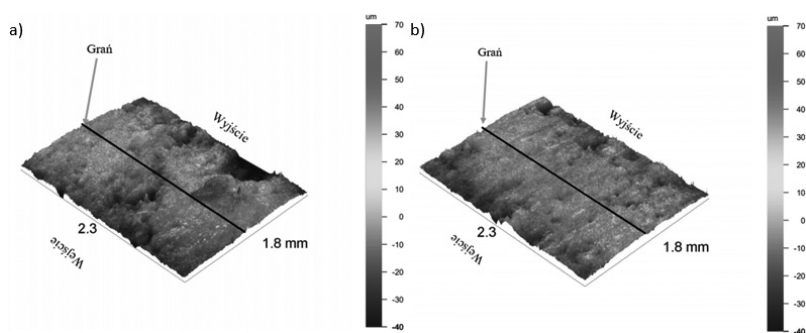


Rys. 4. Zależność pomiarów twardości na powierzchni A od miejsca badania [5]

Rozkład twardości na powierzchni A wskazuje centrum próbki jako miejsce o największej twardości. Środkowa część brykietu posiada największe zagęszczenie. Wraz z oddalaniem od środka próbki twardość obniża swoje wartości, warto zaznaczyć, że wyższe wartości twardości na powierzchni A odnotowano bliżej strony wyjścia, czyli w obszarze teoretycznego większego zagęszczenia brykietu. Wyniki są obarczone błędem, jednak ze względu na użytkowy oraz porównawczy charakter badań dopuszczono użycie zastosowanej metody [5].

4.2. Badanie rozwinięcia powierzchni

Za pomocą optycznego profilometru „Veeco WykoNT9300” przeprowadzono badanie rozwinięcia powierzchni. Polegało na analizie obszaru o długości 2,3 mm i szerokości 1,8 mm znajdującego się na odpowiednim polu na grani próbki. Bok obszaru o wymiarze 2,3 mm jest położony równolegle względem grani próbki, drugi bok o wymiarze 1,8 mm położony jest prostopadle do grani brykietu. Bok szerokości 1,8 mm zmniejsza ryzyko objęcia obszarem pomiarowym krzywizny brykietu i zaburzenia otrzymanych wyników. Pomiar próbki obarczony jest błędem ze względu na krzywiznę powierzchni, jednak w badaniach głównym celem było porównanie obszarów pod względem rozwinięcia powierzchni bez konieczności uzyskania wartości bezwzględnych (rys. 5).



Rys. 5. Przedstawienie obrazów obszarów: a) D1, b) D2, na powierzchni A [5]

4.3. Badania makroskopowe

Obserwowana za pomocą makroskopu świetlnego struktura zglądu cechuje się dużym zróżnicowaniem budowy oraz wielkości poszczególnych ziaren aglomeratu (rys. 6). Brak widocznych większych defektów zagęszczenia we wnętrzu prasowanego brykietu. Częstsze występowanie ziaren o większej średnicy proszku stwierdzono na obrzeżach badanego zglądu. Kolor i morfologia cząstek wskazują na występowanie w brykietowanym materiale różnych składników mineralnych. Ich charakterystyka wymaga zastosowania np. mikroanalizy składu chemicznego.



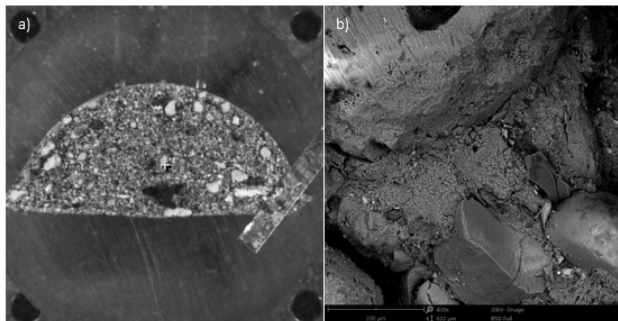
Rys. 6. Obserwowany zgląd brykietu fosforytu przy dziesięciokrotnym powiększeniu – obszar środkowy od strony grani równoległej do linii wejścia-wyjścia [5]

Występowanie ziaren o zróżnicowanej wielkości znacząco wpływa na właściwości otrzymanego materiału. Taki stan sprzyja uzyskaniu większego zagęszczenia podczas prasowania brykietu.

4.4. Badania mikroskopowe

Zarejestrowane przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego obrazy potwierdzają obserwacje makroskopowe. Występuje w przeważającym stopniu zróżnicowanie cząstek proszku i stałych połączeń między

ziarnami powstałych podczas procesu aglomeracji w wielu obszarach próbki. W centralnej części brykietu ciemny obszar okazał się jednolitą strukturą (rys. 7), wszystkie inne obszary cechuje możliwość rozróżnienia pojedynczych cząstek brykietu.



Rys. 7. Obserwowany obszar na zglądzie: a) umiejscowienie, b) obraz [5]

5. PODSUMOWANIE

Przedstawiono metody badań brykietów wprowadzające nowatorskie spojrzenie na właściwości oraz morfologię brykietów z materiałów odpadowych. Szeroka gamma materiałów brykietowanych stwarza potrzebę dalszych badań oraz determinuje poszukiwanie nowych koncepcji i pomysłów związanych z prężnie rozwijającą się dziedziną nauki, jaką bez wątpienia jest brykietowanie. Brykiet fosforytu charakteryzuje się większym zagęszczeniem w obszarze wyjścia w porównaniu do obszaru wejścia, co odpowiada ogólnej charakterystyce brykietów wytwarzanych na prasach walcowych. Uzyskana gęstość brykietu wskazuje na dobrą podatność fosforytu na brykietowanie a zróżnicowanie cząstek materiału sprzyja wysokiemu zagęszczeniu podczas brykietowania. Pomiary twardości wskazują na większe zagęszczenie brykietu w jego środkowej części oraz w obszarze wyjścia.

LITERATURA

- [1] Borowski G.: *Wykorzystanie brykietowania do zagospodarowania odpadów*. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 2011.

- [2] Ochrona środowiska, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2018.
- [3] <http://www.dwag.agh.edu.pl/aktualnosci/info/article/agh-i-arcelormittal-pracuja-nad-zagospodarowaniem-odpadow-na-terenie-huty> (dostęp 29.03.2022).
- [4] Borowski G.: *Możliwości wykorzystania odpadów z energetyki do budowy dróg*. Inżynieria Ekologiczna, 2010, 22, s. 85–96.
- [5] Chudy Ł.: *Struktura brykietu ceramicznego*. praca dyplomowa inżynierska, promotor Krawczyk J., AGH, Kraków 2021.
- [6] Hryniewicz M., Janewicz A.: *Prasa walcowa: doskonalenie konstrukcji – metoda doboru*. Chemik, 2008, vol. 61, nr 9, s. 446–449.
- [7] Bembenek M., Zięba A., Kopyściański M., Krawczyk J.: *Analysis of the impact of the consolidated material on the morphology of briquettes produced in a roller press*. Journal of Materials Engineering and Performance, 29 (2020) 3792-3799, DOI: 10.1007/s11665-020-04898-4.
- [8] Zięba A.: *Wpływ rodzaju materiału brykietowanego na morfologię brykietu w kształcie siodła*. praca dyplomowa magisterska, promotor Krawczyk J., AGH, Kraków 2019.

MODERNIZACJA TERENOWEGO MOTOCYKLA ELEKTRYCZNEGO E-MOTO AGH O MOCY 30 KW

Bartosz Cudok ¹, Małgorzata Trojanowska ¹, Krzysztof Zagórski ²

1. WSTĘP

Rozwój motoryzacji wraz z postępującą elektryfikacją klasycznych konstrukcji motocykli spowodował znaczny wzrost zainteresowania motocyklami elektrycznymi. Dzięki napędom „E” i zdigitalizowaniu analogowych koncepcji obecnie projektowane motocykle stały się bardzo przyjazne konsumentowi. Dzięki czemu pojazd, który uchodził za wymagający do utrzymania stał się pojazdem plug and play.

Dlatego też na szeroką skalę e-motocykle są stosowane nie tylko w celu jazdy rekreacyjnej, ale głównie służą po to, by dojeżdżać do pracy i do płynnego poruszania się po mieście. Dzięki elektronice na pokładzie tych pojazdów zaistniała możliwość instalacji systemów umożliwiających tak zwany „sharing”, który na przestrzeni ostatnich lat tylko zyskuje na popularności. W związku z tym owa gałąź motoryzacji zdecydowanie rośnie w siłę, wobec czego pojawiają się coraz to nowsze i odważniejsze koncepty przeniesienia napędu. Wyróżniamy dwie klasy przeniesienia napędu. Klasyczny, który został zaczerpnięty od motocykli spalinowych oraz nowoczesny łamiący dotychczasowe możliwości konstruktorskie, umieszczenie silnika wewnątrz piasty koła, co otwiera zupełnie nowe możliwości. Umieszczając silnik elektryczny wewnątrz ramy nośnej motocykla konstrukcja zaczyna przypominać klasyczną konstrukcję, w której silnik jest jednostką spalinową. W takiej konfiguracji, oczywiście w zależności od przewidzianego zastosowania motocykla, najczęściej stosowane są przekładnie łańcuchowe (rysunek 1) przedstawia konstrukcję

1 inż., Student, Koło Naukowe Mechaników, Projekt E-Moto AGH, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH

2 dr inż., Katedra Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

motocykla E-Moto AGH, gdzie zdecydowano się na zastosowanie przekładni łańcuchowej.

Postępująca elektryfikacja pojazdów wymusza poszukiwanie coraz nowszych rozwiązań dostosowanych pod jej kryteria. Pozwala to na tworzenie zupełnie innych, przełamujących utarte szlaki konstrukcji nośnych. Nowoczesne ramy motocyklowe nie są jedynie odpowiedzialne za przenoszenie naprężeń, ale i osłonę delikatnych komponentów elektrycznych takich jak silnik, sterownik czy też bateria.



Rys. 1. Wahacz motocykla E-Moto AGH

2. CZĘŚĆ PROJEKTOWA

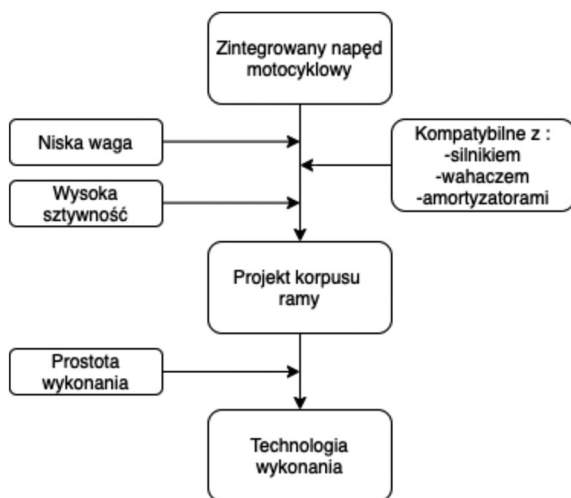
2.1. Konstrukcja nośna

2.1.1. Założenia

Projektowana konstrukcja nośna będzie cechowała się możliwie niską masą wraz z wysoką sztywnością potrafiącą przenieść przeciążenia powstające od skoków i szybkiego pokonywania przeszkód. Opracowywana rama musi również być kompatybilna ze stosowanym w poprzednich konstrukcjach silnikiem oraz z używanym dotychczas wahaczem i amortyzatorami. Reasumując założenia projektowe:

- zintegrowana rama motocyklowa,
- napęd silnikiem elektrycznym EMRAX 188 30 kW,
- przekładnia pośrednia,
- napęd przekładnią łańcuchową,

Schemat zakresu projektowego przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat zależności projektowych

2.1.2. Rozwiązanie konstrukcji

Zdecydowano się na zaprojektowanie innowatorskiej ramy typu „sandwich”. Głównym powodem powstania projektu jest zaleta połączenia ramy nośnej wraz z zintegrowanymi mocowaniami silnika, przekładni oraz co ważne prostoty jej wykonania. Gdzie w klasycznej ramie typu „duplex caradle” występuje konieczność stosowania dodatkowych mocowań komponentów, wykonanie owej ramy cechuje się wysokim skomplikowaniem wykonania. Projektowana rama w całości zostanie wykonana z dwóch blach oraz dwóch rur stopu aluminium. Podczas procesu projektu konstrukcji opierano się na wiedzy na temat kinematyki motocykli zawartej w literaturze [2] „Motorcycle Dynamics” Vittore Cossalter.

2.1.3. Geometria

Podczas projektowania geometrii ramy zwrócono uwagę na pozycję kierowcy co ma bezpośredni wpływ na komfort użytkownika oraz na zachowanie dobrych cech jezdnych pojazdu. Na kształt i wymiary duży wpływ miały elementy jak wahacz i silnik, które zostaną zaczerpnięte z starej konstrukcji motocykla E-Moto AGH 2.5 30 kW. Warto nadmienić, iż do zmiany geometrii całego motocykla wystarczy zmienić 2 płyty nośne, będzie to umożliwiało zmianę właściwości jezdnych pojazdu.

2.1.4. Materiał i właściwości

Materiałem zastosowanym do wykonania elementów nośnych konstrukcji jest stop aluminium EN AW-6082 gatunek PA4. Stop ten został dobrany między innymi dlatego, iż jest stosowany na szeroką skalę przez czołowych producentów w tego typu pojazdach (ramy motocyklowe oraz rowerowe). Po przeprowadzeniu głębszej analizy okazuje się, iż cechuje się dobrymi właściwościami mechanicznymi.

Aspekty wpływające na dobór tego materiału:

- wysoka udurowość,
- stosunkowo wysoka odporność na zmęczenie, zginanie i rozciąganie,
- dobra spawalność,
- możliwość obróbki ubytkowej,
- powszechna dostępność,
- niska cena,
- niska gęstość.

2.1.5. Obliczenia MES zintegrowanej ramy motocykla

Niniejszy podpunkt przedstawia przebieg oraz wyniki analizy statycznej zaprojektowanej ramy motocykla. Badając wytrzymałość ramy metodą elementów skończonych, skorzystano z oprogramowania ANSYS dostarczonego przez firmę MESCO projektowi studenckiemu E-Moto AGH. Przy ustalaniu dyskretyzacji modelu posilkowano się literaturą [5] Zagrajek T. „Metoda elementów skończonych w mechanice i konstrukcji” rozdz 1. Przyjmuje się wytrzymałość spoiny na równi z wytrzymałością materiału.

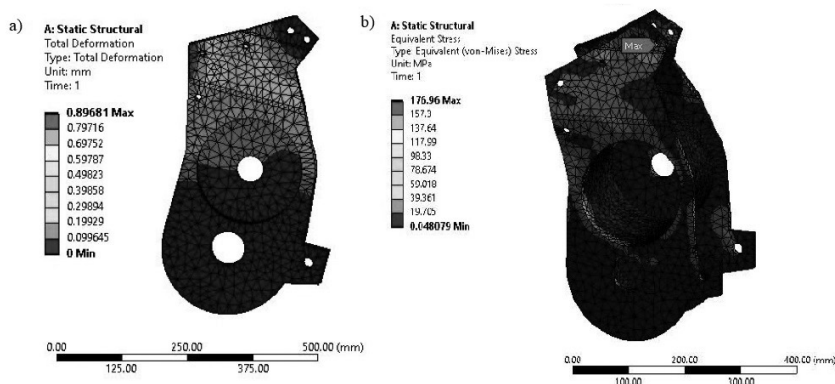
a) Wyniki analizy statycznej

Obliczenia zostały przeprowadzone w oparciu o hipotezę wyężeniową Hubera-Misesa-Hencky’ego. Rozkład najbardziej i najmniej zdeformowanych elementów przedstawia rysunek 3. Za deformację uważa się przemieszczenia węzłów elementu skończonego opisywanych za pomocą wektora przemieszczeń oraz funkcji kształtu. Wynikiem są przemieszczenia węzłowe konstrukcji nie przekraczające 0,89681 mm. Rysunek 3. przedstawia wyniki analizy.

b) Podsumowanie analizy

Opracowanie modelu komputerowego wraz z przeprowadzeniem szeregu analiz pozwalających na sprawdzenie wytrzymałości ramy zostały

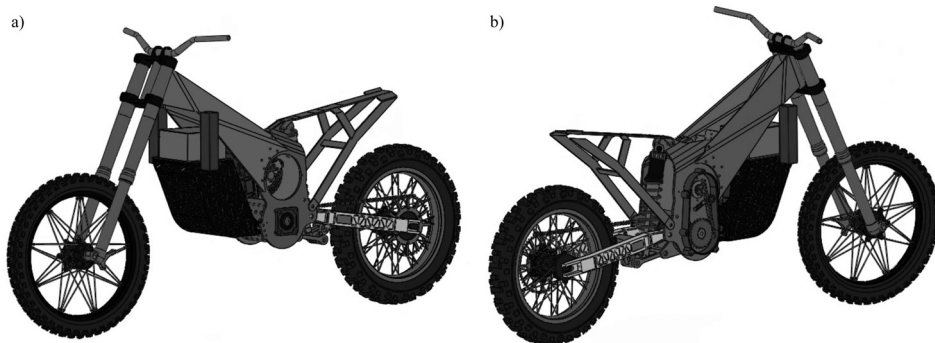
wykonane oraz dostarczyły istotną ilość informacji o wytrzymałości zaprojektowanej konstrukcji. Otrzymane wyniki porównano z maksymalnymi wartościami naprężeń i deformacji, otrzymanymi na podstawie danych materiałowych. Naprężenia wynikowe analizy statycznej ukazały, iż konstrukcja nie ulega znacznej deformacji podczas braku występowania obciążeń dynamicznych. Wartość naprężenia, spowodowanego siłą ścisnąjącą, równa jest wartości około 176,96 MPa. Wielkość ta jest stosunkowo nie wielka przyrównując ją z wytrzymałością ramy na rozciąganie i ściskanie równej 320 MPa. Analizy statyczne potwierdziły, iż rama została zaprojektowana poprawnie. Mimo, iż przeprowadzone badania są obarczone pewnym błędem, dostarczają dosyć wiarygodne informacje. Na podstawie za modelowanych numerycznie zjawisk fizycznych występujących podczas eksploatacji ramy, wprowadzano udoskonalenia konstrukcji oraz sprawdzenie czy zastosowane rozwiązania przyniosą istotne i opłacalne zmiany.



Rys. 3. Wynik analizy MES: a) deformacja modelu,
b) naprężenia zredukowane H-M-H

2.1.6. Model 3D całej konstrukcji motocykla

Wirtualny model motocykla przedstawia rysunek 4 opracowany w oprogramowaniu SolidWorks zapewnionym przez firmę Solidexpert na licencji E-Moto AGH. Na zobrazowanej konstrukcji nie ujęto elementów, takich jak owiewki. Element ten zostanie zaprojektowany w późniejszej fazie rozwoju motocykla.



Rys. 4. Poglądowy model motocykla: a) widok z przodu, b) widok od tyłu

2.2. Bateria

Obudowa na pakiet baterii zostanie wykonana z niezwykle lekkiego kompozytu włókna szklanego wzmocnionego kompozytem z włóknem węglowym. Rolę przenoszenia naprężeń nośnych i pochodzących od pracy ramy przejmie część wykonana z włókna węglowego, warstwy włókna szklanego zapewnią izolację elektryczną oraz barierę przeciw pożarową. Dodatkowo zastosowana zostanie niepalna żywica.

Kluczowym punktem przy projektowaniu obudowy na pakiet baterii była kwestia mocowań do ramy. Aby wzmocnić kompozytową konstrukcję w miejscach mocujących zastosowane zostaną mosiężne inserty zaalaminowane w kompozycie. Obudowa baterii będzie pełniła również rolę wzmocnienia otwartej konstrukcji ramy. Na rozłożenie działających sił ma również istotny wpływ rozłożenie masy. W naszym motocyklu najcięższe elementy znajdujące się w baterii, czyli ogniwa, zostały umieszczone jak najniżej całego pakietu, dzięki czemu środek ciężkości całego motocykla znajduje się nisko, co ma wpływ na poprawę jakości prowadzenia pojazdu.

Ogniwa zostaną połączone za pomocą niklowych blaszek wykonanych z myślą technologii „fuse by wire” czyli po uszkodzeniu pakietu baterii, ogniwa zostaną rozłączone poprzez przepalenie się ścieżek je łączące.

3. CZĘŚĆ WYKONAWCZA

Opracowana technologia jest oparta o produkcję pojedynczą – prototypową, w głównej mierze zorientowana jest pod kątem wykorzystania dostępnych

maszyn i urządzeń dostępnych w laboratorium Katedry Systemów Wytwarzania Akademii Górniczo-Hutniczej. Opracowany proces technologiczny zaoszczędzi czas i zapobiegnie sytuacjom, w których wykonanie kolejnego kroku byłoby utrudnione na skutek np. niemożliwego z bazowania wymiarów lub wykonania części bez możliwości zamocowania jej w maszynie. Omawiana w pracy technologia wykonania ma charakter opisowy i została podzielona na poszczególne elementy. Podczas opracowywania procesu technologicznego wykonania korzystano z wiedzy zawartej w [4] „Poradnik obróbki skrawaniem”.

4. PODSUMOWANIE

Celem modernizacji motocykla było zmniejszenie masy całkowitej, poprawa właściwości jezdnych, modyfikacja baterii oraz poprawa ergonomiczności. Wytyczne te zostały osiągnięte poprzez zmianę konstrukcji nośnej z stalowej ramy saniowej na samonośną konstrukcję wykonaną z stopu aluminium 6082, obudowa baterii została wykonana z połączenia kompozytu szklanego oraz węglowego z mosiężnymi insertami mocującymi. Właściwości jezdne uległy poprawie poprzez ograniczenie masy, zmniejszenie gabarytu motocykla przez co poprawiona zostanie manewrowość, staranniejsze dobranie geometrii konstrukcji co wpłynie pozytywnie na układ tłumienia drgań. Bateria uległa zmianie poprzez zastosowanie ogniw 21700 co pozwoli na uzyskanie lepszych osiągnięć motocykla. Ogniwa te charakteryzują się zwiększoną wydajnością prądową (w porównaniu do wcześniej używanych ogniw typu 18650), co oznacza, że silnik może być zasilany większym prądem fazowym.

W efekcie motocykl będzie osiągał większą chwilową moc. Ergonomia motocykla została poprawiona poprzez wykonanie wyprofilowanych owiewek, które kierują powietrze na elementy chłodnicze oraz zapewniają komfort kierowcy jednocześnie oferując stabilne podparcie podczas kierowania w trudnych warunkach.

Referat pt. „Modernizacja terenowego motocykla elektrycznego E-Moto AGH o mocy 30 kW” – autorstwa Bartosza Cudoka i Małgorzaty Trojanowskiej, został wygłoszony na LIX Sesji Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH w Sekcji Mechaniki Maszyn i Urządzeń Technologicznych oraz wyróżniony II nagrodą. Opiekun naukowy referatu: dr inż. Krzysztof Zagórski.

LITERATURA

- [1] Boś P., Fejkiel R.: *Podstawy konstrukcji maszyn cz.2 „Techniki wytwarzania i maszynoznawstwo”*. Warszawa, WKŁ, 2011.
- [2] Cossalter V.: *Motorcycle Dynamics*. Padova, Lulu, 2002.
- [3] Foale T.: *Motorcycle handling and chassis design*. Spain, Tony Foale, 2002.
- [4] Sandvik: *Poradnik obróbki skrawaniem*. POL/01 AB Sandvik Cormoant Sandviken Szwecja 2010a.
- [5] Zagrajek T., Krzesiński G., Marek P.: *Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji*. Warszawa, WPW, 2006.

ORGANY PLAZMOWE – PROJEKT I BUDOWA PROTOTYPU

Miłosz Derżko ¹

1. WSTĘP

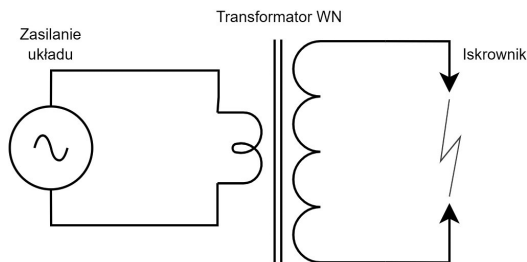
Instrument jest podstawowym elementem dzieła muzycznego. Generuje on słyszalny ton o konkretnych częstotliwościach w skali muzycznej, co w odpowiednim ułożeniu może stworzyć linie melodyczną oraz harmonię. Budowa innowacyjnych instrumentów przez długi czas była polem do popisu dla inżynierów dźwięku. Przykładem może być konstrukcja jednego z pierwszych elektronicznych instrumentów muzycznych – Thereminu. Był on stworzony przez Lwa Termena [1], posiadał dwie anteny, którymi modulowało się wysokość oraz głośność tonu wydobywanego przez urządzenie. Kolejnym nietypowym instrumentem była harfa laserowa wymyślona przez Bernarda Sznajera [2], często wykorzystywana przez francuskiego muzyka Jean Michel Jarre. Przeglądając różne fora internetowe można natknąć się na wiele ciekawych instrumentów bądź nietypowych kontrolerów MIDI, jak również znaleźć różnego rodzaju głośniki plazmowe i grające cewki Tesli.

Konstrukcja przedstawionego prototypu organów plazmowych jest zbliżona do głośnika plazmowego. Będzie on częścią instrumentu aerofonicznego, w którym pobudzenie słupa powietrza do drgań będzie realizowane poprzez przeskok ładunku elektrycznego. Urządzenie będzie posiadało rezonatory akustyczne dostrojone do odpowiednich częstotliwości, zaś elektrody będą umieszczone tak, aby efektywnie pobudzały powietrze do drgań. Wszystkie rezonatory będą sterowane niezależnie, dzięki temu zostanie zrealizowane założenie polifonii instrumentu. Całość będzie kontrolowana interfejsem MIDI, co zapewni kompatybilność z pozostałym instrumentarium muzyka.

¹ student, Koło Naukowe Electrosonus, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH

2. GENERATOR WYSOKIEGO NAPIĘCIA

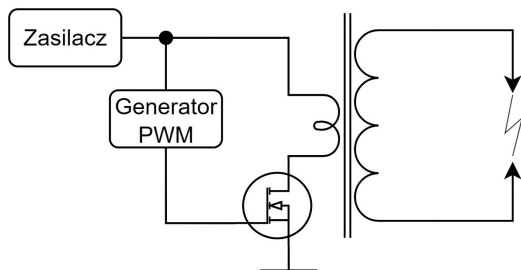
Do utworzenia plazmy konieczne jest wygenerowanie napięcia rzędu kilku do kilkunastu kilowolt. Aby uzyskać tak duże wartości potrzebny jest układ podwyższający napięcie. Podstawowy układ zwiększający napięcie zawiera transformator z odpowiednią przekładnią, zasilany sygnałem sinusoidalnym (rys. 1).



Rys. 1. Podstawowy schemat generatora wysokiego napięcia

Ze względu na wysokie przełożenie transformatora stosowane są rdzenie ferrytowe. Ze względu na prędkość przemagnesowania rdzenia, należy dobrać tak częstotliwość aby wraz z uzwojeniem pierwotnym układ pracował w okolicach rezonansu. Można to uzyskać poprzez zmianę częstotliwości zasilania uzwojenia pierwotnego lub poprzez zmianę indukcyjności tego uzwojenia czyli liczbę zwojów.

W tym projekcie wykorzystano jedno z łatwiejszych rozwiązań, czyli klucz modulujący przepływ prądu przez uzwojenie pierwotne (rys. 2).



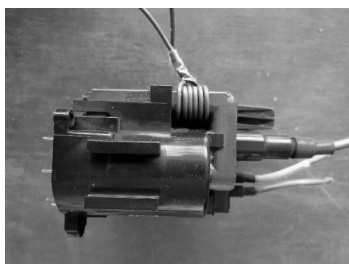
Rys. 2. Schemat uproszczony transformatora zasilanego falownikiem

W tym przypadku przełącznikiem jest tranzystor MOSFET który na przemian zwiera i rozwiera obwód powodując tym samym modulację. Taki sposób

sterowania wymaga dużej częstotliwości przełączania, ponieważ odpowiednie napięcie na uzwojeniu wtórnym powstanie dopiero w momencie powstania zjawiska rezonansu prądu na uzwojeniu pierwotnym. Sterownikiem może być układ generujący sygnał PWM o częstotliwości około rezonansowej, która ze względów akustycznych, powinna być znacznie powyżej pasma słyszalnego. Można do tego celu wykorzystać zarówno mikrokontroler jak i układ analogowy.

3. BUDOWA GENERATORA

Gdy już określony został sposób w jaki wytworzone zostanie wysokie napięcie należy przystąpić do budowy generatora. W tym celu potrzebny jest do tego transformator wysokiego napięcia, tranzystor oraz sterownik. Nie można również zapomnieć o diodach zabezpieczających oraz radiatorze, ponieważ w momencie przepływu prądu przez tranzystor, wydziela on duże ilości ciepła, które muszą zostać odprowadzone do otoczenia.

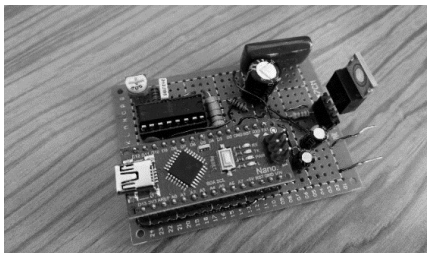


Rys. 3. Trafopowielacz z nawiniętym uzwojeniem pierwotnym

Transformatorem wysokiego napięcia może być trafopowielacz wmontowany ze starego monitora kineskopowego (rys. 3). Jest on połączeniem transformatora oraz powielacza napięcia, który zawiera w sobie szereg diod oraz kondensatorów, które w odpowiednim połączeniu powielają zmienne napięcie wejściowe. Uzwojenie pierwotne transformatora dedykowane było zasilaniu częstotliwością odchyłania poziomego monitorów CRT. Jego indukcyjność nie odpowiadała założeniom projektowym, dlatego zrezygnowano z wykorzystania tej części transformatora. Nie było to jednak znaczące utrudnienie, ponieważ fragment rdzenia wystawał poza plastikową obudowę, co pozwoliło na nawinięcie około pięciu zwojów uzwojenia pierwotnego.

Pierwotna wersja prototypu (rys. 4) została zbudowana na sterowniku TL494 który generował sygnał PWM o częstotliwości 100 kHz, oraz jako driver

transformatora wykorzystany został tranzystor IRF640. Na płytce widać również moduł Arduino Nano który służył w późniejszych testach jako sterownik MIDI oraz generator częstotliwości słyszalnych.



Rys. 4. Prototyp generatora wysokiego napięcia

Już pierwsze próby uruchomienia dały zadowalające rezultaty, ponieważ prototyp zadziałał za pierwszym razem (rys. 5). Układ został zasilony napięciem 12 V, a przy około 50% wypełnienia generator pobierał prąd o wartości około 3 A.

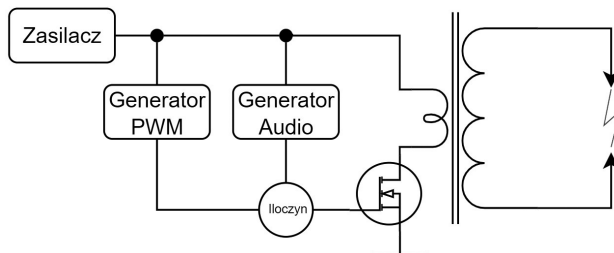


Rys. 5. Iskra wytworzona przez prototyp

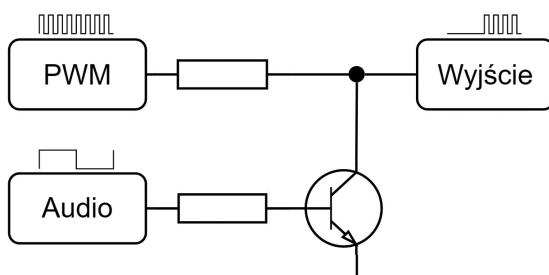
4. MODULACJA AUDIO

Prototyp, który zbudowano Generował dźwięk o charakterze szumu. Działo się tak, ponieważ plazma była generowana za pomocą częstotliwości niesłyszalnej dla człowieka. Aby łuk elektryczny mógł „zagrać”, należy zmodulować sygnał sterujący częstotliwością akustyczną (rys. 6).

Aby to zrobić, można wykorzystać układ mnożący sygnał wysokiej częstotliwości z sygnałem akustycznym. Jest to swoistego rodzaju modulacja AM która jest w tym przypadku bardzo prosta w implementacji, gdyż wystarczy zale dwie jeden tranzystor oraz rezystory (rys. 7).



Rys. 6. Schemat blokowy generatora grającej plazmy



Rys. 7. Realizacja układu mnożącego

Sygnal akustyczny można wygenerować za pomocą wcześniej zamontowanego modułu Arduino Nano. Dodatkowo układ TL494 zamieniony został na wyjście PWM modułu Arduino, dzięki czemu można było dodatkowo zmniejszyć wymiary płytki.

Już po pierwszym uruchomieniu generatora z układem mnożącym dało się usłyszeć ton muzyczny generowany przez plazmę. Jego brzmienie było charakterystyczne dla sygnału prostokątnego – zawierał on tylko nieparzyste harmoniczne.

5. REZONATOR AKUSTYCZNY

Do wykonania piszczałki użyto rury PVC, która została umieszczona nad elektrodami, w sposób nie zasłaniający widoku plazmy (rys. 8). Mocowanie zostało wykonane w technologii FDM tak, aby podstawa rury była swobodna. Tak wykonana piszczałka jest rezonatorem półfalowym, ponieważ jego oba końce są otwarte.

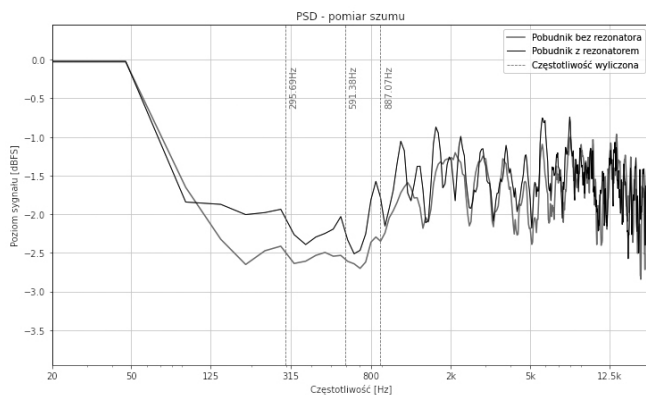
Po zamontowaniu rezonatora przyszedł czas na wstępne pomiary charakterystyki częstotliwościowej. Na początku należało policzyć teoretyczną częstotliwość rezonansową. W przypadku rezonansu półfalowego, węzły fali muszą być umieszczone na końcach rury. Częstotliwość rezonansowa takiego układu jest dana wzorem [3]:

$$f = \frac{n \cdot v}{2(L + 0,8 \cdot d)} \quad (1)$$

gdzie: n to kolejne liczby naturalne, L to długość rury, v to prędkość dźwięku a d jest średnicą rury. Dla badanego w tym przypadku rezonatora, częstotliwość ta wynosiła 295,69 Hz.



Rys. 8. Rezonator akustyczny zamontowany razem z generatorem plazmy



Rys. 9. Charakterystyka częstotliwościowa dla generatora z rezonatorem i bez

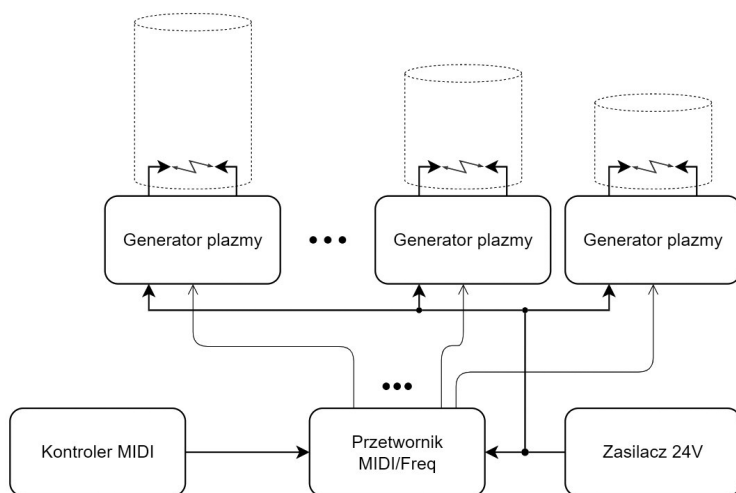
Następnym krokiem było nagranie dziesięciosekundowego sygnału akustycznego z modulacją w zakresie od 20 Hz do 20 kHz. Do rejestracji sygnału użyto mikrofonu G.R.A.S. Type 26CA oraz karty pomiarowej NI9234 wraz z interfejsem NI cDAQ-9174. Mikrofon został umieszczony w odległości 1 m od rezonatora ze względu na działanie wysokiego napięcia w pobliżu. Nagranie

zostało wyeksportowane do pliku z rozszerzeniem typu WAV, znormalizowane a następnie zostało z niego wyznaczone PSD.

Przedstawione na rysunku 9 gęstość widmowa mocy wskazuje szereg częstotliwości, będące rezonansowymi: 281 Hz, 563 Hz, 844 Hz. Na wykresie zaznaczono również częstotliwość rezonansową dla pierwszej harmonicznej oraz dwóch następnych. Uzyskana charakterystyka pokrywa się z częstotliwościami analitycznymi, z niewielkim błędem przesunięcia w dół. Najprawdopodobniej jest to związane z geometrią otwarcia otworu dolnego i zaburzeniami wynikającymi z zastosowanego układu podpórki.

6. ORGANY PLAZMOWE

Po przeprowadzeniu badań, zaproponowano koncepcję zmontowania jednego z rezonatorów. W układzie interfejsu cyfrowego zastosowany zostanie konwerter, który zamieni sygnał MIDI na odpowiednią częstotliwość generacji tonu. Podczas prac nad prototypem udało się stworzyć przetwornik MIDI/Freq oparty na module Arduino Nano (rys. 10).



Rys. 10. Schemat blokowy organów plazmowych

W programie mikrokontrolera zaimplementowano sterownik MIDI w sposób zezwalający na to aby każdy z generatorów wydawał jeden ton dopasowany do częstotliwości rezonansowej falowodu wynikającej z jego długości. Następnie połączono ze sobą trzy generatory plazmy wytwarzające trójdźwięk.

7. PODSUMOWANIE

Przedstawiane urządzenie wymaga jeszcze dopracowania. Podczas testów wielu generatorów można było zauważyć znaczny pobór prądu. Instrument ma być polifoniczny, powinien więc być przystosowany do działania wszystkich piszczałek w jednym momencie. Zatem pierwszym krokiem w dalszej pracy nad instrumentem jest wykonanie zasilacza dużej mocy. Ponadto w przyszłości trzeba będzie zastosować bardziej wydajne chłodzenie tranzystorów ze względu na dużą moc wydzielaną podczas ich pracy.

LITERATURA

- [1] Scharping N.: *Creepy Music and Soviet Spycraft: The Amazing Life of Leon Theremin*. <https://www.discovermagazine.com/technology/creepy-music-and-soviet-spycraft-the-amazing-life-of-leon-theremin>, (dostęp: 18.06.2022).
- [2] Szajner B.: FR2502823A1, *Laser control arrangement for musical synthesiser – uses mirrors to reflect laser beams to photocells in synthesiser control circuits for control by beam interruption*. 01,10,1982.
- [3] Moravcsik M.J.: *Musical Sound*. Kluwer Academic/Plenum Publishers New York, 1987.

DESIGN OF CONTACTLESS INFRA-RED DEVICE WITH TEMPERATURE SENSOR MLX90614 BASED ON ARDUINO

D.S. Dubrov ¹

1. INTRODUCTION

Everyone would like to receive the fastest and best possible medical care or a timely quick examination that could help prevent certain diseases depending on the location. Today, health monitoring is a key factor in prevention and emergency care in the event of certain ailments.

This article looks at creating a similar non-contact infrared thermometer based on an Arduino ESP8266 board and an MLX90614 non-contact temperature sensor.

In connection with the latest events in Europe – namely, the war in Ukraine, the growing problem of hunger in the world, and the threat of the spread of new harbingers of diseases. This creates a problem – the problem of providing timely medical care. Also, this article shows the dependence of temperature measurement on certain environmental conditions, the correctness of use, and the dependence on human indicators.

An analysis was also carried out to improve the device, and the stages of further development and the possibility of integration with other sensors and artificial intelligence were determined.

The article is organized as follows: The first chapter describes the importance of the system divided into two parts, what has been done and what is planned (modernization with integration). Chapter number two discusses the implementation and demonstration of hardware and software, the design, and the application of various modeling approaches. In turn, the analysis of the dependence of the accuracy of the measurement results is presented in chapter three and chapter four.

¹ student, Department of CAD, Lviv Polytechnic NU

2. USE OF MOTORING SYSTEMS AS A DEVICE FOR MEASURING BODY TEMPERATURE

The logical development of non-contact temperature measurement was the introduction of health monitoring systems in hospitals without the involvement of personnel, where contact with infected persons is nullified. Such systems are more effective, the use of ready-made products that, in addition to temperature control, can recognize other indicators of the body, such as pressure, the percentage of oxygen in the blood, the integration of data into the hospital's cumulation node, allows you to monitor the condition of all patients at the same time without the possibility of data falsification. In the future, in the presence of large sets of data taken from sensors, it is possible to use mathematical calculations, such as the search for associative rules for the treatment of patients, although it cannot be claimed that the use of only one mathematical method is core already now it is possible to make sure that such a system can determine the disease more accurately (applies simple ailments) than the medical worker himself.

So, today, the combination of technologies offers not just a non-contact thermometer, but a ready-made product for the mass market, which is integrated into health monitoring systems not only in the hospital but also outside, and can be used in difficult conditions (For example, a battlefield where there is no infrastructure and sources of energy), detects people suffering from fever and other violations of vital indicators of existence, can create a report and send the collected data to data servers for further processing anywhere in the world. And such similar solutions, thanks to existing technologies, did not appear on the market for years, but a couple of months after it was demanded by society.

The use of thermal imaging equipment does not guarantee a 100% diagnostic result. The task of a non-contact device for measuring temperature is not to make a diagnosis, but to identify people with elevated body temperature or other indicators, alerting the hospital staff about the indicators based on which certain decisions are made.

Epidemiological non-contact thermometers cope quite well with this task. Naturally, the more technological a non-contact thermometer is, the smaller the error and the more accurate the result, but not always, because in addition to the error of the device, it is important to take into account the conditions.

It is well known that any non-standard or serious problem gives a powerful impetus to the development of technologies. And the current situation is no

exception. It is already clear how much the market for non-contact thermometers and health monitoring systems has revived all over the world. It is safe to say that with the development of microelectronics and data analysis with the training of neural networks, new devices will be created based on these data that not only measure certain indicators but can also predict with a certain probability a possible type of disease and methods of effective treatment.

As for heat-measuring equipment, in this case, a non-contact thermometer should act as the first echelon of diagnostics. It is impossible to detect all diseases with the help of such a device, but it is possible to warn or collect statistical data. However, preventing risks due to timely diagnosis of changes in temperature or other indicators of natural values above or below normal is the key to proper treatment in the future.

It can be said that in the first stage of development, a device for non-contact measurement of body temperature or environmental objects was made. It is planned that in the future it will be possible to integrate additional sensors into this device, such as a video camera using artificial intelligence, and a sensor for determining pressure, and the amount of oxygen in the blood. Infrared sensor and sonar. All this will make it possible to create not just a simple device, but primarily a multifunctional one with a large number of values for diagnosing the state of health. Data transfer to the centralized system using the SSL protocol with tokenization will allow data to be transferred securely to the node and viewed on the web portal as a graphical interpretation of the data according to classifications.

3. THE PRINCIPLE OF OPERATION AND COMPONENTS OF A NON-CONTACT THERMOMETER

This device includes a full cycle of development, starting from modeling and ending with writing software according to the modules used in this device.

Accordingly, the first step was the creation of an electrical scheme – fundamental for the correct arrangement of microelectronics. In the process of creating a scheme, the next stage is the probing of the device body. This body of the device includes initial versions of the case and a production copy for full-scale production in industrial conditions. Modeling includes the development of the body, boards for placing microelectronics, assembly of parts, loading of libraries with microelectronics, and integration into the body of the device (Fig. 1.). This not only allows you to fully see the essence of the device as an object but also

allows you to perform a physical analysis of the interactions of natural processes on this device, which allows you to effectively eliminate and improve the design and materials [4, 5].

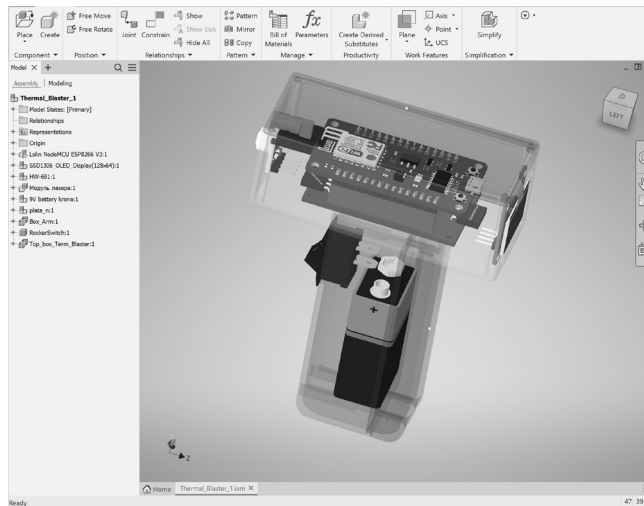


Fig. 1. Model of the non-contact thermometer in AutoDesk Inventor

The next and no less important process is the implementation of pre-modeled versions of the device using a certain type of plastic with the help of a 3D printer and the assembly of the device with subsequent testing.

Thus, it is important to implement the correct writing of software[1, 2] for this you need to understand the terminology.

Infrared radiation is another type of radiation that exists in the electromagnetic spectrum. We can't see it, but if you put your hand next to something hot, like a stove, you would feel the effects of infrared radiation. All objects emit energy as infrared radiation. Most handheld thermometers use lenses to focus light from one object onto a thermocouple that absorbs infrared radiation. The more infrared energy is absorbed, the more it heats up and the level of heat is converted into an electrical signal, which is eventually converted into a temperature reading.

The following components were used to build a non-contact thermometer:

- toggle button,
- 5 k Ω , 200 Ω resistors,
- 5 V laser,
- arduino ESP8266,

- on/off switch,
- 0,96" OLED display,
- GY-906 temperature sensor or MLX90614 sensor with appropriate capacitors/resistors,
- 9 V battery,
- 3D printer and filament (e.g. PETG).

4. ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF THE ACCURACY OF THE MEASURED NATURAL QUANTITIES DEPENDING ON THE CONDITIONS

The topic of the accuracy of the results is a global problem because it depends not only on the subject of influence but also on the influence of certain factors on the object itself. Everyone knows how important accuracy, measurement units, and sensors are.

Regarding donors. This section can be attributed to the statistical sensitivity of the transmitter. It is expressed as the ratio of a small increase in the initial value B to a small increase in the corresponding natural measured value A under static conditions.

Dynamic sensitivity of the sensor: if the operating conditions of the sensor are not static, if „inertia” is observed during changes, then we can talk about the dynamic sensitivity of the sensor, which is expressed as the ratio of the rate of change of the output value of the sensor to the rate of change of the corresponding natural measured value (input value).

Threshold of the sensor sensitivity: the minimum change in the natural measured value that can lead to a real change in the output value of the sensor.

Normal operating conditions: All these parameters are usually regulated in the documentation for normal operating conditions of the measuring device. Normal conditions mean an ambient temperature in the region of +25°C, atmospheric pressure in the region of 750 mmHg, relative humidity in the region of 65%, as well as the absence of vibrations and significant electromagnetic fields. Tolerances for deviations from normal operating conditions are also indicated in the documentation for the device.

Sensor error: any sensor has additional errors that can be caused by changes in external conditions, and their significant deviation from normal conditions.

Mostly all this can be found in the documentation of the transmitters.

Accordingly, when measuring, it is also important that the steering wheel is influenced by the environment, i.e., infrared radiation that falls on the body, radioactive radiation that can damage the accuracy of sensors, lightning, or electromagnetic radiation, in turn, also interfere with accuracy. You can also add it here.

The next important indicator is the key measurement zone on the example of the temperature sensor, this is the measurement location on the screen.

The accuracy of the subject performing the measurement – angle of inclination, distance.

Gender, physical activity, etc.

5. CONCLUSIONS

Sensor technology based on the concept of the Internet of Things (IoT) with data transmission through gateways to a basic cloud application is the most important condition for the design of „smart” cities, buildings, and neighborhoods, in which a high level of safety of human life is ensured. Such an IoT-based system allows you to significantly increase the speed and efficiency of response within large and small areas by providing essential and relevant information about the nature of the event and property.

At the moment, there is no alternative to this device, which is based on a sensor for measuring temperature, as an effective means of detecting pathological temperature fluctuations and monitoring health! But its efficiency can be increased with the help of additional equipment installed in parallel.

LITERATURA

- [1] Cameron N.: *Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32*. Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices. 2020. 723 p.
- [2] Петин В.А.: *77 Проектов для Arduino*. ДМК-Пресс, 2019. 356 с.: ил.
- [3] *Середовище розробки Arduino IDE*. Електронний ресурс: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.
- [4] Shih R.H.: *Parametric Modeling with Autodesk Inventor 2020*. SDC Publications P.O. Box, 1334 Mission, KS 66222, 913-262-2664, www.SDCpublications.com Publisher: Stephen Schroff.
- [5] Waguespack C.: *Mastering Autodesk Inventor 2015 and Autodesk Inventor*. LT 2015.

MIKROSTRUKTURA STALI 15-5 PH WYTWARZANEJ METODĄ SELEKTYWNEGO TOPIENIA LASEROWEGO

Mariusz Fic ¹, Grzegorz Michta ²

1. WSTĘP

Mikrostruktura materiału wpływa na własności wytworzonego elementu, jej analiza pozwala uzyskać informację odnośnie przewidywanych parametrów wytrzymałościowych oraz plastycznych. Jej zbadanie może pozwolić na uzyskanie informacji jak materiał będzie zachowywał się w określonych warunkach, zarówno środowiskowych, jak i naprężeniowych. Dodatkowo uzyskane na podstawie badań mikrostruktury pozwalają określić teoretyczny czas eksploatacji wytworzonego z danego materiału elementu.

Materiał wyjściowy jaki używany jest do wytworzenia elementu, jest głównym czynnikiem, który determinuje późniejsze jego własności. Posiadanie informacji na temat tego jak przebiega zmiana mikrostruktury w wyniku procesów koniecznych do wytworzenia zaprojektowanego elementu, takich jak np. obróbka cieplna, jest kluczowym czynnikiem pozwalającym określić czy przeprowadzony proces został wykonany należycie, jak i czy konieczne są jego zmiany do osiągnięcia wymaganych parametrów. Z tego powodu o skuteczności procesów jakim poddawany jest materiał, w głównej mierze oprócz własności mechanicznych decyduje jego mikrostruktura.

Przeprowadzone badania miały na celu analizę zmian mikrostruktury materiału rodzimego w postaci proszku oraz wytworzonej z niego próbki. Celem pracy było określenie własności poprzez ocenę mikrostruktury. Próbkę powstałą z proszku przetopioną została wykorzystując proces selektywnego topienia laserowego tzw. metodą SLM (Selective Laser Melting).

1 inż., student, Koło Naukowe Metaloznawców, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, AGH

2 dr. inż., Katedra Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

2. METODA SLM

W metodzie SLM ciepło pochodzące od padającej na warstwę proszku wiązki lasera powoduje przetopienie i stopienie ze sobą cząstek proszku. Proszek nakładany jest na platformę roboczą, po każdym przejściu wiązki lasera. Wiązka ta kierowana jest za pomocą głowicy skanującej, po ścieżce zaprojektowanej wcześniej w cyfrowym modelu. Po przetopieniu warstwy proszku platforma robocza zostaje obniżona, następnie za pomocą ostrza dozującego наносzona jest kolejna warstwa proszku. Cykl ten jest powtarzany aż do momentu powstania gotowego elementu [1, 2].

3. MATERIAŁ UŻYTY DO BADAŃ

Do przeprowadzania badań użyto proszku stali 15-5 PH, z którego wydrukowano próbki przeznaczone do przeprowadzenia statycznej próby rozciągania. Stal 15-5 PH należy do stali umacnianych wydzieleniowo. Można ją również zaklasyfikować jako wysokostopową stal konstrukcyjną, charakteryzującą się martenzytyczną strukturą osnowy odporną na korozję. Umocnienie stali powodowane jest głównie przez wydzielanie się cząstek miedzi. Użyty do wydrukowania próbek proszek został wytworzony zgodnie z normą AMS 7021, odnoszącą się do proszków wykonanych ze stali do umacniania wydzieleniowego stosowanych w metodach przyrostowych. Skład chemiczny proszku przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny proszku stali 15-5 PH, % wagowy [3]

Fe	Cr	Ni	Cu	Nb+Ta	Mn	Si	P	S	C	N	O
Reszta	14,5–15,5	3,5–5,5	2,5–4,5	0,15–0,45	1,0	1,0	0,04	0,03	0,07	0,10	0,10

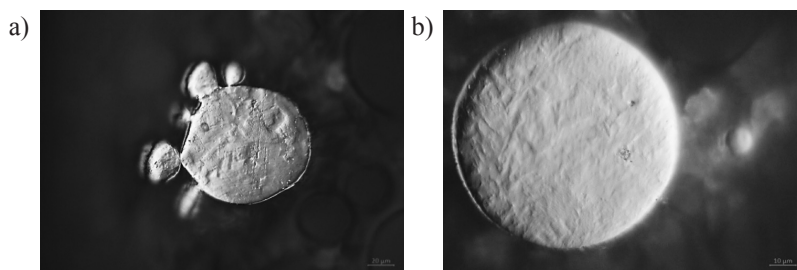
Skład chemiczny ma zapewnić odporność korozyjną stali, głównie przez dużą zawartość Cr oraz Ni. Dodatek Cu ma spowodować umocnienie martenzytycznej osnowy poprzez wydzielenie się jej faz w materiale. Niska zawartość węgla ma na celu ograniczenie wydzielania się węglików, mogących prowadzić do powstawania korozji międzykrystalicznej. Skład chemiczny stali pozwala na osiągnięcie martenzytycznej struktury przez hartowanie na powietrzu lub też w oleju w przypadku elementów o dużym przekroju. Gęstość nasypowa proszku wynosiła 3,95 g/cm³, natomiast wielkość cząstek 15–50 μm.

4. BADANIA MIKROSTRUKTURY

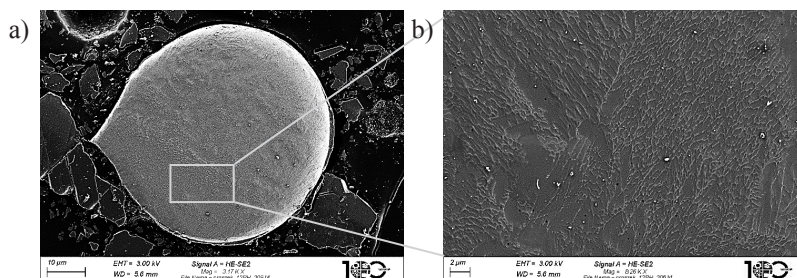
Obserwacje mikrostruktury proszku stali 15-5 PH jak i wydruków dokonano przy użyciu mikroskopu świetlnego (LM) w różnych technikach obserwacji oraz skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) z użyciem różnych detektorów. Zastosowanie obu technik miało na celu zbadanie mikrostruktury proszku użytego do wytwarzania przyrostowego badanych próbek. Badania mikrostrukturalne przeprowadzono na zgładach nietrawionych.

4.1 Mikrostruktura proszku 15-5 PH

Na rysunku 1 pokazano przekrój przez cząstki proszku stali 15-5 PH. Z wykonanych obserwacji wynika, że proszek może występować w postaci aglomeratów złożonych z kilku cząstek (rys. 1a) lub cząstek pojedynczych (rys. 1b) przez co zastosowany proszek do wydruku jest niejednorodny pod względem wielkości i kształtu.



Rys. 1. Przykładowa cząstka proszku 15-5 PH, a) aglomerat cząstek proszku, b) pojedyncza cząstka proszku, mikroskop świetlny LM, kontrast Nomarskiego

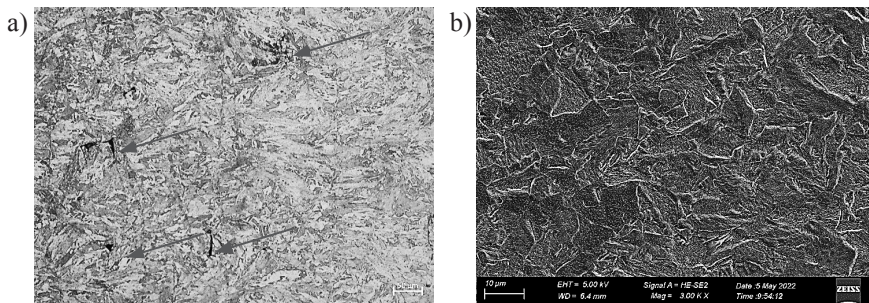


Rys. 2. Przykładowa mikrostruktura proszku 15-5 PH, a) pojedyncza cząstka proszku, b) krystalicy w cząstce proszku powstałe podczas krzepnięcia z fazy ciekłej, SEM

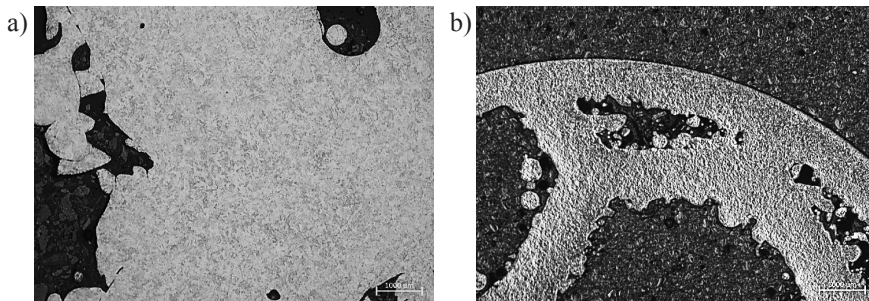
Obserwacja przy większych powiększeniach (rys. 2) uwidacznia mikrostrukturę cząstek, która składa się krystalitów krzepnących w sposób komórkowo-dendrytyczny.

4.2. Mikrostruktura drukowanych próbek

W przypadku wydrukowanych próbek z proszku stali 15-5 PH obserwacje mikrostruktury, tak jak w przypadku proszku dokonano przy użyciu mikroskopu świetlnego oraz skaningowego mikroskopu elektronowego. Próbkę badawczą o przekroju okrągłym wydrukowano metodą SLM o wymiarach zgodnych z normą przeznaczoną do przeprowadzenia statycznej próby rozciągania. Część chwytana próbek została wydrukowana w formie litej, natomiast część pomiarowa w formie plastra miodu. Z części chwytnej wykonano zglądy z przekroju wzdłużnego i poprzecznego, które pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Przykładowa mikrostruktura części chwytnej drukowanej próbki, a) przekrój poprzeczny, mikroskop świetlny, b) przekrój wzdłużny, SEM

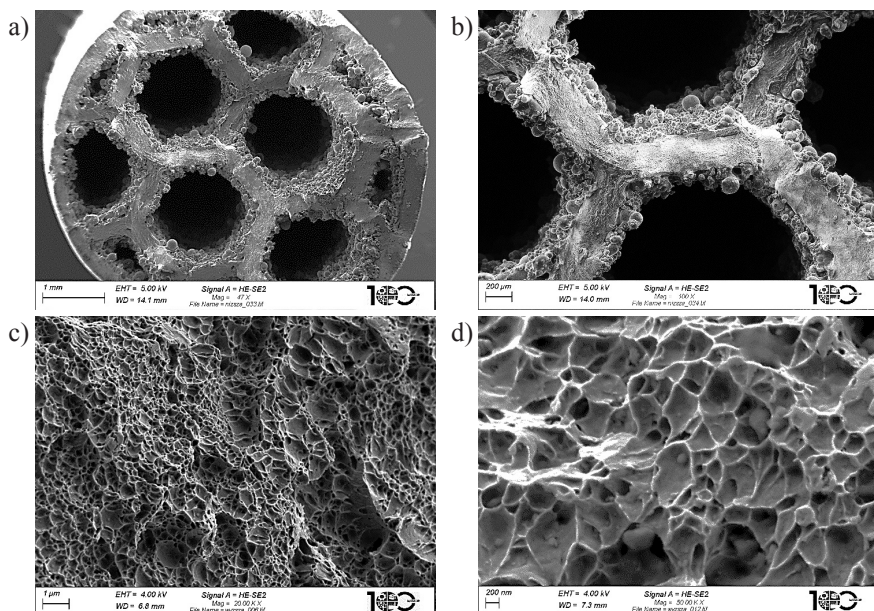


Rys. 4. Przykładowa mikrostruktura przekrój poprzecznego części roboczej drukowanej próbki, mikroskop świetlny, a) jasne pole widzenia, b) kontrast Nomarskiego

Mikrostruktura części chwytnej składała się z martenzytu o drobnych liściach, co wynika z procesu przetapiania małych objętości proszku, szybkiego chłodzenia oraz ponownego nagrzania materiału do wysokich temperatur i szybkiego chłodzenia podczas drukowania kolejnej warstwy. Na rysunku 4a strzałkami zaznaczono miejsca braku przetopienia kolejnej drukowanej warstwy. Na rysunku 4 pokazano mikrostrukturę pochodzącą z części roboczej drukowanej próbki, która ze względów wytrzymałościowych wydrukowana została w postaci plastra miodu.

Struktura martenzytyczna była obserwowana niezależnie od miejsca i kierunku wykonania zglądu. Jest to spowodowane tym, że stal 15-5 PH jest stałą martenzytyczną o dużej hartowności, co także wpływa na własności mechaniczne badanego materiału. Do określenia podstawowych parametrów wytrzymałościowych i plastycznych wykonano statyczną próbę rozciągania. Wartość umownej granicy plastyczności $R_{p0.2}$ wyniosła 980 MPa, wartość wytrzymałości na rozciąganie R_m wyniosła 1221 MPa przy odkształceniu ϵ równym 10,3%.

Przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego, dokonano również obserwacji fraktograficznych próbek użytych podczas statycznej próby rozciągania. Na rysunku 5 pokazano przełomy przy różnych powiększeniach.



Rys. 5. Przełomy drukowanej próbki stali 15-5 PH obserwowany przy różnych powiększeniach, a i b) charakterystyczny wygląd plastra miodu, c i d) przełom doczłokowy [4], SEM

W przypadku mniejszych powiększeń (rys. 5a i 5b) przełom ma charakterystyczną dla przełomu kruchego „szorstką” i gładką topografię. Natomiast stosując większe powiększenia (rys. 5c i 5d) można dostrzec charakterystyczne dolki i wgłębienia, które cechują przełom plastyczny, jednak ich czasze nie są aż tak wydłużone jak w klasycznym przełomie plastycznym. Przy bardzo dużych powiększeniach (rys. 5d) obserwowano w charakterystycznych dołeczkach drobne sferoidalne wydzielania. Biorąc pod uwagę fakt znacznego wydłużenia próbki podczas rozciągania, wytworzony przełom można sklasyfikować jako pośredni, czyli jako przełom quasi-plastyczny. Zagadnienie to zostało również częściowo omówione w materiałach konferencyjnych [4].

5. PODSUMOWANIE

Stal 15-5 PH zaliczana jest do martenzytycznych stali odpornych na korozję umacnianych cząsteczkami miedzi. Stal ta posiada wysoką granicę wytrzymałości i plastyczności przy zachowaniu dobrej ciągliwości. Takie właściwości mechaniczne zachęcają do prowadzenia badań nad materiałami, które mogą być wytwarzane w sposób alternatywny do konwencjonalnego. Takimi procesami są metody addytywne.

Skład chemiczny proszku użytego do druku metodą SLM był tożsamy ze składem chemicznym stali 15-5 PH. Składał się on z pojedynczych sferoidalnych cząstek o różnej średnicy oraz konglomeratów cząstek o różnej wielkości. Wielkość konglomeratów ma duże znaczenie. Jeżeli ich wielkość przekroczy głębokość przetapiania wiązki lasera to powstaną miejsca z brakiem przetopu. Przekroje poprzeczne proszku obserwowane przy dużych powiększeniach sugerują, że proces krzepnięcia w procesie wytwórczym przybierał formę komórkowo-dendrytyczną.

Otrzymane własności wytrzymałościowe i plastyczne praktycznie są równoważne z materiałem wykonanym w konwencjonalny sposób. Prawdopodobnie jest to spowodowane obróbką cieplną kolejnych warstw ciepłem pochodzącym od przetapianych warstw wydruku, co może powodować starzenie stali i wydzielanie bardzo drobnych faz umacniających.

Przełom materiału został zakwalifikowany jako quasi-plastyczny, co jest konsekwencją otrzymanej podczas wydruku mikrostruktury, która łączy ze sobą wysoką wytrzymałość mechaniczną z dobrą plastycznością. Obserwowane przy bardzo dużych powiększeniach sferoidalne cząstki powinny być poddane dalszym

badaniom wyjaśniającym ich pochodzenie. Należałoby także zbadać wpływ na wydruk obróbki cieplnej, którą stosuje się w konwencjonalnym wytarzaniu stali z gatunku 15-5 PH.

Referat pt. „Wpływ procesu wytwarzania przyrostowego na mikrostrukturę i własności stali martenzytycznej 15-5 PH” – autorstwa Mariusza Fic, został wygłoszony na LIX Sesji Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH w Sekcji Metaloznawstwa i Inżynierii Powierzchni oraz wyróżniony I nagrodą. Opiekun naukowy referatu: dr inż. Grzegorz Michta.

Praca zrealizowana w ramach prac statutowych AGH nr 16.16.110. 663 i wykonana dzięki wsparciu badawczemu Międzynarodowego Centrum Mikroskopii Elektronowej dla Inżynierii Materiałowej IC-EM, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Składamy również podziękowania dla firmy „Progresja S. A.” uL. Żelazna 9, Katowice, za udostępnienie materiałów badawczych i pomoc w zrealizowaniu referatu.

LITERATURA

- [1] Gibson I., Rosen D., Stucker B.: *Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Wydawnictwo Springer, 2016.
- [2] Liu S., Shin Y.C.: *Additive manufacturing of Ti6Al4V alloy: A review*. Materials and Design, 2019, 164, s. 3–6.
- [3] AMS 7021: *Precipitation Hardenable Steel Alloy, Corrosion and Heat Resistant, Powder for Additive Manufacturing*. Rok wydania 2022.
- [4] Fic M., Michta G.: *Wpływ wytwarzania przyrostowego na mikrostrukturę i własności stali 15-5 PH*. Sympozjum Katedr i Zakładów Spawalnictwa pt. „Nowoczesne zastosowania technologii spawalniczych”, Brenna, 2022.

TECHNOLOGIA KUCIA WIELOKROTNEGO ODKUWKI DŹWIGNI DO UKŁADU PALIOWEGO

Grzegorz Ficak ¹, Łukasz Lisiecki ²

1. WSTĘP

Początki kuźnictwa datuje się na około 2 tysiące lat przed naszą erą. Wówczas wytwarzano głównie przyrządy do użytku codziennego, narzędzia rolnicze czy łowieckie. Po odkryciu żelaza najważniejszym nabywcą wyrobów kutych stała się formacja militarna (głównie średniowiecze). Wraz z upływem czasu przechodzono z kucia ręcznego na formowanie przy wykorzystaniu maszyn [1, 2].

Na przełomie XX i XXI wieku nastąpił zwrot w branży hutniczej związany z pojawianiem się oprogramowania służącego do symulacji numerycznych procesów przeróbki plastycznej. Owe programy przyspieszyły czas wdrażania detali, wzrosła jakość wytwarzanych odkuwek. Do grupy takiego oprogramowania należy zaliczyć program QForm bazujący na metodzie elementów skończonych (MES). Umożliwia on analizę intensywności odkształcania, temperatury, naprężeń średnich zarówno w odkuwce, jak i narzędziach. Przy wykorzystaniu podstawowych narzędzi, takich jak linie powierzchniowe, minimalna odległość do kontaktu, można stwierdzić prawidłowość płynięcia materiału. Producenci oprogramowania stworzyli również możliwość szacowania żywotności narzędzi poprzez dodanie standardowych podprogramów użytkownika [3, 4, 5].

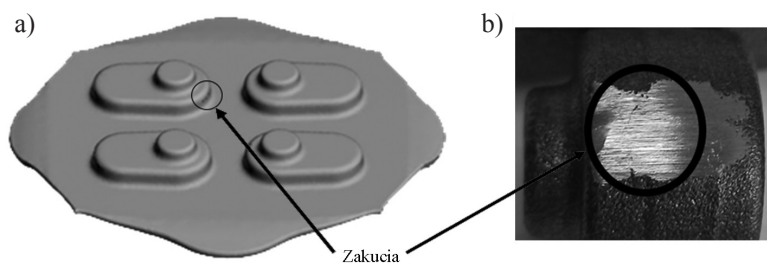
Celem artykułu jest numeryczna analiza wad występujących w odkuwce części do układu paliwowego, wykonanej w procesie kucia wielokrotnego oraz analiza żywotności narzędzi stosowanych podczas procesu. Zakres badań obejmuje analizę numeryczną oraz porównanie uzyskanych wyników z wyrobem powstałym podczas procesu produkcyjnego.

1 student, Koło Naukowe Hefajstos, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej AGH

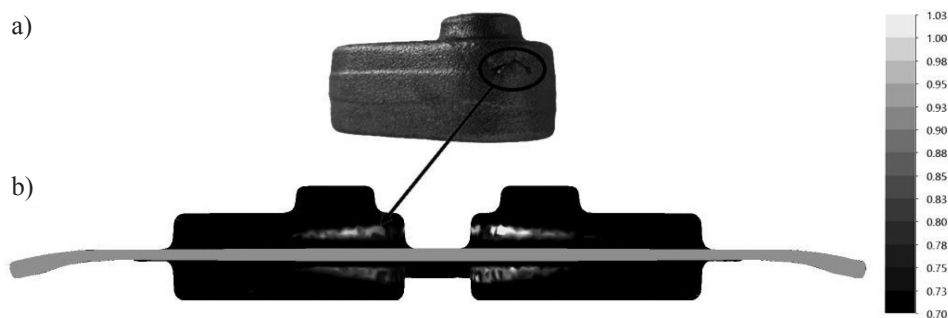
2 dr. inż., Katedra Plastycznej Przeróbki Metali i Metalurgii Ekstrakcyjnej, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

2. OBLICZENIA NUMERYCZNE ISTNIEJĄCEJ TECHNOLOGII

Obliczenia numeryczne wykonano za pomocą oprogramowania QForm wersja 10.1.7. Podczas analizy wyników obliczeń numerycznych zlokalizowano zakucia na powierzchniach bocznych detali (rys. 1a). Jak można zauważyć, zlokalizowane wady znajdują się w zbliżonych miejscach w rzeczywistej odkuwce (rys. 1b), co świadczy o poprawności wykonanych obliczeń.



Rys. 1. Zlokalizowane zakucia. a) symulacja MES, b) rzeczywista odkuwka

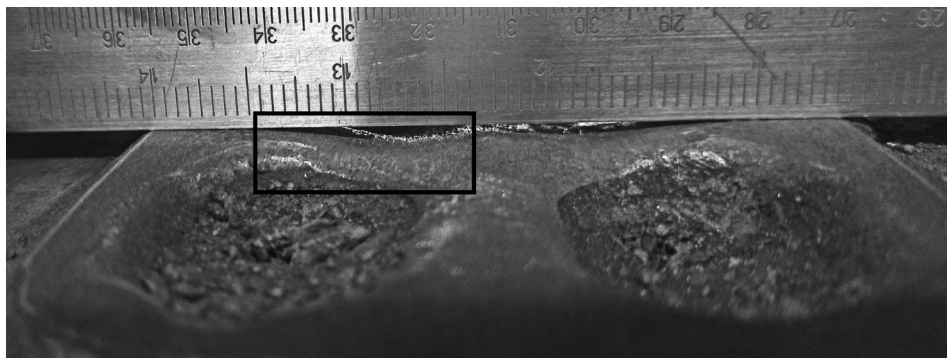


Rys. 2. Wady związane z niewłaściwym płynięciem materiału. a) rzeczywista odkuwka, b) symulacja MES (rozkład parametru „Gartfield”)

Podczas analizy powierzchni odkuwek, zlokalizowano nieciągłości materiałowe (rys. 2a). W celu określenia pochodzenia wady oraz oszacowania jej wielkości, wykorzystano standardowy podprogram w oprogramowaniu QForm o nazwie „Gartfield”. Obliczenia w przytoczonym podprogramie wykonywane są na podstawie zmiany naprężenia rozciągającego w kierunku normalnym do powierzchni obrabianego materiału, a wyznaczone wartości parametru mają charakter powierzchniowy. Zakłada się, że w miejscach kumulacji niekorzystnego stanu

naprężenia, występują pęknięcia lub wady powiązane z niewłaściwym płynięciem materiału. Uznaje się, że defekty mogą wystąpić, gdy wyznaczone wartości przekroczą 0,7. Podczas analizy rozkładu parametru, przedstawionego na rysunku 2b, wyodrębniono miejsca, w których wartość parametru „Gartfield” znacznie przekracza dopuszczalną. Obszary te zlokalizowane są w tożsamyh miejscach, co pęknięcie w odkuwce i wynoszą 2,4.

Na podstawie danych pozyskanych z Zakładu przemysłowego, stwierdzono, że po odkuciu około 2400 sztuk odkuwek zaobserwowano znaczne zużycie narzędzi wstępnie matrycujących. Widoczne jest duże zużycie ściernego materiału na powierzchni mostków pomiędzy wykrojami (rys. 3). Jako materiał na narzędzia, Zakład wykorzystuje stal WCL o oznaczeniu H11.



Rys. 3. Zużycie narzędzi wstępnie matrycujących po 600 cyklach pracy

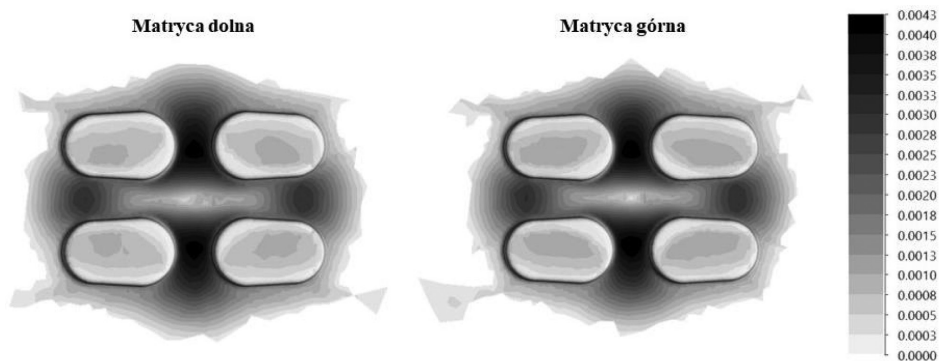
W celu numerycznej oceny zużycia narzędzi w pojedynczym cyklu wykorzystano podprogram umożliwiający wyznaczenie stopnia zniszczenia matryc, w wyniku działań nacisków normalnych (W_p). Obliczenia numeryczne wykonywane są zgodnie z poniższym równaniem:

$$W_p = \int_0^t \frac{K_p \cdot p^a \cdot V_\tau^b}{\sigma^a} \quad (1)$$

gdzie: W_p – zużycie narzędzi w wyniku działań nacisków normalnych,
 K_p – współczynnik empiryczny nacisku zużycia,
 a i b – współczynniki empiryczne Bayer_exp_a oraz Bayer_exp_b,

- p – nacisk normalny w miejscu kontaktu materiału z narzędziem, MPa,
 t – czas kontaktu narzędzia z materiałem, s,
 $\bar{\sigma}$ – granica plastyczności materiału, MPa,
 V_{τ} – prędkość styczna węzła stykowego przedmiotu obrabianego względem narzędzia, m/s.

Na rysunku 4 przedstawiono numeryczne rozkłady zużycia narzędzi wstępnie matrycujących, w wyniku działań nacisków normalnych. Największy stopień zniszczenia zaobserwowano na powierzchni mostków wewnętrznych, czyli w tożsamych miejscach jak na rysunku 3 i wynosi 0,00423.



Rys. 4. Rozkład współczynnika zużycia narzędzi wstępnie matrycujących w wyniku działań nacisków normalnych

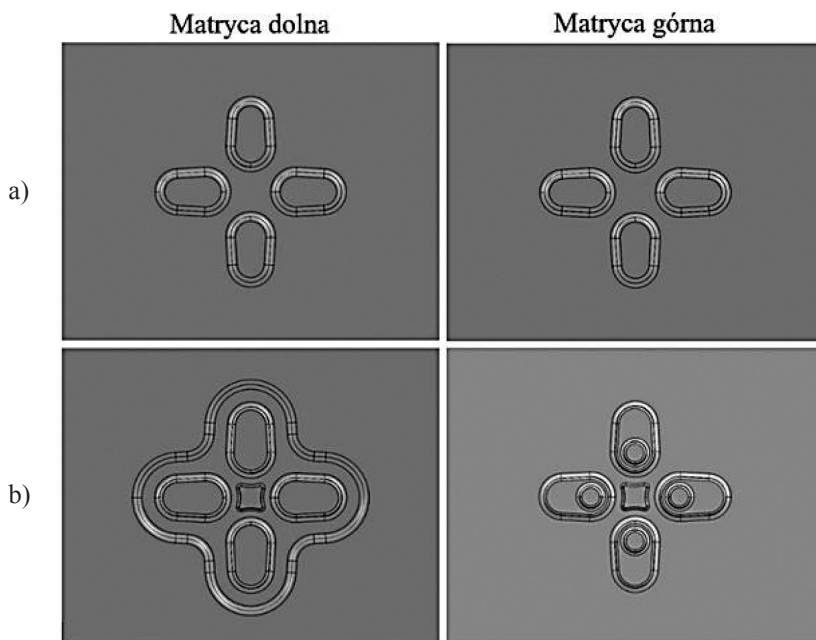
3. ROZWIĄZANIE PROBLEMU

Celem dalszych badań było opracowanie nowych modeli narzędzi oraz wytycznych dla procesu kucia wielokrotnego na gorąco, umożliwiającego wytworzenie odkuwki dźwigni do układu paliwowego pozbawionej wad oraz minimalizacja zużycia narzędzi podczas kucia w wykroju wstępnie matrycującym.

3.1. Modele narzędzi i ich modyfikacja

Na podstawie analizy wyników obliczeń numerycznych opracowano nowe modele narzędzi przy pomocy oprogramowania SolidWorks. Modyfikacja polegała na zmianie ułożenie wykrojów, w taki sposób, aby znajdowały się

w szyku kołowym. W nowym procesie zaproponowano wsad w postaci pręta o średnicy 55 i długości 40 milimetrów, zwiększając uzysk całkowity o 6%, natomiast w narzędziach matrycujących dodano środkowy magazynek, tak jak przedstawiono na rysunku 5b.

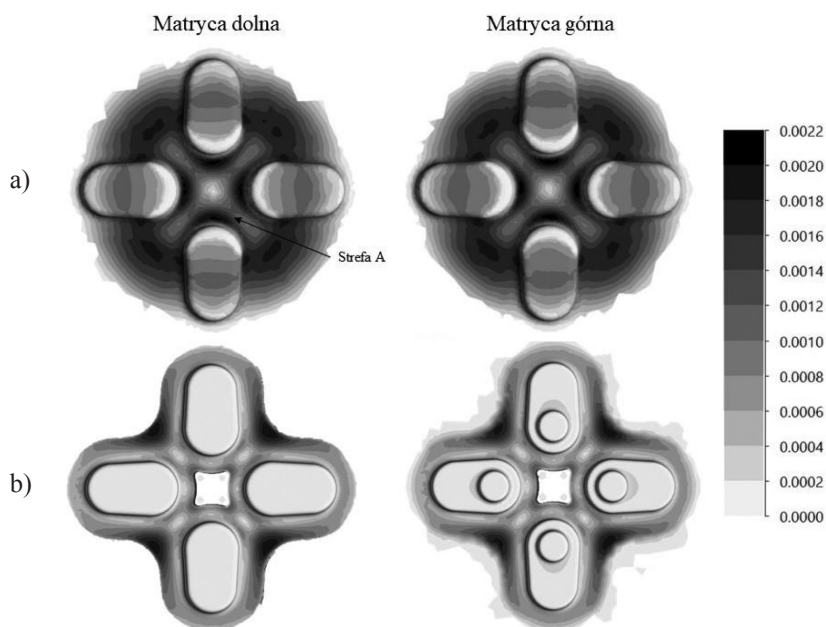


Rys. 5. Opracowane modele narzędzi: a) wykroje wstępnie matrycujące, b) wykroje matrycujące

3.2. Obliczenia numeryczne nowej technologii

Przy wykorzystaniu modeli przedstawionych na rysunku 5 wykonano numeryczną symulację kształtowania za pomocą oprogramowania QForm. Podczas analizy wyników nie zlokalizowano zakuć ani wad, świadczących o niewłaściwym płynięciu materiału.

Analogicznie, jak miało to miejsce w istniejącej technologii, wykonano obliczenia zużycia narzędzia zgodnie z równaniem 1. Największe zużycie zaobserwowano w narzędziach wstępnie matrycujących, w okolicach zaokrągleń znajdujących się w wewnętrznej strefie matrycy (rys. 6a – strefa A). Największy udział nacisków normalnych w narzędziach matrycujących zlokalizowano na powierzchni zewnętrznych mostków.



Rys. 6. Numeryczne rozkłady zużycia narzędzi w wyniku działania nacisków normalnych: a) wykroje wstępnie matrycujące, b) wykroje matrycujące

4. PODSUMOWANIE

Wykorzystując oprogramowanie MES do symulacji procesu kształtowania, można zlokalizować różne wady związane z niewłaściwym płynięciem materiału (takie jak np. zakucia, podłamy), już na etapie projektowania technologii.

Tabela 1. Porównanie istniejącej technologii i zaproponowanej modyfikacji

Kryterium porównania	Technologia	
	Istniejąca	Opracowane
Uzysk całkowity	60%	66%
Zużycie narzędzi w wyniku nacisków normalnych (wykroje wstępnie matrycujące)	0,00422715	–48%
Zużycie narzędzi w wyniku nacisków normalnych (wykroje matrycujące)	0,00335144	–40%
Wady dyskwalifikujące odkuwki	zakucia, niewłaściwe płynięcie materiału	brak

Wraz z rozwojem oprogramowania, stworzono możliwość antycypowania żywotności narzędzi stosując do tego celu właściwe podprogramy.

W analizowanym przypadku stwierdzono, że w opracowanej technologii zużycie narzędzi, powstające w wyniku działania nacisków w matrycach wstępnych, zredukowano o 48%, a w matrycujących o 40% oraz zwiększono uzysk całkowity o 6%. Ponadto, w całej objętości odkuwek nie zlokalizowano wad powodujących ich dyskwalifikację. Porównanie obu technologii zestawiono w tabeli 1.

5. WNIOSKI

Wykonane badania oraz analiza wyników obliczeń numerycznych pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- a) właściwe odzwierciedlenie warunków panujących na hali produkcyjnej poprzez wprowadzenie zgodnych założeń do obliczeń numerycznych pozwala wykryć wady w materiale podczas kształtowania oraz oszacować zużycie narzędzi,
- b) stosując oprogramowanie do symulacji procesów przeróbki plastycznej, już na etapie projektowania narzędzi, istnieje sposobność niwelacji wad,
- c) głównym czynnikiem wpływającym na żywotność narzędzi kuźniczych są naciski normalne.

Referat pt. „Technologia Kucia wielokrotnego odkuwki dźwigni do układu paliwowego” autorstwa inż. Grzegorza Ficaka, został wygłoszony na LIX Sesji Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH w Sekcji Przeróbki Plastycznej Metali oraz otrzymał pierwsze miejsce. Opiekunowie naukowci referatu: dr inż. Sylwia Bednarek oraz dr inż. Łukasz Lisiecki.

LITERATURA

- [1] Pater Z., Samołyk G.: *Podstawy technologii obróbki plastycznej*. Politechnika Lubelska, Lublin, 2013.
- [2] Wasiunyk P., Jarocki J.: *Kuźnictwo i prasownictwo*. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1991.
- [3] Biba N., Stebunov S., Lishiny A.: *Cost effective implementation of forging simulation*. ScienceDirect, Moscow, 2001.

- [4] Vianello P.I., dos Santos Jr. A., Abrão A.M., de Castro Magalhães F.: *Thermal Fatigue Analysis of Hot Forging Closed Dies*. Scielo Brazil, Belo Horizonte, 2020.
- [5] Biba N., Vlasov A., Krivenko D., Duzhev A., Stebunov S.: *Closed Die Forging Preform Shape Design Using Isothermal Surfaces Method*. ScienceDirect, Qxford, 2020.

ANALIZA ZALEŻNOŚCI MIĘDZY WYBRANYMI WŁASNOŚCIAMI MECHANICZNYMI ELEMENTÓW STAŁOWYCH ORAZ WIELKOŚCIĄ SZUMÓW MAGNETYCZNYCH BARKHAUSENA

Paweł Gilek ¹, Janusz Krawczyk ², Adam Kokosza ³

1. WSTĘP

Zagadnienia dotyczące badań nieniszczących skupiają się głównie na wykrywaniu uszkodzeń. Ich przykładami mogą być defekty związane m.in. ze zużyciem zmęczeniowym (np. w formie pittingu), korozją lub wadami produkcyjnymi [1]. Istotną kwestię stanowi również badanie przyczyn, w wyniku których dochodzi do ich powstania. W przypadku materiałów metalicznych może to być na przykład obecność naprężeń własnych. Często są one pomijane ze względu na brak wyraźnych odczytów z aparatury. Przykładem defektów, które wiążą się z obecnością naprężeń własnych, są pęknięcia oraz zmiany kształtu [2]. Przyczyną wspomnianych naprężeń jest najczęściej obróbka cieplna oraz procesy obróbki plastycznej i ubytkowej. Jedną z metod umożliwiających pomiar naprężeń własnych na skalę przemysłową jest pomiar szumów magnetycznych Barkhausena. W przypadku tej metody możliwe jest jej łatwe zautomatyzowanie [3]. W ramach niniejszej pracy postanowiono określić, czy wielkość wspomnianych szumów wykazuje zależność od wybranych własności mechanicznych. Celem było również ustalenie, czy badany element nie jest wadliwy.

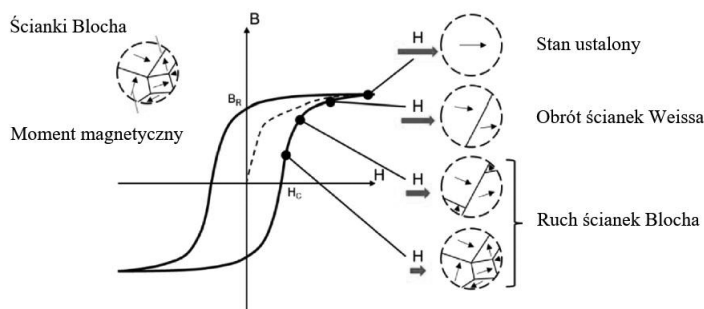
1 student, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, AGH

2 dr. hab. inż., prof. AGH, Katedra Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

3 dr inż., Katedra Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

2. METODA SZUMÓW MAGNETYCZNYCH BARKHAUSENA – PODSTAWY

Podstawowym założeniem, koniecznym do zrozumienia zjawiska szumów magnetycznych Barkhausena, jest obecność domen magnetycznych w materiałach ferromagnetycznych (oraz ferrimagnetycznych). Domeny mogą osiągać wymiary od kilkuset atomów do kilku milimetrów. Pomiędzy nimi znajdują się ścianki domenowe. W wyniku zmiany namagnesowania ciała (np. poprzez przyłożenie zewnętrznego pola magnetycznego) następuje zmiana zwrotu momentów magnetycznych atomów znajdujących się we wspomnianych domenach, co powoduje ich przesuwanie. Do wywołania ruchu ścianki domenowej konieczne jest dostarczenie odpowiedniej ilości energii (np. poprzez zwiększanie natężenia prądu zasilającego elektromagnes w głowicy urządzenia). Szumy magnetyczne Barkhausena są efektem skokowych zmian indukcji magnetycznej podczas pokonywania przeszkód przez ścianki domen i to właśnie one są mierzone przez aparat [4]. Schemat zjawiska ruchu granic domen magnetycznych pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Zjawisko szumów magnetycznych Barkhausena [5]

3. MATERIAŁ DO BADAŃ

Badania były prowadzone na goleni (rys. 2), która stanowiła fragment podwozia lekkiego samolotu sportowego Cessna 152. Element nie był wcześniej eksploatowany. Do jego produkcji wykorzystano stal sprężynową chromowo-krzemową o oznaczeniu 51SiCr7(+A). Skład chemiczny stali pokazano w tabeli 1. Do wykonania niektórych badań konieczne było pobranie z goleni próbek, co utrudniała wysoka twardość elementu. Z tego względu zdecydowano

się na cięcie metodą waterjet. Element po pocięciu pokazano na rysunku 3. Oprócz wspomnianej części dostępne były rysunki wykonawcze oraz karta wytopowa. W celu otrzymania płaskownika, z którego wykonano goleń, przeprowadzono walcowanie na gorąco. Następnie wykonane zostały zgięcia, również z wykorzystaniem wysokiej temperatury. Przed rozpoczęciem obróbki mechanicznej oraz cięcia przeprowadzono wyżarzanie zmiękczające. Duży wpływ na własności końcowe wyrobu miało ulepszanie cieplne, którego schemat pokazano na rysunku 4.

Tabela 1. Skład chemiczny stali sprężynowej 51SiCr7(+A)

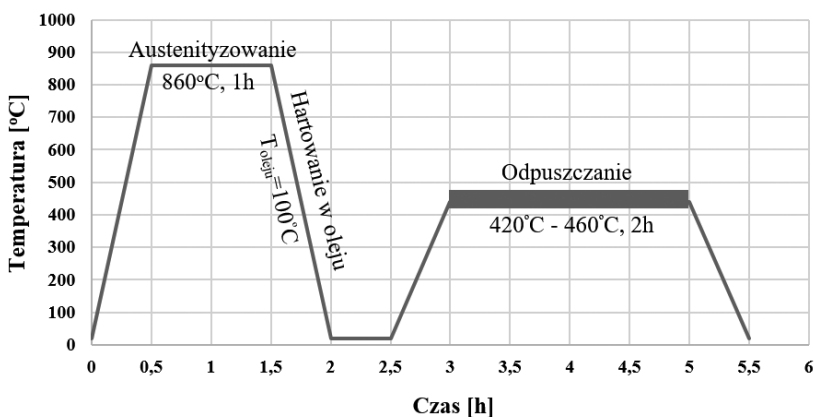
Pierwiastek	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Sn	Al
Udział masowy	0,57	0,81	1,60	0,018	0,025	0,260	0,04	0,04	0,01	0,021



Rys. 2. Goleń w stanie dostarczonym do badań



Rys. 3. Goleń po pocięciu metodą waterjet



Rys. 4. Schemat obróbki cieplnej materiału goleni

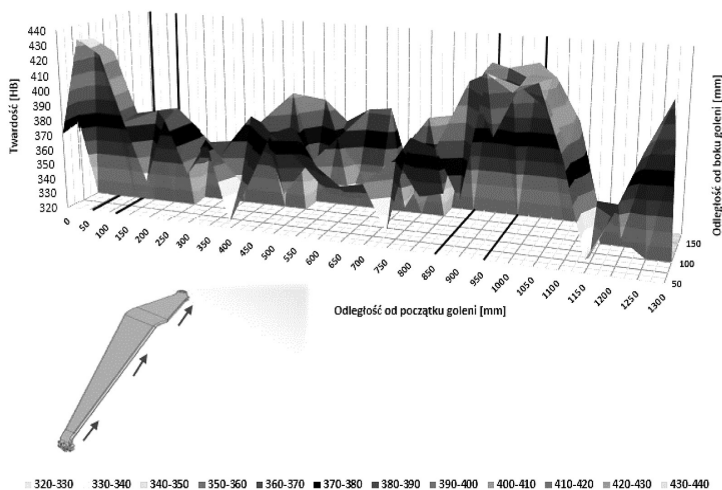
4. PRZEPROWADZONE BADANIA I APARATURA

Oprócz pomiarów naprężeń metodą szumów magnetycznych Barkhause-na przeprowadzono: pomiary twardości (w wybranych obszarach na całej powierzchni goleni), statyczną próbę rozciągania (dla próbek pobranych z różnych kierunków względem kierunku walcowania na gorąco) oraz analizę mikrostruktury (próbki pobrano z obszarów o szczególnych własnościach oraz położeniu). Do pomiarów twardości użyto twardościomierza Leeba. Przygotowanie badania wymagało wyznaczenia na powierzchni elementu niemal 400 kwadratowych pól o boku długości 25 mm, w których wykonano po 3 pomiary z wyznaczeniem średniej arytmetycznej. Statyczna próba rozciągania była wykonywana na maszynie wytrzymałościowej Zwick Roell 250 z ekstensometrem.

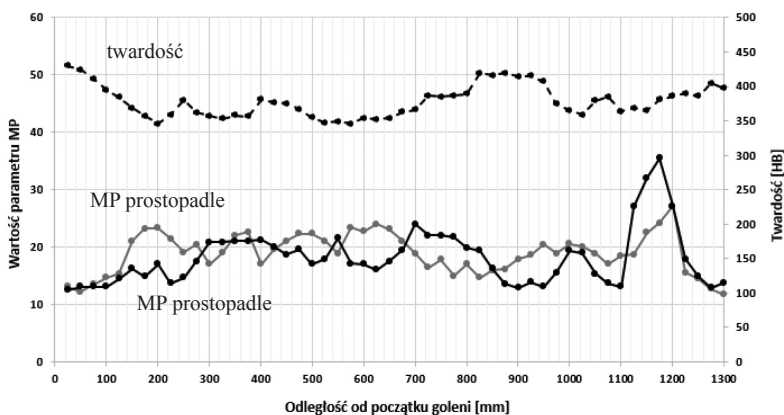
5. WYNIKI BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych na całej powierzchni goleni pomiarów twardości metodą Leeba zostały wykonane mapy twardości. W celu poprawy czytelności, na wykresy naniesiono skalę kolorów. Mapę sporządzoną dla strony zewnętrznej pokazano na rysunku 5. Wartości twardości przeliczono na skalę HB, co umożliwia oprogramowanie twardościomierza Leeba. Na podstawie wykresu można stwierdzić, że największa twardość występuje w miejscach, które podczas produkcji były zginane w wysokiej temperaturze. W niektórych punktach zmierzone wartości przekraczają 430 HB. Najmniejsze wartości zaobserwowano na obszarach niedeformowanych od momentu pobrania płaskownika z magazynu. Podobne wnioski wyciągnięto dla powierzchni wewnętrznej. Przy bokach badanego elementu nie został zaobserwowany wyraźny wzrost twardości na obszarach zagiętych

W obszarach, gdzie wcześniej mierzono twardość, zostały zmierzone szumy magnetyczne Barkhausena, a ich wielkość określano wartością parametru MP. Wyniki przedstawiono na wykresach razem z uzyskaną wcześniej twardością (rys. 6). Na podstawie wykresu sformułowano wniosek, że w miejscach o większych wartościach twardości, wartości szumów magnetycznych Barkhausena są zazwyczaj niższe. Wartości parametru MP mierzone równolegle do kierunku walcowania różnią się od tych, które zmierzono w kierunku prostopadłym. Nie można jednak stwierdzić, że występuje między nimi konkretna zależność.



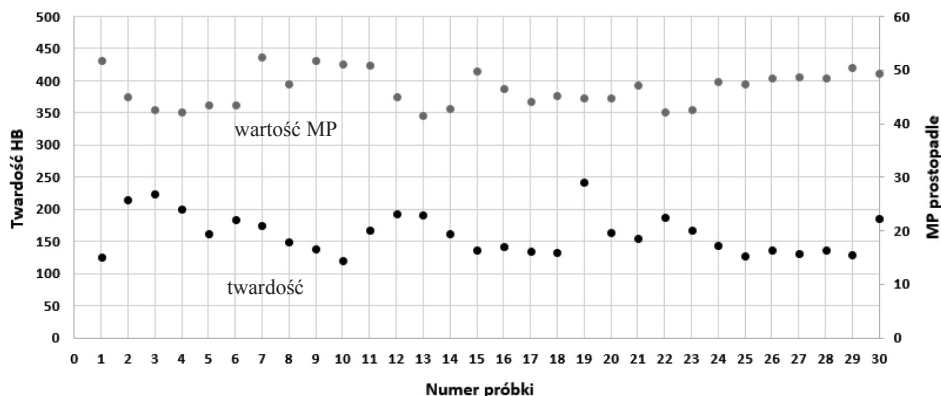
Rys. 5. Mapa twardości dla zewnętrznej powierzchni goleni



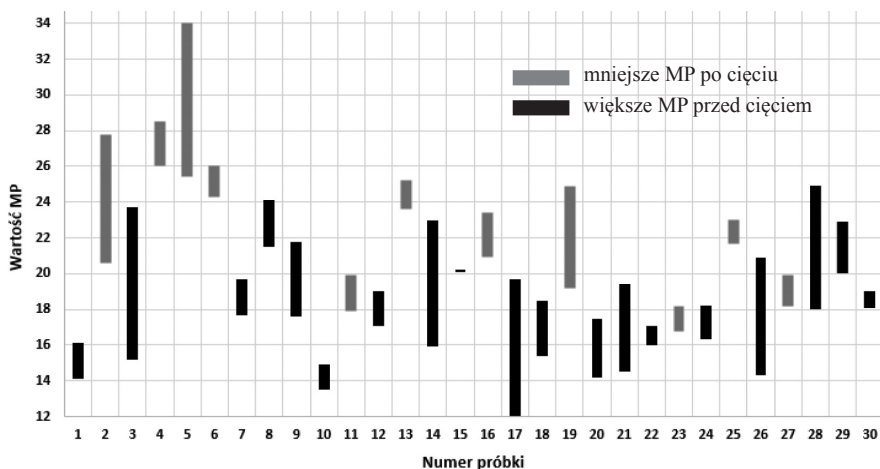
Rys. 6. Zależność szumów magnetycznych Barkhausena od twardości przed pocięciem goleni

Pomiar szumów magnetycznych Barkhausena został powtórzony dla wybranych próbek wyciętych metodą waterjet. Tak jak poprzednio, również w tym przypadku wartości szumów porównano z twardością HB (rys. 7). Uzyskana zależność jest bardzo podobna, zatem oddzielenie fragmentów elementu od całości nie ma dużego wpływu na relację między wielkościami. Porównano także wartość parametru MP przed i po pocięciu (rys. 8). Zaobserwowano, że w wielu miejscach nastąpił wzrost wspomnianego parametru, co można wiązać ze zmniejszeniem naprężeń własnych. Jest to efekt relaksacji naprężeń wskutek

oddzielenia próbek od całości goleni, zatem naprężenia w badanej części występują nie tylko w skali mikro, ale także w skali makro [1].



Rys. 7. Zależność szumów magnetycznych Barkhausena od twardości dla 30 próbek



Rys. 8. Różnice między wartościami szumów magnetycznych Barkhausena określonych na tych samych próbkach przed i po cięciu

Statyczna próba rozciągana została wykonana dla próbek pobranych z dwóch prostopadłych do siebie kierunków. Półka wycięta w kierunku równoległym do kierunku walcowania została oznaczona jako próbka 2. Podczas badania była możliwość rejestrowania zmian wymiarów elementów dzięki zastosowaniu ekstensometru. Wyniki próby przedstawiono w tabeli 2. Dla próbki

pobranej w kierunku równoległym do kierunku walcowania wystąpiła większa umowna granica plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie i przewężenie. Dla próbki pobranej w kierunku prostopadłym do kierunku walcowania zauważona została większa wartość modułu sprężystości wzdłużnej (modułu Younga). Można więc również stwierdzić, że materiał wykazuje anizotropię, ponieważ własności na kierunku wzdłużnym różnią od się od wartości na kierunku do niego prostopadłym. Własności mechaniczne materiału można określić jako bardzo dobre.

Tabela 2. Wyniki uzyskane na podstawie statycznej próby rozciągania

Wielkość	Oznaczenie	Próbka 1*	Próbka 2**
Średnica próbki, mm	D_0	4,98	4,92
Pole przekroju poprzecznego, mm ²	S_0	19,48	19,01
Długość próbki, mm	L_0	19,90	19,88
Średnica próbki po zerwaniu, mm	D_1	4,10	3,90
Pole przekroju poprzecznego po zerwaniu, mm ²	S_1	13,20	11,94
Długość próbki po zerwaniu, mm	L_1	31,82	33,06
Moduł Younga, GPa	E	220,61	205,06
Umowna granica plastyczności, MPa	R_{p02}	1291	1385
Siła niszcząca, N	F_u	24523	23756
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	R_m	1451	1523
Stosunek R_{p02} do R_m , —	R_{p02}/R_m	0,89	0,91
Wydłużenie, %	A	6,24	10,31
Przewężenie, %	Z	32,22	37,00

* próbka pobrana w kierunku prostopadłym do kierunku walcowania

** próbka pobrana w kierunku równoległym do kierunku walcowania

6. PODSUMOWANIE

Na podstawie wykonanych badań ustalono, że występuje ścisła zależność między wartością szumów magnetycznych Barkhausena oraz twardością. W obszarach, gdzie twardość była wyższa, zaobserwowano spadek wartości mierzonego parametru MP, co wskazuje na większe naprężenia własne w tych obszarach elementu.

Na całej powierzchni badanego elementu wysokie wartości parametru MP zostały zmierzone tylko kilkukrotnie. W zdecydowanej większości nie przekraczają one wartości 30. Świadczy to o małej swobodzie ruchu granic domen

magnetycznych i tym samym o dużych naprężeniach własnych. Można to wiązać bezpośrednio z przeróbką plastyczną oraz obróbką cieplną goleni.

Nie zaobserwowano znaczących różnic między wielkością szumów magnetycznych Barkhausena w kierunkach do siebie prostopadłych, przez co nie można wskazać na ich związek z ustaloną na podstawie statycznej próby rozciągania anizotropią materiału goleni. Własności mechaniczne materiału są pod względem wytrzymałości bardzo korzystne.

Referat pt. „Analiza zależności między wybranymi własnościami mechanicznymi elementów stalowych oraz wielkością szumów magnetycznych Barkhausena” – autorstwa Pawła Gilka, został wygłoszony na LIX Konferencji Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH oraz wyróżniony I nagrodą. Opiekun naukowy referatu: dr hab. inż. Janusz Krawczyk, prof. AGH.

LITERATURA

- [1] Minhhuu L., Kim J., Kim S., Lee J.: *Nondestructive Testing of Pitting Corrosion Cracks in Rivet of Multilayer Structures*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 17(2016):1433–1442.
- [2] Trapp N., Franz C., Hunkel M., i inni.: *Simulation der Eigenspannungen von Stahlbauteilen bei der Wärmebehandlung*. Bremen/Karlsruhe, 2003.
- [3] Teixeira O., Atzeni E., Ferreira R., Silva F.: *A Review of Heat Treatments on Improving the Quality and Residual Stresses of the Ti–6Al–4V Parts Produced by Additive Manufacturing*. Metals – Open Access Metalurgy Journal 10(2020), 1006.
- [4] Barkhausen H.: *Zwei mit Hilfe der neuen Verstärker entdeckte Erscheinungen*. Physische Zeitschrift, Moskwa, 1956.
- [5] Heinzel J., Eckebrecht J. i inni.: *Potential der magnetischen Barkhausen-rauschanalyse für die In-Prozess-Überwachung von Randzoneneigenschaften beim Schleifen von Stahlbauteilen*. Oldenbourg, Wissenschaftsverlag, 2020.

ANALIZA MES ODKSZTAŁCALNOŚCI I WYTRZYMAŁOŚCI KOMPOZYTÓW BIOMIMETYCZNYCH INSPIROWANYCH PANCERZEM KREWETKI BOKSUJĄCEJ

Karolina Gocyk ¹

1. WSTĘP

W obecnych czasach inżynieria materiałowa staje przed licznymi wyzwaniami. Materiały muszą być coraz lżejsze, a zarazem też coraz wytrzymalsze. Urządzenia stają się z każdym rokiem bardziej niezawodne, a materiały muszą nadążyć za ciągłym rozwojem technologii.

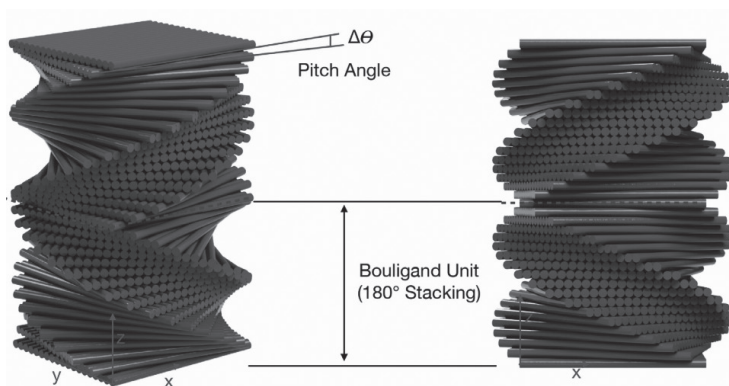
Jednym ze źródeł inspiracji do tworzenia nowych rozwiązań jest przyroda. Natura od zawsze inspirowała ludzi, a wzorowanie się na niej pozwalało na projektowanie nowych rozwiązań w niemal wszystkich dziedzinach naukowych i inżynierskich. Takie podejście do projektowania nazywa się biomimetyzmem lub biomimetyką (z greki: *bio* – natura, *mimetis* – naśladownictwo).

Aby zweryfikować właściwości potencjalnie niezwykle wytrzymałego materiału i zbadać reakcję tego typu struktur na obciążenia wykonano model laminatu inspirowanego szczypcami krewetki boksującej, czyli Rawki Błazna. To zwierzę jest skorupiakiem żyjącym w ciepłych oceanach i mierzącym kilkanaście centymetrów długości. Rawki w swojej ewolucji wykształciły niezwykle sposób polowania, polegający na naprężaniu ścięgien swoich przednich odnóży (mających kształt pałek) i uderzaniu w przepływającą ofiarę z dużą prędkością. Szybkość uderzenia Rawki dochodzi do wartości osiąganych przez kule pistoletowe. W związku z takim sposobem polowania zwierzę musi mierzyć się z bardzo dużymi naprężeniami powstającymi w szczypcach, a także zjawiskiem

¹ student, inż., Koło Naukowe Energon, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, AGH

kawitacji powodującym dodatkowe, dynamiczne obciążenie w czasie uderzenia. Wewnętrzna struktura pałek ewolucyjnie została dostosowana w taki sposób, by jak najdłużej pracować pod obciążeniem bez zniszczenia i jak najlepiej rozkładać naprężenia.

Wewnętrzna budowa szczypiec jest niezwykle wytrzymała i oparta o tak zwaną strukturę Bouligand. Jest to struktura złożona ze spiralnie skręconych warstw włókien (rys. 1). Każda kolejna warstwa jest obrócona w stosunku do poprzedniej o konkretny, jednakowy kąt. Opierając się na pracy [3] do badań dobrano strukturę o kącie wzajemnej dezorientacji warstw równym 10° .



Rys. 1. Wizualizacja struktury Bouligand [2], gdzie $\Delta\theta = 10^\circ$

2. MATERIAŁY I METODY

Jako metodę badań wybrano Metodę Elementów Skończonych, czyli rodzaj symulacji komputerowej pozwalającej na wysoce dokładną analizę reakcji materiału na obciążenie. Metoda ta polega na podzieleniu badanej próbki na mniejsze elementy, czyli tak zwaną siatkę elementów skończonych. Dzięki podziałowi program komputerowy może obliczyć naprężenia oraz odkształcenia dla poszczególnych fragmentów geometrii, co znacznie zmniejsza skomplikowanie obliczeń.

Dzięki specyfice tej metody możliwe jest przetestowanie próbki o dowolnym, zadeklarowanym przez badacza kształcie i nadanie próbce dowolnych warunków brzegowych. Możliwe jest na przykład przebadanie zachowania materiału w warunkach specyficznej próby z pominięciem lub zmianą wartości współczynnika tarcia, albo pominięciem niektórych rzeczywistych więzów.

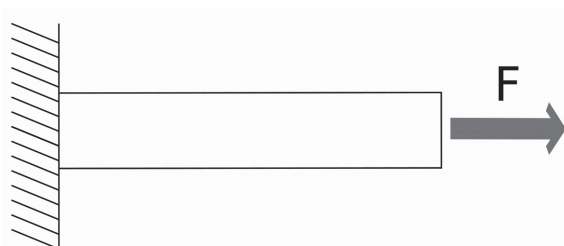
Do badań wybrane zostało oprogramowanie ANSYS Workbench ponieważ jest ono powszechnie używane do obliczeń tego typu oraz posiada moduł dedykowany kompozytom, dzięki któremu możliwe jest przeprowadzenie obliczeń i analizowanie wyników z wyodrębnieniem poszczególnych warstw laminatu.

Zasymulowaną próbą wytrzymałościową była próba jednoosiowego statycznego rozciągania kompozytów. Próba ta jest dość niekorzystna dla kompozytów wzmacnianych strukturą bouligand, jednak takie badania są także konieczne, celem sprawdzenia w jaki sposób materiał zareaguje w razie wystąpienia naprężenia rozciągającego. Symulacja została odwzorowana na podstawie amerykańskiej normy ASTM:D3039:2014, często wykorzystywanej do testowania kompozytów. Według jej zapisów próbka o wymiarach $250 \times 25 \times 2,5$ mm, umieszczona jest w szczękach maszyny zwanej zrywarką i rozciągana ze stałą prędkością 2 mm/min.

3. BADANIA

Do zasymulowania próbek wykorzystano materiały, których parametry zaczerpnięte zostały z biblioteki ANSYS (Epoxy Carbon UD (230 GPa) Prepreg, grubość 0,25 mm).

Przygotowano model próbki, posiadający w swojej budowie strukturę bouligand. Układ obecny w próbce to układ pojedynczej spirali, posiadającej dziesięć warstw laminatu skreconych względem siebie co 10° , od 0° do 90° . Próbka wykonana została w module *ACP(Pre)*, czyli module ANSYS Workbench odpowiedzialnym za tworzenie materiałów kompozytowych. Później model podzielono na elementy skończone z następującymi parametrami siatki: rozmiar pojedynczego elementu: 3 mm, ilość elementów skończonych: 664, ilość węzłów: 756.

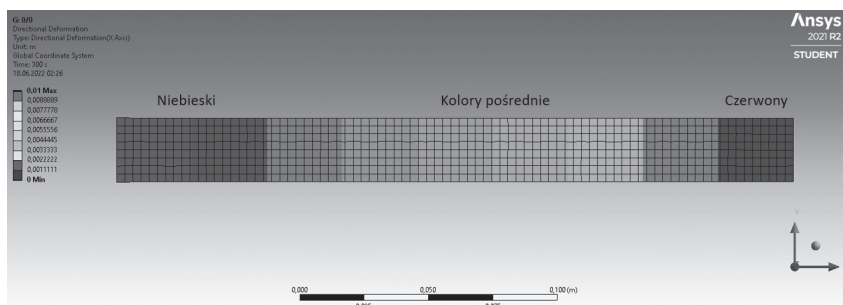


Rys. 2. Wizualizacja sposobu przyłożenia obciążenia do próbki i orientacji rysunków w artykule

Próbka została umocowana trwale z jednego końca za pomocą funkcji *Fixed Support* i rozciągnięta za pomocą funkcji *Remote Displacement* przyłożonej na drugim końcu próbki (rys. 2).

3.1. Próbka kontrolna

W pierwszej kolejności wykonano symulację na próbce złożonej z jednokierunkowych włókien węglowych. Model zbudowany był z 10 warstw, których włókna nie były zdeorientowane wobec siebie (wszystkie włókna ułożone były w jednym kierunku czyli wzdłuż długiej osi próbki). Próbkę poddano symulacji rozciągania w sposób opisany w pkt. 2. „Materiały i metody”.

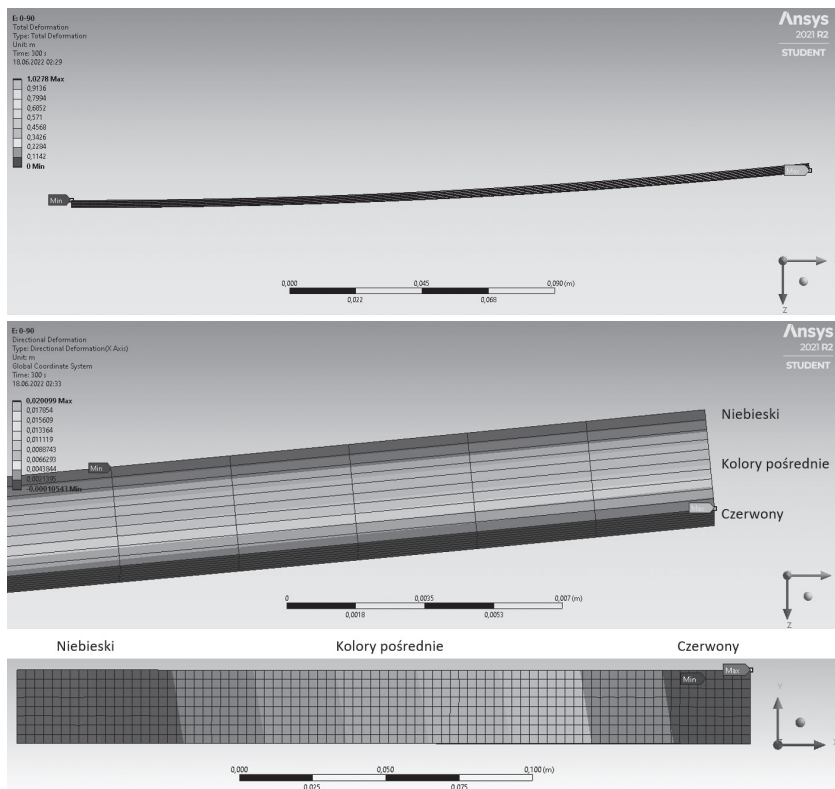


Rys. 3. Wyniki deformacji dla próbki o wzmocnieniu jednokierunkowym

Wyniki widoczne na rysunku 3 wskazały, że naprężenia i odkształcenia rozkładają się równomiernie w całej objętości próbki. Wszystkie warstwy kompozytu pod obciążeniem odkształcają się jednorodnie. Ponieważ w literaturze i w wielu eksperymentach wykazano, że kompozyty o takim układzie włókien reagują na siły rozciągające w tożsamy sposób z uzyskanymi podczas symulacji rezultatami, można stwierdzić, że warunki brzegowe zostały dobrane prawidłowo i dobrze odzwierciedlają próbę jednoosiowego rozciągania.

3.2. Próbka 0° – 90°

W przypadku symulacji z użyciem *Remote Displacement* zaobserwowano interesujące zjawisko podczas rozciągania (rys. 4). Próbka dynamicznie odgięła się w stronę włókien o orientacji 0° .



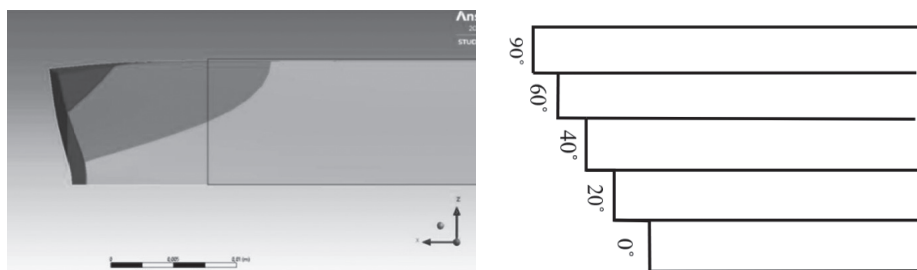
Rys. 4. Odształcenie próbki 0–90°

Stało się tak najprawdopodobniej ponieważ włókna 90° najgorzej przenosiły prostopadle do nich obciążenie. Jest to rezultat zgodny z zasadami pracy kompozytów, ponieważ włókno ułożone prostopadle do działania siły niemalże w ogóle nie przenosi obciążeń. W związku z tym, kiedy warstwa o włóknach o orientacji 90° zaczyna ulegać delaminacji, warstwa o włóknach 0° wciąż utrzymuje swoją strukturę. Przez taki efekt po dwóch przeciwległych stronach kompozytu występuje drastyczna różnica w wydłużeniu warstw, na skutek czego próbka w całości ulega wygięciu. Ponieważ w przeciwieństwie do rzeczywistości próbka w symulacji nie jest sztywno trzymana w uchwycie, pozwala to na widoczną deformację modelu.

3.3. Próbka 0°–90° dodatkowe badania

Celem dalszej analizy właściwości symulacji kompozytu postanowiono wykonać rozciąganie za pomocą *Force*. Po jej wykorzystaniu uzyskano obrazy

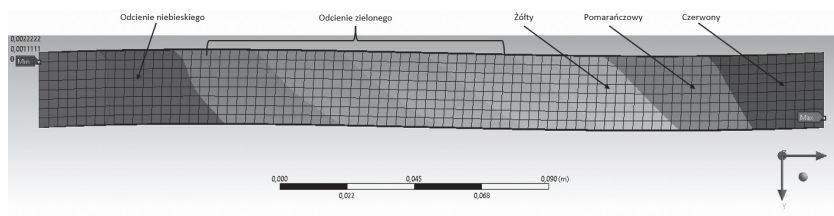
delaminacji na końcówce próbki. Jak można zauważyć, reakcja ta potwierdza poprzednie wnioski, gdyż warstwy 90° odkształciły się najbardziej, a 0° najmniej.



Rys. 5. Odształcenie próbki $0\text{--}90^\circ$ pod wpływem *Force*

3.4. Ograniczenie stopni swobody próbki

Wyniki przeprowadzonych symulacji w postaci osobliwych odkształceń i wyboczeń próbek są możliwe do zaobserwowania i opisanie jedynie w środowisku wirtualnym, ponieważ w rzeczywistości uchwyty zrywarki tworzą więzy i zapobiegają nadmiernemu odkształcaniu się próbki.

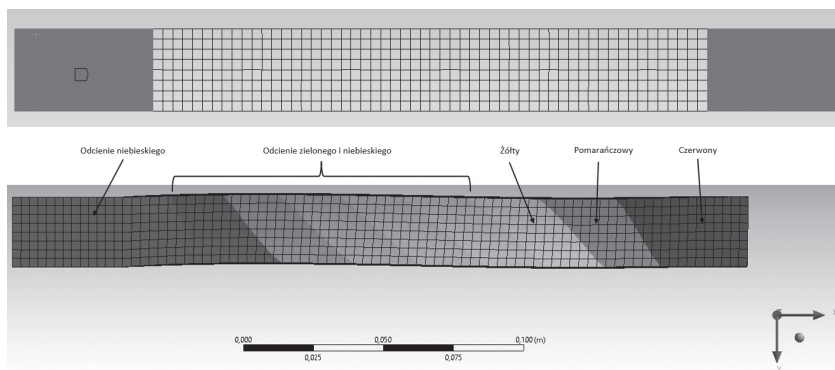


Rys. 6. Odształcenie próbki z ograniczoną możliwością ruchu

Aby zweryfikować uzyskane wyniki i zbliżyć symulację do rzeczywistości odebrano modelowi dwa stopnie swobody, które pozwalały na obrót i skręcanie, co miało zapewnić warunki bliższe rzeczywistej próbie rozciągania, w której ruch sztywno zamocowanych końców próbki jest bardziej ograniczony. Metoda ta okazała się skuteczna i pozwoliła na wyeliminowanie odkształceń. Na rysunku 6 dostrzec można jedynie faliste wygięcie próbki, zamiast wyraźnej deformacji uzyskanej w poprzednich wynikach (rys. 4). W tym samym czasie rozkłady naprężeń i odkształceń zwizualizowane jako kolory na próbce, pozostały bez zmian. Potwierdza to wyniki uzyskane i zinterpretowane w poprzedniej analizie.

3.5. Dokładna symulacja uchwytów zrywarki

Celem bardziej dokładnego odwzorowania rzeczywistej próby postanowiono przyłożyć funkcje *Remote Displacement* (z odebranymi stopniami swobody jak w pkt. 3.4) oraz *Fixed Support* do powierzchni próbki w taki sposób jakby wektory te były przyłożone w szczękach maszyny, czyli na powierzchni obejmowanej przez uchwyty (rys. 7). Każdy z czterech obszarów przyłożenia funkcji miał powierzchnię $9,36 \text{ cm}^2$, co stanowi wartość zbliżoną do powierzchni ściskania większości szczęk zrywarek. Uzyskane wyniki pozwoliły określić, że w porównaniu ze wcześniejszymi symulacjami naprężenia i odkształcenia próbek są mniejsze, a obszary symulujące uchwyty nie ulegają znaczącemu odkształceniu (rys. 7). Wyraźnie widoczne były skręt i częściowe wygięcie próbki zgodne z poprzednimi obserwacjami. Deformacja i rozkład naprężeń w próbce sugerują jednak, że taka forma wyników może być najbliższa rzeczywistości, ponieważ rozmiar odkształceń jest możliwy do uzyskania w rzeczywistej próbce.



Rys. 7. Dokładne odwzorowanie działania uchwytów, sposób przyłożenia i wyniki deformacji

4. WNIOSKI

Dzięki przeprowadzeniu symulacji i dobraniu różnego rodzaju warunków brzegowych możliwe było zaobserwowanie specyficznych zachowań próbki, zależnych od sił zewnętrznych działających na próbkę. Wykazano skuteczność oprogramowania ANSYS Workbench jako programu pozwalającego na symulowanie i skuteczną manipulację warunkami brzegowymi podczas obciążania

laminatu. Uzyskano rezultaty wskazujące na funkcję Remote Displacement jako najskuteczniejszą w symulowaniu obciążeń laminatów.

Ponadto dzięki analizie za pomocą różnych funkcji i różne dobranych warunków brzegowych zaobserwowano tendencję kompozytu o strukturze Bouligand do skrętu i nierównomiernego rozchodzenia się w nim naprężeń. Efekt taki mógł być oczekiwany, jednak symulacje wniosły nieocenioną wartość, pozwalając na przyjrzenie się prawdopodobnemu rozkładowi sił i naprężeń w geometrii za pomocą wizualizacji kolorystycznej w programie.

W dalszych badaniach prowadzonych tą metodą i bazujących na tym doświadczeniu, możliwa będzie ocena jak poszczególny typ struktury bouligand w kompozycie reaguje na naprężenia rozciągające i czy może zostać zastosowany w warunkach grożących wystąpieniem takich niekorzystnych obciążeń.

LITERATURA

- [1] ASTM D3039 *Polymer and Composite Tensile Tests*. (laboratuar.com), (dostęp: 16.09.2021)
- [2] Körbelina J., Goralski P., Kötter B., Bittner F., Endres H.J., Fiedler B.: *Damage tolerance and notch sensitivity of bio-inspired thin-ply Bouligand structures*. Composites Part C: Open Access 5 (2021), 100146.
- [3] Ouyang W., Gong B., Wang H., Scarpa F., Peng Y., Peng H.: *Identifying the optimal pitch angles for Bouligand structures*. Acta Biomaterialia: Manuscript Number: AB-20-2146.

ZAPROJEKTOWANIE TECHNOLOGII ODLEWU ARTYSTYCZNEGO PRZEDMIOTU POCHODZĄCEGO Z POPULARNEJ SERII GIER KOMPUTEROWYCH

Dawid Halejcio ¹

1. WSTĘP

W obecnych czasach, w coraz większym stopniu wirtualny świat oddziałuje na życie i postępowanie młodych osób. Wirtualna rzeczywistość pozbawiona ograniczeń jest bogata w wiele ciekawych postaci, przedmiotów budzących zachwyt i podziw.

Współczesne technologie jakimi są druk 3D czy też techniki odlewnicze, pozwalają na urzeczywistnienie wirtualnych artefaktów. Celem pracy było wykorzystanie nowoczesnych technik modelowania do opracowania technologii wykonania medalionu z wiedźmińskiej szkoły kota pochodzącego z trzeciej odsłony popularnej serii gry Wiedźmin wydawnictwa CD PROJEKT RED.

2. METODYKA BADAŃ

Proces opracowania technologii oraz wykonania odlewu artystycznego był podzielony na poszczególne etapy:

- projektowy przygotowania i wykonania modelu,
- symulacji zalewania i krzepnięcia odlewu,
- wykonania formy odlewniczej,
- odlanie i końcowa obróbka gotowego odlewu.

¹ student, inż., Koło Naukowe Artefakt, Wydział Odlewnictwa, AGH

2.1. Przygotowanie modelu 3D

Model został przygotowany w programie Blender 3.0 wykorzystującym technikę modelowania powierzchniowego. Technika ta wykorzystywana jest najczęściej dla modeli, których kształt powierzchni jest znaczącym parametrem. Układ wlewowy został zaprojektowany w programie SolidWorks 2021, który to pozwala na generowanie w intuicyjny sposób geometrii przestrzennej.

2.2. Metoda wykonania modelu 3D

Technologia druku 3D wykorzystuje geometrię, wcześniej przygotowaną w systemach komputerowych. Druk przestrzenny wykorzystuje techniki przyrostowe, czyli nakładanie kolejnych warstw materiału, ale także spotykane są technologie w których utwardzane są ciecze (najczęściej żywice) oraz spiekanie proszków. Wydruki tak zaprojektowanych elementów w programie typu CAD (Computer Aided Design) jest możliwy dzięki programom typu CAM (Computer Aided Manufacturing), które pozwalają na utworzenie indywidualnego programu sterującego dla dowolnej drukarki 3D.

2.3. Symulacja zalewania i krzepnięcia

W celu przeanalizowania procesu zalewania i krzepnięcia została przeprowadzona symulacja. Zastosowano program MAGMA SOFT 5.4. Oprogramowanie jest skutecznym narzędziem do symulacji mających na celu poprawę jakości odlewów. Pozwala to na odwzorowanie rzeczywistych warunków oraz ich optymalizację dla wszystkich procesów i materiałów odlewniczych. Zbadano prędkość z jaką przemieszcza się ciekły metal w zaprojektowanym układzie wlewowym, proces krystalizacji ciekłego po wypełnieniu wnęki formy oraz miejsca podatne na porowatość skurczową.

2.4. Przygotowanie formy i procesu odlewania

Forma została przygotowana z masy formierskiej OBB Sand: mieszaniny piasku kwarcowego, organofilnego bentonitu z wodą i olejem mineralnym [6]. Dolna połówka formy została wykonana wykorzystując technikę „obierania”. Głównym założeniem tego procesu jest obranie (uzunięcie) masy wokół

miejsca, które uniemożliwiają wyjęcie modelu z formy. Najczęściej tą operację wykonuje się po przygotowaniu dolnej połowy formy.

Wykonana w wyżej opisany sposób forma została zalana stopem miedzi z cynkiem i krzemem: BK331 (oznaczenie zgodne z normą PN: CuZn3Si3Mn1). Użyty stop charakteryzuje się dobrymi właściwościami plastycznymi, bardzo dobrą odpornością na korozję. Dodatek cynku poprawia jego lejność, a mangan i żelazo poprawia jego właściwości mechaniczne w temperaturze otoczenia, jak i w podwyższonych temperaturach. Do temperatury 300°C wykazują dużą wytrzymałość zmęczeniową, a także na obciążenia zmienne uderzeniowe i ścieranie [4, 9].

3. OPRACOWANIE I ANALIZA WYNIKÓW

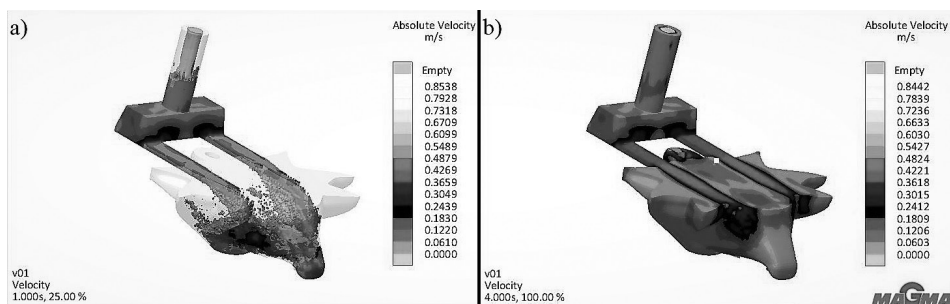
3.1. Wykonanie modelu 3D

Zaprojektowana wcześniej geometria została przygotowana w programie Ultimaker Cura 4.13.1. Oprogramowanie to pozwoliło utworzyć indywidualny program dla drukarki Prusa i3 MK2. Do przygotowania modelu zostały przypisane parametry:

- grubość warstwy: 0,2 mm,
- temperatura dyszy: 250°C,
- temperatura stołu: 50°C,
- prędkość druku: 40 mm/s,
- gęstość wypełnienia: 20%.

3.2. Symulacja w programie MAGMA SOFT 5.4.

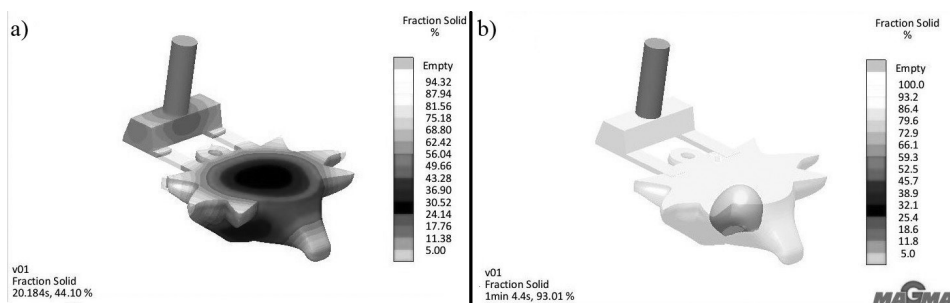
Przeprowadzenie symulacji pozwoliło na uzyskanie informacji na temat prędkości podczas zapełniania wnęki formy oraz ilości frakcji stałej podczas krzepnięcia. Dla badanego stopu dobrano temperaturę zalewania 1100°C, czas zalewania 4 s. Przygotowana siatka elementów skończonych (siatka MESH) składała się z 1 469 700 elementów, którymi były sześciiany. Na rysunku 2. przedstawiono wyniki symulacji odzwierciedlające prędkość przemieszczania się ciekłego metalu we wnęcie formy. Jak zostało wspomniane wcześniej czas zalewania wynosił 4 s, dlatego na rysunku 1a. pokazano rozkład prędkości dla 1 s, natomiast na rysunku 1b. dla końcowego czasu zalewania.



Rys. 1. Rozkład prędkości przemieszczania się ciekłego metalu we wnęce formy a) dla czasu 0,480 s od początku zalewania, b) dla końcowego czasu zalewania

Jak można zauważyć proponowany układ wlewowy zapewnia spokojny stabilny przepływ metalu we wnęce formy. Jedyne w pierwszej sekundzie od rozpoczęcia zalewania, zaobserwować można większą prędkość, która wynika z grubości odlewu oraz umiejscowieniu układu wlewowego.

Kolejno przeanalizowano proces krzepnięcia odlewu. Na rysunku 2 przedstawiono poszczególne etapy tego zjawiska. Rysunek 2a przedstawia ilość frakcji stałej w 20 sekundzie symulacji, natomiast rysunek 2b, ilość frakcji stałej po minucie od momentu końca zalewania.



Rys. 2. Ilość frakcji stałej podczas procesu krzepnięcia odlewu a) 20 sekunda od początku krzepnięcia, b) minuta od rozpoczęcia procesu krzepnięcia

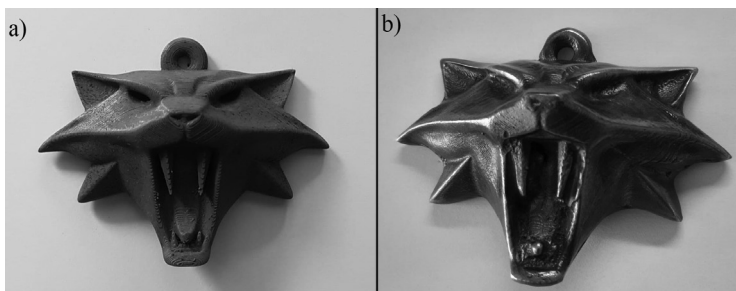
Biorąc pod uwagę grubość ścianki odlewu sprawdzono także prawdopodobieństwo powstania wad związanych ze skurczem metalu. Na rysunku 3 zostało przedstawione miejsce, w którym według modelowania programem MAGMA SOFT 5.4. pojawi się porowatość skurczowa.



Rys. 3. Miejsce powstania wady związanej ze skurczem metalu

3.3. Wykonanie odlewu

Wydrukowany model (rys. 4a) został przygotowany do formowania. W tym celu wszystkie miejsca, które mogłyby oberwać wnękę formy podczas wyciągania modelu zostały odpowiednio zakryte. Złożoną formę zalano brązem krzemowym BK331 o temperaturze 1040°C. Następnie w celu wykończenia odlewu wykonano operacje: czyszczenia, szlifowania, dopracowania szczegółów (cyzelowanie), wiercenia, patynowania oraz wykańczania końcowego. Do patynowania użyto środka PATYNOL BLACK firmy PARCHEM, który rozcieńczono z wodą w proporcji 1:8. Odlew został pokryty w celu ozdobnym i zabezpieczenia powierzchni. Gotowy odlew został przedstawiony na rysunku 4b. W tylnej części odlewu powstała zgodnie z przewidywaniem w programie MAGMA SOFT 5.4 wada – jama skurczowa (W – 403) [8].



Rys. 4. a) wydrukowany model b) gotowy odlew

4. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań można sformułować wnioski:

- a) duża dokładność użyta podczas druku 3D pozwoliła na doskonałe odwzorowanie przygotowanego modelu,
- b) użyty stop brąz krzemowy BK331, bardzo dobrze odwzorował wnękę formy, a możliwości jego ostatecznego wykończenia zapewniły wysokie walory artystyczne,
- c) zaprojektowany układ zalewania, nie wykluczał powstania wady związanej z krzepnięciem metalu,
- d) wykonana symulacja procesu odlewania pokazała możliwość wystąpienia efektu powstania jamy skurczowej.
- e) opracowana technologia oraz przeprowadzone badania umożliwiły uzyskanie odlewu artystycznego przedmiotu pochodzącego z popularnej serii gier komputerowych.

5. PODSUMOWANIE

Proces tworzenia każdego odlewu jest składową wielu etapów postępowania, począwszy od pierwszego tzw. pomysłu na „odlew”, a kończąc na gotowym odlewie – przedmiocie, który ma spełniać wymogi nie tylko praktyczne ale również estetyczne walory. Posługując się nowoczesnymi narzędziami do projektowania, modelowania procesów odlewniczych znacznie przyspieszamy proces tworzenia. Szczególnie przydatne i ważne są to narzędzia w przypadku odlewów o skomplikowanych kształtach. Możliwość obrazowania różnych konfiguracji odlewania znacząco ułatwia i umożliwia eliminowanie wad już na etapie projektowania.

Powstałej jamie skurczowej można zapobiegać poprzez: zmniejszenie grubości ścianki; umieszczenie nadlewu, w taki sposób aby umożliwić mu zasilanie stref o wysokim module, aby zawierający rezerwę metalu nadlew mógł zasilać te miejsca do końca krzepnięcia lub też przez zastosowanie ochładzalników. Ostatnia z zaproponowanych metod jedynie może przenieść wadę do środka odlewu. W celu ograniczenia skutków powstającej wady związanej z krzepnięciem metalu w formie wprowadzono modyfikację parametrów zalewania. Zastosowano możliwie niską temperaturę zalewania dla brązu krzemowego wynoszącą 1040°C. Powstała wada nie

wpłynęła na właściwości wykonanego odlewu, dlatego dopuszczono jej możliwość powstania w celu zminimalizowania obróbki wykańczającej odlew artystyczny.

Podsumowując opracowana technologia oraz przeprowadzone badania umożliwiły wykonanie odlewu artystycznego przedmiotu pochodzącego z popularnej serii gier komputerowych.

Referat pt. „Zaprojektowanie technologii odlewu artystycznego przedmiotu pochodzącego z popularnej serii gier komputerowych” – autorstwa Dawida Halejcio, został wygłoszony na 59 Sesji Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH w Sekcji Metalurgia, Odlewnictwo i Recykling oraz wyróżniony II nagrodą. Opiekun naukowy referatu: dr inż. Marcin Piękoś.

LITERATURA

- [1] Praca zbiorowa pod redakcją Sobczak J.: *Poradnik Odlewnika. Tom 1. Materiały*. Wydawnictwo Stowarzyszenia Odlewników Polskich, Kraków 2013.
- [2] Rzadkosz S.: *Odlewnictwo miedzi i jej stopów*. Wydawnictwo AKAPIT, Kraków 2013.
- [3] Piaskowski J.: *Technologia dawnych odlewów artystycznych*. Wydawnictwo Instytutu Odlewnictwa, Kraków 1991.
- [4] <https://ekoalu.pl/wyroby-hutnicze/tuleje/tuleje-brazowe/tuleja-braz-krzemowy-bk331/>, dostęp: 27.05.2022.
- [5] Fałęcki Z.: *Podstawy formowania z modeli odlewniczych*. Wydanie trzecie. Wydawnictwo AGH, Kraków 1997.
- [6] https://www.kbo-gmbh.de/fileadmin/user_upload/kbo/Produktinfos_englisch/GHSReach_69-2_EN_OBB_Sand_EW30__EW30S.pdf, dostęp: 27.05.2022.
- [7] Cholewa M.: *Wybrane procesy odlewnicze*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.
- [8] Zych J.: *Analiza wad odlewów. Wybrane zagadnienia laboratorium*. Wydanie trzecie poprawione i uzupełnione. Kraków Wydawnictwo AGH – skrypt uczelniany nr 1737, 2015.
- [9] Adamski Cz., Rzadkosz St.: *Metalurgia i odlewnictwo metali nieżelaznych. Część II. Stopy cynku oraz miedzi*. Kraków Wydawnictwo AGH – skrypt uczelniany nr 1312, 1992.

- [10] Praca zbiorowa pod koordynacją Sakwa W. *Poradnik Inżyniera. Odlewnictwo. Tom 1. Materiały Odlewnicze i formierskie. Technologia formy. Automatyzacja procesów odlewniczych*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1986.
- [11] Przybyłowicz K.: *Metaloznawstwo*. Wydanie szóste zmienione. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- [12] Najman K., Muszyński W., Bydałek A.W.: *Wpływ rafinacji brązu BK331 na jego odporność na ścieranie*. Archiwum Odlewnictwa 2004 R.4, nr11/2 s. 29–34, Gliwice 2004.
- [13] Muskała K., Nadolski M., Derda A.: *Decorative Layers on silicon bronzes*. Metallurgy and Foundry Engineering Vol. 37 No. 1 (2011) s. 25–32, Kraków 2011
- [14] Kipper P.V.: *Patinas for Silicon Bronze*. PATH Publications, Seattle 1996.

TRAFFIC SIGN DETECTION AND RECOGNITION USING EVENT CAMERA IMAGE RECONSTRUCTION

Kamil Jeziorek ¹, Tomasz Kryjak ²

1. INTRODUCTION

In modern cars, safety and driving comfort are key aspects. Hence, manufacturers are equipping cars with so-called Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). They use a range of sensors, including video and thermal cameras, radars, ultrasonic sensors and sometimes LiDARs (Light Detection and Ranging). Their task is to recognize traffic signs, stay in the lane and detect other vehicles, pedestrians and cyclists. The vision cameras currently in use have significant drawbacks, such as low dynamic range, which makes it difficult to work properly in difficult lighting conditions; low temporal resolution, which prevents the acquisition of relevant information between frames; and the blurring effect that can occur when the environment changes dynamically or the camera moves. One possible solution to the mentioned disadvantages is a modern event camera (also called dynamic vision sensor or neuromorphic camera), based on the principle of the human eye.

In this work, a computer vision system was designed to recognize traffic signs, based on information from an event camera. Due to its novel nature, there is still no sufficiently developed algorithm base for object detection and classification. For this reason, a deep neural network was used to reconstruct the information from the event camera into grayscale frames. This allowed us to use of an algorithm designed to process images acquired from a traditional video camera.

The remainder of this article is organized as follows. Section 2 describes the principle of the event camera and its advantages over the traditional vision camera. Section 3. lists the possible representations of information extracted from

¹ student, AVADER Research Group, Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical Engineering, AGH

² Department of Automatic Control and Robotics, Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical Engineering

the event camera along with the neural networks responsible for their reconstruction. Section 4. presents the realized computer vision system and the obtained temporal and qualitative results of the used algorithms. The article concludes with a summary and an indication of the potential application of the solution.

2. EVENT CAMERA

Event cameras are modern sensors inspired by the principle of the human eye. Each pixel in the sensor operates independently of the rest and continuously responds to changes in ambient light intensity. A simplified diagram of a pixel is shown in Figure 1a. It stores the logarithm of light intensity and when the threshold value is exceeded, an event is generated and the stored intensity value is reset (Figure 1b.). Each event consists of four pieces of information: the time at which the information was generated (timestamp), the position of the pixel on the matrix (x and y , respectively), and the polarity, which determines whether the change in illumination is positive or negative from the reference value.

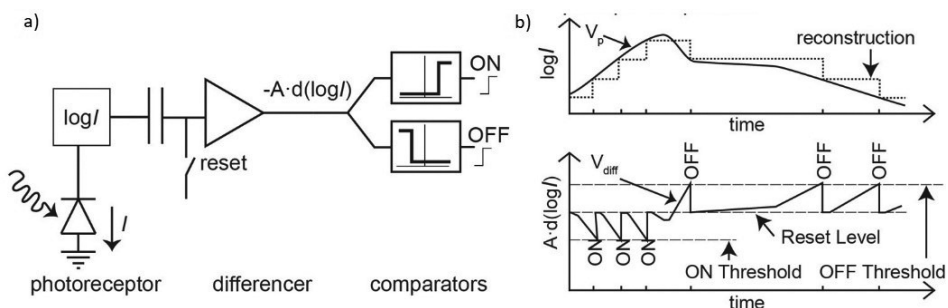


Fig. 1. The principle of the pixel in an event camera: a) Simplified diagram of the pixel. The figure shows 3 main components: A photosensitive element, a module for determining the difference in voltage from the initial value with a reset input, and a module composed of two comparators that determine the type of change in light intensity, b) Graphs showing the generation of an event. The upper graph shows the change in the logarithm of light intensity over time. The lower graph shows the threshold values, the voltage difference over time and the moments of event generation.

[2]

Since each pixel operates independently of each other and responds to changes in light intensity, information is sent through the camera only at times

when the scene changes accordingly. This translates into lower power consumption compared to a standard camera. Also, the high temporal resolution of the event sensors (1 million events per second) allows recording very fast movement. In contrast, a traditional video camera takes information from each pixel simultaneously at a specific frequency. In order to obtain light intensity information, the pixels need an appropriate exposure time, which, when recording a dynamically changing environment, can result in blurred images.

Another important difference between the two cameras is the dynamic (tonal) range. This parameter determines the ability to record extremely differently exposed points in the scene. The larger the tonal range is, the greater the difference between two points can be. Standard cameras reach values of about 50–60 dB, when event cameras can reach up to 120 dB. This allows to achieve much better results in situations where scenes are poorly illuminated, or the difference between the brightest and darkest values is very large. Examples of such scenarios include recordings during the night or when the sun is in the camera's field of view, or entering/exiting a tunnel.

3. EVENT RECONSTRUCTION

Event cameras have a number of advantages, which are described in detail in Section 2. However, acting on an asynchronous sequence of events is not a simple task. In order to be able to use the information obtained from an event camera, various forms of event representation are used. Among them can be distinguished the event frame and the 3D point cloud. The first form projects the obtained events onto a 2D plane. This is a simple operation, but the disadvantage is the loss of information about the time of occurrence of individual events. The second representation uses the time of occurrence of an event and appropriately represents it in 3D space. This is a more complicated representation, but the advantage is the preservation of timing information.

The solutions discussed have made it easier to work on the events themselves, but they are still not compatible with the image processing algorithms developed so far. Another possibility is to reconstruct standard images based on a sequence of events while retaining the advantages of an event camera. The first attempts used an Extended Kalman Filter or a complementary filter for light intensity estimation. However, more recent approaches have focused on using fully convolutional neural networks, which allowed to obtain better results.

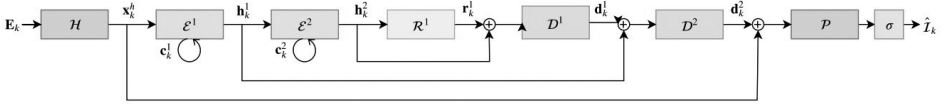


Fig. 2. E2VID network architecture. The input and output convolution layers are shown in purple, the encoders are shown in blue, the residual block in yellow, and the decoders in green. [6]

The first example of an algorithm using deep learning for reconstruction is the E2VID model [6]. It is a network inspired by a U-NET type architecture. It is characterized by a symmetric structure, which is shown in Figure 2. It consists of 7 layers: one convolutional input layer, then two encoders, composed of a convolutional layer and a recursive connection. The output of the encoders produces reduced images, due to the result of the convolution operation. The middle part consists of a residual block, which has additional connections between layers. The next two modules are decoders, which are designed to reconstruct the initial resolution of the image. At the output of the last layer, the prediction is performed. Each symmetric block has additional connections that skip internal blocks.

The second example is FireNet [7], which is a streamlined version of the E2VID model. It consists of 6 blocks and the layers that modify the image size have been dropped. Also a faster and simpler encoder design has been used. As a result, there are as many as 280 times fewer parameters to learn and several times shorter computation execution time compared to the E2VID network. Due to this fact, we used FireNet in our experiments.

4. IMPLEMENTATION OF THE COMPUTER VISION SYSTEM

The algorithm responsible for traffic sign detection and recognition consisted of three main components:

- an event camera data source, stored in .txt format,
- the network responsible for reconstructing the events into grayscale frames,
- the algorithm responsible for detection and recognition of traffic signs based on the reconstructed images.

The resources of the NVIDIA GeForce RTX 2060 graphics card were used in these experiments.

The database of DSEC [3] recordings and Driving Event Camera Datasets [5] were used in this work. Both collections were made with an event camera with a resolution of 640×480 pixels and had reference recordings made with standard RGB cameras. Using the recordings from the conventional cameras, interesting moments were selected – when a car passed traffic signs. Knowing the time intervals of the sign occur, an appropriate number of events were cut from the file. The excised data then converted to .txt text format, which is required for reconstruction.

Table 1. Image reconstruction time depending on the event retrieval mode and the number of events: a) Table shows the reconstruction time for a specific event retrieval time, b) Table shows the reconstruction time for a specific number of events

a)		b)	
Event retrieval time, ms	Reconstruction time, ms	Number of events	Reconstruction time [ms]
1	19.15	10 000	22.22
2	25.09	20 000	30.11
3	28.18	30 000	41.48
4	37.50	40 000	43.55
5	40.77	50 000	45.32
6	42.95	60 000	50.86
7	45.00	70 000	54.39
8	47.74	80 000	56.43
9	51.12	90 000	59.85
10	52.25	100 000	64.06

FireNet was used for image reconstruction. To perform the procedure, it is enough to pass the created text file, containing information about the events, to the input of the network. There are several options that can be set during reconstruction. The most important of these is the selection of the event retrieval mode. You can set whether the number of events to generate one frame will be fixed, or the time at which events are collected will be fixed. Both forms have their advantages and disadvantages. When you choose a fixed number of events, each frame will be calculated with the same time and accuracy. However, in this case, the generated frames have no reference to the time when the events occurred, and if the number of generated events is very low then collecting a sufficient

number for reconstruction requires a long waiting time. In contrast, collecting events at a fixed time guarantees that each frame will be created at the same time, which makes it possible to predict how many frames will be generated in one second. However, it is not known how many events the camera has generated in a given period of time, so the generation time can vary. The time required to reconstruct one frame depending on the number of events downloaded and the mode is shown in Table 1.

The YOLOv4 network [1] was used for traffic sign detection and recognition due to its high level of detection quality to computational demand. In order to learn the network to recognize traffic signs, a learning base consisting of images and annotations specifying the location and class of the sign had to be prepared. The GTSDDB [4] (*German Traffic Sign Detection Benchmark*) database was chosen. It consists of 900 photos with a size of 1360×800 and a text file with specific locations of bounding boxes and sign class. Each marked sign is assigned to one of 43 classes. However, it was decided to reduce them to 4 general groups: prohibition, mandatory, warning and other. The goal was to improve the distribution of occurrences of each sign per class. Learning was done using the *transfer learning* method. This allows the use of previously learned network weights, for the new task of traffic sign class detection.

Table 2. Quality indicators of both learned models for each class separately. The obtained AP index values for the metrics mAP@0.5IoU and mAP@0.75IoU, True Positive (TP) and False Positive (FP) indications are shown

	Grayscale						Color					
	mAP@0.5IoU			mAP@0.75IoU			mAP@0.5IoU			mAP@0.75IoU		
Sign Class	AP [%]	TP	FP	AP [%]	TP	FP	AP [%]	TP	FP	AP [%]	TP	FP
Prohibition	77.78	4	1	50	3	2	60	3	1	30	2	2
Warning	100	4	0	50	2	2	100	3	0	0	0	3
Mandatory	76	4	2	60	3	3	20	1	0	20	1	0
Other	94.36	6	0	38.89	4	2	76.67	7	4	35.56	4	7

Two separate models were trained: based on original colour images and images converted to grayscale. Qualitative tests were carried out on a test base, prepared on the basis of the images obtained during reconstruction. The results are shown in Table 2, while the effects of the reconstruction and detection are shown in Figure 3.



Fig. 3. An example of the result of each stage of the proposed computer vision system. From left: used events for reconstruction of a single frame, shown as an event frame, frame after reconstruction in grayscale, frame after detection of a traffic sign with superimposed bounding box and assigned class

For detection, using a threshold value of 0.5, the algorithm performs best in detecting warning signs, followed by a class of other signs. Both of these classes have distinctive shapes. In contrast, the model learned from colour images performs less well at detecting prohibition and mandatory signs, which share the same shape and are distinguished by the color used. Increasing the threshold to 0.75 significantly affects the detection of all signs, especially warning signs. As a result, the model learned from grayscale images proved to be a better detector, achieving a high overall mAP@0.5IoU rate of 87.03%.

FireNet proved to be a computational complexity. The time required to perform reconstruction based on the collected events at 1 ms and 10 ms was 19.15 ms and 52.25 ms, respectively. The obtained values are too high to implement the algorithm in real time.

5. SUMMARY

The result of the work described here is a computer vision system that enables traffic sign detection based on event camera data. Tests conducted on our own base show that traffic sign recognition is possible. The problem turned out to be the performance of the reconstruction operation.

The solution to the problem may be to use only part of the information, at the expense of reconstruction quality. Another way to improve the speed of operations may be to use a different computing platform that allows faster and parallel calculations. However, the current version of the algorithm can be used to generate a new training set based on event information, which can be then used to train algorithms that are time-optimized and adapted to the event format.

The paper entitled „Traffic sign detection and recognition using event camera image reconstruction” - authored by Kamil Jeziorek was presented at the LIX Session of the Student Scientific Groups of the AGH University of Science and Technology in the Automatics and Robotics Section and received the second prize. Supervisor of the paper: Tomasz Kryjak, PhD.

LITERATURE

- [1] Bochkovskiy A. et al.: *YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection*. [w:] CoRR abs/2004.10934 (2020). arXiv: 2004.10934.
- [2] Delbruck, T. et al.: *Robotic Goalie with 3ms Reaction Time at 4% CPU Load Using Event-Based Dynamic Vision Sensor*. *Frontiers in neuroscience*. 2013, 7. 223. 10.3389/fnins.2013.00223.
- [3] Gehrig M. et al.: *DSEC: A Stereo Event Camera Dataset for Driving Scenarios*. [w:] *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2021. DOI: 10.1109/LRA.2021.3068942.
- [4] Houben S. et al.: *Detection of Traffic Signs in Real-World Images: The German Traffic Sign Detection Benchmark*. [in:] *International Joint Conference on Neural Networks*, 2013.
- [5] Rebecq H. et al.: *High Speed and High Dynamic Range Video with an Event Camera*. [in:] *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. (T-PAMI)*, 2019.
- [6] Rebecq H. et al.: *Events-to-Video: Bringing Modern Computer Vision to Event Cameras*. *IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recog. (CVPR)*, 2019.
- [7] Scheerlinck C. et al.: *Fast Image Reconstruction with an Event Camera*. [in:] *IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vis. (WACV)*. 2020, s. 156–163.

ANALIZA PROCESU OBKUWANIA LUF NA KOWARKACH

Piotr Kopeć ¹

1. WSTĘP

Procesy kucia są aktualnie powszechnie spotykaną metodą produkcji wyrobów stalowych. Niektóre produkty wymagają jednak zastosowania niestandardowych rozwiązań i dedykowanych technologii. Dobrym przykładem jest tutaj produkcja luf do zastosowań militarnych. Lufa jako element jednocześnie nadający kierunek lotu pociskom oraz gromadząca w sobie gazy prochowe musi sprostać gwałtownym zmianom temperatury, nagłym wzrostom ciśnienia i jednocześnie precyzyjnie nakierować pocisk. Poza wymaganiami wytrzymałościowymi musi zostać zachowana duża dokładność wymiarowa, w celu osiągnięcia tych założeń stosuje się obkuwanie luf na kowarkach, dzięki czemu możliwe jest wydłużanie materiału poprzez niewielkie odkształcenia przy jednoczesnym zachowaniu ciągłości kształtu i niewielkim zniekształceniu geometrii.

Celem badania jest zaprojektowanie procesu wytwarzania lufy dwustopniowej z wykorzystaniem symulacji komputerowej w programie QForm, opartym o MES. Symulacja wymaga zaprojektowania i doboru narzędzi, ich odpowiedniego pozycjonowania, czyli ustawienia do pracy w kilku osiach jednocześnie oraz precyzyjnego określenia warunków brzegowych. Analizie poddano uzyskane z obliczeń numerycznych wyniki w postaci map rozkładu temperatury, naprężeń średnich, naprężeń rzeczywistych oraz intensywności odkształcenia.

2. ZAŁOŻENIA I WARUNKI SYMULACJI

Symulacja obkuwania lufy ma na celu odtworzenie rzeczywistego procesu technologicznego oraz obserwację zmian zachodzących w materiale. W omawianym

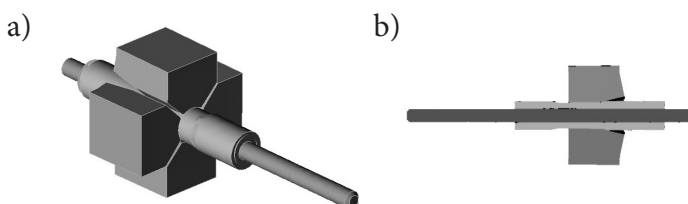
¹ student, Studenckie Koło Naukowe Hefajstos, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, AGH

procesie zastosowano kowarkę z napędem hydraulicznym, jest ona zbudowana z czterech kowadełek oraz trzpienia. Dla procesu symulacji przyjęto 50 uderzeń narzędzi z uwagi na złożoność procesu oraz długi czas obliczeń. Dodatkowym uproszczeniem było użycie trzpienia gładkiego, natomiast zastosowanie trzpienia bruzdowego mogłoby znacznie wydłużyć czas symulacji. W celu odtworzenia ruchu wsadu wprowadzone zostały dodatkowe narzędzi takie jak: popychacz oraz rotator. Odległość końcowa przeciwległych kowadełek po uderzeniu została ustalona na 90 mm. Kowadelka po uderzeniu przemieszczają się o 1 mm, a kąt obrotu to 20° .

3. GEOMETRIA NARZĘDZI ORAZ WSAD

Jako wsad została użyta tuleja grubościenna ze stali 30CrMoV9. Temperatura początkowa wsadu wynosi 1200°C .

Narzędziami użytymi w symulacji (rys.1) są cztery kowadelka dwustopniowe o kącie części roboczej odpowiadającej geometrii lufy oraz płaskiej części kalibrującej. Podczas projektowania trzpienia uwzględniono rozszerzalność cieplną. Materiał wszystkich narzędzi (kowadelka i trzpień) został zdefiniowany jako stal narzędziowa WCL, temperatura narzędzi wynosi 250°C .



Rys. 1. Modele narzędzi użytych w symulacji: a) widok całości, b) widok przekroju

4. WYNIKI SYMULACJI

Na podstawie symulacji 50 uderzeń kowarki udało się uzyskać fragment lufy, który został poddany analizie.

4.1. Uzyskana geometria

W wyniku symulacji udało się uzyskać efekt końcowy (rys.2) w postaci zauważalnego wydłużenia wsadu, ukształtowania się stożka oraz niewielkich

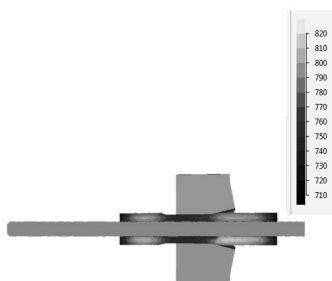
śladów po narzędziach od strony styku z częścią kalibrującą kowadełek. Zastosowanie trzpienia pozwoliło na wydłużenie wsadu oraz odkształcenia bez zniekształcania otworu przelotowego. Jest to bardzo istotny aspekt ze względu na jego późniejszą rolę w nadawaniu trajektorii lotu pocisku. Niewidoczne są zniekształcenia, zakucia lub inne defekty świadczące o niewłaściwym przebiegu procesu. Powierzchnia po przejściu części kalibrującej kowadełek jest gładka, podobnie jak stożek uzyskany w wyniku oddziaływania części roboczej.



Rys. 2. Geometria uzyskana w wyniku symulacji

4.1.1. Temperatura

Najwyższe wartości, do 810°C materiał osiąga wewnątrz części nieodkształconej, nie poddanej bezpośrednio oddziaływaniu narzędzi. Materiał odkształca się wzdłuż osi, następuje wydłużenie powodujące wzrost temperatury w kierunku płynięcia materiału. Powierzchnia szybciej oddaje ciepło, jednak różnice w temperaturach sięgają maksymalnie 110°C. Duża część ciepła uchodzi od otoczenia.

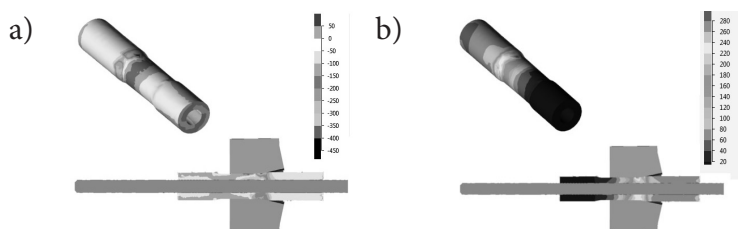


Rys. 3. Rozkład temperatur

4.1.2. Naprężenia średnie

Symulacja pozwoliła na wyznaczenie rozkładu naprężeń średnich oraz rzeczywistych w materiale (rys. 4). Najwyższe wartości naprężeń średnich,

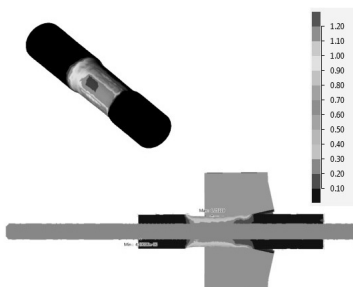
rozciągających uzyskano w części wydłużonej materiału, w kierunku jego płynięcia po trzpieniu – przeciwnym do ruchu kowadełek. Naprężenia rozchodzą się wzdłuż długiej osi fragmentu lufy, równomiernie w części poddanej wydłużeniu. Naprężenia rzeczywiste natomiast osiągają najwyższe wartości w miejscach uderzeń narzędzi, na obwodzie odkształcanego stożka oraz w obwodzie strefy odkształcannej przez kowadełka. Zjawisko to jest widocznej najlepiej na wysokości przejścia strefy kalibrującej w strefę roboczą, miejsce największej zmiany średnicy, wgłębienia kowadełek, jest miejscem powstawania największych naprężeń.



Rys. 4. Mapy rozkładów naprężeń średnich uzyskane w wyniku symulacji: a) średnie, b) rzeczywiste

4.1.3. Intensywność odkształcenia

Materiał jest najintensywniej odkształcany w strefie wydłużania oraz na powierzchni pomiędzy kowadełkami i odkuwką (rys. 5). Widocznym jest, jak w wyniku uderzenia kowadełek tworzą się strefy o intensywnym odkształceniu, nachodzą one częściowo na nieco mniej już intensywne odkształcenie spowodowane poprzednim uderzeniem – występuje przenikanie się stref.



Rys. 5. Mapa rozkładu intensywności odkształcenia

Uzyskiwanie takich intensywności jest spowodowane stosowaniem dużej częstotliwości uderzeń i niewielkiego kąta obrotu wsadu. Intensywność odkształcenia jest najwyższa na powierzchni, jest równomierna, aczkolwiek niewielka na obwodzie stref graniczących z obszarem oddziaływania narzędzi i wydłużania się materiału.

4.2. Temperatura trzpienia

Dzięki oprogramowaniu udało się uzyskać dane na temat oddziaływania temperatury na trzpień (rys. 6). Temperatura trzpienia w wyniku czasu spędzonego wewnątrz rozgrzanego wsadu zaczęła wzrastać na jego powierzchni, mimo oddawania ciepła do powietrza przez elementy umieszczone na zewnątrz odnotowano wzrost temperatury przy powierzchni nawet do 567°C. Ze względu na grubość trzpienia oraz brak dogrzewania w trakcie trwania procesu nie uległ on przegrzaniu na wskroś.



Rys. 6. Temperatura trzpienia po ostatnim uderzeniu

5. PODSUMOWANIE

W wyniku symulacji udało się zrealizować cel badań, uzyskać pożądane informacje oraz założoną geometrię. Na podstawie otrzymanych wyników możemy stwierdzić, że proces obkuvania na kowarce jest procesem trudnym w symulacji, ze względu na swoją złożoność, konieczność zastosowania wielu zmiennych oraz trójwymiarowych modeli. Z analizy wyników obliczeń wynika, że proces taki, choć uproszczony jest możliwy do przeprowadzenia w zadanych warunkach. Możliwa jest kontrola posuwu, siły nacisku oraz skoku kowadełek. Obliczenia dla całości procesu oraz w przypadku zastosowania trzpienia gwintowanego mogą różnić się od wyników uzyskanych w tej symulacji, w tym przypadku należałoby przeprowadzić dodatkowe badania oraz symulacje.

Referat pt. „Analiza procesu obkuwania luf na kowarkach” – autorstwa Piotra Kopeć, został wygłoszony na 59 Hutniczej Konferencji Studenckich Kół Naukowych AGH w Sekcji Przeróbki Plastycznej oraz wyróżniony III nagrodą. Opiekun naukowy referatu: dr hab. inż. Aneta Łukaszek-Solek.

LITERATURA

- [1] Lipski T.: *Kucie na Kowarkach*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1979
- [2] Mazurkiewicz A.: *Parametry procesów obkuwania luf na kowarkach decydujące o własności wyrobu*. Problemy techniki uzbrojenia. Wyd. Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia. 2005, Zeszyt 95, Nr 2, str. 161–171.
- [3] Schwartz E.L.: *Spatial mapping in the primate sensory projection: Analytic structure and relevance to perception*. Biological Cybernetics, 1977.
- [4] Žiković S.: *Profiling of mandrel for gun barrel cold hammering*, Military Technical Institute, Belgrade, 2012.
- [5] Tadeusiewicz R., Korohoda P.: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*. Kraków, Wyd. Fundacji Postępu Telekomunikacji, 1997.
- [6] Hasenbein R.G.: *Wear and Erosion in Large Caliber Gun Barrels*. Weapon Systems & Technology Directorate Armament Engineering & Technology Center U.S. Army Armament Research, Development & Engineering Center, 2004.

WPLYW PARAMETRÓW WYTWARZANIA NA WŁASNOŚCI SPIEKÓW FE-CU-SN-NI-P

Malwina Król ¹

1. WSTĘP

Metalurgia proszków jest obecnie bardzo rozbudowaną dziedziną zajmującą się wytwarzaniem proszków metali, związków międzymetalicznych lub innych substancji. Próba uzyskania proszków o określonej wielkości, kształcie, składzie chemicznym, a co za tym idzie własnościach, doprowadziła do opracowania wielu metod wytwarzania tych materiałów. Otrzymanie gotowych wyrobów jest możliwe dzięki przeprowadzeniu szeregu procesów technologicznych takich jak: wytworzenie proszków, formowanie kształtek, spiekanie oraz obróbka wykańczająca. Dzięki opracowaniu właściwych parametrów wymienionych procesów metalurgia proszków jest obecnie bardzo konkurencyjna względem tradycyjnych metod wytwarzania wyrobów.

Wspomniana w tytule pracy mieszanka proszków Fe-Cu-Sn-Ni-P, może być stosowana jako materiał stanowiący podstawę w narzędziach metaliczno-diaamentowych. Materiały te charakteryzują się dużą twardością, odpornością na zużycie i w miarę dobrą ciągliwością. Stosowane są na elementy narzędzi tnących, wiertniczych i szlifierskich. Materiały metaliczno-diaamentowe powstają poprzez zmieszanie proszku metalu stanowiącego podstawę z proszkiem diaamentu. Osnowa ma za zadanie utrzymać cząstki diaamentu i zużywać się z szybkością zbliżoną do szybkości ich zużycia [1, 2].

Celem pracy jest określenie wpływu sposobu wytwarzania na własności spieków Fe-Cu-Sn-Ni-P. Do badań zostały wykorzystane tlenki metali (Fe_3O_4 , CuO, SnO_2), stopowy proszek żelazo-fosforu oraz proszki elementarne Fe, Cu, Sn, Ni, z których przygotowano dwie mieszanki proszków na bazie żelaza, które sprasowano na zimno i spiekano. Otrzymane spieki poddano badaniom gęstości,

¹ studentka, inż., Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, AGH

mikrotwardości, obserwacjom mikroskopowym przy użyciu mikroskopu świetlnego i skaningowego mikroskopu elektronowego oraz badaniom wytrzymałości na zginanie.

2. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

Do badań przygotowano mieszanki proszków o nominalnie identycznym składzie chemicznym podanym w tabeli 1.

Tabela 1. Nominalny skład chemiczny dwóch mieszanek proszków

Pierwiastek	Fe	Cu	Sn	P	Ni
% udział masowy	94,4	4,0	0,8	0,5	0,3
Próbka 1 – postać proszku wyjściowego	Fe ₂ O ₃	CuO	SnO ₂	Fe-P	Ni T210
Próbka 2 – postać proszku wyjściowego	Fe	Cu	Sn	Fe-P	Ni T210

Do przygotowania mieszanki pierwszej użyto tlenku żelaza Fe₂O₃, tlenku miedzi CuO, tlenku cyny SnO₂, proszku żelazofosforu zawierającego około 10% fosforu oraz elementarnego proszku niklu. Wytworzono stopowy Fe-Cu-Sn-Ni-P proszek metodą opracowaną w Katedrze Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków, która jest objęta ochroną patentową [3]. Wykonany tym sposobem materiał oznaczono jako „Próbka 1”. Mieszanka proszków została poddana mieleniu na mokro w młynie kulowym przez 24 godziny. Do mielenia wykorzystano mielniki, których stosunek masy do masy proszku wynosił 20:1. Mielenie odbywało się w bębnie wypełnionym wodą destylowaną. Bęben poruszał się z prędkością obrotową wynoszącą około 65% prędkości krytycznej. Tak zmieloną mieszankę poddano następnie suszeniu oraz wyżarzaniu redukującym w temperaturze 700°C w atmosferze wodoru przez 4 godziny.

Drugą mieszankę proszków przygotowano z proszków elementarnych oraz stopowego proszku żelazo-fosforu zawierającego około 10% fosforu. Proszki poddano mieszanii w mieszalniku Turbula T2C przez 15 minut. W pracy zastosowano oznaczenie jako „Próbka 2”.

Skład chemiczny dobrano tak, aby spieki wykazywały drobnoziarnistą, wielofazową strukturę w temperaturze około 900°C. Otrzymanie spieku o gęstości powyżej 97% gęstości teoretycznej uzależnione jest od wielu czynników, wśród których duże znaczenie odgrywa rozmiar i morfologia cząstek, a także skład fazowy proszku. Odpowiednio dobrane składniki stabilizują skład fazowy

zapobiegając tym samym nadmiernemu rozrostowi ziarna, wpływającemu negatywnie na właściwości mechaniczne spieku.

Otrzymany proszek stopowy („Próbka 1”) oraz mieszanka proszków elementarnych („Próbka 2”) poddano tym samym procesom prasowania i spiekania. Przygotowano 12 gramowe odważki, które wsypało do matrycy o wymiarach 12×40 mm i prasowano pod ciśnieniem 400 MPa. Spiekano po dwie wypraski z każdego proszku w temperaturze 887°C, przez 30 minut, w atmosferze wodoru. Temperaturę kontrolowano za pomocą termopary. Podczas dogrzewania do temperatury spiekania zastosowano przystanek w temperaturze 700°C również przez 30 minut.

Do wyznaczenia gęstości wyprasek wykorzystano metodę geometryczną. Gęstość otrzymanych po spiekaniu wyrobów wyznaczona została metodą Archimedesesa. Pomiary mikrotwardości wykonano sposobem Vickersa, stosując obciążenie 1 kG. Na zgładach metalograficznych wykonano po 10 pomiarów na każdej próbce, następnie wyznaczono średnie wartości i odchylenia standardowe [4–6]. Wyniki pomiarów gęstości i mikrotwardości zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki pomiarów gęstości wyprasek i spieków oraz mikrotwardości

Próbka	Gęstość wypraski, g/cm ³	Gęstość spieku, g/cm ³	HV 1
1	5,28	7,71	249 ± 10,7
2	5,69	6,95	161 ± 8,8

Do badań wytrzymałości na zginanie wykorzystano próbki po spiekaniu o wymiarach 35×11×3,5 mm. Próbki poddano technologicznej próbie trójpunktowego zginania, przy prędkości przesuwu trawersy wynoszącej 0,5 mm/min. Zginane spieki umieszczano na podporach w kształcie walca o średnicy 3,4 mm, ustawionych w odległości 30 mm.

Wartości naprężenia i odkształcenia zostały obliczone, wykorzystując poniższe zależności:

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (1)$$

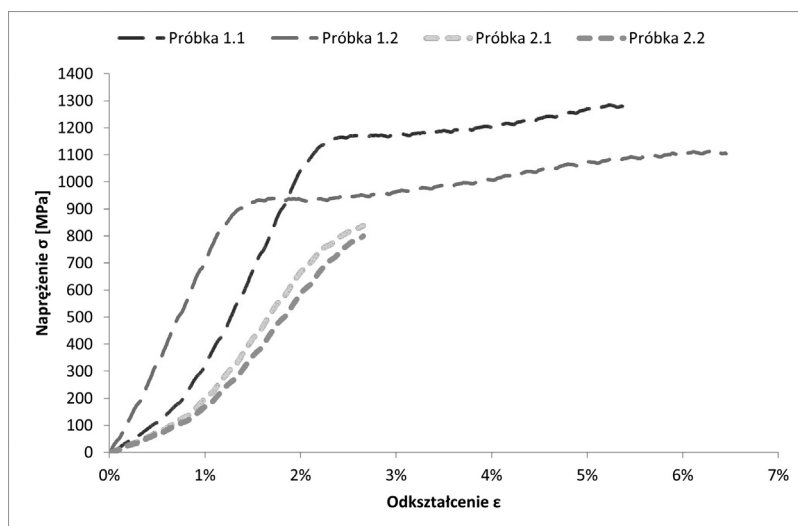
$$\epsilon = \frac{6 \cdot D \cdot h}{L^2} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie: F – wartość siły zginającej,
 L – rozstaw podpór,
 b – szerokość próbki,
 h – wysokość próbki,
 D – ugięcie próbki (przesunięcie trawersy).

Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 3 oraz zaprezentowano w sposób graficzny na rysunku 1.

Tabela 3. Wyniki technologicznej próby trójpunktowego zginania

Próbka	Wytrzymałość na zginanie, R_g , MPa	Umowna granica plastyczności, $\sigma_{g0,2}$, MPa	Odształcenie plastyczne, ϵ_g , %
1	1 198	1 070	3,72
2	819	817	—

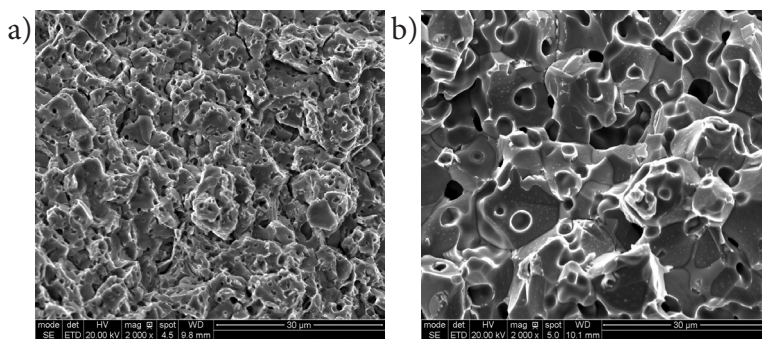


Rys. 1. Krzywe uzyskane w wyniku technologicznej próby trójpunktowego zginania dla Próbk 1 oraz Próbk 2

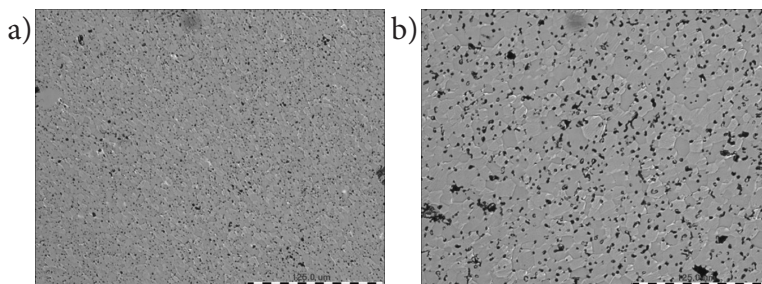
Uzyskane podczas próby trójpunktowego zginania przełomy zostały poddane obserwacji wykorzystując skaningowy mikroskop elektronowy. Otrzymane zdjęcia przełomów przedstawiono na rysunku 2.

Badania mikrostruktury przeprowadzono przy użyciu mikroskopu świetlnego. Przygotowanie próbek obejmowało wycięcie odpowiedniej próbki,

szlifowanie oraz polerowanie. Jako środek polerujący używano zawiesiny diamentowej o wielkości ziarna 9 i 3 μm . Na zakończenie próbki polerowano wykorzystując zawiesinę Al_2O_3 . Zdjęcia mikrostruktur wykonane w jasnym polu widzenia pokazano na rysunku 3.



Rys. 2. Przelomy spieków: a) Próbk 1, b) Próbk 2



Rys. 3. Mikrostruktura spieków: a) Próbk 1, b) Próbk 2

3. DYSKUSJA WYNIKÓW

Pomiary gęstości i mikrotwardości spieków o nominalnie identycznym składzie chemicznym, otrzymanych dwoma różnymi sposobami wykazały znacznie wyższe wartości gęstości oraz mikrotwardości dla materiału otrzymanego z proszku stopowego, czyli Próbk 1.

Twardość badanych materiałów zależy od wielkości cząstek wyjściowego proszku bazowego. Wyniki technologicznej próby trójpunktowego zginania, przedstawione w tabeli 3 oraz na rysunku 1 wskazują na wyraźny związek pomiędzy mikrostrukturą badanych spieków, a umowną granicą plastyczności, wytrzymałością na zginanie i wielkością odkształcenia plastycznego próbek w chwili złamania. Spieki wykonane z proszku stopowego (Próbka 1) charakteryzują

znacznie wyższe własności wytrzymałościowe w porównaniu ze spiekami otrzymanymi z proszków elementarnych, cechując się dobrą plastycznością. Próbkę otrzymaną z proszków elementarnych pękły w sposób kruchy, o czym świadczy też charakter przełomu (rys. 2). Obserwacja mikrostruktury i przełomów obu próbek ukazała większą jednorodność i mniejszą porowatość w przypadku spieku z proszku stopowego, natomiast identyfikacja składników strukturalnych wymaga szczegółowych badań EDS oraz rentgenowskiej analizy fazowej.

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- Zastosowanie proszku stopowego jako materiału wyjściowego powoduje otrzymanie spieków o znacznie większej gęstości, mikrotwardości oraz zdecydowanie wyższych własnościach wytrzymałościowych niż w przypadku próbek otrzymanych z proszków elementarnych;
- Obserwacja mikrostruktury i przełomów obu próbek ukazała większą jednorodność i mniejszą porowatość w przypadku próbki otrzymanej z proszku stopowego;
- Możliwe jest zaprojektowanie i ekonomiczne wytwarzanie niskostopowych proszków na bazie żelaza, które można łatwo spiekać do prawie pełnej gęstości w temperaturze $< 900^{\circ}\text{C}$.

Referat pt. „Wytwarzanie i badanie łatwospiekalnych proszków stanowiących podstawę w narzędziach metaliczno-diaamentowych” – autorstwa Malwiny Król, został wygłoszony na 59. Hutniczej Konferencji Studenckich Kół Naukowych AGH w Podsekcji I Sekcji Metaloznawstwa i Inżynierii Powierzchni oraz wyróżniony II nagrodą. Opiekun naukowy referatu: dr inż. Dorota Tyrała.

LITERATURA

- [1] Nowacki J.: *Spiekane metale i kompozyty z podstawą metaliczną*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
- [2] Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Katedra Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków, Materiały Spiekane, wykład „Spiekane materiały narzędziowe”, rok akademicki 2021/2022, semestr zimowy.

- [3] Konstanty J.; Wieczorek-Ciurowa K.; Romanski A.; Sikora T.: *Iron-based alloy powder, method of its production and application*. Polish Patent PL 232405 B1, 28 June 2019.
- [4] Kowalska E.: *Pomiary gęstości*, Biuletyn Głównego Urzędu Miar „Metrologia i probiernictwo”, 2018 nr 20, str. 20 – 24, https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Biuletyn/biuletyn_GUM_1-2018.pdf, dostęp: 8.06.2022.
- [5] Tomkowicz M., Matula G., Tomiczek B.: *Określanie gęstości proszków oraz materiałów spiekanych przy użyciu wybranych metod badawczych*. Prace Studenckich Kół Naukowych Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej, Gliwice 2015 nr 37, <https://www.pimib.polsl.pl/pdf/37/371.pdf>, dostęp: 8.06.2022.
- [6] Hasenbein R.G.: *Wear and Erosion in Large Caliber Gun Barrels*. Weapon Systems & Technology Directorate Armament Engineering & Technology Center U.S. Army Armament Research, Development & Engineering Center, 2004.

MIKROSTRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI TRÓJWARSTWOWEGO PLATERU 410S – CU-DHP – 316L ORAZ PRÓBY JEGO SPAWANIA

Karol Kuglarz ¹, Grzegorz Michta ², Dawid Włodarczyk ³

1. WSTĘP

Technologia platerowania wybuchowego posiada wiele zalet. Przede wszystkim pozwala wytwarzać wielowarstwowe kompozyty metaliczne z szerokiej grupy metali i ich stopów w bardzo dużym zakresie grubości łączonych blach. Następną zaletą tworzenia metalicznych kompozytów jest możliwość zachowania właściwości mechanicznych, technologicznych, korozyjnych i elektrycznych materiałów składowych, a w wyniku platerowania nadania im nowych właściwości konstrukcyjnych i funkcjonalnych. Dodatkowo technologia ta bardzo często pozwala ograniczyć koszty związane z użyciem drogich metali i ich stopów. Kolejnym atutem tej technologii jest możliwość łączenia kilku warstw materiałów w jednym akcie strzałowym [1]. Często powstałe plastery, ze względu na właściwości fizyko-chemiczne łączonych materiałów, nie mają możliwości powstania przy użyciu innej technologii łączenia niż zgrzewanie wybuchowe.

W artykule przedstawiono analizę mikrostruktury i właściwości trójwarstwowego plateru metalicznego 410S – Cu-DHP – 316L złożonego z dwóch stali tj. 410S i 316L oraz znajdującej się pomiędzy nimi blachy miedzianej. Zaprezentowano także wyniki próby spawania otrzymanego trimetalu. Materiał użyty do badań był wytworzony przez firmę Explomet.

1 student, Koło Naukowe Metaloznawców, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, AGH

2 dr inż., Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

3 inż., Wydział Mechaniczny, PO Politechnika Opolska

2. MATERIAŁY UŻYTE DO BADAŃ

Materiałem do badań była platerowana, testowa blacha o grubości 7 mm (1000 x 1500 mm) składająca się z trzech materiałów. Pierwszą warstwę stanowiła stal 316L, jest to stal austenityczna, o właściwościach antykorozyjnych. Następną warstwę stanowiła miedziana blacha, a trzecim użytym materiałem była stal 410S, która jest stalą ferrytyczną, odporną na korozję. Składy chemiczne wytworzonego trimetalu zamieszczono w tabelach 1–3.

Tabela 1. Skład chemiczny stali 410S zgodny z normą PN-EN 10088 [% wagowy]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
< 0,08	< 1,0	< 1,0	< 0,04	< 0,030	11,5–13,5	< 0,4	—	Reszta

Tabela 2. Skład chemiczny stali 316L zgodny z normą PN-EN 10088 [% wagowy]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
< 0,08	< 2,0	< 0,8	< 0,045	< 0,030	16–18	11–14	2,0–2,5	Reszta

Tabela 3. Skład chemiczny miedzi o symbolu Cu-DHP zgodny z normą EN 1652 [% wagowy]

Cu	P
≥ 99,90	0,015–0,040

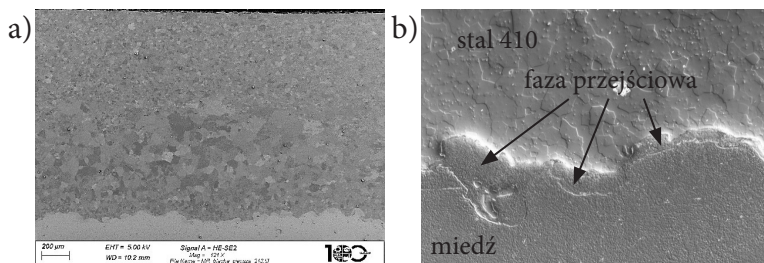
Do wytworzenia trimetalu użyto blach o różnej grubości tj.: stal 410S miała grubość 1,5 mm, miedź miała grubość 1,5 mm i stal 316L miała grubość 4 mm.

3. BADANIA MIKROSTRUKTURY

W celu przeprowadzenia badań mikrostrukturalnych otrzymanego złącza wybuchowego z blachy wycięto jej fragmenty i wykonano zglądy metalograficzne. Do obserwacji użyto mikroskopu świetlnego (LM, ang.: *Light Microscope*) i skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM, ang.: *Scanning Electron Microscope*). Obserwacje wykonano przy użyciu technik jasnego pola widzenia oraz kontrastu Nomarskiego (LM) a w przypadku SEM różnych detektorów (SE, BSE). Obserwowane zglądy były w stanie niewytrawionym.

Na rysunku 1a przedstawiono mikrostrukturę blachy ze stali 410S, która posiadała zmienną wielkość ziarna zależną od odległości miejsca łączenia

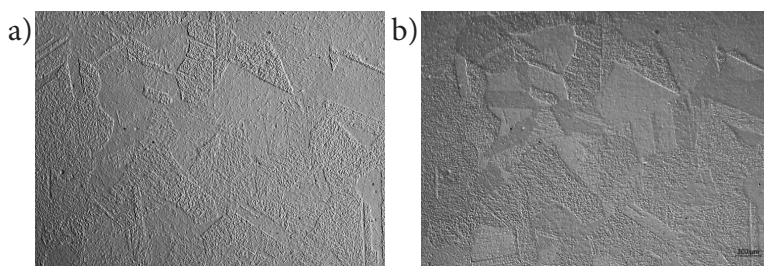
z blachą miedzianą. Na rysunku 1b pokazano miejsce łączenia stali 410S z miedzią, na którym obserwowano powstałe fazy przejściowe.



Rys. 1. Linia łączenia stali 410S i miedzi a) zmienna wielkość ziarna w stali, SEM, b) faza przejściowa, LM kontrast Nomarskiego

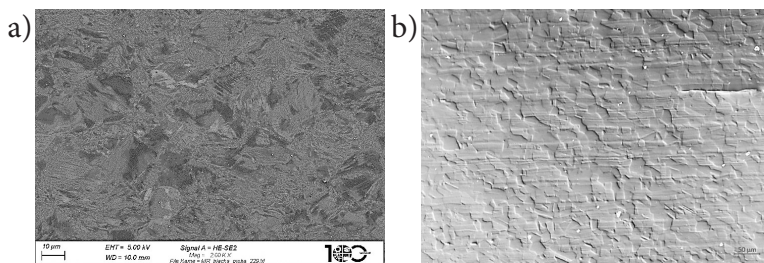
Zmienna wielkość ziarna jest związana z wystąpieniem odkształcenia podczas zgrzewania wybuchowego oraz procesów rekrytalizacji [2, 3]. W obszarze falistego połączenia obserwowano niewielki wzrost wielkości ziarna, następnie po przekroczeniu tzw. zgniotu krytycznego zaobserwowano największe ziarno, które zmieniało swoją wielkość (malało) oddalając się od miejsca zgrzewania materiałów.

Na rysunku 2 przedstawiono mikrostrukturę miedzi, której wielkość ziarna na całym przekroju badanej blachy była praktycznie jednakowa, co może świadczyć o podobnym stopniu odkształcenia materiału podczas procesu zgrzewania wybuchowego i podobnych procesach rekrytalizacji.



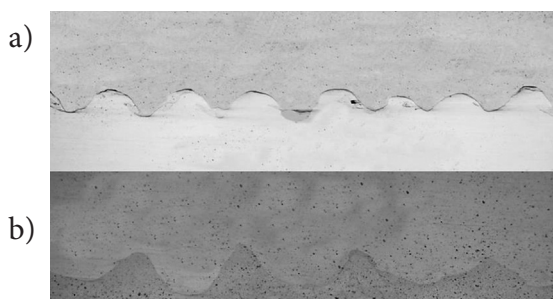
Rys. 2. Przykładowa mikrostruktura miedzi, LM kontrast Nomarskiego

Na rysunku 3 pokazano mikrostrukturę stali 316L, która charakteryzuje się jednorodną mikrostrukturą na przekroju badanego zglądu metalograficznego.



Rys. 3. Przykładowa mikrostruktura stali 316L, a) elektronowy mikroskop skaningowy, b) LM kontrast Nomarskiego

Dla złącza platerowanego wyznaczono również współczynnik RGP, czyli współczynnik równoważnej grubości przetopień (parametr opracowany przez firmę Explomet i stosowany dla oceny poprawności zastosowanych parametrów procesu zgrzewania wybuchowego). Odpowiada on średniemu udziałowi warstwy przetopionej w odniesieniu do długości linii połączenia. Wartość RGP nie powinna przekroczyć 12 μm . W tym przypadku dla złącza 410S-Cu-DHP otrzymano 6,09 μm a dla złącza 316L – Cu-DHP 3,9 μm . Otrzymane wyniki dla obydwu złączy zgrzewanych osiągnęły bardzo dobre wartości (rys. 4).

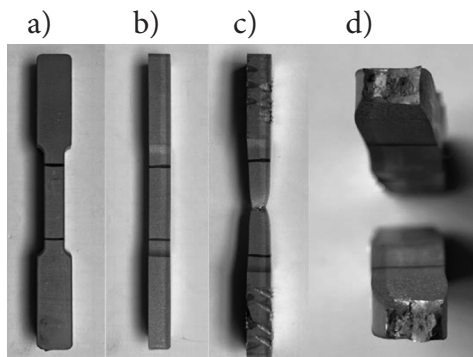


Rys. 4. Obrazy użyte do obliczeń współczynnika RGP a) stal 410S-Cu-DHP, b) Cu-DHP – stal 316L, LM jasne pole widzenia

4. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH PLATERU

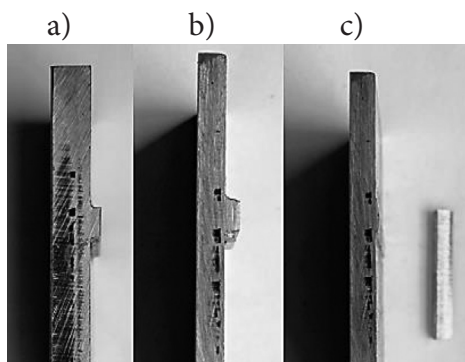
Dla określenia właściwości mechanicznych otrzymanego plateru wykonano statyczną próbę rozciągania, statyczną próbę zginania oraz próbę ścinania. Pierwszym przeprowadzonym badaniem, była statyczna próba rozciągania. W tym celu z blachy pobrano próbkę (rys. 5) i poddano ją rozciąganiu przy użyciu maszyny wytrzymałościowej ZD-20 z cyfrową rejestracją danych. W wyniku badań określono umowną

granicę plastyczności $R_{p0.2}$, która wyniosła 638 MPa oraz granicę wytrzymałości R_m , która wyniosła 643 MPa. Na podstawie pomiarów wyliczono także wydłużenie względne, które wyniosło 27%. Brak wyraźnej granicy plastyczności może wynikać z umocnienia blachy powstałego w trakcie platerowania, procesu wytwórczego blachy lub z zastosowania prostowania blachy po zgrzewaniu wybuchowym na walcach trójwałowych oraz własności mechanicznych poszczególnych blach.



Rys. 5. Próbkі użyte do statycznej próby rozciągania,
a) i b) widok próbek przed próbą rozciągania,
c) i d) widok próbek po próbie rozciągania

Drugim z przeprowadzonych badań własności mechanicznych była próba statycznego trójpunktowego zginania. Przeprowadzono ją z obydwu stron blachy, czyli ze ściskaniem od strony stali 316L jak i 410S. W obydwu przypadkach nie doszło do rozwarstwienia blachy.



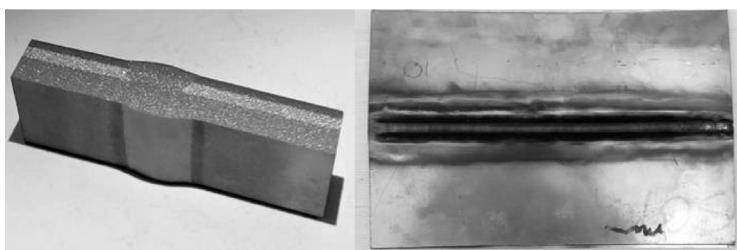
Rys. 6. Próbkі użyte do próby ścinania a) i b) przed próbą ścinania,
c) po próbie ścinania

Następnym przeprowadzanym badaniem była próba ścinania. Poddano jej zarówno złącze między Cu-DHP – 316L jak i 410S – Cu-DHP. Dla pierwszego przypadku uzyskany wynik wynosił 225 MPa, a dla drugiego 332 MPa (rys. 6).

W celu wykluczenia obszarów nieciągłości połączenia pomiędzy poszczególnymi blachami otrzymanego plateru, złącze wybuchowe poddano również badaniu metodą ultradźwiękową stosując metodę kontaktową z zastosowaniem głowicy prostej o częstotliwości pracy 4MHz. Zbadano 100% powierzchni materiału platerowanego, badanie prowadzono od strony stali 410S, nie wykryło żadnych niezgodności.

5. PRÓBA SPAWANIA

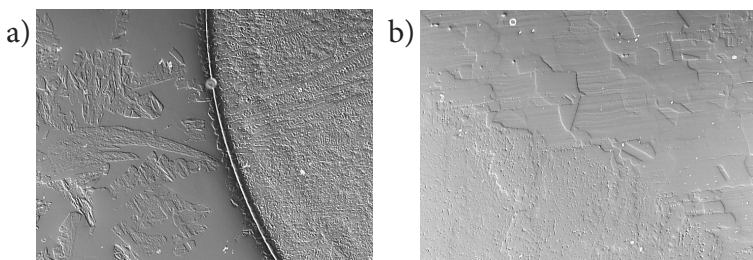
Otrzymany plater ze względu na trójwarstwową budowę, do wytworzenia której zastosowano materiały o różnych właściwościach fizykochemicznych, nie jest łatwym materiałem do spawania. W celu przeprowadzenia prób spawalniczych przygotowano dwie blachy plateru o wymiarach 400 mm na 150 mm, które zostały zukosowane na „Y” a następnie oczyszczone z warstwy tlenków, zabrudzeń itp. oraz odtłuszczone. Od strony stali 316L wykonano spoiny szczeplne. Następnie przy użyciu wózka doczołowo zespawano stal 316L metodą 142. W kolejnym kroku płyty próbne obrócono i od strony stali 410S wykonano połączenie spawane półautomatycznie metodą 141 (głowica była zamocowana na przemieszczającym się na szynach wózku, natomiast drut był podawany przez spawacza. Na rysunku 7 pokazano wygląd złącza spawanego.



Rys. 7. Makroskopowy wygląd złącza spawanego wytworzonego plateru

Na rysunku 8a pokazano przekrój złącza spawanego z wyraźną linią wtopienia od strony lica z widoczną strefą wpływu ciepła (SWC), w której ze względu na wprowadzenie dostatecznej ilości ciepła ziarno uległo rozrośnięciu. Na rysunku 8b pokazano złącze spawane od strony grani (stal 316L), na którym podobnie

jak w przypadku stali 410S ziarno w SWC uległo rozrośnięciu. W celu sprawdzenia czy w wykonanym złączu spawanym nie wystąpiły niezgodności w postaci porów lub pęknięć, otrzymane złącze spawane poddano badaniom nieniszczącym tj.: wizualnym i penetracyjnym z użyciem ciekłego penetranta. Żadnych niezgodności nie zaobserwowano.



Rys. 8. Wygląd złącza spawanego wytworzonego plateru,
a) linia wtopienia od strony lica,
b) linia wtopienia od strony grani, LM kontrast Nomarskiego

6. PODSUMOWANIE

W pracy zaprezentowano wyniki badań innowacyjnego złącza trójwarstwowego stal nierdzewna ferrytyczna – miedź – stal nierdzewna austenityczna (410S – Cu-DHP – 316L). Wszystkie wykonane badania własności mechanicznych dały bardzo dobre rezultaty. Poszczególne warstwy trimetalu posiadały budowę ziarnistą o zróżnicowanej wielkości ziaren uzależnionej od procesu wytwórczego blach, zgrzewania wybuchowego i procesów spawania. Obiecująco także wypadły próby łączenia plateru przez spawanie blach. Wyniki zaprezentowanych badań dają perspektywę dalszego rozwoju tej technologii wytwarzania kompozytów wielowarstwowych o szczególnych funkcjonalnych cechach poszczególnych warstw, jednak wymagają kontynuacji.

LITERATURA

- [1] Przybyłowicz K.: *Metaloznawstwo*. WNT, Warszawa, 1999.
- [2] Tokarski M.: *Metaloznawstwo metali i stopów nieżelaznych w zarysie*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1985.
- [3] Walczak W.: *Zgrzewanie wybuchowe metali i jego zastosowania*. WNT, Warszawa, 1989.

ŁAZIK KALMAN – ELEKTRONIKA, SOFTWARE ORAZ SCIENCE

Mateusz Olszewski ¹, Szymon Bednorz ²,
Miłosz Łagan ³, Mariusz Gibiec ⁴

1. WSTĘP

Zespół łazika Kalman, operujący w ramach koła naukowego AGH Space Systems, od pięciu lat zajmuje się rozwijaniem konstrukcji łazika marsjańskiego, która jest testowana poprzez uczestnictwo w międzynarodowych zawodach, takich jak University Rover Challenge. Składa się z czterech podsekcji. Przedstawione zostaną usprawnienia wprowadzane i wprowadzone przez trzy z nich: Elektroniki – układów scalonych, Software – oprogramowania, oraz Science – zaplecza naukowego, w roku akademickim 2021/22.

2. SEKCJA ELEKTRONIKI

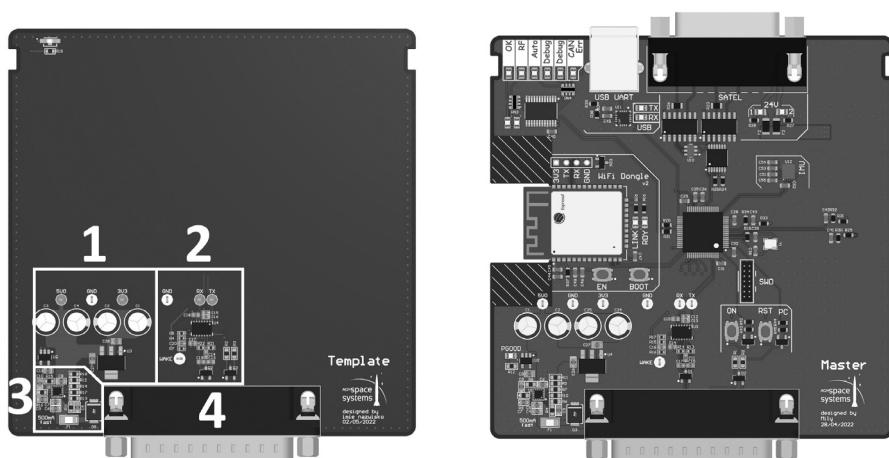
Układy elektroniczne mają za zadanie umożliwić kontrolowanie łazika, precyzyjne poruszanie manipulatorem oraz poprzez wykorzystanie systemu kamer analogowych i czujników dostarczyć operatorom informację o położeniu robota. Ze względu na ilość zadań oraz obsługę nowego manipulatora o sześciu stopniach swobody (6DOF) niezbędnym było opracowanie standardu stosowanych płytek drukowanych.

-
- 1 student, Koło Naukowe AGH Space Systems, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH
 - 2 student, Koło Naukowe AGH Space Systems, Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH
 - 3 student, Koło Naukowe AGH Space Systems, Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH
 - 4 dr inż., adiunkt, Katedra Robotyki i Mechatroniki, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

2.1. Standard minirack

W myśli iteracyjnego procesu konstruowania i usprawniania robota, na zawody University Rover Challenge został zaprojektowany i wdrożony standard MiniRack. Opisuje on format 4 warstwowych płytek drukowanych o wymiarach 100×100 mm. Każda z nich jest przystosowana do wykonywania ściśle określonego zadania.

Rysunek 1 przedstawia podstawowy moduł MiniRack. Cztery zaznaczone sekcje wchodzą w skład każdego modułu, natomiast pozostałe miejsce na płytce drukowanej pozostaje do dyspozycji projektanta układu. W skład pustego szablonu modułu wchodzi układ low dropout regulator (LDO) (1) tworzący linię zasilającą 3,3V, układ typu e-fuse (3) zabezpieczający przed uszkodzeniem wynikającym z nadmiernych napięć i prądów oraz umożliwiający wymianę płytki przy pracującym łożysku. Ponadto na płytce drukowanej znajduje się transceiver magistrali CAN (2), używanej do komunikacji między modułami oraz złącze DB-25 (4) zawierające zestaw interfejsów komunikacyjnych i linii zasilania. Jest ono wpinane do płytki magistrali łączącej moduły równolegle ze sobą.



Rys. 1. Po lewej stronie przykładowy pusty szablon modułu w standardzie MiniRack. Po prawej stronie przykładowy zaprojektowany subsystem – moduł Master

Dotychczas łożysko planetarny posiadał podobne mechanicznie rozwiązanie składające się z aluminiowych płyt montażowych, z przykręconymi płytkami

drukowanymi, umieszczanych w prowadnicach. Ponadto niektóre subsystemy były mocowane bezpośrednio do ramy, zajmując znacznie więcej ograniczonego miejsca.

Ujednolicenie elementów wchodzących w skład każdego modułu oraz wykorzystanie funkcji template w programie Altium Designer umożliwia przyspieszenie procesu projektowania przez użycie w nowym projekcie uprzednio zaprojektowanych sekcji zasilania i komunikacji oraz obrysu płytki drukowanej. Ponadto jednolite złącze zmniejsza ilość przewodów potrzebnych do połączenia poszczególnych subsystemów ze sobą, a ustandaryzowane wymiary umożliwiają wybranie dowolnej konfiguracji łożiska, dopasowanej do zadanego celu. Takie rozwiązanie ułatwia także uruchamianie poszczególnych modułów podczas fazy programowania i testowania.

2.2. Wdrożone podsystemy

W ramach standardu MiniRack zostały zaprojektowane cztery moduły realizujące określone założenia.

- *Master* – umożliwia zdalną, bezprzewodową kontrolę nad łożiskiem oraz wysyła komendy do pozostałych systemów,
- *Motor Master* – tworzy dodatkowe dwie linie magistrali CAN w celu sterowania systemem napędu,
- *Analog Mux* – umożliwia operatorom robota przełączanie się między zainstalowanymi kamerami analogowymi,
- *Power* – tworzy linię 5 V zasilającą pozostałe płytki.

Opisane wcześniej zalety standardu MiniRack pozwoliły na poprawę konfiguracji robota, ograniczenie zajmowanej przestrzeni, zmniejszenie masy oraz usprawnienie procesu projektowania. Przez następne miesiące planujemy stopniowo wymienić pozostałe subsystemy w łożisku planetarnym na nowy standard.

3. SEKCJA SOFTWARE

Łażik planetarny Kalman zawiera wiele układów elektronicznych i modułów, wykorzystujących oprogramowanie przetwarzające i wymieniające dane. Mowa zarówno o oprogramowaniu niskopoziomowym, odpowiedzialnym za obsługę elementów elektronicznych, ale także o wysokopoziomowym, związanym np. z sterowaniem łożiska, czy autonomiczną jazdą. Oprogramowanie związane z kontrolą robota tworzone jest w językach C++ oraz Python z wykorzystaniem

technologii *ROS (Robot Operating System)*, co ułatwia utrzymywanie tak złożonego projektu.

Na podstawie doświadczeń zdobywanych w terenie, w szczególności podczas zawodów, wyciągane są wnioski, dzięki którym zaplanowano i wdrożono nowe wersje poszczególnych komponentów. Dotyczą one przede wszystkim oprogramowania odpowiedzialnego za autonomiczną nawigację, które zostało opisane szerzej w następnym podrozdziale.

3.1. Autonomiczna nawigacja

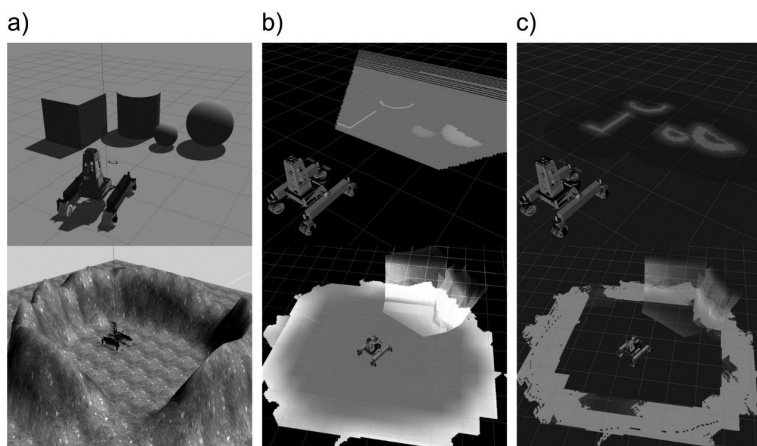
Autonomiczna nawigacja odpowiada za wykonywanie przez łazik przejazdów bez bezpośredniego udziału operatorów. Przed rozpoczęciem misji, należy zdefiniować listę koordynatów GPS oraz zadań jakie robot ma w ich okolicy wykonać. Oprogramowanie przygotowuje się do wykonywania zadań podczas zawodów z serii Rover Challenge. Należą do nich m.in. przejazd przez wymagający teren, wykrywanie znaczników typu ARTag/ArUco, przejazd przez bramę oznaczoną znacznikami.

Podstawowym problemem autonomicznej nawigacji jest dobór odpowiedniej metody szacowania pozycji względem znanego układu odniesienia. Utrata orientacji lub akumulacja błędów pomiarowych będzie najprawdopodobniej skutkować błędnym przejazdem. Do określania pozycji łazika wykorzystywane są GPS oraz IMU (Interial Measurement Unit), w skład którego wchodzi akcelerometr, magnetometr i żyroskop. Dane z sensorów są łączone i przetwarzane przez algorytm rozszerzonego filtru Kalmana (Extended Kalman Filter) [1], który zwraca informację o szacowanym położeniu.

Łazik wyposażony jest w dwie kamery głębi Intel RealSense, pozwalające na skanowanie otoczenia w czasie rzeczywistym w różnych rodzajach warunkach oświetleniowych. Dane dostarczane przez kamery są reprezentowane poprzez trójwymiarową chmurę punktów, na których przeprowadzana jest dalsza analiza.

Zeskanowane punkty terenu są rzutowane na płaszczyznę. Płaszczyzna reprezentowana jest przez macierz, której każdy element reprezentuje niewielki kwadrat terenu o wielkości kilku centymetrów. Wartości elementów macierzy odpowiadają maksymalnej wysokości punktu terenu, który nad nim się znajduje. W ten sposób powstaje mapa wysokości przeszkód w obszarze zeskanowanym przez łazik (rys.2.b).

Dla każdego punktu utworzonej mapy możemy zdefiniować pewne otoczenie. Dla każdego takiego otoczenia obliczana jest wartość, która reprezentuje trudność przejechania przez środek obszaru. Funkcja obliczająca trudność bierze pod uwagę nachylenie i nierówność rozpatrywanego fragmentu terenu, a także gabaryty łoża. Jej współczynniki dobrane zostały eksperymentalnie, bazując na obserwowanych przejazdach. Efektem końcowym jest nowa macierz, której każdy element informuje o trudności pokonania odpowiadającemu mu fragmentu terenu (rys.2.c).



Rys. 2. Przykład autonomicznej detekcji przeszkód, a) łożak oraz środowisko testowe w symulacji, b) wizualizacja mapy wysokości i fragmentu chmury punktów (na dole), c) wizualizacja mapy przejezdności terenu i fragmentu chmury punktów (na dole)

Korzystając z tak przygotowanej mapy, znajdowana jest ścieżka o minimalnej trudności przejazdu. Robot stara się nią podążać, nieustannie otrzymując nowe informacje na temat terenu. W przypadku zidentyfikowania nowej trasy, o odpowiednio niższym koszcie, oprogramowanie podejmie decyzję o jej podmianie.

Autonomiczne zachowania robota zostały podzielone na stany. W każdym stanie robot wykonuje inne zadania, takie jak m.in. jazda autonomiczna, wyszukiwanie znaczników, podjazd pod znacznik, przejazd przez bramkę. Sposób w jaki łożak realizuje swój przejazd został zaimplementowany w postaci maszyny stanów, dzięki czemu logika przejazdu jest wygodnie konfigurowalna.

3.2. Symulacja

Rozwijanie oprogramowania związanego z nawigowaniem łazikiem w terenie jest trudne ze względu na potrzebę częstego przygotowywania i wyjeżdżania robotem w odpowiednie dla testów środowisko. Aby poprawić efektywność pracy, przygotowana została symulacja komputerowa w środowisku *Gazebo* (rys. 2a) z możliwością wizualizacji w programie *RViz* (rys. 2b, 2c), w których symulowany jest robot i jego otoczenie. Oprogramowanie współpracuje ściśle z technologią ROS. Kiedy osiągnięte zostaną satysfakcjonujące rezultaty w symulacji, przystępuje się do testów w rzeczywistości.

4. SEKCJA SCIENCE

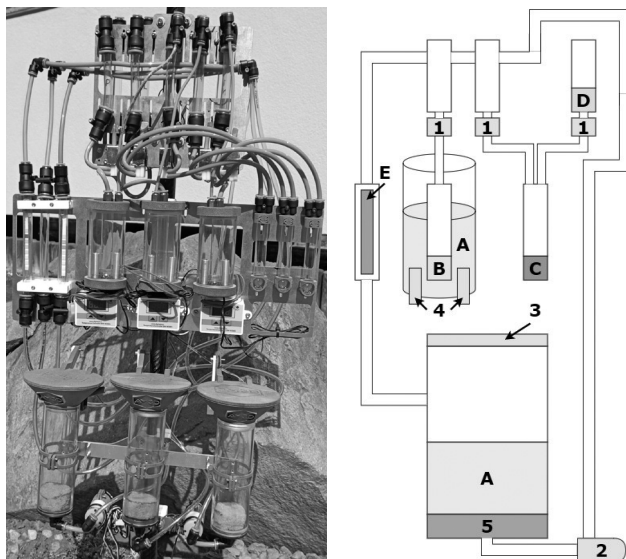
Sekcja Science zajmuje się przede wszystkim analizą gleby na badanym terenie, a ponadto mapowaniem jego geomorfologii i geologii. Aby umożliwić wykonanie tego zadania, łazik Kalman został wyposażony w szereg rozwiązań. Pierwszym krokiem w analizie gleby jest akwizycja jej próbek, co jest dokonywane poprzez użycie łyżki mocowanej do ramienia robota. Zebrany materiał zostaje przetransportowany do mobilnego laboratorium.

4.1. Mobilne laboratorium

Jednym z podstawowych zadań łazika jest poszukiwanie śladów życia, z rozróżnieniem na obumarłą i żywą materię organiczną. W tym celu podczas zawodów URC 2022 w mobilnym laboratorium (rys. 3) jako odczynniki wykorzystane zostały ninhydryna do wykrywania białek i denaturacja do wykrywania protein, oraz wielofunkcyjne paskowe testy chemiczne, które służą do wykrywania obecności nitratów oraz pomiaru Ph [2].

Próbka gleby jest pobierana za pomocą specjalnej łyżki zamontowanej na mechanicznym ramieniu. Następnie uszczelka (3) otwiera się, a próbkę miesza się z wodą (A). Powstała mieszanina jest przepompowywana przez filtr (5) za pomocą małej pompy (2) do dwóch pojemników. Następnie płynie z powrotem do początku przez rurę z uniwersalnym paskiem testowym (E). Po zmianie koloru paska pompa zostaje zatrzymana, a dwa skrajne lewe zawory (1) zostają zwolnione. Część filtratu miesza się z 1% roztworem ninhydryny w 50% etanolu, obniżonym do 5 pH 5% kwasem octowym (B). Reakcja ninhydrynowa

zachodzi poprzez podgrzanie do 90°C, które realizowane jest za pomocą grzałek (4), podgrzewających wodę wokół pojemnika. W tym samym czasie kolejna część filtratu miesza się z 2 molami NaOH (C). Następnie uwalniany jest 5% kwas octowy (D), który rozpoczyna reakcję denaturacji.



Rys. 3. Po lewej widnieje zdjęcie złożonego zestawu dla trzech próbek, po prawej uproszczony schemat zastosowanego systemu dla jednej próbki

O wynikach testu ninhydryny implikuje kolor uzyskany po reakcji w próbce (B) – fioletowy, różowy bądź żółty świadczy o obecności aminokwasów. Pozwala to stwierdzić obecność obumarłej materii organicznej [3]. W drugim teście (C) wszelkie białka, jeśli są obecne w próbce, są denaturowane przy użyciu 5% kwasu octowego z dodatkiem 2-molowego wodorotlenku sodu. Dzięki temu są widoczne w makroskali i możliwe do zaobserwowania. Pozwala to stwierdzić obecność żywej materii organicznej [2].

Wykorzystywane metody były wybierane i udoskonalane na podstawie eksperymentów odzwierciedlających warunki terenowe, znacznie różniących się od laboratoryjnych. Przykładem takich badań są testy roztworu ninhydryny, który był używany na poprzednich zawodach Rover Challenge do wykrywania aminokwasów, jednak jego działanie nie zawsze było wiarygodne. Z tego powodu zespół skupił się na testowaniu wpływu różnych parametrów, takich jak

temperatura, pH, zanieczyszczenie próbki, ruch łazika i stężenie czynników. To pozwoliło nam wywnioskować, że najlepsze działanie można uzyskać dodając 4 ml 5% kwasu octowego na 100 ml roztworu do uzyskania pH równego 5,5.

4.2. Kamera makro

W celu nieinwazyjnej analizy geologii i geomorfologii otoczenia wykonuje się zdjęcia 360°, co jest umożliwione poprzez umiejętność łazika do obrotu w miejscu. Zdjęcia z bliska skałom i innym interesującym obiektom są uzyskiwane za pomocą kamery o zwiększonym przybliżeniu, która jest zamontowana na chwytaku manipulatora (rys. 4.).



Rys. 4. Po lewej widnieje zdjęcie kamery zamocowanej na chwytaku manipulatora, po prawej przykład wykonanego zdjęcia

4. PODSUMOWANIE

Wprowadzane modernizacje podzespołów łazika Kalman zwiększają jego zdolności do wykonywania zadań takich jak autonomiczne przejazdy albo poszukiwanie śladów życia. Ponadto, rozwiązania pokroju standardu MiniRack usprawniają obsługę konstrukcji, co pozwala na osiągnięcie sukcesów na polu międzynarodowym. Czwarte miejsca osiągnięte podczas zawodów European Rover Challenge 2021 oraz University Rover Challenge 2022 motywują nasz zespół do dalszego rozwoju projektu.

Referat pt. „Łazik Kalman - Elektronika, Software oraz Science” – autorstwa Mateusza Olszewskiego, Szymona Bednorza i Miłosza Łagana, został ogłoszony na LIX Sesji Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH

w Sekcji Aeronautyki i Technologii Kosmicznych oraz wyróżniony II nagrodą.
Opiekun naukowy referatu: dr Mariusz Gibiec.

LITERATURA

- [1] Fujii K.: *Extended Kalman Filter*. The ACFA-Sim-J Group, 2005.
- [2] Nevey M., Hays L.E., Voytek M.A., New M.H., Schulte M.D.: *The Ladder of Life Detection*. Astrobiology, 2018.
- [3] Bada J.L., McDonald G.D.: *Amino acid racemization on Mars: implications for the preservation of biomolecules from an extinct martian biota*, Icarus, 1995.

OPRACOWANIE PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH PROCESU KUCIA I WALCOWANIA STOPU WYSOKOENTROPOWEGO FeMnNiCoMo Z PRZEZNACZENIEM DO ZASTOSOWAŃ MILITARNYCH

Bartłomiej Pabich ¹, Kamil Cichocki ², Łukasz Lisiecki ³,
Krzysztof Muszka ⁴, Piotr Bała ⁵

1. WSTĘP

Materiały używane do ochrony balistycznej, zarówno zbiorowej jak i osobistej, mają za zadanie pochłaniać energię wybuchową i kinetyczną oraz zapewniać dużą odporność na uderzenia amunicją [2, 3]. Nową klasą materiałów o obiecujących własnościach, spełniającą wymagania stawiane materiałom na pancerze są tzw. stopy wysokoentropowe [3]. Istnieją dwie definicje stopów wysokoentropowych. Pierwsza definicja bazuje na entropii konfiguracji, która powinna być większa niż $S_{konf} = 1,5 R$ (R – stała gazowa), druga natomiast określa je jako stopy złożone z co najmniej 5 głównych pierwiastków, których zawartość atomowa mieści się w przedziale od 5 do 35% [4].

Prezentowana praca badawcza miała na celu wytworzenie płaskownika ze stopu wysokoentropowego o określonych wymiarach na drodze przeróbki plastycznej a następnie poddanie go testom balistycznym.

1 student, Koło Naukowe Hefajstos, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, AGH

2 doktorant, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

3 dr inż., adiunkt, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

4 dr hab. inż. prof. AGH, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

5 dr hab. inż. prof. AGH, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, AC-MiN AGH

Na podstawie publikacji oraz wcześniejszych badań [1, 5], obejmujących obliczenia termodynamiczne, wykonano wyciski modelowe oraz zbadano mikrostrukturę i własności mechaniczne stopu $(\text{FeMnNiCo})_{100-x}\text{Mo}_x$. Jako materiał do dalszych badań wybrano stop o stężeniu 5% Mo, który wykazał najlepszą kombinację własności wytrzymałościowych oraz plastycznych.

2. PROCEDURA BADAWCZA

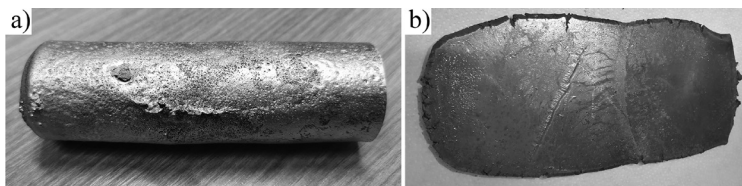
2.1. Wytworzenie materiału badawczego

Przy współpracy z Siecią Badawczą Łukasiewicz – Krakowski Instytut Technologiczny, wytopiono cylindryczny wlewki o składzie chemicznym $(\text{FeMnNiCo})_{95}\text{Mo}_5$ o masie 1 kg i średnicy 35 mm. Wytap odbył się przy pomocy elektrycznego pieca indukcyjnego Ultraflex Ultramelt 300. Tygiel użyty podczas wytapu wykonany był z krzemianu cyrkonu z powłoką tlenku cyrkonu. Następnie, celem ujednolodnienia składu oraz struktury, wlewki poddano wyżarzaniu w temperaturze 1100°C przez 24 godziny, a następnie chłodzeniu na powietrzu.

2.2. Przeróbka plastyczna wlewka

2.2.1. Kucie

Po obróbce cieplnej wlewki poddano kuciu na Laboratoryjnej Prasie Hydraulicznej 500T. Temperatura kucia wynosiła 1100°C, temperatura narzędzi 200°C, prędkość narzędzia roboczego 20 mm/s. W celu zmniejszenia wpływu tarcia i zwiększenia poszerzenia materiału narzędzia pokryto smarem grafitowym.



Rys. 1. Wytapiony wlewki ze stopu $(\text{FeMnNiCo})_{95}\text{Mo}_5$:
a) w stanie odlanym, b) przerobiony plastycznie

Proces kucia odbywał się w dwóch etapach rozdzielonych dogrzewaniem międzyoperacyjnym. Pierwszy etap obejmował przekucie wlewka ze średnicy

35 mm na wysokość 15 mm. Drugi etap polegał na zredukowaniu wysokości z 15 mm do 8 mm. Na Rysunku 1 przedstawiono wlewki przed oraz po operacji kucia swobodnego.

2.2.2. Walcowanie

Kolejnym etapem przeróbki plastycznej wlewki było walcowanie na Walcarce Laboratoryjnej Kwarto, wyposażonej w walce robocze kute o średnicy 100 mm i walce oporowe o średnicy 400 mm. Temperatura walcowania wynosiła 1100°C, natomiast prędkość obrotowa walców 50 obr./min.

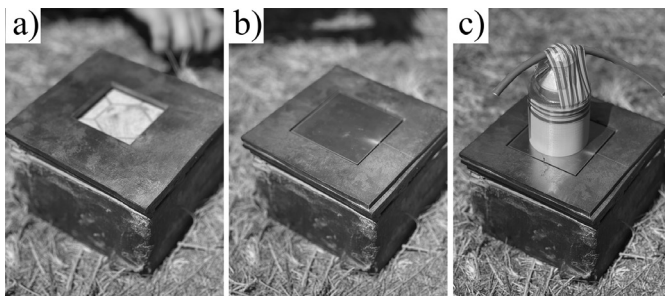
Przed walcowaniem krawędzie wsadu przeszlifowano, w celu zapobiegnięcia propagowania pęknięć występujących na krawędziach. Walcowanie odbyło się w 6 przepustach z gniotem 0,5 mm, redukując wysokość wsadu z 8 mm do 5 mm, między każdym przepustem następowało dogrzewanie materiału. Z tak otrzymanego materiału wycięto płaskownik o wymiarach 15×15×5 mm.

2.3. Testy balistyczne

Następnie przy współpracy z Kołem Naukowym Konstrukcji Militarnych ADAMANTIUM utworzono dwa kompozyty warstwowe: pierwszy złożony z płyty ze stali S355 o grubości 80 mm, nazywaną „świadek” ponieważ ma ona na celu pochłonięcie pozostałej energii wybuchu oraz uformowanie kanału penetracyjnego, ceramicznych płytek Al_2O_3 o grubości 9,6 mm oraz płaskownika ze stopu wysokoentropowego $(FeMnNiCo)_{95}Mo_5$. W drugim kompozycie płytę ze stopu wysokoentropowego zastąpiono płytą stalową S355 o grubości 10 mm.

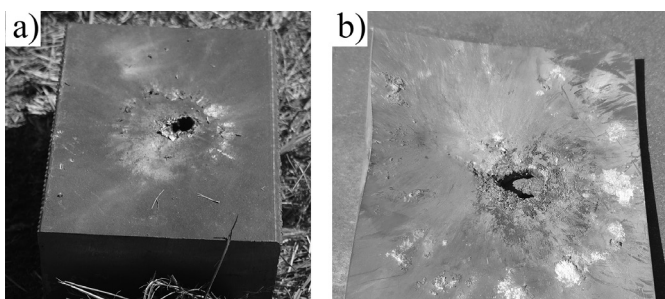
Testy balistyczne odbyły się w Laboratorium Techniki Strzelniczej i Materiałów Wybuchowych AGH w Regulicach. Do testów balistycznych użyto ładunków kumulacyjnych używanych w górnictwie, mających na celu zasymulowanie trafienia materiału przez pocisk przeciwpancerny typu HEAT (ang. *High-Explosive Anti-Tank*), który penetruje pancerz poprzez wytworzenie tzw. strumienia kumulacyjnego [2].

Badaniu poddano oba wytworzone kompozyty oraz płytę ze stali S355 o grubości 80 mm, użytej jako materiał referencyjny. Rysunek 2 przedstawia kompozyt ze stopem wysokoentropowym przed próbą balistyczną. Na rysunku 2c widoczny jest ładunek kumulacyjny z dystansem, zapewniający odpowiednią odległość do wytworzenia strumienia kumulacyjnego.



Rys. 2. Kompozyt warstwowy z widoczną: a) ceramiką Al_2O_3 , b) płaskownikiem ze stopy wysokoentropowego, c) ładunkiem kumulacyjnym wykorzystanym do próby balistycznej

Po wykonaniu testów balistycznych płytę „świadek” przecięto w celu określenia głębokości kanału penetracyjnego, a płaskownik ze stopu $(\text{FeMnNiCo})_{95}\text{Mo}_5$ poddano badaniom twardości oraz badaniom mikrostruktury i tekstury z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej i detektora elektronów wstecznie rozproszonych (*Electron BackScattered Diffraction* – EBSD). Na rysunku 3 przedstawiono płytę referencyjną oraz płaskownik ze stopu wysokoentropowego z widocznymi otworami penetracyjnymi.



Rys. 3. a) płyta referencyjna po próbie balistycznej, b) płaskownik ze stopy $(\text{FeMnNiCo})_{95}\text{Mo}_5$ po próbie balistycznej

3. DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

Po próbach balistycznych zdolność materiału do przechwytywania energii wybuchu określono obliczając efektywność gabarytową [TE] oraz efektywność masową [ME]. Obliczenia wykonano dla analizowanych układów oraz każdego materiału osobno, do obliczeń użyto następujących wzorów (1, 2):

Efektywność gabarytowa:

$$TE = \frac{h_0}{\sum_{i=1}^x g_i \cdot h_i} \quad (1)$$

Efektywność masowa:

$$ME = \frac{h_0 + \rho_0}{\sum_{i=1}^x g_i \cdot \rho_i + h_1 \cdot \rho_0} \quad (2)$$

gdzie: h_0 – głębokość kanału penetracyjnego płyty referencyjnej,
 g_i – grubość poszczególnego elementu układu (poza płytą świadek),
 h_1 – głębokość kanału penetracyjnego w płycie świadek układu,
 ρ_0 – gęstość płyty referencyjnej,
 ρ_i – gęstość materiału w układzie.

Parametry oraz obliczone efektywności przedstawiono w tabeli 1 oraz 2, najlepszą efektywność zarówno gabarytową jak i masową osiągnął stop (FeMnNiCo)₉₅Mo₅, wyniosły one odpowiednio 3,42 oraz 3,27.

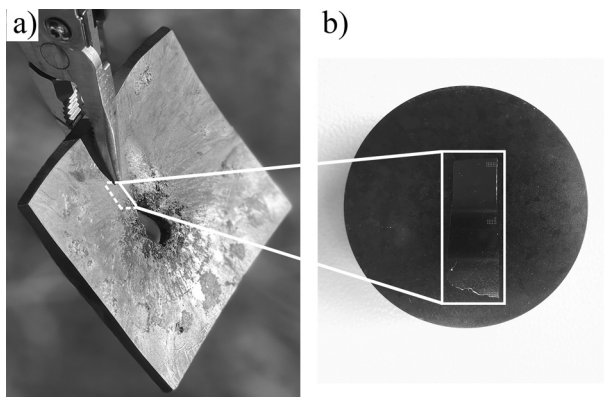
Tabela 1. Skład chemiczny stali 410S zgodny z normą PN-EN 10088 [% wagowy]

L.p.	Układ	Grubość układu g, mm	Głębokość penetracji h, mm	Efektywność układu	
				gabarytowa	masowa
1	Płyta referencyjna	80	51,21	1	1
2	Płyta stalowa	10	29,10	1,07	1,18
	Ceramika Al ₂ O ₃	9,6			
	Płyta świadek	80			
3	Płyta HEA	5	22,15	1,43	1,63
	Ceramika Al ₂ O ₃	9,6			
	Płyta świadek	80			

Tabela 2. Efektywność gabarytowa oraz masowa każdego z materiałów użytego podczas próby balistycznej

L.p.	Materiał	Gęstość g/cm ³	Efektywność	
			gabarytowa	masowa
1	Stal S355	7,85	1	1
2	Ceramika Al ₂ O ₃	3,915	1,37	2,74
3	(FeMnNiCo) ₉₅ Mo ₅	8,20	3,42	3,27

Celem zbadania wpływu efektów próby balistycznej na zmianę własności płaskownika ze stopu wysokoentropowego, przecięto go w miejscu otworu penetracyjnego, a z fragmentu przekroju (rysunek 4a) wykonano zgląd metalograficzny przedstawiony na rysunku 4b.



Rys. 4. a) Płaskownik z zaznaczeniem miejsca płaszczyzny zglądu; b) wykonany zgląd metalograficzny

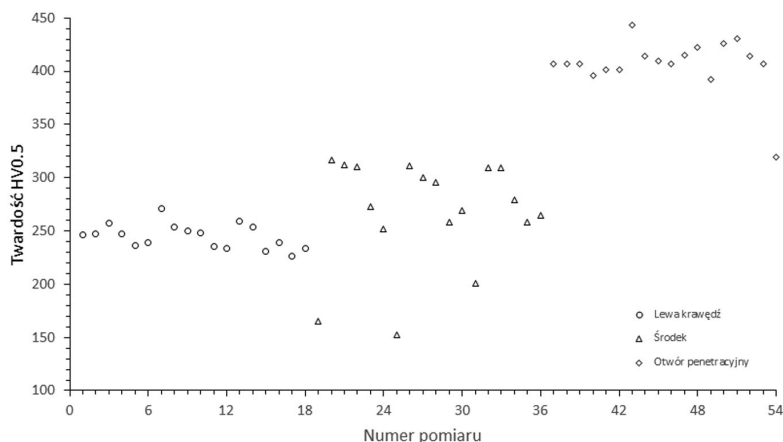
Przeprowadzono pomiary twardości metodą Vickersa przy obciążeniu 0,5 kg. Na powierzchni zglądu wykonano po 18 pomiarów w trzech różnych miejscach: przy krawędzi oddalanej od otworu penetracyjnego, pośrodku zglądu oraz przy otworze penetracyjnym. w tabeli 5 przedstawiono średnie wartości twardości płaskownika przed oraz po próbie balistycznej, natomiast na Rysunku 5 przedstawiono uzyskane wartości twardości.

Tabela 3. Średnie wartości pomiarów twardości HV0.5

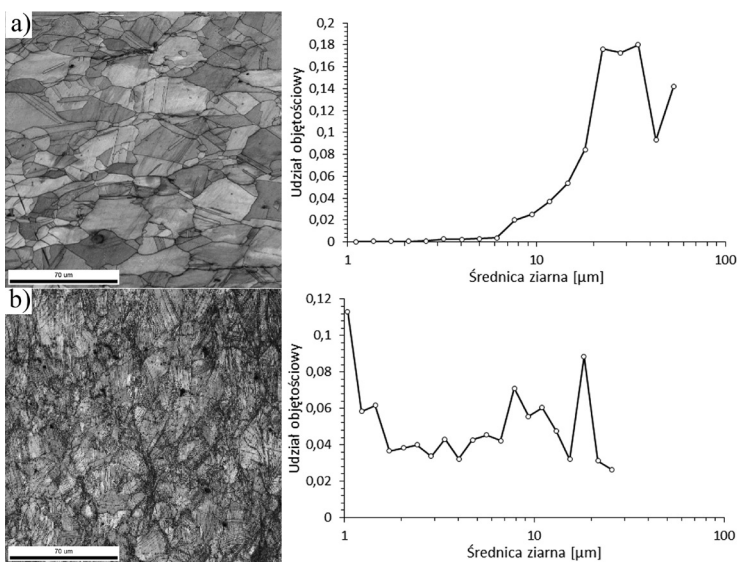
Material	Miejsce pomiaru	Średnia twardość, HV0.5
Płaskownik walcowany	przekrój poprzeczny	150 ±2
Płaskownik po próbie balistycznej	lewa krawędź	245 ±12
	środek	269 ±50
	otwór penetracyjny	407 ±25

Otrzymane wyniki pomiarów twardości ukazują, że w wyniku detonacji ładunku kumulacyjnego płaskownik ze stopu wysokoentropowego uległ umocnieniu, czego dowodzi wzrost twardości z 150 HV0.5 do co najmniej

245 HV0.5. Z wykresu twardości wnioskować można, że bezpośrednie oddziaływanie strumienia kumulacyjnego doprowadziło do osiągnięcia twardości na poziomie 407 HV0.5, przy czym wraz z oddalaniem od otworu penetracyjnego, twardość materiału stopniowo maleje.



Rys. 5. Wykres przedstawiający wartości twardości wykonanych pomiarów



Rys. 6. Mikrostruktura oraz histogram rozkładu wielkości ziarna w płaskowniku w miejscu: a) słabo odkształconym; b) w strefie otworu penetracyjnego

Analizie poddano również mikrostrukturę płaskownika – zarówno na części słabo odkształconej (rysunek 6a) oraz przy otworze penetracyjnym (rysunek 6b). Zdjęcia mikrostruktur oraz histogramy wielkości ziarna wykonano przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego z wykorzystaniem trybu elektronów wstecznie rozproszonych. Otrzymane wyniki ukazują, że struktura materiału w wyniku strumienia kumulacyjnego uległa silnej deformacji oraz rozdrobnieniu. Początkowa średnia średnica ziarna wynosząca około 40 μm uległa rozdrobnieniu poniżej 10 μm .

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Opracowane parametry termodynamiczne pozwoliły na wytworzenie stabilnego stopu wysokoentropowego. Następnie w efekcie procesów przeróbki plastycznej (kucia oraz walcowania) wytworzono płaskownik ze stopu $(\text{FeMnNiCo})_{95}\text{Mo}_5$ o określonych wymiarach, który następnie został wykorzystany do badań balistycznych.

Wyniki prób balistycznych utworzonych kompozytów oraz analiza mikrostruktury i twardości płaskownika po próbach balistycznych, ukazują, że zaprojektowany stop wysokoentropowy wykazuje obiecujące własności wytrzymałościowe i uderzeniowe oraz potencjał w zastosowaniu jako pancerz do ochrony balistycznej.

Referat pt. „Opracowanie parametrów technologicznych procesów kucia i walcowania materiału charakteryzującego się wysoką entropią z przeznaczeniem do zastosowań militarnych” – autorstwa inż. Bartłomieja Pabicha, został wygłoszony na 59. Hutniczej Konferencji Studenckich Kół Naukowych AGH, w sekcji Przeróbki Plastycznej Metali/Metal Forming i zajął 2 miejsce.

LITERATURA

- [1] Cichocki K., Bała P., Kozieł T., Cios G., Schell N., Muszka K.: *Effect of Mo on Phase Stability and Properties in FeMnNiCo High-Entropy Alloys*. Metallurgical and Materials Transactions A, 2022, 53, 1749–1760.
- [2] Galiński C.: *Zasady Działania Podstawowych Typów Pocisków Przeciwpancernych*. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe, 2002, (15) nr. 1, 2002.
- [3] Geantă V., Voiculescu I., Stefănoiu R., Chereches T., Zecheru T., Matache L., Rotariu A.: *Dynamic Impact Behaviour of High Entropy Alloys Used in the*

Military Domain. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, vol. 374, 012041.

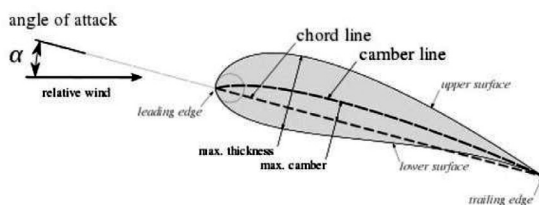
- [4] Gao M.C., Yeh J.W., Liaw P.K., Zhang Y.: *High-entropy alloys: Fundamentals and applications*. 2016, Springer.
- [5] Qin G., Chen R., Zheng H., Fang H., Wang L., Su Y., Guo J., Fu H.: *Strengthening FCC-CoCrFeMnNi high entropy alloys by Mo addition*. Journal of Materials Science & Technology, 2019, 35(4), p. 578–583.

PROCES MODELOWANIA GEOMETRII ŁOPATEK DLA TURBINY WIATROWEJ OPARTEJ NA DZIAŁANIU TRZECH GENERATORÓW

Maciej Tomasz Pietras ¹

1. WSTĘP

Każdy z segmentów łopatki turbiny wiatrowej składa się z dwuwymiarowych szkiców noszących nazwę *airfoil*. Są to elementy mające na celu zapewnienie jak najlepszej nośności łopatki czy skrzydła samolotu. Ten parametr nosi nazwę *lift to drag ratio* [1]. Jest to stosunek unoszenia do oporu dla danej geometrii folii. Jest on poza liczbą Reynoldsa najważniejszym parametrem pozwalającym na dobór folii do układu. Oczywiście każda z folii jest inna i to od konstruktora zależy jaką ostatecznie dobierze. Schemat przykładowej *airfoil* przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat *airfoil* wraz z zaznaczeniem poszczególnych elementów [1]

Na schemacie przedstawiono z czego składa się przykładowa geometria folii. Wśród najważniejszych parametrów wymienia się maksymalne *thickness* oraz *camber*. Camber jest to parametr mówiący o asymetrii folii, są przypadki gdzie wynosi 0 i folie te nazywane są symetrycznymi. W przypadku *thickness* chodzi o grubość folii, czyli o to ile w % wynosi jej maksymalny przekrój licząc prostopadłe do dwóch końców łopatki. Końce te noszą odpowiednio nazwy

¹ student, inż., Koło Naukowe Eko-Energia, Wydział Energetyki i Paliw, AGH

leading oraz *trailing edge*. *Chord line* jest to linia je łącząca mająca w przypadku każdej *airfoil* tą samą wartość wynoszącą 100 mm w podstawowej pobranej wersji pliku. Kątem ataku nazywamy kąt nachylenia linii łączącej dwa końce folii (*chord line*) z kierunkiem przepływu płynu. W pracy oparto się jedynie na *airfoil* stworzonych przez amerykański komitet do spraw aeronautyki. Są to folie ogólnodostępne, możliwe do pobrania na stronie [2]. Ich nazwy opierają się na parametrach *thickness* oraz *camber*. Biorąc pod uwagę folię NACA 4412 zauważa się, że jej maksymalna grubość wynosi 12%, a *camber* 4%.

Każda z *airfoil* wymaga wstępnego określenia liczby Reynoldsa dla układu. Liczbą Reynoldsa nazywa się stosunek sił lepkości do sił bezwładności. W przypadku *airfoil* zauważa się, że każdy ich typ przeznaczony jest do innych przedziałów liczby Reynoldsa [3].

Zatem stwierdza się, że dobór liczby Reynoldsa na starcie eliminuje większość *airfoil* nie pasujących do zadanych parametrów układu.

Kolejnym z ważnych dla pracy turbin wiatrowych parametrów jest *tip speed ratio*. Jest to stosunek prędkości obserwowanej na końcu łopatki do prędkości napływu płynu. W przypadku wyboru zbyt małej wartości łopatki przy niższych prędkościach wiatru spotkają się ze znacznymi oporami co nie pozwoli im się ruszyć. W przypadku zbyt wysokich wartości tego parametru łopatki przy większych prędkościach wiatru będą zachowywać się jak tarcza co nie będzie sprzyjać wywarzaniu mocy elektrycznej. Patrząc na możliwości wytwarzania energii podaje się, że najlepszą wartością *tip speed ratio* jest 4. Uważa się to za poziom, gdzie maksymalna ilość energii może zostać wytworzona rozpatrując przedział wiatru od 3 do 15 m/s. Jednak w przypadku mini turbin wiatrowych wartości te powinny osiągać od 6 do 8 [4]. Pozwoli to na uzysk większej mocy przy niższych prędkościach wiatru. Wybór tego parametru polega często na dostosowaniu się do warunków atmosferycznych panujących na obszarze gdzie turbina ma pracować. Tym mniejsze są średnie roczne wartości wiatrów to tym większa wartość *tip speed ratio* powinna być zastosowana w celu maksymalizacji uzyskanej mocy.

2. DOBÓR AIRFOIL

Pracę nad łopatkami turbiny wiatrowej opartej o działanie trzech generatorów rozpoczęto od doboru liczby Reynoldsa. Parametr ten pozwolił na ominięcie szerokiego zakresu *airfoil* nie mieszczących się blisko otrzymanej

wartości. Obliczenie liczby Reynoldsa odbyło się za pomocą ogólnodostępnego internetowego kalkulatora [2]. Założono optymalną prędkość wiatru jako 8 m/s oraz lepkość kinematyczną dla powietrza w warunkach standardowych. W przypadku wymiaru charakterystycznego przeprowadzono wstępną symulację łopatek i do dalszych obliczeń przyjęto najdłuższą cięciwę (chord line) segmentu próbnej łopatki wynoszącą 0,2 m. Na rysunku 2 przedstawiono interfejs kalkulatora [2] oraz wynik kalkulacji.

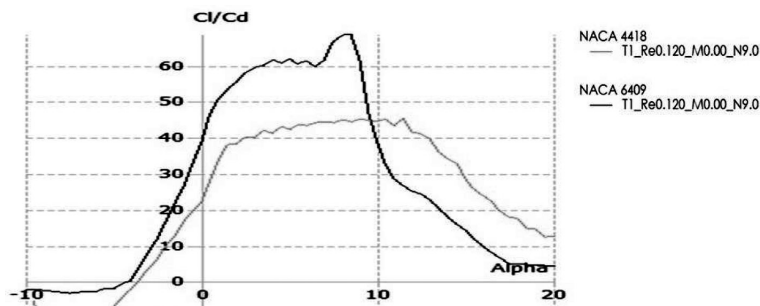
Velocity	8	m/s	17.895 mph	28.8 kph
Chord width	0.2	m	0.65617 ft	7.874 in
Kinematic Viscosity	1.4207E-5	m ² /s	1.529e-4 ft ² /s	
Reynolds Number		112,621		
		Calculate		

Rys. 2. Wynik kalkulacji liczby Reynoldsa za pomocą internetowego kalkulatora

Otrzymana wartość wynosząca około 112 tysięcy ostatecznie została zaokrąglona do 120 tysięcy. Założono wtedy możliwość występowania większych prędkości wiatru nawet do 10 m/s. Przyjmując liczbę Reynoldsa zaczęto testować kolejno wszystkie możliwe ogólnodostępne modele *airfoil* mieszające swoje maksymalne osiągi aerodynamiczne w przedziale od 100 do 200 tysięcy. Parametrem, który decydował o tym, która *airfoil* będzie najlepsza dla turbiny wiatrowej był stosunek *lift to drag ratio*. Stwierdzono, że tym większa jest nośność łopatki to tym większą moc jest w stanie wygenerować. Posłużono się tutaj także artykułem naukowym [5]. Jego autorzy przeprowadzili badania pod kątem zastosowań *airfoil* dla miniaturowych turbin wiatrowych. Ich wnioski mówią o tym, że najlepsze *airfoil* posiadają stosunek thickness to camber wynoszący około 0,85–1,5. Teza ta została także potwierdzona ponieważ najlepszą ogólnodostępną *airfoil* okazała się NACA 6409 mająca stosunek wynoszący 1,5. Na rysunku 3 przedstawiono wynik symulacji pokazujący zależność *lift to drag ratio* w zależności od kąta ataku.

W przypadku *airfoil* NACA 4418 nie jest ona najlepszym wyborem dla turbin wiatrowych jeżeli chodzi o sam parametr nośności. Została jednak wybrana na segmenty zlokalizowane najbliżej wirnika w celu zmniejszenia kąta między wirnikiem, a łopatką. W literaturze [6] podano, że bliżej osi wirnika należy zastosować *airfoil* o większej grubości, a małej asymetryczności. Schodząc powoli w segmenty oddalone od wirnika ważniejsza staje się nośność. Postawiono w ten

sposób na *airfoil* NACA 6409 posiadającą najlepsze parametry aerodynamiczne dla otrzymanej liczby Reynoldsa wśród ogólnodostępnych *airfoil*. Pozwala to zwiększyć sprawność aerodynamiczną oraz osiągi turbiny.



Rys. 3. Wykres stosunku *lift to drag ratio* w zależności od kąta ataku dla wybranych *airfoil*

3. DOBÓR *TIP SPEED RATIO*

Dla turbiny wiatrowej opartej na działaniu trzech generatorów najważniejszym parametrem startowym, który posłużył za dobór *tip speed ratio* jest punkt pracy generatorów określany na prędkość obrotową wynoszącą około 580 obrotów na minutę. Założono także optymalną prędkość wiatru jako 8 m/s oraz za promień wirnika przyjęto 0,8 m. W ten sposób dokonano wstępnego obliczenia *tip speed ratio* za pomocą wzoru [5]:

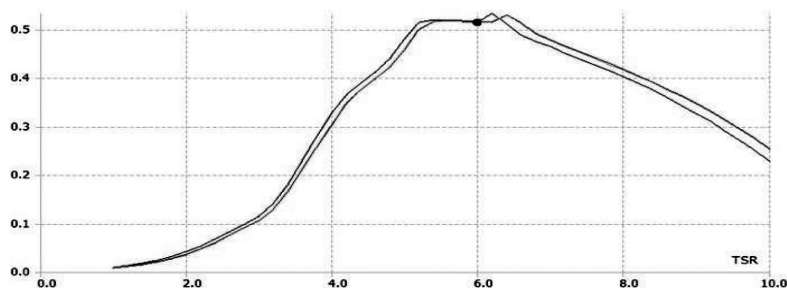
$$TPS = \frac{\omega \cdot R}{v} \quad (1)$$

gdzie: ω – prędkość obrotowa generatorów, rad/s,
 R – promień wirnika, m,
 v – optymalna prędkość wiatru, m/s.

Po wstępnym doborze kolejnym krokiem była symulacja pozwalająca stwierdzić czy dobrana wartość jest optymalna dla zadanych warunków pracy. Na rysunku 4 został przedstawiony wynik symulacji współczynnika efektywności w zależności od *tip speed ratio*.

Na wykresie zauważono, że dobrana wartość *tip speed ratio* pozwala na osiągnięcie prawie największej wartości sprawności aerodynamicznej w całym

przedziale. Wyjątkiem jest *tip speed ratio* wynoszące 6.2. Literatura [5] wskazuje jednak, że wartości *tip speed ratio* od 6 do 8 są najbardziej optymalne dla mini turbin wiatrowych. Ostatecznie przyjęto wartość 6, a nie 6.2 biorąc pod uwagę wyraźny spadek sprawności występujący po tym punkcie.



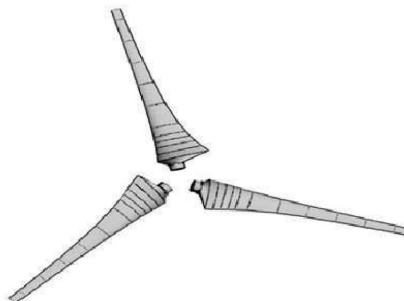
Rys. 4. Wykres stosunku *lift ot drag ratio* w zależności od kąta ataku dla wybranych *airfoil*

W doborze przyjęto także obszar zastosowania turbiny jako okolice Krakowa. Są to tereny, na których występuje słaby wiatr co potwierdza sens zastosowania wysokiej wartości *tip speed ratio*.

4. PROJEKT ŁOPATKI

Na rysunku 5 przedstawiono finałowy projekt łopatek wykonany w oprogramowaniu QBlade.

	Pos (m)	Chord (m)	Twist	Foil
1	0.000	0.050	31.98	Circular Foil
2	0.025	0.050	31.98	Circular Foil
3	0.050	0.181	31.98	NACA 4418
4	0.079	0.154	24.93	NACA 4418
5	0.108	0.133	19.75	NACA 4418
6	0.133	0.119	16.33	NACA 4418
7	0.157	0.107	13.68	NACA 4418
8	0.198	0.092	10.19	NACA 4418
9	0.297	0.068	7.90	NACA 6409
10	0.395	0.054	4.86	NACA 6409
11	0.494	0.044	2.87	NACA 6409
12	0.593	0.037	1.47	NACA 6409
13	0.692	0.033	0.45	NACA 6409
14	0.740	0.031	0.04	NACA 6409



Rys. 5. Dane wyjściowe modelu łopatki

Na rysunku 5 zaprezentowano wyniki wyjściowe dotyczące geometrii łopatek. Zauważono, że łopátka zbudowana jest poprawnie jeżeli chodzi o kolejność segmentów. Każdy następny segment posiada niższy kąt niż poprzedni co jest warunkiem otrzymania poprawnych warunków aerodynamicznych przez model. W żadnym wypadku nie występują także kąty ujemne mówiące o tym, że występuje przewaga sił oporu nad siłami unoszenia. Jest to najniebezpieczniejsze zjawisko, ponieważ znacząco obniża moc elektryczną odbieraną z turbiny (symulacje pokazały, że jest to około 30%). W przypadku mocowania wirnika turbiny założono średnicę wynoszącą 100 mm. W miejscu tym zastosowano folię kołową zmniejszającą masę łopátki, a nie wpływającą na parametry aerodynamiczne (fragment ten został zasłonięty piastą). Kolejna folia NACA 4418 pozwala na zmniejszenie startowego kąta ataku w związku ze swoją grubością. Kąt ten i tak jest duży w stosunku z tym podawanym przez literaturę [6] jednak liczne symulacje pokazały, że opcja ta jest zadowalającą jeżeli chodzi o wyjściową moc elektryczną. Na fragmencie znajdującym się najdalej od osi wirnika zastosowano *airfoil* NACA 6409 w celu uzyskania jak największej nośności na końcu łopátki.

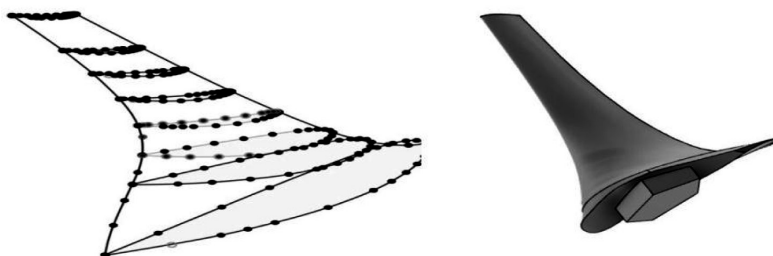
5. EKSPORT DANYCH I UPRASZCZANIE GEOMETRII

W przypadku modelu zrobionego w programie QBlade geometrię można wyeksportować na dwa sposoby. Jednym z nich jest eksport jako plik o rozszerzeniu STL (druk 3D). Drugim natomiast jest eksport danych przy pomocy notatnika pokazującego jakie *airfoil* zostały użyte na jakich współrzędnych i pod jakim kątem są nachylone. Obie metody mają swoje wady i zalety. Pliki STL dają od razu wygląd geometrii 3D, która może zostać wydrukowana. Jednak najczęściej pliki te są uszkodzone po eksporcie i wymagają naprawiania lub często upraszczania pewnych krawędzi. Druga z metod jest czasochłonna, lecz bardziej dokładna. Plik tekstowy z danymi pozwala nam na narysowanie łopátki w programach typu CAD w 3D (np. Fusion 365 lub Autodesk Inventor). Cały proces polega na stworzeniu liczby płaszczyzn odpowiadającej liczbie segmentów łopátki.

Płaszczyzny te odsuwa się od siebie zgodnie z podanymi w pliku koordynatami. Na każdej z nich importuje się odpowiednią *airfoil* jako splajn, a następnie skaluje oraz nadaje odpowiedni kąt.

Każdy z segmentów należy także uprościć nadając wymiar dla *trailing edge*. QBlade domyślnie nadaje go jako zero co jest później problematyczne w przypadku analizy wytrzymałościowej w programie Ansys Workbench.

Wartość ta powinna być jak najniższa, ale większa niż 0,3 mm. Po odpowiednim przygotowaniu każdej z płaszczyzn należy stworzyć splajn konstrukcyjny 3D łączący przynajmniej *trailing* oraz *leading edge* dla każdej płaszczyzny. Oczywiście tym większa liczba takich „torów” to geometria jest dokładniejsza. Schemat procesu konstruowania łopatek za pomocą oprogramowania Autodesk Fusion 360 pokazano na rysunku 6.

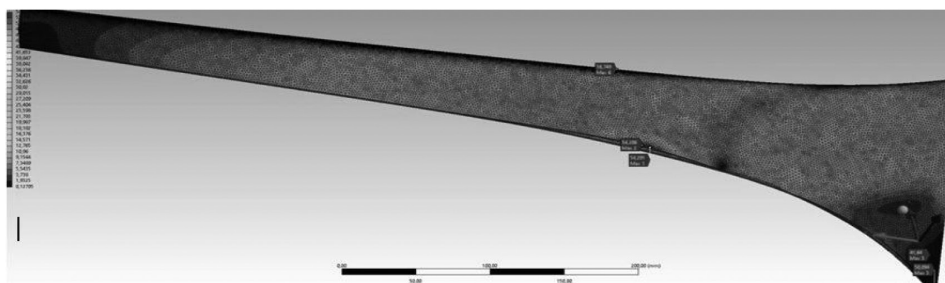


Rys. 6. Schemat procesu konstrukcji łopatek przy pomocy Autodesk Fusion 360 wykonany przez AGH Eko-Energia

6. SYMULACJA MES

W celu zbadania wytrzymałości otrzymanego modelu na zadane warunki krytyczne posłużono się oprogramowaniem Ansys Static Structural opierającym swoje działanie na metodzie elementów skończonych. Pierwszą czynnością przygotowującą do analizy wytrzymałościowej było sprawdzenie poprawności skonstruowanego modelu. W tym celu przeprowadzono dyskretyzację za pomocą siatki numerycznej całej geometrii zaprojektowanego modelu. Model ten w symulacji końcowej został znacząco uproszczony. Pozbyto się elementów, które wytrzymałościowo nie miały możliwości, żeby nie wytrzymać zadanych warunków krytycznych. Analizę wytrzymałościową przeprowadzono w celu uzyskania informacji na temat naprężeń panujących na łopacie oraz w jej wyniku dobrano odpowiednią grubość warstw włókna węglowego zastosowanego do budowy łopaty. W ten sposób jako model końcowy przyjęto łopatkę o grubości ścian 1,5 mm pustą w środku. Jako zadane warunki krytyczne określono prędkość obrotową 900 obrotów na minutę oraz prędkość wiatru wynoszącą 15 m/s. Do warunków brzegowych modelu dołączono także przyspieszenie grawitacyjne wynoszące $9,81 \text{ m/s}^2$ oraz moment utwierdzenia wynoszący 7,46 Nm w przeliczeniu na jedną łopatkę skierowany przeciwnie do osi obrotu. Jako symulowany

materiał przyjęto miedź. Jest to dosyć nietypowe rozwiązanie pozwalające na wzięcie poprawki na niedokładne wykonanie modelu w rzeczywistości. Jest to związane z brakiem doświadczenia z włóknem węglowym wśród osób wykonujących projekt. Wybrano miedź jako materiał symulowany, ponieważ posiada ona około 2 razy większe naprężenia od włókna węglowego. Przeprowadzona symulacja pozwoliła na sprawdzenie 1,5 mm warstwy włókna. Efekt przeprowadzonej symulacji pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Wynik symulacji MES przeprowadzonej w programie Ansys Static Structural

Jak widać na rysunku 7 przeprowadzona symulacja pokazała, że dla warstwy włókna węglowego (biorąc poprawkę na niedokładne wykonanie elementu) 1,5 mm pod wpływem zadanych warunków krytycznych łopata nie wytrzyma obciążenia. W przypadku 2 mm warstwy włókna problem ten nie występuje. Dlatego przyjęto grubość warstw włókna węglowego jako 2 mm. Ciekawostką zaobserwowaną podczas analizy modelu jest to, że wszystkie warunki brzegowe poza prędkością obrotową stanowią 2% całości naprężeń. Dlatego w uproszczeniu można przyjąć, że jedynym czynnikiem powodującym naprężenia na łopacie jest jej prędkość obrotowa.

7. PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki badań dotyczące modelowania geometrii łopat turbiny wiatrowej świadczą o tym, że istnieją wiele parametrów kształtujących ostateczny model. Wśród nich za najważniejsze uważa się *tip speed ratio* oraz liczbę Reynoldsa. Ważnym czynnikiem jest także dobór odpowiedniej *airfoil* w zależności od otrzymanego przedziału liczby Reynoldsa i zakładanej prędkości wiatru. W przypadku dalszych analiz otrzymanego modelu należy geometrię

odpowiednio przerysować oraz uprościć. W przypadku analizy wytrzymałościowej łopatkę model może zostać uproszczony dobierając prędkość obrotową jako jedyny czynnik powodujący naprężenia podczas ruchu obrotowego. Reszta zadanych w pracy warunków brzegowych stanowi, bowiem jedynie 2% wartości końcowej.

Referat pt. „Proces modelowania geometrii łopatek dla turbiny wiatrowej opartej na działaniu trzech generatorów” – autorstwa Macieja Pietrasa, został wygłoszony na LIX Sesji Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH w Sekcji Energetyki, Techniki Ciepłej i Elektromobilności oraz wyróżniony I nagrodą. Opiekun naukowy referatu: mgr inż. Maciej Żołądek.

LITERATURA

- [1] *Airfoil*. Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Airfoil>, dostęp: 07.06.2022.
- [2] *Airfoil Tools*. <http://airfoiltools.com>. dostęp: 07.06.2022.
- [3] McTavish S., Feszty D., Nitzsche F.: *Evaluating Reynolds number effect in small scale wind turbine experiments*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2013, 120, 81–90.
- [4] Cetin N.S., Yurdusev M.A., Ata R., Ozdomar A.: *Assessment of optimum tip speed ratio wind turbines*. Ege University, Mechanical Engineering Department, Bornova, Izmir, Turkey.
- [5] Osei E.Y., Opoku R., Sunnu A.K., Adaramola M.S.: *Development of High Performance Airfoils for Application in Small Wind Turbine Power Generation*. Mechanical Engineering Department, Kumasi Polytechnic, Ghana.
- [6] Rooij R v., Timmer N.: *Design of Airfoils for Wind Turbine Blades*. Delft University of Technology, The Netherlands.

WŁÓKNISTE PODŁOŻA WĘGLOWE Z AKTYWNĄ POWIERZCHNIĄ JAKO WYPEŁNIENIA USZKODZEŃ TKANKI CHRZĘSTNEJ SYMULUJĄCE PROCES JEJ REGENERACJI

Malwina Furgała ¹, Julia Margielewska ¹, Agnieszka Piontek ¹,
Patrycja Poloczek ², Karolina Wojtanek ¹

1. WSTĘP

Głównym zadaniem tkanki chrzęstnej należącej do grupy tkanek łącznych jest ochrona stawów przed urazami mechanicznymi. Obecnie naukowcy poszukują rozwiązań w dziedzinie inżynierii tkankowej, która może stanowić alternatywę dla inwazyjnych zabiegów chirurgicznych i niedoborów tkanki pochodzącej z Banków Tkanek. Często nowo wytworzona tkanka nie posiada odpowiedniej wytrzymałości i wystarczającej integralności [1].

Rozwój inżynierii tkankowej opiera się między innymi na zastosowaniu w procesie leczenia podłoży stanowiących rusztowanie dla regenerującej się tkanki. Biomimetyzm mikrostrukturalny wymaga zastosowania formy włóknistej naśladującej włókna macierzy zewnątrzkomórkowej (ang. *extracellular matrix*, ECM). Takie podejście spełniają włókniste podłoża wytwarzane metodą wytłaczania i rozdmuchu, elektroprzędzenia czy samoorganizujących się włókien [2]. Oryginalnym podejściem w zakresie naśladowania ECM jest zastosowanie podłoża bazującego na niskomodulowych włóknach węglowych.

Włóknina złożona z mikrometrycznych włókien węglowych może stanowić podłoże dedykowane regeneracji tkanki kostnej lub/i chrzęstnej. Co prawda podłoża te w ograniczonym zakresie stymulują proces regeneracji tkanki chrzęstnej, ale

1 studentka, Koło Naukowe Nucleus, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH

2 studentka, Koło Naukowe Nucleus, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH

możliwość modyfikacji powierzchni węgla daje duże możliwości w zakresie zmian chemicznych i fizycznych włókna. Odpowiednia obróbka wstępna powierzchni węglowych, możliwość szczepienia oraz powlekania włókna dodatkową warstwą np. biopolimeru to metody pozwalające poprawić interakcje komórka-podłoże. Tak przygotowane włókniste podłoża węglowe odznaczają się wysoką biozgodnością, wytrzymałością oraz wysokim współczynnikiem rozwinięcia powierzchni, a pojawiające się ich produkty degradacji są bezpieczne i usuwane przez organizm [1]. Biomimetyzm struktury tkanki chrzęstnej może być realizowany przez odpowiednie modyfikacje powierzchniową włókien węglowych, np. przez zastosowanie polisacharydów lub glikozaminoglikanów [3]. Przykładem jest chitozan, będący hydrofilowym, biogodnym i biodegradowalnym polimerem pochodzenia naturalnego. Bogactwo grup funkcyjnych w tym grup aminowych zawartych w powtarzających się resztach D-glukozaminy czyni go podobnym chemicznie do składnika glikozaminoglikanów występujących w ECM chrząstki. Chitozan wykazuje wysokie właściwości chłonne i antybakteryjne. Połączenie zbieżnego mikrostrukturalnie włóknistego podłoża węglowego i modyfikacja powierzchni włókna przez pokrycie go warstwą mimikującą składnik ECM wydaje się działaniem wskazanym z punktu widzenia regeneracji tkanki chrzęstnej lub pogranicza tkanki chrzęstnej i kostnej. Proces ten ma na celu stymulację regeneracji uszkodzonej tkanki, a zastosowanie chitozanu warunkuje wysoką cytokompatybilność, indukuje reakcje przeciwzapalne oraz działa uśmierzająco względem bólu [3].

Mając na uwadze powyższe przesłanki za cel pracy postawiono otrzymanie biogodnych i biokompatybilnych podłoży z włókien węglowych modyfikowanych powierzchniowo sieciowanym chitozanem. Sprawdzone czy metoda homogenizacji sieciownika: mechaniczna (M) lub przez sonifikację (S) lub czas sieciowania (1, 2, 4, 6 h) wpływają na stan warstwy chitozanowej na powierzchni włókien, jak również na właściwości strukturalne, mikrostrukturalne i biologiczne podłoża, w tym adhezję i proliferację komórek MG-63.

2. MATERIAŁY I METODY

2.1. Przygotowanie podłoży włóknistych do badań

W celu przygotowania podłoży węglowych, roztwór 2% chitozanu (LMW, Sigma-Aldrich) został roztworzony w 1% CH_3COOH (Avantor SA), a następnie przepuszczono go przez filtr strzykawkowy. W kolejnym kroku przygotowano

0,025% roztwór genipiny (Sigma-Aldrich) w buforze fosforanowym (PBS) a następnie zmieszano z nim chitozan w stosunku 2:1. Powstałe mieszaniny podzielono na dwie serie: mieszaną mechanicznie przez 15 min. i sonifikowaną przez 5 minut. Podłoża węglowe w postaci krążków przepłukano za pomocą PBS, a następnie infiltrowano roztworem chitozanu z genipiną. Proces sieciowania trwał odpowiednio: 1, 2, 4, 6 godzin (wilgotność 45%, temperatura 60°C). Referencje stanowiły krążki sieciowane swobodnie na powietrzu i krążki pozbawione modyfikacji genipiną.

2.2. Określenie stopnia usieciowania metodą spektrofotometryczną UV-VIS

Aby oznaczyć stopień usieciowania chitozanu sporządzono roztwór ninhydryny, przygotowując 0.35% v/v roztwór ninhydryny w etanolu, gotowy roztwór przepuszczono przez filtr sterylizacyjny. Następnie przygotowano roztwór o stężeniu 1% chitozanu poddanego suszeniu na powietrzu w 3% kwasie octowym, który stanowił próbkę referencyjną, oraz roztwór chitozanu sieciowanego genipiną (M), oraz (S). Następnie do referencyjnego roztworu chitozanu dodano 1 ml roztworu ninhydryny i umieszczono w łaźni wodnej, gdzie ogrzewano go w temperaturze 80–100°C przez około 10 min. Następnie roztwór w temperaturze 25°C i umieszczono go w kuwecie spektrofotometrycznej i dokonano pomiaru absorbancji, przy długości fali 570 nm. Kolejno wykonano pomiar absorbancji dla próbki referencyjnej folii chitozanowej rozpuszczonej w kwasie octowym i poddanej reakcji z ninhydryną. Analogicznie postąpiono z przygotowanymi próbkami.

2.3. Obserwacja mikrostruktury podłoży modyfikowanych pod mikroskopem optycznym oraz za pomocą SEM

Morfologię włókien wyjściowych jak również włókien węglowych pokrytych warstwą (S)chitozanu lub (M) chitozanu obserwowano przy użyciu mikroskopu cyfrowego (Keyence 134VK) oraz elektronowego mikroskopu skaningowego (Nova NanoSEM, FEI) uprzednio pokrywając je warstwą przewodzącą węgla. Zastosowano powiększenia 350×, 1000×, 5000×, 10 000×, 20 000×.

2.4. Charakterystyka strukturalna powierzchni włókien metodą FTIR-DRIFT

Potwierdzeniem zmian powierzchni włókien węglowych pokrytych warstwą chitozanu było wykonanie badań spektroskopowych (Bruker, Tensor 27)

z wykorzystaniem techniki rozproszonego odbicia (DRIFT). Do roztartego KBr (Fluka) dodawano modyfikowane włókna węglowe a następnie skanowano badaną próbkę celem uzyskania widm absorpcyjnych w zakresie 600–4000 cm⁻¹.

2.5. Badania adhezji i ocena morfologii komórek kontaktowanych z podłożami

Badania biologiczne przeprowadzono na komórkach osteoblastopodobnych MG-63 przy zastosowaniu medium hodowlanego MEM wzbogaconego streptomycyną, a ich hodowla trwała 3 i 7 dni. W celu ocenienia żywotności zastosowano test Vialight®Plus (BioAssay Kit, Lonza, Basel, Szwajcaria). Morfologię komórek kontaktowanych z włóknistymi podłożami oceniano przez barwienie przeżyciowe typu Live/Dead po 24 h i 48 h hodowli zgodnie z procedurą zalecaną przez producenta (Sigma-Aldrich) stosując w tym celu mikroskop fluorescencyjny Olympus 115V.

3. WYNIKI BADAŃ

3.1. Badanie stopnia usieciowania metodą spektrofotometryczną UV-VIS

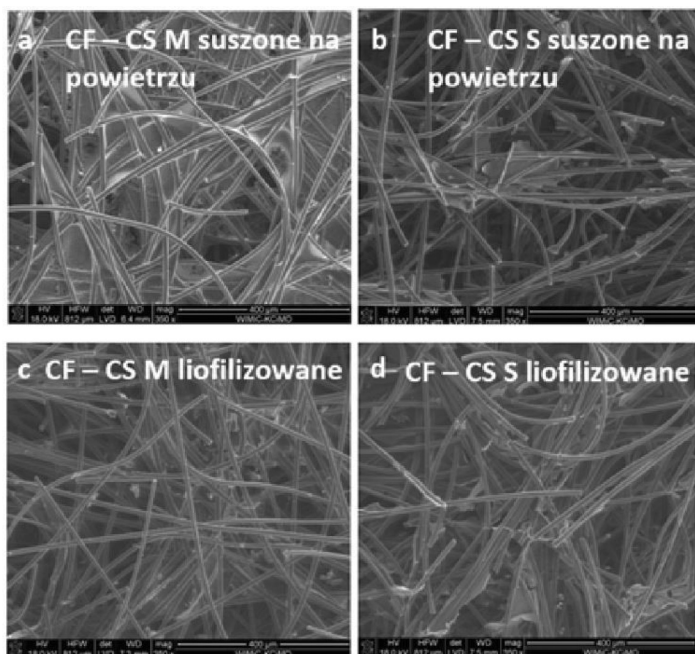
Badania stopnia usieciowania wskazują, że proces ten następuje w czasie krótszym niż jedna godzina (tabela 1). Świadczą o tym porównywalne wartości absorbancji jak i wyznaczone na jej podstawie wartość stopnia usieciowania wynosząca około 42%. Z badań wynika, że lepszą metodą homogenizacji a tym samym skuteczniejszą metodą sieciowania jest (S) niż (M). (S) wpływa na poprawę jednorodności mieszaniny, co rzutuje na wartość stopnia usieciowania.

Tabela 1. Wyniki pomiaru stopnia usieciowania

Czas/sposób homogenizacji czynnika sieciującego	Absorbancja, A570	Stopień usieciowania, %
CSG_1M	0,345	41,5
CSG_2M	0,348	41,6
CSG_4M	0,365	43,5
CSG_6M	0,357	42,6
CSG_1S	0,324	38,7
CSG_2S	0,354	42,2
CSG_4S	0,349	41,7

3.2. Obserwacja mikrostruktury podłoży modyfikowanych za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM)

Modyfikacja powierzchni włókien węglowych prowadzi do powstania warstwy chitozanu na powierzchni włókien jak również zewnętrznej części włókniny (rys. 1a–d).



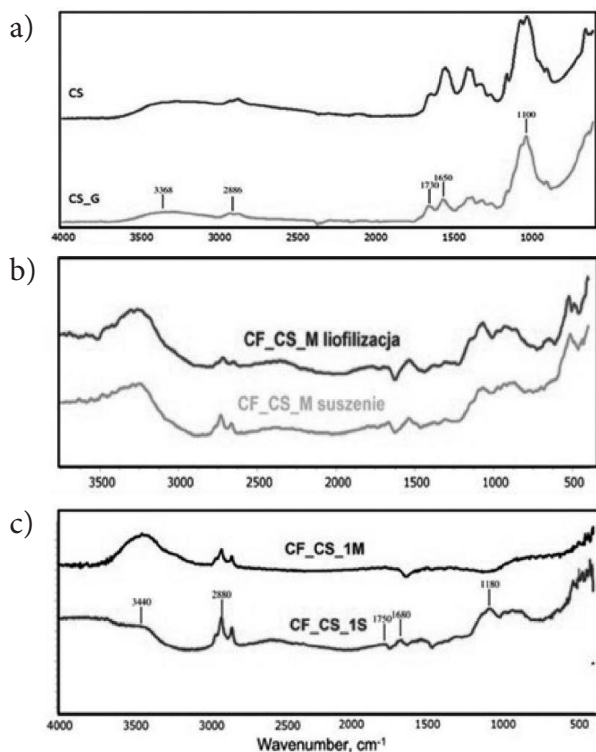
Rys. 1. Mikrostruktura podłoży uzyskana w badaniu z użyciem SEM. Podłoża z włókien węglowych modyfikowanych chitozanem (CF-CS) poddane suszeniu na powietrzu, homogenizowane mechanicznie (a) oraz sonifikowane (b). Podłoża CF-CS liofilizowane poddane homogenizowaniu mechanicznemu (c) oraz sonifikacji (d)

Suszenie na powietrzu podłoży włókno węglowe-chitozan (S) prowadzi do otrzymania popękanej warstwy chitozanowej zarówno na powierzchni włókien jak i pomiędzy nimi (rys. 1b). Inaczej jest w przypadku włókien pokrywanych chitozanem (M) – tu warstwa biopolimeru (chitozanu) jest niezniszczona (rys. 1a). Zastosowanie liofilizacji prowadzi do powstania nieciągłej warstwy pomiędzy włóknami (rys. 1c–d). Zaobserwowano również, że

w przypadku materiałów poddanych (M) i suszonym na powietrzu, włókna nie są oddzielone, istnieją biopolimerowe połączenia między nimi (rys. 1a). Nie jest to korzystne, ponieważ uzyskujemy powierzchnię, która utrudnia penetrację materiału przez komórki. W przypadku próbek liofilizowanych (M) utrzymana jest mikrostruktura 3D oraz zachowane są przerwy pomiędzy włóknami (rys. 1c). Jest to sytuacja korzystna dla komórek, które mają za zadanie przerastać materiał w celu odtworzenia struktury tkanki chrzęstnej. W przypadku próbek wykonanych sposobem mechanicznym uzyskuje się na powierzchni włókien różnokształtne wydzielania, których wpływ na właściwości otrzymanego materiału nie jest poznany (rys. 1a, 1c). W trakcie (S) na skutek działania wysokiej energii, łańcuchy chitozanowe ulegają fragmentacji, przez co pokrycia włókien mają lepszą morfologię, zmiany na powierzchni mają mniejsze rozmiary i umożliwiają lepszą adhezję i proliferację komórek (rys. 1d).

3.3. Charakterystyka strukturalna powierzchni włókien metodą FTIR-DRIFT

Badanie charakterystyki struktury powierzchni umożliwiło potwierdzenie obecności warstwy chitozanowej na powierzchni włókien węglowych przez wykazanie grup funkcyjnych charakterystycznych dla chitozanu (rys. 2a–c). Obecność biopolimeru potwierdza udaną modyfikację powierzchni włókien, o czym świadczą charakterystyczne pasma przypisane drganiom typowym dla wiązania glikozydowego ($1100\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$) oraz pierścienia sześciocłonowego. W zakresie liczby falowej $1650\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$ widoczne jest pasmo odpowiedzialne za drgania grupy karbonylowej, które związane jest z grupą karboksylową obecną w łańcuchach chitozanowych. Z kolei w zakresie $1730\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$ świadczy o obecności grupy karbonylowej pochodzącej od amidu znajdującego się w chitozanie. Szerokie pasmo w zakresie $3000\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ świadczy o obecności grup hydroksylowych. Dzięki przeprowadzonym badaniom wykazano, że udało się usieciować chitozan o czym świadczy kształt pasma w zakresie $1100\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ i relacje maksimów pasm 1100 i 1080 cm^{-1} (rys. 2a). Warstwa chitozanu na powierzchni włókien jest chemicznie identyczna niezależnie czy osiągnięta zostaje przez suszenie na powietrzu czy przez liofilizację (rys. 2b). Przebieg widma CS_G jak i jego podobieństwo do widma CF_CS_1S wskazuje na analogiczny stopień usieciowania i ciągłą warstwę chitozanu na powierzchni włókien węglowych (rys. 2c).

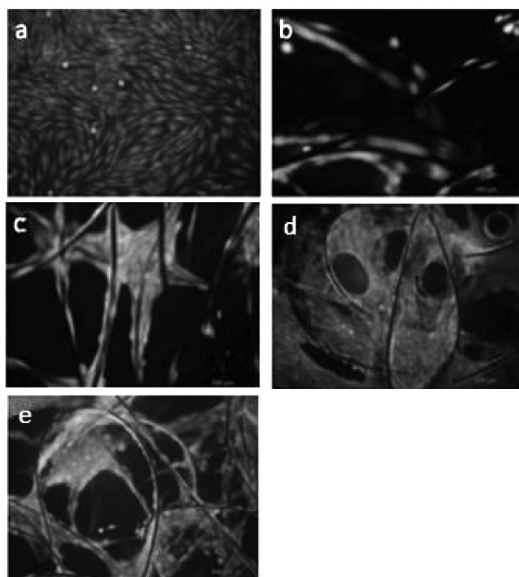


Rys. 2. Wyniki pomiarów z użyciem spektroskopii FTIR-DRIFT. Uzyskane widma obrazują rysunki a–c. a) chitozan (CS) i chitozan sieciowany genipiną (CS-G), b) włókno węglowe pokrywane chitozaniem i homogenizowane z czynnikiem sieciującym za pomocą mieszania mechanicznego (CF_CS_M) poddane liofilizacji oraz suszeniu na powietrzu, c) włókno węglowe pokrywane chitozaniem i homogenizowane z czynnikiem sieciującym za pomocą mieszania mechanicznego (CF_CS_1M) oraz poddane sonifikacji (CF_CS_1S)

3.4. Badania adhezji i ocena morfologii komórek kontaktowanych z podłożami

Morfologię komórek obserwowano po 1 i 3 dniach hodowli, ponieważ po dłuższym czasie inkubacji komórki MG-63 tworzyły warstwę konfluentną, która uniemożliwiła obserwację kształtu komórek, które adherują i rozplaszczają się na materiale (rys. 3b, c–e). Badania biologiczne potwierdziły żywotność komórek kontaktowanych z powierzchnią włókien, która jest wyższa na

powierzchni włóknin węglowych modyfikowanych chitozanem w porównaniu do próbki kontrolnej (CRT, materiał kontrolny to dołek hodowlany wykonany z TCPS). Co istotne stwierdzono wyższą żywotność komórek na materiałach sonifikowanych (lepiej usieciowanych) niż na materiałach wykonanych z pomocą homogenizacji mechanicznej.



Rys. 3. Adhezja i proliferacja komórek na podłożach: a) podłoże TCPS, b) podłoże z włókien węglowych bez modyfikacji, c) podłoże z włókien węglowych modyfikowanych chitozanem i suszone na powietrzu, d) podłoże CF-CS (M), e) podłoże CF-CS (S)

Komórki adherują i proliferują na samych włóknach węglowych (rys. 3b), układając się na powierzchni włókna. Pokrycie włókien warstwą sieciowanego chitozanu prowadzi do utrzymania poprawnej morfologii komórek (rys. 3c–e), ale także pozwala na adhezję komórek do przestrzeni między włóknami, które wypełnia warstwa sieciowanego chitozanu (rys. 3d–e). Korelacja pomiędzy badaniami żywotności i morfologii pozwala sądzić, że komórki silniej zasiedlają powierzchnie włókniny otrzymanej przez modyfikację sieciowanym chitozanem wynikającą z zastosowania mieszania mechanicznego (rys. 3d). Zarówno obserwacje morfologii, jak i wyniki żywotności wskazują, że modyfikacja biopolimerem włókien węglowych jest korzystnym zabiegiem z punktu widzenia odpowiedzi komórkowej.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdziły, iż nanoszenie powłok z biopolimeru na włókna węglowe pozytywnie wpływa na ich biogodność przyczyniając się do adhezji, proliferacji oraz wzrostu komórek osteoblastopodobnych MG-63. Stwierdzono, że czas sieciowania chitozanu na powierzchni włókien nie wpływa na jego stopień usieciowania. Jednakże proces suszenia podłoża na powietrzu zapewnia utrzymanie mikrostruktury 3D włókien pokrytych biopolimerem. Potwierdzono, iż proces sonifikacji zawiesiny chitozanu z genipiną korzystnie wpływa na morfologię włókien. Otrzymana warstwa otacza włókna, w efekcie powodując lepsze przyleganie komórek. Na adhezję komórek, także korzystnie wpływało pokrycie włókien grubszą warstwą chitozanu mieszanego mechanicznie w trakcie sieciowania. Pomimo pozytywnego wpływu na oddziaływanie komórek z materiałem, same podłoża z mechanicznie mieszanym chitozanem posiadały gorsze właściwości mikrostrukturalne niż podłoża otrzymane przez sonifikację biopolimeru z sieciownikiem. Podczas suszenia biopolimerowa warstwa ulegała spękanii. Stwierdzono, iż otrzymane podłoża z włókien węglowych z aktywną powierzchnią stanowią obiecujące materiały do regeneracji tkanki chrzęstnej. Dalsza perspektywa rozwoju projektu zakłada przebadanie podłoży pod kątem sieciowania chitozanu na powierzchni włókien w czasie krótszym niż jedna godzina oraz ewentualne rozpoczęcie kolejnego etapu – badania na zwierzętach.

Podziękowania: Praca została zrealizowana w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki OPUS 16 UMO 2018/31/B/ST8/02418.

LITERATURA

- [1] Mirmusavi M.H., Ahmadian M., Karbasi S.: *Polycaprolactone-chitosan/multi-walled carbon nanotube: A highly strengthened electrospun nanocomposite scaffold for cartilage tissue engineering*. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 209, s. 1801–1814.
- [2] Stodolak-Zych E., Jeleń P., Dzierzkowska E., Krok-Borkowicz M., Zych Ł., Boguń M., Rapacz-Kmita A., Kolesińska B.: *Modification of chitosan fibers with short peptides as a model of synthetic extracellular matrix*. Journal of Molecular Structure, 2022, vol. 1211, 128061.

- [3] Ribeiro J.C.V., Vieira R.S., Melo I.M., Araújo V.M.A., Lima V.: *Versatility of Chitosan-Based Biomaterials and Their Use as Scaffolds for Tissue Regeneration*. The Scientific World Journal, vol. 2017, Article ID 8639898, 25 pages.

ZASTOSOWANIE METOD SPAWALNICZYCH W PRZYROSTOWYCH METODACH WYTWARZANIA ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH

Patrycja Tomal ¹, Grzegorz Michta ¹

1. WSTĘP

Spawanie polega na łączeniu materiałów przez ich nagrzanie i stopienie w miejscu łączenia z dodaniem lub bez dodania spoiwa. Jest to proces znany od około 150 lat i cały czas rozwijany. Natomiast technologia druku 3D jest dość nowym procesem w porównaniu do spawania, ponieważ została opracowana około 40 lat temu. W ciągu ostatniej dekady stała się bardzo popularną formą produkowania obiektów, wykorzystywanych w wielu branżach. Polega na wytwarzaniu elementów na podstawie trójwymiarowych modeli komputerowych, a następnie druku z dowolnego rodzaju materiału.

Jaki jest element wspólny pomiędzy tradycyjnym spawaniem a drukiem 3D? W obu procesach wykorzystuje się metody addytywne, czyli łączenie elementów warstwa po warstwie, aż do uzyskania końcowego trójwymiarowego obiektu.

W artykule porównano spawanie metodą WAAM (*Wire Arc Additive Manufacturing*) i technologię druku 3D metodą SLM (*Selective Laser Melting*) biorąc pod uwagę fakt, że w obu procesach można użyć metod addytywnych. Porównano mikrostruktury otrzymane przy użyciu obu procesów.

2. TECHNOLOGIA DRUKU 3D METODĄ SLM (*SELECTIVE LASER MELTING*)

Druk 3D metodą SLM polega na przetapianiu materiału w postaci proszku metalicznego przy użyciu lasera jako źródła ciepła. Następnie platforma robocza, na której znajduje się proszek obniża się i proces jest powtarzany warstwa

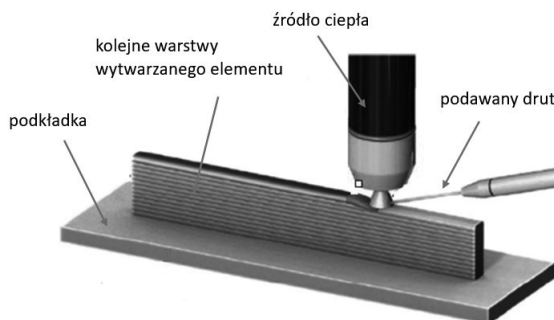
1 studentka, inż. Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej AGH

2 dr inż. Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

po warstwie, aż do uzyskania elementu końcowego. Materiałami najczęściej używanymi w tej metodzie to proszki np. ze: stali nierdzewnej, stopów tytanu, stopów aluminium [1].

3. WAAM (*WIRE ARC ADDITIVE MANUFACTURING*)

WAAM (*Wire Arc Additive Manufacturing*) proces ten polega na nisko-energetycznym topieniu drutu metalowego przy użyciu źródła ciepła w postaci łuku elektrycznego. Element metalowy powstaje poprzez nakładanie warstw stopionego drutu, jest to proces w pełni zautomatyzowany. Materiałem użytym może być każdy materiał, którym można spawać np. stal nierdzewna, stopy aluminium, stopy tytanu. Ważne jest, aby materiał był w formie drutu [2]. Schemat procesu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat procesu WAAM [2]

4. MATERIAŁY UŻYTE DO BADAŃ

Materiałem użytym do badań w przypadku druku 3D techniką SLM był proszek metaliczny o składzie chemicznym równoważnym stali austenitycznej 316L. W przypadku metody WAAM podkładkę stanowiła stal austenityczna 304L, na którą nałożono 3 ściegi wykonane drutem austenitycznym 307Si. Po wytworzeniu materiałów zostały one odpowiednio pocięte i wykonano z nich zgłady metalograficzne.

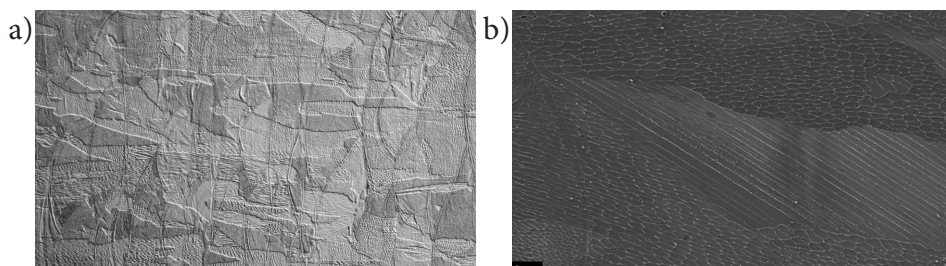
5. UŻYTE TECHNIKI BADAWCZE

Badania mikrostrukturalne materiałów wykonano przy użyciu:

- mikroskopu świetlnego (LM) Axio Imager M1m firmy ZEISS używając różnych technik obrazowania tj. jasnego pola widzenia oraz kontrastu Nomarskiego (DIC),
- skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) Merlin Gemini II firmy Zeiss, wyposażonego w system mikroanalizy EDS Quantax 800 i system EBSD Quantax CrystAlign 400.

6. MIKROSTRUKTURA

Na rysunku 2 pokazano mikrostrukturę powstałą w wyniku druku 3D metodą SLM, obserwacje wykonano przy użyciu mikroskopu świetlnego w technice kontrastu Nomarskiego oraz wykorzystaniu skaningowego mikroskopu elektronowego. Widoczne są kolejne warstwy wydrukowanego elementu powstałego w wyniku przetopienia laserem użytego do druku proszku. Zarodkowanie fazy stałej z ciekłego metalu odbywa się na sąsiednich kryształach, dzięki czemu przejmowana jest zależność krystalograficzna krzepnącego metalu. Wydrukowany element zbudowany jest z wielu warstw przetopionego proszku metalicznego.

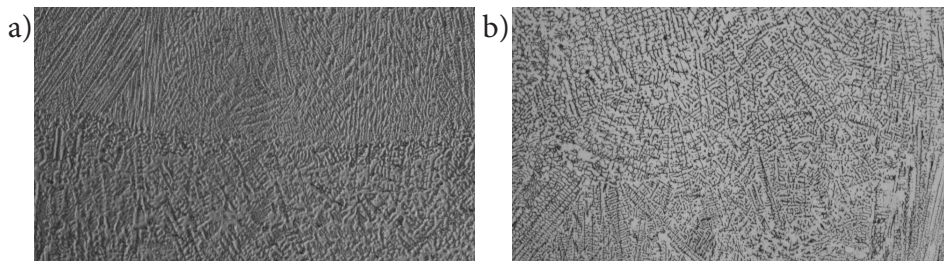


Rys. 2. Przykładowa mikrostruktura powstała podczas wydruku metodą SLM, a) mikroskop świetlny, kontrast Nomarskiego (DIC), b) skaningowy mikroskop elektronowy

Na rysunku 3 pokazano mikrostrukturę z procesu WAAM obserwowaną przy użyciu mikroskopu świetlnego w kontraście Nomarskiego oraz w jasnym polu widzenia.

Na rysunku 3a i 3b można zaobserwować dwie warstwy (ścieżki) drukowanego elementu, przy czym na rysunku 3a znajduje się pierwsza i druga ułożona warstwa natomiast na rysunku 3b druga i trzecia. Ze względu na niskoenergetyczny proces łączenia brak jest widocznego oddziaływania (dale-

kiego zasięgu) wprowadzonego ciepła na niżej położoną warstwę. Zagadnienia te zostały szerzej omówione w materiałach konferencyjnych umieszczonych pozycji literaturowej numer [3].



Rys. 3. Przykładowa mikrostruktura powstała z procesu WAAM, mikroskop świetlny a) kontrast Nomarskiego (DIC), b) jasne pole widzenia

7. PODSUMOWANIE

Zarówno proces WAAM jak i metoda SLM zaliczane są do metod addytywnych, które używają do łączenia materiałów warstwa po warstwie źródeł ciepła, którym w przypadku metody SLM jest laser a w przypadku metody WAAM łuk elektryczny. Dlatego ze względu na rozmiar używanego źródła ciepła procesy możemy podzielić na te w skali mikro (laser) i w skali makro (łuk elektryczny). Niezależnie od źródła ciepła technologie addytywne rozwijają się w szybkim tempie wykorzystując do wytwarzania elementów metalowych coraz to nowszych materiałów. Gotowe wydruki często nie odbiegają właściwościami od materiałów wytwarzanych w tradycyjny sposób.

Metody addytywne posiadają wiele zalet, w przypadku druku 3D metodą SLM są to:

- proszek metaliczny pozostały z poprzednich cykli druku można ponownie wykorzystać,
- możliwość otrzymania skomplikowanych kształtów o zróżnicowanej geometrii,
- elementy mogą pracować statycznie, pod małymi obciążeniami,
- zastosowanie w wielu branżach przemysłu np.: lotnictwo, medycyna, przemysł kosmiczny.

W przypadku procesu WAAM do zalet zaliczmy:

- szybką produkcję wielkogabarytowych części metalowych na dużą skalę,

- w pełni zautomatyzowany proces- duża dokładność prototypów,
- możliwość stosowania praktycznie każdego materiału dodatkowego wykorzystywanego w spawalnictwie,
- zastosowanie w wielu branżach przemysłu np. przemysł morski, motoryzacyjny, lotniczy.

Metody addytywne w spajaniu materiałów ciągle się rozwijają, dzięki czemu w przyszłości będziemy mogli otrzymywać szybko, o dobrej jakości konstrukcyjne elementy metalowe bez koniecznej długotrwałej, kosztownej i czasochłonnej obróbki skrawaniem.

Autorzy dziękują dr. inż. Krzysztofowi Pańcikiewiczowi za udostępnienie materiału do badań wytworzonego metodą WAAM.

Praca zrealizowana w ramach prac statutowych AGH nr 16.16.110. 663 i wykonana dzięki wsparciu badawczemu Międzynarodowego Centrum Mikroskopii Elektronowej dla Inżynierii Materiałowej IC-EM, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

LITERATURA

- [1] European Powder Metallurgy Association: *Introduction to Additive manufacturing technology. A guide for Designers and Engineers*, European Powder Metallurgy Association, 2015,
- [2] Rodrigues T.A., Duarte V., Miranda R.M., Santos T.G., Oliveira J.P.: *Current Status and Perspectives on Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM)*. Materials, 2019, 12(7), 1121.
- [3] Tomal P., Michta G.: *Spajanie materiałów metalicznych przy użyciu metod addytywnych*. Sympozjum Katedr i Zakładów Spawalnictwa pt. „Nowoczesne zastosowania technologii spawalniczych”, Brenna, 2022.

OPRACOWANIE ORAZ IMPLEMENTACJA INTERFEJSU UŻYTKOWNIKA I SERWERA DLA PORTALU SOFT BASTION WSPOMAGAJĄCEGO PROCES NAUKI ZDALNEJ NA BAZIE GRYWALIZACJI

Filip Żegleń ¹, Michał Mucha ¹, Piotr Kuśtra ²

1. WSTĘP

Postępujące dynamicznie technologie i nieustannie rozwijający się sektor e-learningowy po wybuchu pandemii Covid-19 w 2019 roku, spowodowały powstanie wielu rozwiązań pozwalających na naukę w trybie zdalnym z użyciem dedykowanych narzędzi. W aktualnych czasach nauka zdalna jest dla wielu ludzi szansą do zwiększenia swoich kwalifikacji i oszczędność czasu, którą należałoby przeznaczyć na dojazdy do szkół, czy uczelni państwowych.

Główną motywacją do stworzenia portalu Soft Bastion była chęć usprawnienia nauki zdalnej, wykorzystując mechaniki znane z gier wraz z prostą, przejrzystą strukturą samych kursów. Celem projektu było zbudowanie aplikacji dostarczającej szereg podstawowych funkcjonalności, pozwalających na interakcję z portalem w zakresie pozwalającym na ćwiczenie różnych partii wiedzy poprzez wykonywanie zadań praktycznych w języku C++. W ramach wykonywanych zadań i podstawowej mechaniki grywalizacji, użytkownik otrzymywałby punkty, które następnie wpływałyby na jego pozycję w rankingu. Zebrane punkty mogłyby zostać wykorzystane w przyszłości do realizacji kolejnych mechanik zaczerpniętych z gier wideo.

Aplikacja Soft Bastion została przygotowana w taki sposób, aby móc ją w przyszłości łatwo rozszerzać o kolejne funkcjonalności i narzędzia wspomagające proces nauki zdalnej.

1 student, Koło Naukowe Creative, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej AGH

2 dr inż. Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

2. STRUKTURA PROJEKTU

Proces tworzenia platformy Soft Bastion został usystematyzowany z wykorzystaniem procesu Design Thinking [1] (dalej DT). W ramach pierwszego z pięciu etapów DT, empatyzacji, przeprowadzono analizę jakościową, w postaci dwudziestu pogłębionych wywiadów z przedstawicielami dwóch podgrup użytkowników narzędzia; moderatorami, którzy reprezentują kadrę twórców treści dydaktycznych oraz studentami, potencjalnym uczestnikami kursów tworzonej platformy e-Learningowej. Rezultaty tych wywiadów, w zanonimizowanej formie zostały poddane procesowi klastrowania potrzeb. Korzystając z sesji kreatywnej, zwanej w nomenklaturze DT: *Design Thinking Jam*, wybrano kluczowe funkcjonalności, które aplikacja udostępnia dla grupy studentów:

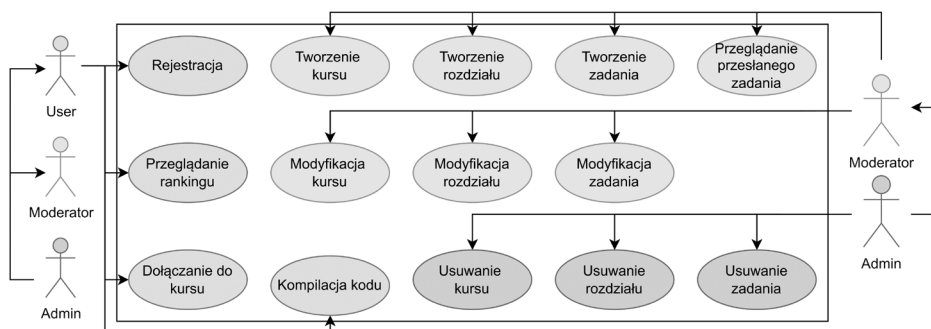
- rejestracja oraz logowanie z wykorzystaniem e-mail oraz hasła,
- dołączenie do wybranego kursu,
- wybór zagadnienia do nauki z dostępnych zadań w rozdziałach kursów,
- implementacja kodu oraz testów jednostkowych bezpośrednio w przeglądarce internetowej,
- uruchomienie testów jednostkowych oraz wyświetlenie ich rezultatów.

Moderatorzy, mają możliwość korzystania z aplikacji w takim samym zakresie jak studenci, rozszerzonym o zestaw funkcjonalności dających możliwość zarządzania strukturą tworzonych kursów oraz moderacji uczestników poszczególnych modułów dydaktycznych:

- tworzenie, edycja oraz usuwanie kursów, wraz ze strukturą rozdziałów i zadań w nich zawartych,
- dodawanie testów jednostkowych, których zadaniem jest automatyzacja weryfikacji poprawności rozwiązań przesyłanych przez studentów,
- usuwanie oraz dodawanie uczestników kursów,
- przeglądanie postępów uczestników kursów, a w szczególności liczby wykonanych zadań oraz liczby poprawnych rezultatów testów jednostkowych.

Pierwszy prototyp aplikacji stanowiła makieta (ang. *wireframe*), stanowiąca schemat wizualny rozmieszczenia elementów i sekcji w portalu, wraz z projektem doświadczenia użytkownika (ang. *User Experience*), na podstawie której przygotowano projekt graficzny aplikacji. Następnie rozpoczęto równoległą pracę nad dwoma częściami aplikacji: serwerową oraz interfejsem użytkownika. Po zakończeniu prac nad serwerem i aplikacją klienta przystąpiono do

integracji oraz publikacji (ang. *deployment*) rozwiązania wykorzystując do tego rozwiązania chmurowe.



Rys. 1. Diagram przypadków użycia portalu Soft Bastion

Na rysunku 1 przedstawiono diagram przypadków użycia dla trzech podstawowych ról: użytkownika, moderatora i administratora.

3. GRYWALIZACJA

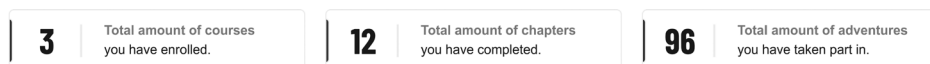
Grywalizacja (ang. *gamefication*) jest terminem wykorzystywanym do określenia wszelkiego rodzaju mechanik zaczerpniętych z gier i zaimplementowanych w rzeczach, które grami nie są. Celem grywalizacji jest pobudzenie oraz zaangażowanie ludzi do osiągania pewnych zachowań oraz interakcji [2]. Takim zachowaniem może być regularne wykonywanie pewnych zadań.

Przykładów wykorzystania mechanik grywalizacji w prawdziwym życiu można się doszukać w różnych aplikacjach, które oferują możliwość np. zbierania wszelkiego rodzaju punktów za wykonanie określonych akcji. Taką akcją może być wydanie określonej ilości pieniędzy lub zakup konkretnego dobra, określonego przez aplikację. Integralną częścią rozwiązań bazujących na zbieraniu punktów jest możliwość wykorzystania ich w jakimś celu. Na przykładzie aplikacji dającej możliwość zbierania punktów za wykonane zakupy, punkty mogą być przykładowo wydane na inne dobro. Cechą takiej mechaniki jest angażowanie użytkownika w zbieranie czegoś, w tym wypadku punktów, czego konsekwencją jest uzyskanie określonego zachowania, jakim może być częste robienie zakupów z wykorzystaniem takiej aplikacji.

Mechanik grywalizacji można się także doszukać w najmniej pozornych miejscach, takich jak uczelnie państwowe, które dają możliwość swoim studentom na osiąganie kolejnych tytułów zawodowych i naukowych: inżynier, magister, doktor itd.

Podobny mechanizm istnieje w wielu firmach, które pozwalają pracownikom awansować na kolejne stanowiska. Dobrze jest to widocznie zwłaszcza w sektorze IT, który daje pracownikom przestrzeń do awansu na stanowiska kolejno: juniorskie, regularne, seniorskie, a także stanowiska menedżerskie i eksperckie.

W ramach projektu Soft Bastion, zrealizowano podstawową mechanikę grywalizacji bazującą na zbieraniu punktów za wykonane zadania, rozdziały i kursy. Punkty te wpływają na pozycję w rankingu najlepszych użytkowników, posiadających największą ilość punktów. Ponadto zbierane są informacje w formie statystyk o ilości ukończonych zadań, rozdziałów i kursów (rys. 2). Taka bazowa implementacja grywalizacji daje możliwość rozbudowania jej w przyszłości o kolejne mechaniki. Przykładem może być zdobywanie określonych tytułów lub odznak za ilość zgromadzonych punktów lub za wykonanie konkretnych akcji na portalu. Na potrzeby testów grywalizacji stworzono kurs demo algorytmów i struktur danych.



Rys. 2. Statystyki ukończonych przez studenta kursów, rozdziałów oraz zadań

4. CZĘŚĆ SERWEROWA

Aplikacja serwerowa Soft Bastion została napisana w języku Java w wersji 11 bazując na frameworku Spring Boot, który zapewnia prostą i szybką konfigurację aplikacji bez potrzeby pisania dużej ilości powtarzalnego kodu. Za zabezpieczenia odpowiedzialny jest Spring Security, dostarczający zestaw narzędzi do Spring Framework pozwalających na dodanie mechanizmu autentykacji i autoryzacji do aplikacji.

Do części bazodanowej wykorzystano PostgreSQL, który jest otwartym systemem pozwalającym na zarządzanie relacyjnymi bazami danych. Został wybrany przez wzgląd na dużą popularność oraz wsparcie twórców, a także łatwą dostępność w znacznej większości dystrybucji Linux, które

zawierają pakiety pozwalające na instalację tej bazy danych. Do komunikacji z bazą użyto framework Hibernate.

Soft Bastion w wersji aktualnej 1.3.0 jest aplikacją monolityczną. W przyszłości planowane jest rozdzielenie części logiki biznesowej serwera na osobne mikroserwisy. Strukturę aplikacji serwerowej podzielono na warstwy odpowiadające za:

- logikę biznesową,
- logikę komunikującą się z bazą danych,
- część odpowiedzialną za bezpieczeństwo,
- klasy modelowe,
- klasy zawierające różne definicje np. punkty końcowe (ang. *endpoints*),
- klasy walidujące,
- klasy mapujące obiekty,
- logikę niestandardowych wyjątków,
- API aplikacji
- konfigurację serwera.

W projekcie wykorzystano kilka wzorców projektowych takich jak Budowniczy, pozwalający na budowę bardziej złożonych obiektów, Singleton, który realizowany jest w ramach Spring Boot do tworzenia wyłącznie pojedynczych instancji obiektów typu Bean oraz wzorzec wstrzykiwania zależności w klasach odpowiedzialnych za warstwę logiki biznesowej.

5. DOŚWIADCZENIE UŻYTKOWNIKA I INTERFEJS UŻYTKOWNIKA

Projekt Doświadczenia Użytkownika (ang. *user experience*) powstał w oparciu o dostępne wyniki badań związanymi z zasadami, prawami oraz heurystykami dotyczącymi zachowań użytkowników korzystających z aplikacji internetowych. Ustandaryzowano podział widoków na sekcje zgodnie z zasadą spójności Shneidermana [3]. Uproszczone zostały formularze, dzieląc te bardziej skomplikowane, z większą ilością pól do uzupełnienia na zakładki. Poszukując równowagi pomiędzy minimalną złożonością, której nie da się uprościć znaną z prawa Teslera [4], a maksymalną liczbę informacji, nad którą przeciętny użytkownik jest w stanie komfortowo się skupić, wynoszącą około siedem, z prawa Millera [5].

Aplikacja klienta została zaimplementowana z wykorzystaniem biblioteki React JS oraz supersetu języka JavaScript – TypeScript'u. Ze względu

na złożoność interfejsu – ilość widoków oraz ich poziom skomplikowania – zdecydowano się wdrożyć zdecentralizowaną architekturę FLUX. Mając na uwadze konieczność zapewnienia globalnego dostępu do metadanych danych użytkownika oraz tokenu służącego do uwierzytelniania zapytań HTTP, zaimplementowano jeden główny, globalny stan aplikacji (ang. *store*). Ponadto w związku z potrzebą zapewnienia współdzielonego, lokalnego, stanu dla niektórych widoków, m.in.: panelu zarządzania strukturą kursu, wdrożono dodatkowy, mniejszy, dedykowany, stan aplikacji dla tej konkretnej sekcji.

Zapytania asynchroniczne zostały zaimplementowane z wykorzystaniem biblioteki Axios. Z racji na tworzenie części interfejsu użytkownika niezależnie od części serwerowej wykorzystano bibliotekę Axios Mock Adapter, do stworzenia symulowanego serwera REST API, przechwytyjącego zapytania HTTP, odpowiadając przygotowanym obiektem typu JSON, z danymi, które w środowisku produkcyjnym już po integracji, powinny pochodzić z serwera oraz bazy danych.

Jako edytor kodu, pozwalający na implementację rozwiązania oraz pisanie testów jednostkowych bezpośrednio w przeglądarce, wykorzystano bibliotekę Monaco editor stworzoną przez firmę Microsoft.

Do zaimplementowania projektu graficznego wykorzystano SCSS, ze względu na możliwość modularyzacji oraz wykorzystania funkcji, pętli i wyrażeń warunkowych. Struktura dokumentu HTML została przygotowana z wykorzystaniem JSX (JavaScript XML), transpilowanego przez Webpack oraz Babel.

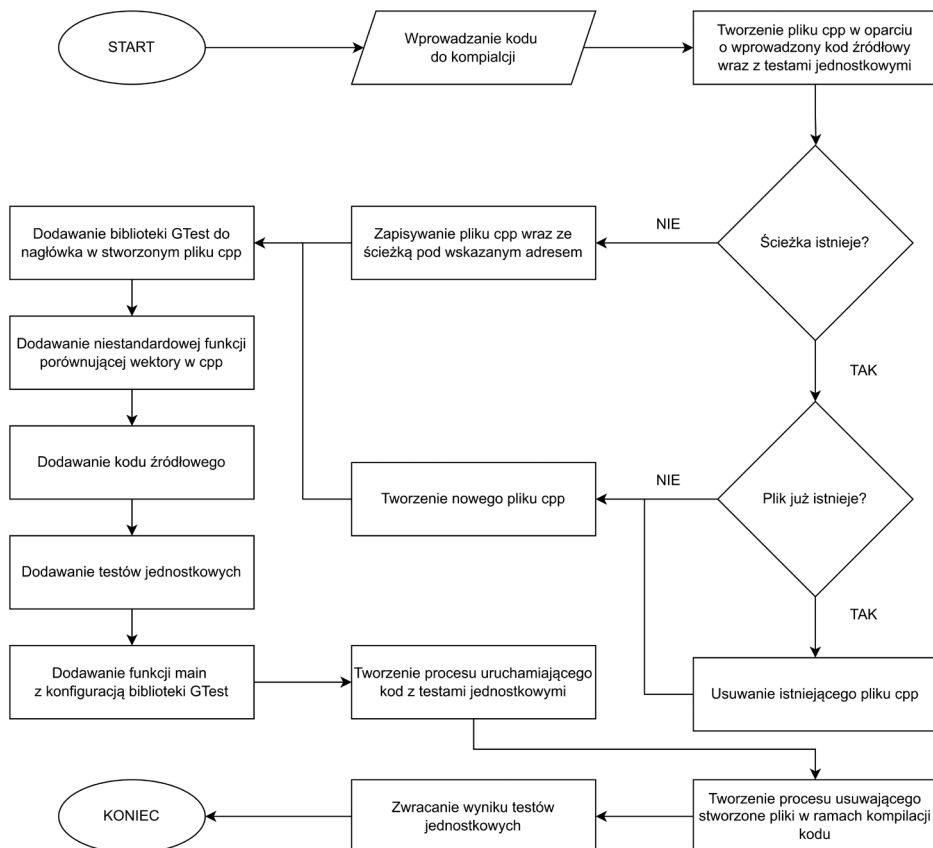
6. ZDALNA KOMPILACJA KODU CPP

Na potrzeby wykonywania zadań i ćwiczenia materiału z kursu algorytmów i struktur danych, zaimplementowano rozwiązanie pozwalające na zdalną kompilację kodu C++ wraz z testami jednostkowymi, które uruchamiane są z pomocą biblioteki GTest, udostępnionej przez Google na zasadzie otwartej licencji [6]. Do kompilacji kodu wraz z testami jednostkowymi wykorzystywana jest klasa ProcessBuilder stosując polecenie pokazane we fragmencie kodu 1 na rysunku 3

```
g++ -pthread -o nazwa_pliku nazwa_pliku.cpp -lgtest -lgtest_main
```

Rys. 3. Komenda uruchamiająca kompilację kodu razem z testami jednostkowymi

Schemat blokowy zdalnej kompilacji kodu zaprezentowano na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat blokowy pokazujący w jaki sposób przebiega zdalna kompilacja kodu C++

7. DEVOPS I TESTY OPROGRAMOWANIA

Przez wzgląd na potrzebę wykonania testów oprogramowania, projekt został opublikowany z wykorzystaniem prywatnego serwera wirtualnego w chmurze (akronim ang. *VPS* – *virtual private server*) oraz używając platformy konteneryzacji Docker. Obrazy na podstawie, których uruchamiane będą kontenery na serwerze VPS, publikowane zostały w prywatnych repozytoriach na platformie Docker Hub.

Aplikacja kliencka została skonteneryzowana z wykorzystaniem dwu-krokowego Dockerfile. W pierwszym etapie tworzony jest artefakt przy użyciu obrazu

node alpine, natomiast ostateczny obraz dokerowy stanowi serwer HTTP Nginx, serwujący statyczne pliki zbudowane w pierwszym kroku. Obraz dokerowy aplikacji serwerowej został zbudowany przy pomocy *maven:3.6.3-adoptopenjdk-11*, którego rezultat został wykorzystany w drugim kroku bazującym na obrazie *adoptopenjdk/openjdk11:jre-11.0.9_11-alpine*, tworzącym ostateczny obraz na podstawie, którego będzie uruchamiany kontener. Baza danych na VPS zostaje uruchomiona bazując na oficjalnym obrazie dokerowym *postgres: 14.4-alpine*, z wykorzystaniem skryptu inicjalizującego schematy bazy danych, tworzący tabele, użytkowników oraz nadając im role i uprawnienia do modyfikowania zasobów bazy danych.

W ramach testowania aplikacji napisano 39 testów jednostkowych oraz 42 testy integracyjne, które zabezpieczają wytwarzane oprogramowanie od możliwych do powstania błędów w przyszłości. Dodatkowo przeprowadzono testy E2E (ang. *End-To-End*) na ograniczonej grupie użytkowników. Testy te miały na celu sprawdzenie poprawności działania wszystkich bazowych funkcjonalności oraz poprawności działania zdalnej kompilacji kodu. Wykazano, że serwer dobrze radzi sobie z kompilacją jeśli kolejka żądań kompilacji nie jest duża. Jako wniosek postanowiono w przyszłości usprawnić zdalną kompilację kodu z wykorzystaniem wielowątkowości dostarczanej przez framework Task Scheduler.

8. PODSUMOWANIE

W ramach niniejszego projektu opracowano wstępną wersję portalu Soft Bastion. Zintegrowano część serwerową z interfejsem użytkownika. Zaimplementowano wszystkie niezbędne mechanizmy potrzebne do kompletnej interakcji z aplikacją takie jak mechanizmy autentykacji i autoryzacji użytkownika, tworzenie, edytowanie i usuwanie kursów, dołączanie do nich oraz wykonywanie zadań pisanych w C++. Opracowane narzędzie pozwala na zdalną kompilację kodu wraz z testami jednostkowymi zaimplementowanymi przez moderatora, jak również testami opracowanymi przez użytkownika portalu. Przeprowadzone testy jednostkowe, integracyjne oraz E2E potwierdzają poprawność zrealizowanego oprogramowania.

LITERATURA

- [1] Meinel C., Leifer L., Plattner H.: *Design Thinking. Understand – Improve – Apply*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.

- [2] Juho H., Jonna K., Harri S.: *Does Gamification Work? – A Literature Review of Empirical Studies on Gamefication*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Waikoloa, HI, USA, 2014.
- [3] Shneiderman B.: *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley Longman Publishing, 1997.
- [4] Yablonski J.: *Prawa UX. Jak psychologia pomaga w projektowaniu lepszych produktów i usług*. rozdział 9, Helion, 2021.
- [5] Miller G.A.: *The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*. Psychological Review, 1956, 63(2), 81–97.
- [6] Google Inc., Googletest v1.11.0, <https://github.com/google/googletest>, dostęp: 18.06.2022.