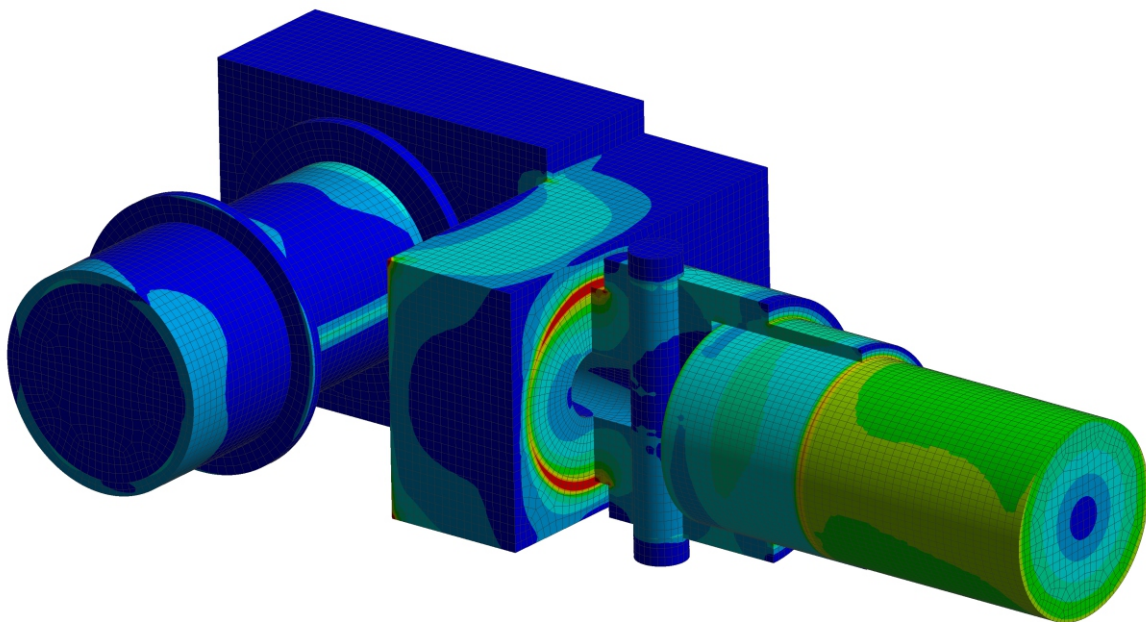




**INSTYTUT MECHANIKI
I INŻYNIERII OBLICZENIOWEJ**
WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY POLITECHNIKA ŚLĄSKA

Studencka Konferencja Naukowa

**METODY
KOMPUTEROWE
2018**



Gliwice 2018

Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska

Studencka Konferencja Naukowa
„METODY KOMPUTEROWE – 2018”

Gliwice, maj 2018 r.

Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Politechnika Śląska

44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18A

tel.: 32 237 12 04, fax: 32 237 12 82

Komitety Naukowy:

Prof. dr hab. inż. Ewa Majchrzak
Prof. dr hab. inż. Antoni John
Dr hab. inż. Piotr Fedeliński, Prof. Pol. Śląskiej
Dr hab. inż. Grzegorz Kokot, Prof. Pol. Śląskiej
Dr hab. inż. Waclaw Kuś, Prof. Pol. Śląskiej
Dr hab. inż. Alicja Piasecka-Belkhat, Prof. Pol. Śląskiej
Dr hab. inż. Witold Beluch
Dr hab. inż. Adam Długosz
Dr hab. inż. Grzegorz Działkiewicz
Dr hab. inż. Marek Jasiński
Dr hab. inż. Jerzy Mendakiewicz
Dr hab. inż. Arkadiusz Poteralski
Dr hab. inż. Mirosław Szczepaniak

Komitety Organizacyjny:

Dr hab. inż. Piotr Fedeliński, Prof. Pol. Śląskiej
Dr hab. inż. Adam Długosz
Dr hab. inż. Grzegorz Działkiewicz
Dr inż. Witold Ogierman
Dr inż. Jacek Ptaszny
Mgr inż. Mateusz Holec
Mgr inż. Waldemar Mucha
Mgr inż. Tomasz Schlieter
Inż. Aleksander Mazur
Inż. Dominika Skonieczna
Inż. Marcin Szatkowski

Komitety Redakcyjny:

Dr hab. inż. Grzegorz Działkiewicz
Dr inż. Jacek Ptaszny

Wydanie zeszytów naukowych zostało sfinansowane
przez IBS Poland Sp. z o. o. w Gliwicach.

Rysunek na okładce wykonał inż. Jakub Lisicki, autor artykułu na stronie 29.

ISBN 978-83-930523-7-0

Artykuły opublikowano na podstawie oryginałów dostarczonych przez Autorów.

Druk i oprawę wykonano w Wydawnictwie Politechniki Śląskiej.

Nakład 100 egz. Druk ukończono w maju 2018 r.

Wstęp

Zeszyt naukowy zawiera 21 artykułów prezentowanych na dwunastej Studenckiej Konferencji Naukowej „Metody Komputerowe”, odbywającej się 24 maja 2018 roku w Centrum Edukacyjno-Kongresowym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Konferencję zorganizowali studenci i pracownicy Instytutu Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej Politechniki Śląskiej. Publikacje dotyczą zastosowania metod komputerowych w różnych dziedzinach techniki, takich jak:

- wspomaganie komputerowe prac inżynierskich,
- wytrzymałość materiałów,
- mechanika pękania,
- mechanika ogólna,
- biomechanika i biosystemy,
- termodynamika,
- automatyka,
- inżynieria systemów,
- badania doświadczalne.

Dziękuję studentom za przygotowanie artykułów i prezentacji na konferencję, Komitetowi Naukowemu za troskę o poziom naukowy prac, Komitetowi Redakcyjnemu za przygotowanie zeszytu naukowego do druku i wersji elektronicznej materiałów konferencyjnych, a Komitetowi Organizacyjnemu za przygotowanie obrad konferencji.

Szczególne podziękowania za współpracę ze Studenckim Kołem Naukowym „Metod Komputerowych” oraz wsparcie finansowe organizacji konferencji składam przedstawicielom firmy IBS Poland Sp. z o. o.

Duża liczba zgłoszonych artykułów świadczy o znacznej aktywności naukowej studentów i potrzebie organizacji tego rodzaju konferencji. Życzę studentom owocnych dyskusji w czasie konferencji. Mam nadzieję, że udział w niej będzie inspiracją do dalszych badań naukowych.

Opiekun Naukowy Studenckiego Koła Naukowego
„Metod Komputerowych”

Dr hab. inż. Piotr Fedeliński, Prof. Pol. Śląskiej

Gliwice, maj 2018 r.

Studenckie Koło Naukowe „Metod Komputerowych”
Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej
Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska
www.imio.polsl.pl

Zarząd Koła w roku akademickim 2017/2018:

Przewodniczący: inż. Aleksander Mazur, Mechanika i Budowa Maszyn
Wiceprzewodnicząca: inż. Dominika Skonieczna, Mechanika i Budowa Maszyn
Sekretarz: inż. Marcin Szatkowski, Mechanika i Budowa Maszyn

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Piotr Fedeliński, Prof. Pol. Śląskiej
Opiekunowie ds. organizacji: dr hab. inż. Grzegorz Działkiewicz, dr inż. Jacek Ptaszny,
mgr inż. Marcin Hatłas

Studenckie Koło Naukowe „Metod Komputerowych” zostało zarejestrowane w dniu 6.12.2001 r. Głównym celem Koła jest poszerzanie wiedzy studentów na temat metod komputerowych i ich zastosowań w technice.

Zakres merytoryczny działania Koła:

- poznanie nowych metod komputerowych i technik informatycznych, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań w dziedzinie mechaniki,
- zapoznanie się ze sprzętem i programami komputerowymi oraz ich obsługą,
- pogłębienie wiedzy z zakresu mechaniki układów odkształcalnych, termomechaniki, biomechaniki, analizy wrażliwości i optymalizacji, modelowania układów i procesów, metod sztucznej inteligencji.

Formy działalności Koła:

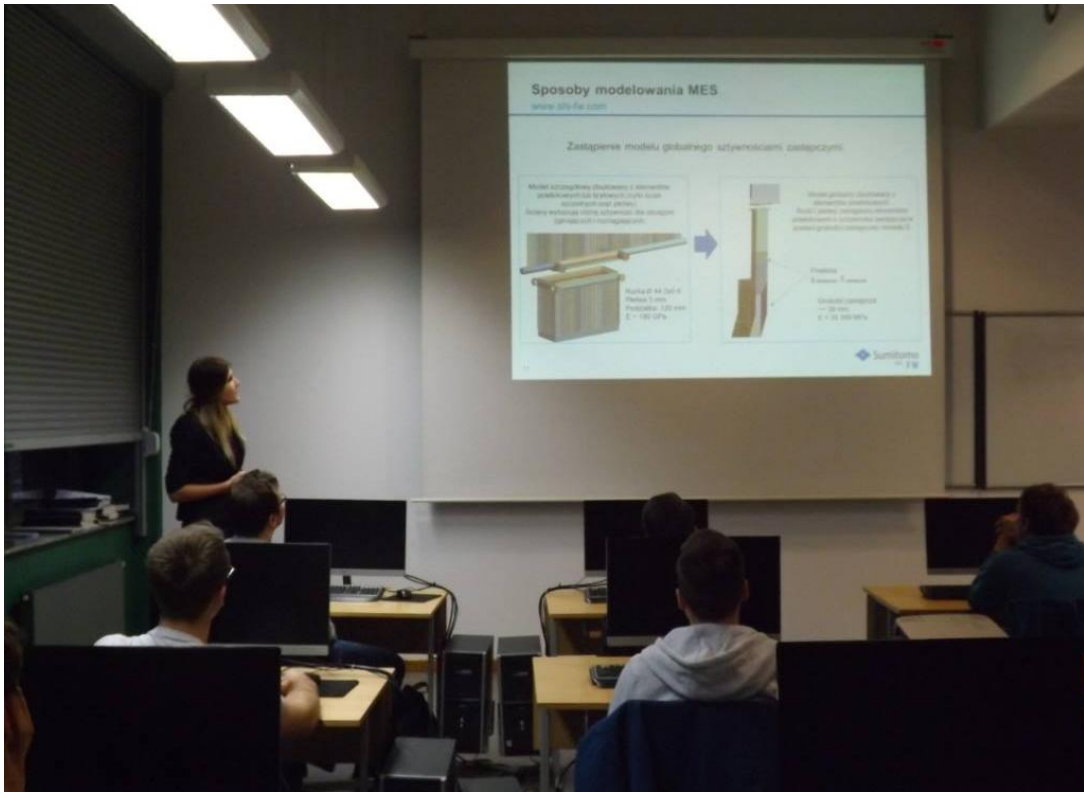
- udostępnianie członkom Koła sprzętu oraz programów komputerowych znajdujących się w Laboratorium Metod Komputerowych Instytutu Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej (IMiIO),
- samokształcenie i prowadzenie badań własnych przez członków Koła,
- prezentacje przez członków Koła prac własnych, prac przejściowych i prac dyplomowych na zebraniach naukowych Koła i konferencjach,
- opieka naukowa pracowników IMiIO nad pracami własnymi członków Koła,
- referaty pracowników naukowych IMiIO oraz zaproszonych gości na zebraniach naukowych Koła,
- organizowanie kursów obsługi programów wspomagających prace inżynierskie oraz kursów programowania,
- organizowanie konkursów,
- uczestniczenie w wystawach i prezentacjach sprzętu i programów komputerowych,
- zapoznanie się z pracą biur projektowo-konstrukcyjnych, instytutów, szkół wyższych stosujących metody mechaniki komputerowej, przez organizowanie wycieczek,
- współpraca naukowa z innymi studenckimi kołami naukowymi.



Studencka Konferencja Naukowa „Metody Komputerowe – 2017” - Gliwice, 29.05.2017 r.



Noc Naukowców Politechniki Śląskiej, wydarzenie "Treasure hunting"
- Gliwice, 14.10.2017 r.



Wykład "Zastosowanie MES w energetyce", Sumitomo SHI FW Energia Polska Sp. z o.o.
- Gliwice, 20.11.2017 r.



Wycieczka do zakładu Tenneco Automotive Eastern Europe Sp. z o. o.
- Gliwice, 6.12.2017 r.

*We are
always better*



IBS Poland **Dassault Systemes Platinum Partner**

- ▶ Lider rozwiązań Dassault Systemes w Polsce
- ▶ Kompleksowe wdrożenia rozwiązania 3DExperience firmy Dassault Systemes
- ▶ Optymalizacja i integracja systemów oraz procesów
- ▶ Wdrożenia CAD/CAM/CAE/PLM
- ▶ Audyty i doradztwo w obszarze Zarządzania Cyklem Życia Produktu
- ▶ Wdrożenia systemów zarządzania wiedzą o produkcie
- ▶ Wsparcie klientów w pracach projektowo – konstrukcyjnych
- ▶ Centrum Egzaminacyjne Dassault Systemes
- ▶ Certyfikowane Centrum Szkoleniowe Dassault Systemes
- ▶ Planowanie i realizacja kompleksowych projektów informatycznych w logistyce
- ▶ Gwarancja Platynowego Partnera oraz 10 – letniego doświadczenia zespołu ekspertów

www.ibs-poland.pl

*We are
always better*

VALUE SOLUTIONS
PLATINUM
PARTNER

DS DASSAULT
SYSTEMES

IBS
POLAND

CERTIFICATION
DS DASSAULT
SYSTEMES
2018
CENTER

CERTIFIED
DS DASSAULT
SYSTEMES
2018
EDUCATION PARTNER

Spis treści

BIEL DAMIAN Badanie sprawności obiegów silników spalinowych	1
BOJDYS MAREK Aplikacja dla programu COMSOL do obliczeń kompozytów włóknistych	5
CISZYŃSKA BARBARA Testy wytrzymałościowe karabinków wspinaczkowych	9
JĘDRUSZEK KAROL Ocena trwałości wieży nadawczej Radiostacji Gliwickiej z uwzględnieniem imperfekcji drewna	13
KRAMARZ BARTŁOMIEJ Coffee machine network model - subsystem analysis	17
KROWORZ ALEKSANDER Identyfikacja uszkodzeń z wykorzystaniem shearografii i analizy falkowej	21
KUBECZKO ADRIAN Numerical analysis of the influence of body dimensions on its mechanical properties	25
LISICKI JAKUB Analiza wytrzymałościowa przegubu przyrządu do treningu siłowania się na rękę	29
ŁATAŚ ANGELIKA Modelowanie ekranowania termicznego z wykorzystaniem metamateriałów	33
MAZUR ALEKSANDER Przygotowanie modelu do analizy MEB w środowisku Ansys Workbench.....	37
MIERZWIAK NIKODEM Koncepcja napędu i sterowania systemem kontroli dostępu szlabanu parkingowego	41
REGEA DELESA KEJELA Design of punch shuttle, gib, punch and die	45
RUDOLF JAKUB Autonomiczny system nadzoru otoczenia z wykorzystaniem pakietu Scilab.....	49
SITEK WOJCIECH Analiza MES wpływu pustek w pęknięciach rozgałęzionych	53

SKONIECZNA DOMINIKA

Metoda elementów skończonych dla jednowymiarowego równania
z dwoma czasami opóźnień 57

SKORUPA ANNA

Badanie oddziaływań lasera na mikrokryształy 61

SOBCZYK PRZEMYSŁAW

Wyznaczanie zastępczych własności jednokierunkowego materiału kompozytowego 65

STRYCYŃSKI MIKOŁAJ

Analiza wytrzymałościowa kontrolerów do gier wideo 69

URBAŃCZYK OLGA

Identyfikacja wartości krytycznych wybranego parametru modelu dynamiki przewodzenia
impulsów nerwowych Hodgkina-Huxleya 73

WITEK PAWEŁ

Analiza przegrzewania się mikrouządzeń w elektronice 77

ZAGRAJEWSKA KAROLINA

Optymalne sterowanie poziomem glukozy we krwi 81

BADANIE SPRAWNOŚCI OBIEGÓW SILNIKÓW SPALINOWYCH

inż. DAMIAN BIEL

Mechanika i Budowa Maszyn, MB4, semestr III, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr inż. Jolanta Dziatkiewicz

Streszczenie. Artykuł dotyczy badania parametrów silników spalinowych z równoczesną analizą poszczególnych obiegów. Przeprowadzono analizę trzech różnych obiegów: Otta, Diesla oraz Sabathego. Dokonano obliczeń pracy oraz sprawności każdego z obiegów, na podstawie znanych wartości ciśnienia, temperatury i objętości. W artykule zawarto informacje o silnikach, a w szczególności o silniku spalinowym tłokowym, zaprezentowano wykorzystane prawa fizyczne i przedstawiono wnioski z badania.



STUDY OF COMBUSTION ENGINE CIRCUIT EFFICIENCY

Abstract. The article concerns testing the parameters of internal combustion engines with the simultaneous analysis of individual circuits. Three different circuits were analyzed: Otto, Diesel and Sabathe. Calculations of work and efficiency of each of the circuits were made. It was based on known values of pressure, temperature and volume. The article contains information about engines and in particular about the piston engine. In the article, physical laws used in analysis and conclusions from the research are presented.

1. Wprowadzenie

Silnik jest to urządzenie, które zawiera zespół mechanizmów współdziałających, służących do przekształcania energii na pracę mechaniczną. Energia, która zostaje dostarczona do maszyny może mieć formę chemiczną, cieplną, elektryczną, kinetyczną oraz potencjalną [2].

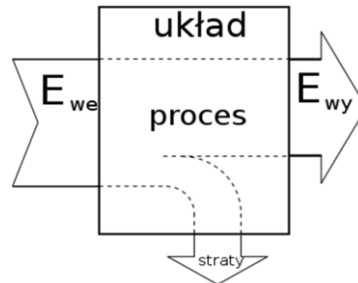
Najważniejsze parametry silnika [3] to:

- moc - jest to wielkość fizyczna przedstawiająca jaka praca została wykonana przez układ w jednostce czasu;
- sprawność - jest to bezwymiarowa wielkość wyrażająca stosunek energii użytecznej wytworzonej do energii pobranej przez silnik;
- moment obrotowy - to iloczyn mocy i prędkości kątowej.

Najbardziej powszechnym przykładem jest silnik spalinowy tłokowy, który jest popularnym źródłem napędzania pojazdów. Następuje w nim przekształcenie energii chemicznej pochodzącej z paliwa na energie mechaniczną.

2. Sprawność

Sprawność jest to skalarna bezwymiarowa wielkość fizyczna określająca stosunek wartości wielkości wyjściowej układu do wartości wejściowej tego samego układu. Stosunek ten zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki nie może być większy od jedności co za tym idzie energia dostarczona do układu jest większa od energii przez ten sam układ wydawanej [1].



Rys.1. Schemat stosunku sprawności [1]
Fig.1. Scheme of the ratio of efficiency [1]

Sprawność cieplna silnika [5]:

$$\eta_t = \frac{Q_D - Q_O}{Q_D} \quad (1)$$

gdzie:

Q_D – ciepło doprowadzone do układu [J],

Q_O – ciepło odprowadzone z układu [J].

3. Obiegi silników spalinowych

Obieg Otta – w tym obiegu dostarczanie i odprowadzanie ciepła odbywa się podczas przemiany izochorycznej. Obieg ten składa się z dwóch adiabat odwracalnych i dwóch izochor. Ten obieg przyjmuje się w odniesieniu dla wolnoobrotowego tłokowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym. Sprawność wyznacza się z wzoru [4]:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad (2)$$

Obieg Diesla – powstał przy założeniu, że ciepło jest dostarczane podczas przemiany izobarycznej. Ten obieg przyjmowany jest jako najbardziej odzwierciedlający do obiegu przeprowadzanego w tłokowym silniku spalinowym o zapłonie samoczynnym. Obieg ten składa się z dwóch adiabat odwracalnych, izobary oraz izochory. Sprawność tego obiegu wyraża się wzorem [4]:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\varphi^{\kappa} - 1}{\varphi - 1} \quad (3)$$

gdzie:

ε – stopień sprężania,

κ – wykładnik adiabaty.

Obieg Sabathego - stosuje się do analizy silników spalinowych o zapłonie iskrowym jak i zapłonie samoczynnym. W tym obiegu dostarczanie ciepła jest rozpatrywane w dwóch przypadkach przemiany izochorycznej oraz przemiany izobarycznej oraz obieg ten składa się z dwóch adiabat odwracalnych i jednej izochory. Sprawność obiegu wyznacz się z wzoru [4]:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\alpha \cdot \varphi^{\kappa} - 1}{\alpha - 1 + \kappa \cdot \alpha \cdot (\varphi - 1)} \quad (4)$$

gdzie:

α – stopień przyrostu ciśnienia,

φ – stosunek obciążenia.

4. Sformułowanie zadań i analiza wyników

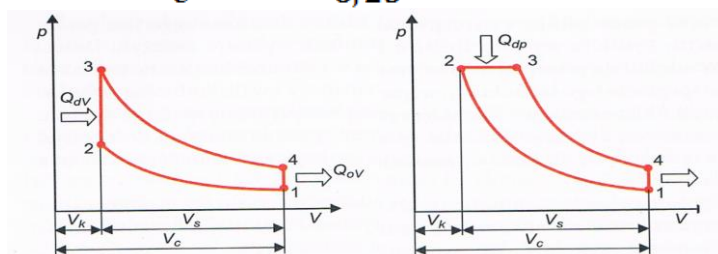
W zadaniu przedstawiono obieg porównawczy silnika spalinowego Otta, który odbywa się w następujących warunkach: maksymalna objętość gazu w cylindrze $V_1 = 0,5 \cdot 10^{-3} [m^3]$, objętość minimalna $V_2 = 0,08 \cdot 10^{-3} [m^3]$, maksymalne ciśnienie $p_{max} = 8 [MPa]$, ciśnienie minimalne $p_{min} = 0,5 [MPa]$, maksymalna temperatura $T_3 = 1000 [K]$, temperatura minimalna $T_1 = 150 [K]$. W zadaniu obliczono pracę obiegu oraz sprawność termiczną obiegu. Przyjmuje się gaz roboczy, który stanowi powietrze o stałych wartościach: $\kappa = 1,4$, $c_v = 0,713 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ i $m = 0,5 \cdot 10^{-3} [kg]$.

Wyliczona praca obiegu ma wartość:

$$L_{ob} = Q_D - |Q_{OD}| = 0,245 - 0,082 = 0,163 [kJ]$$

Wyliczona sprawność termiczna obiegu ma wartość:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} = 1 - \frac{1}{6,25^{0,4}} = 0,5195 \approx 52\%$$



Rys. 2. Schemat teoretyczny obiegu a) Otta oraz b) Diesla
Fig. 2. Theoretical scheme of the a) Otto and b) Diesel cycles

Zadanie drugie zawiera obieg porównawczy silnika spalinowego Diesla, który odbywa się w następujących warunkach: maksymalna objętość gazu w cylindrze $V_{max} = 0,8 \cdot 10^{-3} [m^3]$, objętość minimalna $V_{min} = V_2 = 0,06 \cdot 10^{-3} [m^3]$, maksymalne ciśnienie $p_{max} = p_2 = p_3 = 11 [MPa]$, ciśnienie minimalne $p_{min} = p_1 = 0,3 [MPa]$, maksymalna temperatura $T_{max} = T_3 = 1500 [K]$, temperatura minimalna $T_{min} = T_1 = 300$. W zadaniu obliczono brakujące parametry w punktach węzłowych, pracę obiegu oraz sprawność termiczną obiegu. Przyjmuje się gaz roboczy, który

stanowi powietrze o stałych wartościach $\kappa = 1,4$, $c_v = 0,713 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$, $c_p = 1 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ i $m = 0,5 \cdot 10^{-3} [kg]$.

Wyliczona praca obiegu ma wartość:

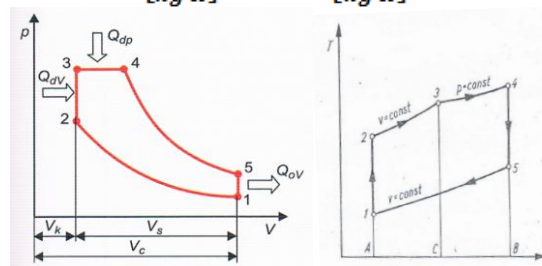
$$L_{ob} = Q_D - |Q_{OD}| = 0,245 - 0,082 = 0,233 [kJ]$$

Wyliczona sprawność termiczna obiegu ma wartość:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\varphi^{\kappa} - 1}{\varphi - 1} = 1 - \frac{1}{1,4} \cdot \frac{1}{2,818} \cdot \frac{2,233 - 1}{0,775} = 0,596 \approx 59,6\%$$

W zadaniu trzecim obliczono pracę obiegu Sabathego, jego sprawność oraz brakujące parametry ciśnienia i temperatury w punktach węzłowych. Dane są następujące parametry:

$p_1 = 150 [kPa]$, $T_1 = 300 [^{\circ}C]$, $p_2 = 2500 [kPa]$, $p_3 = 5550 [kPa]$, $T_3 = 1530 [^{\circ}C]$, $T_4 = 1870 [^{\circ}C]$, $T_5 = 500 [^{\circ}C]$. Przyjmuje się gaz roboczy, który stanowi powietrze o stałych wartościach $\kappa = 1,4$, $c_v = 0,713 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$, $c_p = 1 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ i $m = 0,5 \cdot 10^{-3} [kg]$.



Rys. 3. Schemat teoretyczny obiegu Sabathego
Fig. 3. Theoretical scheme of the Sabathe cycle

Wyliczona praca obiegu ma wartość:

$$L_{ob} = ((q_{D1} + q_{D2}) - |q_{OD}|) \cdot m = 0,399 [J]$$

Wyliczona sprawność termiczna obiegu ma wartość:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\alpha \cdot \varphi^{\kappa} - 1}{\alpha - 1 + \kappa \cdot \alpha \cdot (\varphi - 1)} = 0,553 \approx 55,3\%$$

Otrzymane wyniki oraz ich analiza doprowadziła do następujących wniosków:

- * Na sprawność termiczną każdego z obiegów duży wpływ ma wartość wykładnika adiabaty κ .
- * Wyliczone wartości w punktach węzłowych są niezbędne do obliczenia wartości pracy obiegu oraz wartości sprawności termicznej obiegu.
- * Na podstawie analizy zadań można wywnioskować, że najlepsza sprawność termiczna została osiągnięta dla obiegu Diesla.

Literatura

1. Podarewski R., Silniki spalinowe: dla specjalności „pojazdy mechaniczne”. Cz. 1. Redakcja Skryptów Politechniki Warszawskiej, Warszawa (1968).
2. Jeż M., Silniki spalinowe: zasada działania i zastosowanie. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Lotnictwa, Warszawa (2008).
3. Szargut J., Termodynamika techniczna. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice (1997).
4. Zając P., Silniki pojazdów samochodowych: podstawy budowy, diagnozowanie i naprawa. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa (2015).
5. http://autowiedza.republika.pl/moc_i_sprawnosc.html

APLIKACJA DLA PROGRAMU COMSOL DO OBLICZEŃ KOMPOZYTÓW WŁÓKNISTYCH

MAREK BOJDYS

Automatyka i Robotyka, semestr VI, 1 stopień

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Wacław Kuś, prof. Pol. Śl.

Streszczenie. Celem niniejszej pracy było stworzenie aplikacji dla oprogramowania COMSOL, która umożliwiałaby szybkie modelowanie i obliczanie pól naprężeń i przemieszczeń w kompozytach włóknistych. Analizowany jest model materiału o kształcie sześcianu zawierający wzmocnienia włóknami. Aplikacja charakteryzuje się przyjaznym interfejsem użytkownika, umożliwia zmianę najistotniejszych parametrów geometrii oraz ilości wtrąceń.



FIBER COMPOSITES APPLICATION FOR COMSOL SOFTWARE

Abstract. The purpose of this work was to create an application for COMSOL software, which would enable quick modeling and calculation of stress and displacements fields in fiber composites. A cube-shaped material model containing fiber reinforcements is analyzed. The application is characterized by a user-friendly interface, allows to change the most important geometry parameters and the number of inclusions.

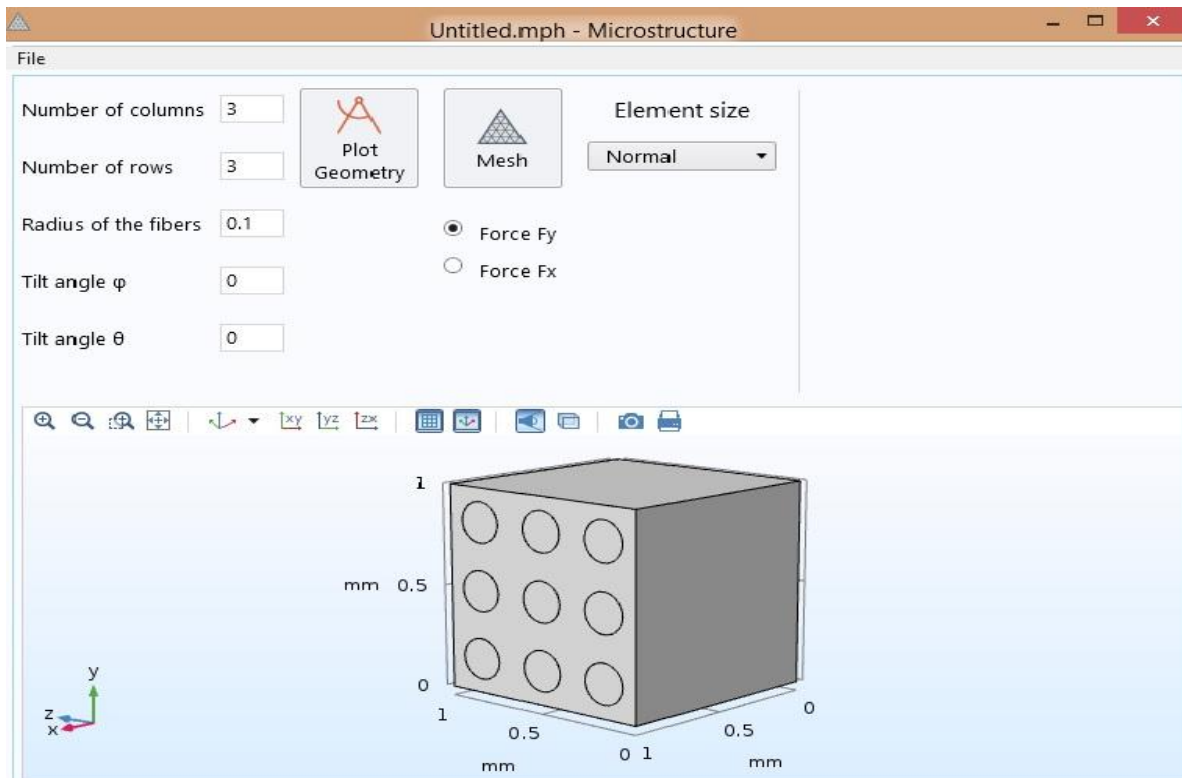
1. Wprowadzenie

Kompozyt jest materiałem o strukturze niejednorodnej, złożony jest z co najmniej dwóch komponentów (faz) o różnych właściwościach [1, 2]. Właściwości kompozytów zazwyczaj nie są sumą czy średnią właściwości jego składników. Konieczne jest więc wyznaczenie zastępczych własności materiałowych np. korzystając z metod homogenizacji.

W artykule przedstawiono aplikację w systemie oprogramowania Metod Elementów Skończonych (MES) Comsol [4], pozwalającą na szybkie tworzenie modelu geometrii typowo stosowanej w metodach wyznaczania uśrednionych własności materiałowych kompozytów włóknistych. Aplikacja ma przyjazny interfejs użytkownika i pozwala na budowę modeli, generację siatki elementów skończonych oraz analizę wycinka materiału kompozytowego.

2. Modelowanie kompozytu z użyciem opracowanej aplikacji

W aplikacji można definiować liczbę poziomych oraz pionowych wtrąceń w postaci włókien, regulować ich promień oraz zmieniać kąt nachylenia włókien względem ścian sześcianu. Program kontroluje wprowadzane dane tak, by liczba wtrąceń była całkowita, oraz włókna wzmacniające były rozdzielne i nie dochodziło do przecinania dwóch sąsiadujących ze sobą włókien. Na Rys. 1. Przedstawiono interfejs aplikacji wraz z domyślnymi parametrami.



Rys. 1. Widok aplikacji po uruchomieniu
Fig. 1. Application window after execution

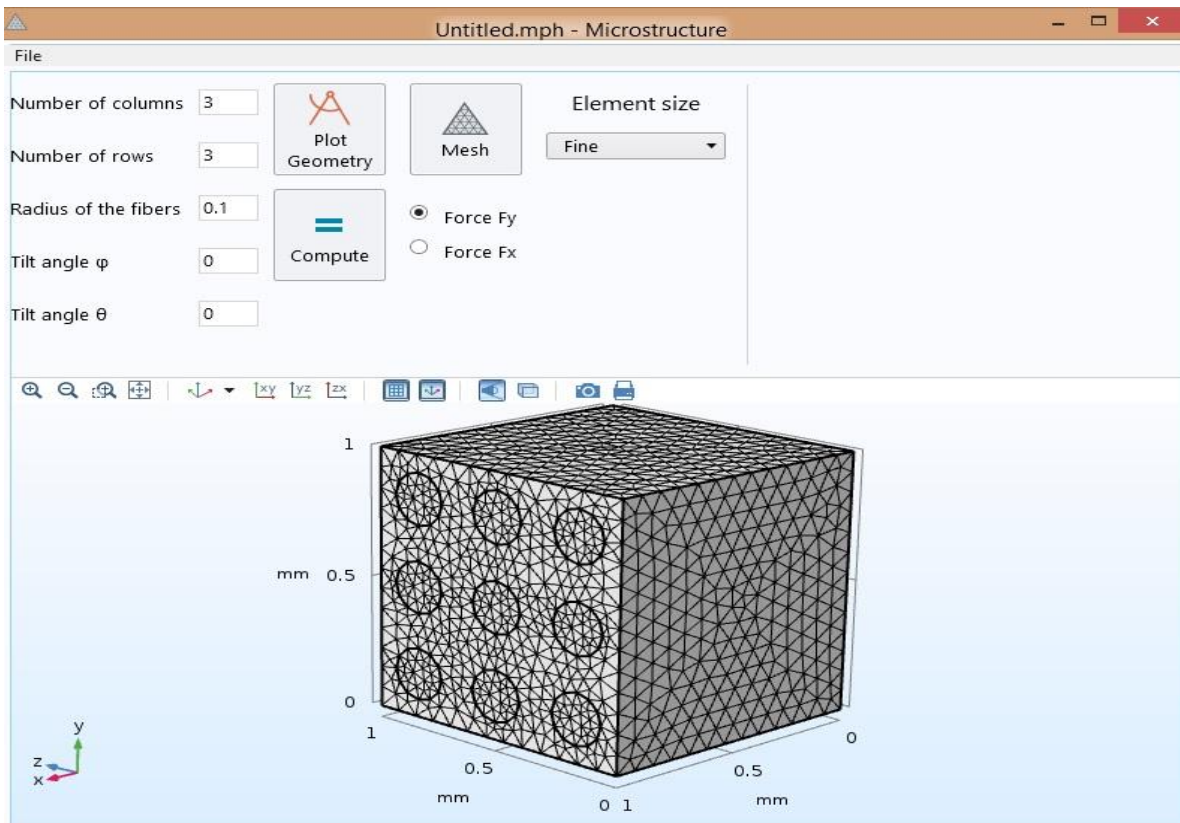
Domyślnym materiałem osnowy jest żywica epoksydowa, a materiałem wtrąceń włókno szklane o parametrach podanych w literaturze [3]. W aplikacji można zmienić parametry materiałowe w ustawieniach (File>Materials). Okno służące do wprowadzania parametrów materiałowych przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Własności składników kompozytu
Fig. 2. Properties of composite components

W celu odświeżenia okna, po zmianie parametrów struktury, należy nacisnąć przycisk Plot Geometry. Gęstość elementów skończonych można zmienić poprzez wybór z listy predefiniowanych parametrów siatki w polu Element size.

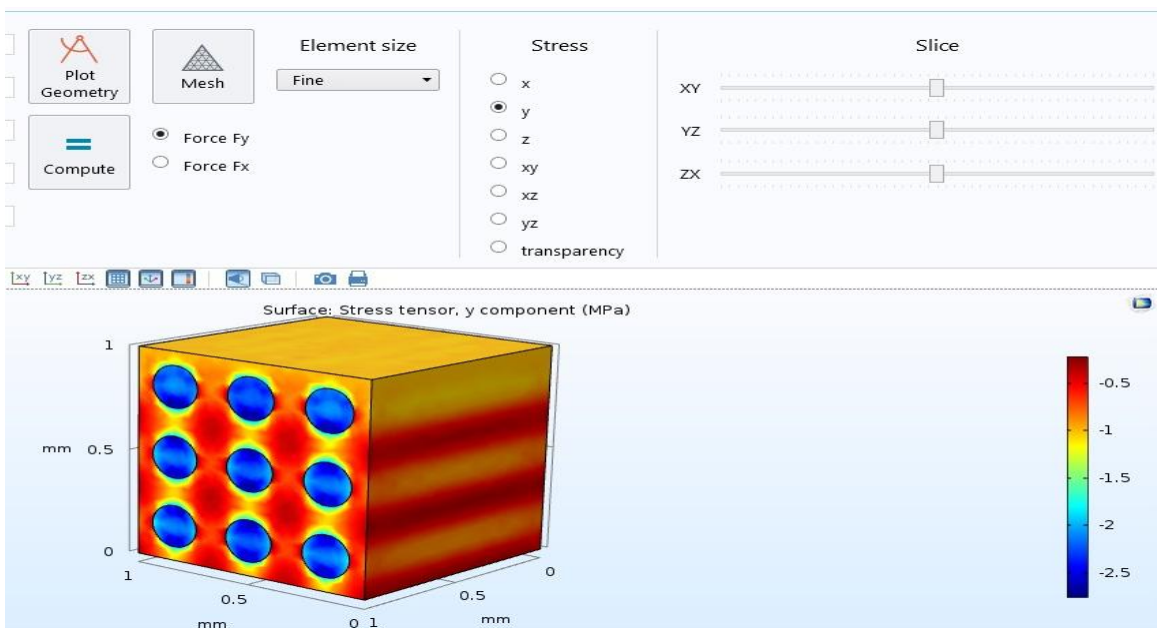
W rozpatrywanym modelu kostka jest podparta w osi y, natomiast obciążenie może być zadawane w dwóch osiach. W przyszłych modyfikacjach aplikacji przewidywane jest użycie okresowych warunków brzegowych oraz odkształceń wstępnych, tak aby aplikacja mogła zostać użyta do otrzymywania zastępczych parametrów materiałowych z użyciem metody homogenizacji numerycznej.



Rys. 3. Widok programu z nałożoną siatką Mesh.

Fig. 3. The view with a mesh layer

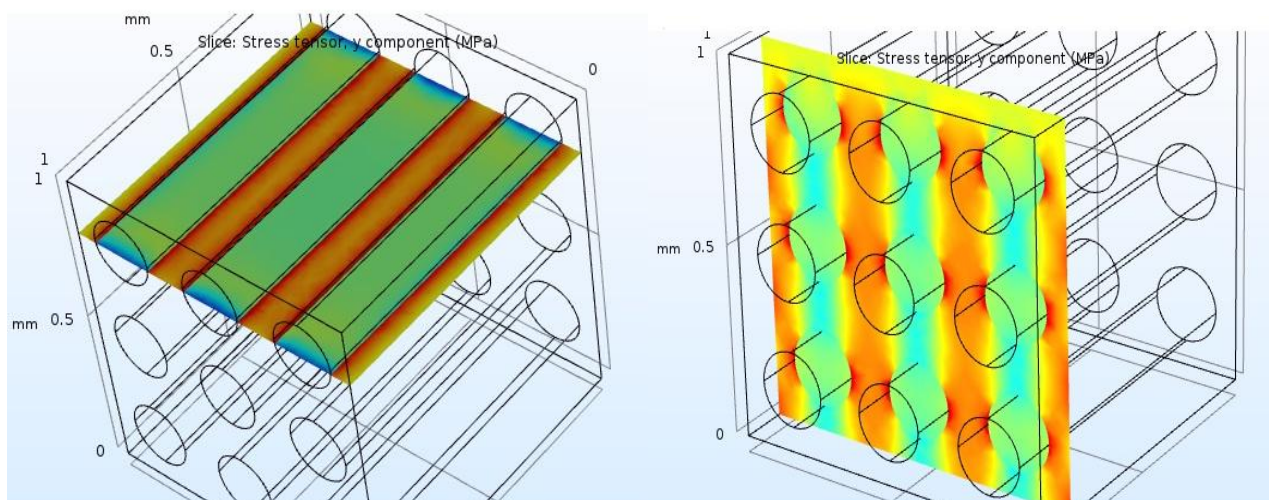
Na Rys. 3. Przedstawiono przykładowy kompozyt z wygenerowaną siatką elementów skończonych. W celu analizy MES należy użyć przycisku Compute.



Rys. 4. Widok programu z naprężeniami w osi y

Fig. 4. The view of the objects stress in y direction

Po dokonaniu analizy MES, użytkownik ma możliwość wyboru składowej naprężeń, którą chce obserwować (Rys. 4). Dodatkowo opcja „transparency” włącza przezroczystość obiektu i umożliwia obserwację włókien wewnątrz modelu. Suwaki służą do przecinania obiektu płaszczyzną na której wyświetlane są pola naprężeń (Rys. 5).



Rys. 5. Widok naprężeń na płaszczyźnie przecinającej model
Fig. 5. The view of the stress field on slicing surface

3. Podsumowanie

Aplikacja w systemie Comsol pozwala na prowadzenie wielu analiz wariantowych nawet przez osoby nie znające dobrze oprogramowania Comsol. Tworzenie aplikacji jest wspierane przez wiele mechanizmów oprogramowania, część programu może być implementowana na zasadzie nagrywania makra z możliwością późniejszych modyfikacji (np. użycia instrukcji warunkowych, pętli). Oprogramowanie pozwala również na użycie zewnętrznych procedur w języku Java czy C. Powstała aplikacja ma duże możliwości generowanych fragmentów kompozytów włóknistych, a w przyszłości planowane jej rozszerzenie tak, aby pozwalała na homogenizację numeryczną rozpatrywanego kompozytu.

Literatura

1. Brandt A.M, Kajfasz S., Kompozyty betonowe siatko-fibro-polimerobetonu, IPPT PAN, Warszawa (1981).
2. Peters S. T., Handbook of Composites, Springer (1998).
3. Żak A., Krawczuk M., Ostachowicz W., Numerical investigation of free vibration of multilayer delaminated composite beam and plates, Computational Mechanics, 26, Springer-Verlag, s. 309-315 (2000).
4. Introduction to Application Builder, Comsol 5.3, Part number: CM020011, Comsol (2017).

TESTY WYTRZYMAŁOŚCIOWE KARABINKÓW WSPINACZKOWYCH

BARBARA CISZYŃSKA

Automatyka i Robotyka, semestr IV, 1 stopień

Opiekun naukowy: dr inż. Jacek Ptaszny

Streszczenie. W artykule został przedstawiony opis przeprowadzonych testów wytrzymałościowych karabinków wspinaczkowych. W wyniku statycznych prób rozciągania uzyskano wykres zależności siły od przemieszczenia, z którego można odczytać maksymalne siły powodujące zerwanie karabinków. Statycznym próbom rozciągania zostały poddane dwa różne karabinki: karabinek z zamkiem drucianym firmy ClimbX oraz karabinek zakręcany firmy Camp.



TENSILE TESTS OF CLIMBING CARABINERS

Abstract. In the article, the description and results of stress tests of climbing carabiners are presented. As a result of static tensile tests, graph of the dependence of the force on displacement was obtained, which provides information about maximum breaking forces. Two different carabiners were tested: wire gate carabiner produced by ClimbX and screw gate carabiner produced by Camp.

1. Wprowadzenie

Wspinanie w ostatnich latach staje się coraz bardziej popularną dyscypliną sportu. Profesjonalni wspinacze oraz amatorzy na całym świecie, codziennie wyjeżdżają w skały i góry, a także korzystają ze sztucznych ścianek wspinaczkowych w celach treningowych lub w celu aktywnego spędzenia wolnego czasu. Karabinek wspinaczkowy jest jednym z podstawowych elementów zabezpieczających wspinacza w trakcie odpadnięcia przed uderzeniem w ziemię. Jednak pomimo ciągłego udoskonalania ich parametrów technicznych wciąż dochodzi do pęknięć karabinków [1].

Standardowy karabinek wspinaczkowy składa się z trzech podstawowych części, są to: korpus, ramię oraz sprężyna (w przypadku karabinków drucianych ramię jest również sprężyną). Zamek karabinka tworzą współpracujące elementy ramienia i korpusu. W dzisiejszych czasach przekrój korpusu jest najczęściej formowany w przekrój teowy lub dwuteowy. W karabinkach zakręcanych, stosowanych między innymi do asekuracji, autoasekuracji oraz zjazdów występuje także nakrętka blokująca zamek [2]. Wyróżnia się trzy podstawowe parametry wytrzymałościowe karabinków, ze względu na obciążenia które mogą wystąpić w trakcie odpadnięcia, są to: wytrzymałość w osi podłużnej, wytrzymałość w osi poprzecznej oraz wytrzymałość przy otwartym zamku [3].

Do przeprowadzonych badań wytrzymałości karabinków w celu wyznaczenia siły zrywającej w osi podłużnej [4] wykorzystano karabinek "Ultra Wire Straight Gate" z zamkiem drucianym firmy ClimbX oraz karabinek zakręcany "HMS Lock" firmy Camp. Obydwa karabinki zostały wykonane ze stopu aluminium.

2. Opis oraz wyniki przeprowadzonych testów wytrzymałościowych karabinków

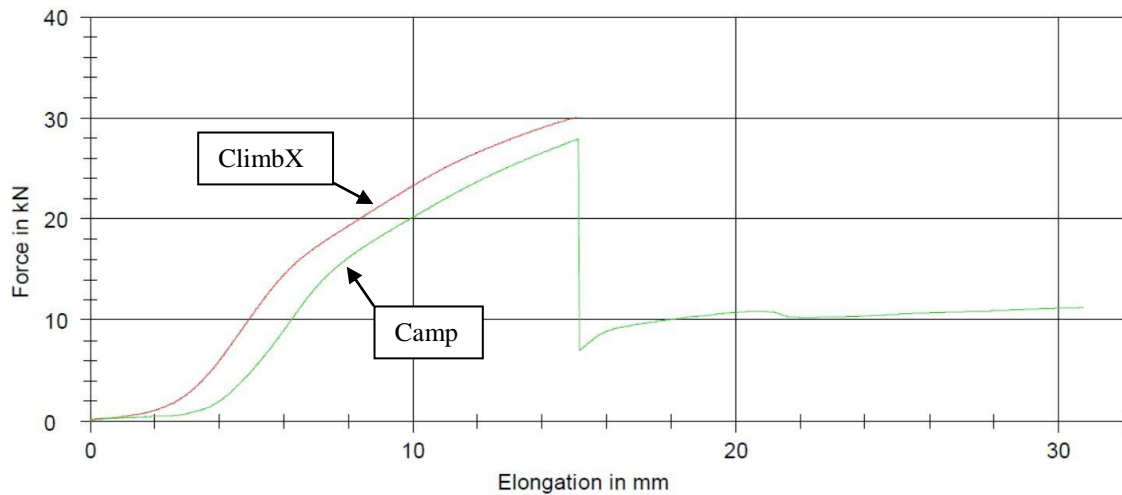
Statycznej próbie rozciągania w celu wyznaczenia maksymalnej siły w osi podłużnej, która powoduje zerwanie poddano dwa karabinki: ClimbX Ultra Wire Straight Gate (z zamkiem drucianym) oraz Camp HMS Lock (karabinek zakręcany). Do przeprowadzenia próby, konieczne było zaprojektowanie i wykonanie dwóch uchwytów za pomocą frezarki CNC, które następnie zostały zamocowane w szczękach zrywarki w celu odpowiedniego zamocowania karabinka (Rys. 1), tak aby obciążenie występowało jedynie w osi podłużnej oraz aby zapewnić jeden punkt styku między karabinkiem a uchwytem. Próbę wykonano wykorzystując maszynę ZWICK Z050.



Rys. 1. Karabinek zamocowany w uchwytach

Fig. 1. Carabiner fixed in brackets

W wyniku przeprowadzonych prób uzyskano wykres, który przedstawia zależność między siłą działającą na karabinek [kN] oraz przemieszczeniem trawersy [mm] (rys. 1). Pierwsza z krzywych reprezentuje wynik próby rozciągania karabinka firmy ClimbX z zamkiem drucianym. Został on zerwany przy działaniu siły maksymalnej równej 30,07 [kN]. Następnie rozciąganiu został poddany karabinek firmy Camp przy zakręconym zamku. Maksymalna siła rozciągająca, która działała na karabinek wyniosła 27,91 [kN]. Był to moment w którym nastąpiło zerwanie w miejscu zakręcenia karabinka (zerwaniu uległo zakończenie korpusu). Na wykresie można zaobserwować nagły spadek siły rozciągającej do wartości 7,1 [kN]. Przy dalszym wzroście siły do wartości 11,4 [kN] nastąpiło pęknięcie korpusu karabinka. Przy wroście siły rozciągającej do 25 [kN] (wytrzymałość w osi podłużnej deklarowana przez producentów w przypadku obu karabinków) można było zaobserwować znaczne przemieszczenie (karabinek ClimbX – 10,7 [mm], karabinek Camp – 12,6 [mm]). Porównanie kształtu karabinków przed i po zerwaniu oraz wygląd złomu pokazano na rysunkach 2 i 3.



Rys. 1. Wykres uzyskany w wyniku prób rozciągania karabinków
 Fig. 1. Graph obtained as a result of static tensile tests

Tabela 1. Porównanie wartości maksymalnej siły przy której został zerwany karabinek do wartości podanej przez producenta

Table 1. Comparison of maximum breaking force from test with data provided by the manufacturer

Nazwa karabinka	Maksymalna siła zrywająca karabinek [kN]	Wartość przewidziana przez producenta [kN]
ClimbX Ultra Wire Straight Gate	30,07	25
Camp HMS Lock	27,91	25



a)



b)

Rys. 2. Porównanie kształtu karabinków przed i po zerwaniu: a) ClimbX, b) Camp
 Fig. 2. Comparison of carabiner shape before and after breaking: a) ClimbX, b) Camp



Rys. 3. Złom: a) ClimbX Ultra Wire Straight Gate, b) Camp HMS Lock
 Fig. 3. Fracture surface: a) ClimbX Ultra Wire Straight Gate,
 b) Camp HMS Lock

3. Wnioski

Otrzymane wyniki ukazały, że oba karabinki wytrzymały obciążenie siłą w osi podłużnej większą niż założona przez producenta. Uzyskany wykres uzasadnia również konieczność stosowania karabinków zakręcanych do asekuracji, autoasekuracji czy też zjazdów, nie tylko ze względu na możliwość wypięcia się liny przy użyciu karabinka niezakręcanego, ale również dzięki temu, że korpus karabinka zakręcanego po pierwszym zerwaniu w miejscu zakręcenia nie ulega całkowitemu zniszczeniu, ale dalej może przenosić obciążenie. W rzeczywistości jednak w trakcie wspinania nie można wykluczyć zróżnicowanych warunków wynikających między innymi z ukształtowania skały, co może spowodować występowanie zginania w kontakcie z krawędziami, czy też możliwości obrócenia się karabinka, co spowoduje przenoszenie obciążenia w jego osi poprzecznej i znaczne zmniejszenie wytrzymałości. W przypadku karabinków niezakręcanych nie można również wykluczyć możliwości otwarcia się zamka poprzez kontakt ze skałą, dla karabinków drucianych może to nastąpić poprzez zahaczenie o fragment skały, a w przypadku pełnego zamka, ze względu na jego bezwładność, w momencie uderzenia o skałę [1].

Kolejnym etapem badań wytrzymałości karabinków wspinaczkowych będzie ich analiza numeryczna przy zastosowaniu metody elementów skończonych.

Literatura

1. Schubert P., Bezpieczeństwo i ryzyko w skale i lodzie, Tom I, Sklep Podróżnika (2011).
2. Praca zbiorowa pod redakcją Piotra Drożdża, 100 porad gór, Tom I, Góry Books, Kraków (2011).
3. Kaptur D., Prawie wszystko o karabinkach, <http://climb.pl/poradnik-site/prawie-wszystko-o-karabinkach/> (dostęp: 25.04.2018).
4. BS EN 12275:2013 Mountaineering equipment. Connectors. Safety requirements and test methods.

OCENA TRWAŁOŚCI WIEŻY NADAWCZEJ RADIOSTACJI GLIWICKIEJ Z UWZGLĘDNIENIEM IMPERFEKCJI DREWNA

inż. KAROL JĘDRUSZEK

Mechanika i Budowa Maszyn, MB8, semestr III, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Andrzej Katunin, prof. nzw. w Pol. Śl.

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki analizy numerycznej, mającej na celu oszacowanie trwałości drewnianej wieży nadawczej Radiostacji gliwickiej. Szczegółowy model geometryczny konstrukcji został stworzony w oparciu o dokumentację techniczną. Zastosowany w obliczeniach model materiałowy drewna uwzględniał imperfekcje oraz zmęczenie materiału, negatywnie wpływając na własności mechaniczne. Wieża poddana została obciążeniu siłą wiatru, dzięki czemu uzyskano maksymalne naprężenia oraz przemieszczenia w strukturze.



DURABILITY ANALYSIS OF THE GLIWICE RADIOSTATION TRANSMISSION TOWER WITH WOOD IMPERFECTIONS

Abstract. The aim of the work was to perform durability numerical analysis of the Gliwice Radiostation transmission tower. The geometrical model of the construction was made in accordance to available technical documentation. The material model used in calculations, included the negative effect of imperfections and fatigue strength of wood. The tower was subjected to wind load, which allowed to obtain stress and displacement distributions.

1. Wprowadzenie

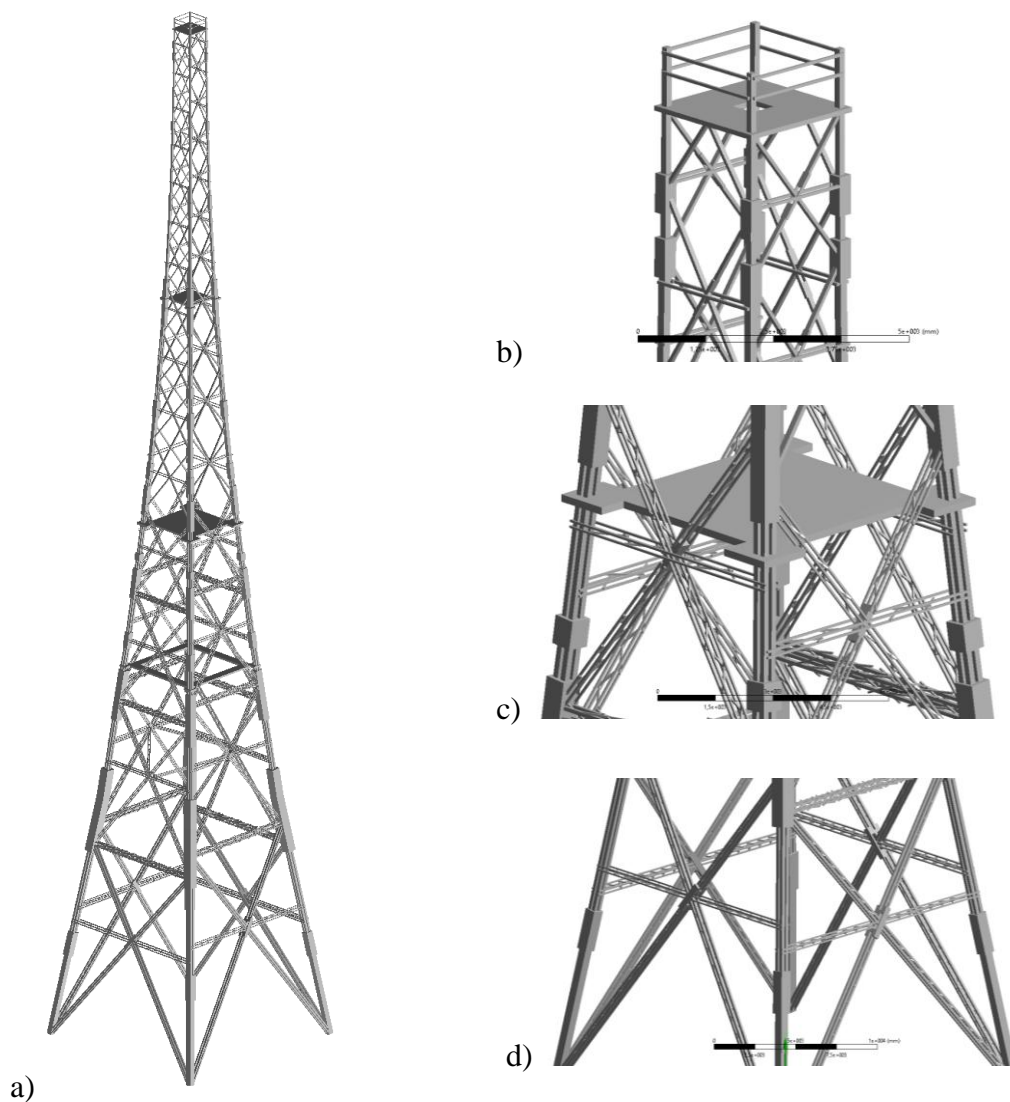
Drewniane wieże transmisyjne są konstrukcjami nieodłącznie związanymi z początkami radiofonii na świecie, przypadającymi na początek XX w. Szybki rozwój transmisji radiowej w tym okresie przyczynił się do budowy wielu nadajników w całej Europie. Początkowo, miały one formę dwóch wież, drewnianych lub stalowych, pomiędzy którymi zawieszana była antena. Z czasem, potrzeba transmisji na dalsze odległości, wymogła zmianę konstrukcji wież transmisyjnych na pojedyncze, wolno stojące, przestrzenne konstrukcje kratownicowe. Były one wykonywane z całości z drewna, jako że stal wywoływała zakłócenia w sygnale radiowym.

Jedyną drewnianą wieżą transmisyjną, która rozpoczęła nadawanie w tamtym okresie i przetrwała do dnia dzisiejszego jest wieża nadawcza Radiostacji gliwickiej. Konstrukcja o wysokości 110,7 m, zbudowana w 1935r. stanowi symbol miasta Gliwice oraz wyjątkowy zabytek techniki i historii. Swoją długą żywotność, wieża zawdzięcza licznym przeglądom technicznym oraz zabiegom naprawczym, wykonywanym regularnie przez ponad 80 lat [1].

W niniejszej pracy przeprowadzono analizę numeryczną modelu wieży nadawczej Radiostacji gliwickiej, w celu oszacowania trwałości konstrukcji, uwzględniając negatywny wpływ imperfekcji, obecnych w strukturze konstrukcji, na efektywne własności mechaniczne drewna. Analizę przeprowadzono w Górnośląskim Centrum Obliczeń Naukowych i Inżynierskich na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej.

2. Model geometryczny wieży Radiostacji Gliwickiej

Model geometryczny wieży został wykonany w ramach pracy dyplomowej [2] w Instytucie Podstaw Konstrukcji Maszyn, zgodnie z rzeczywistymi wymiarami, określonymi na podstawie dostępnej dokumentacji technicznej wieży. W modelu uwzględniono wszystkie najważniejsze elementy skratowania takie jak: słupy narożne, rygle, krzyżulce (Rys. 1). Zamodelowane zostały również wszystkie cztery podesty wieży, elementy łączące słupy narożne oraz stężenia przestrzenne. Pominięte zostały natomiast dodatkowe elementy skratowania, występujące pomiędzy słupami narożnymi (krawężnikami) i krzyżulcami. Są to elementy, które w mniejszym stopniu wpływają na pracę konstrukcji wieży i ze względu na skalę modelu, nie zostały w nim uwzględnione.



Rys. 1. Model geometryczny wieży: a) widok izometryczny; b) podest na wysokości 110,7 m; c) podest na wysokości 55,5 m; d) połączenie przesuwnie krzyżulców [2]
Fig. 1. Geometry of the tower: a) isometric view; b) platform 110,7 m; c) platform 55,5 m; d) sliding connection between diagonals [2]

3. Model materiałowy oraz warunki brzegowe

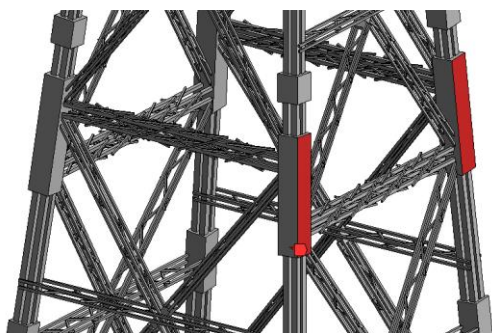
Model materiałowy wykorzystany w analizie został opracowany na podstawie danych zawartych w literaturze, dotyczącej badań własności mechanicznych drewna, w szczególności gatunku modrzewia syberyjskiego. Dane te stanowiły podstawę do obliczenia efektywnych własności mechanicznych, które zostały pomniejszone o wpływ imperfekcji obecnych w strukturze drewna. W celu uproszczenia modelu, rozważono wyłącznie wpływ pęknięć, które zmniejszają efektywne wartości mechaniczne drewna o 10%. Obliczenia zmęczeniowe przeprowadzono poprzez wprowadzenie do modelu krzywej Wöhlera dla czystego drewna sosny zwyczajnej, pozbawionego wad. Model materiałowy zastosowany w analizie przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Własności mechaniczne modrzewia syberyjskiego (*larix siberia*) [3, 4]
Table 1. Mechanical properties of siberian larch (*larix siberia*) [3, 4]

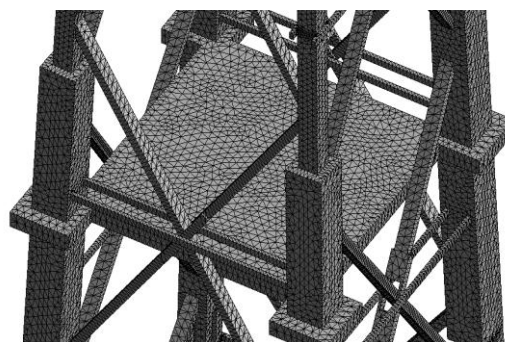
Moduł Younga [GPa]	Liczba Poissona	Moduł Kirchhoffa [GPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
11,88	0,33	0,81	94,5	48,6

Do wykonania analizy wykorzystane zostało oprogramowanie ANSYS 16.1. Model został utwierdzony u podstawy konstrukcji. Obciążenia zastosowane w modelu odzwierciedlały siły działające na wieżę podczas jej eksploatacji. Konstrukcja obciążona została masą własną, poprzez wprowadzenie do modelu przyspieszenia ziemskiego. Masy elementów łączących, oblodzenia oraz anten zamontowanych na wieży, zostały obliczone na podstawie dostępnej dokumentacji technicznej wieży oraz wprowadzone do modelu w postaci równomiernie rozłożonej masy. Całkowita masa modelu wyniosła 119,46 t. Obciążenie siłą wiatru zostało zasymulowane poprzez przyłożenie sił prostopadłych do ściany wieży, w miejscach połączeń krzyżulców skratowania głównego z krawężnikami (Rys. 2). Wartości obciążeń obliczone zostały zgodnie z normą 1991-1-4:2008 dla strefy wiatrowej I.

Siatka elementów skończonych zastosowana w analizie składała się z tetragonalnych elementów o wielkości 50 mm. Liczba węzłów wyniosła 4 957 438, zaś elementów 2 386 580 (Rys. 3).

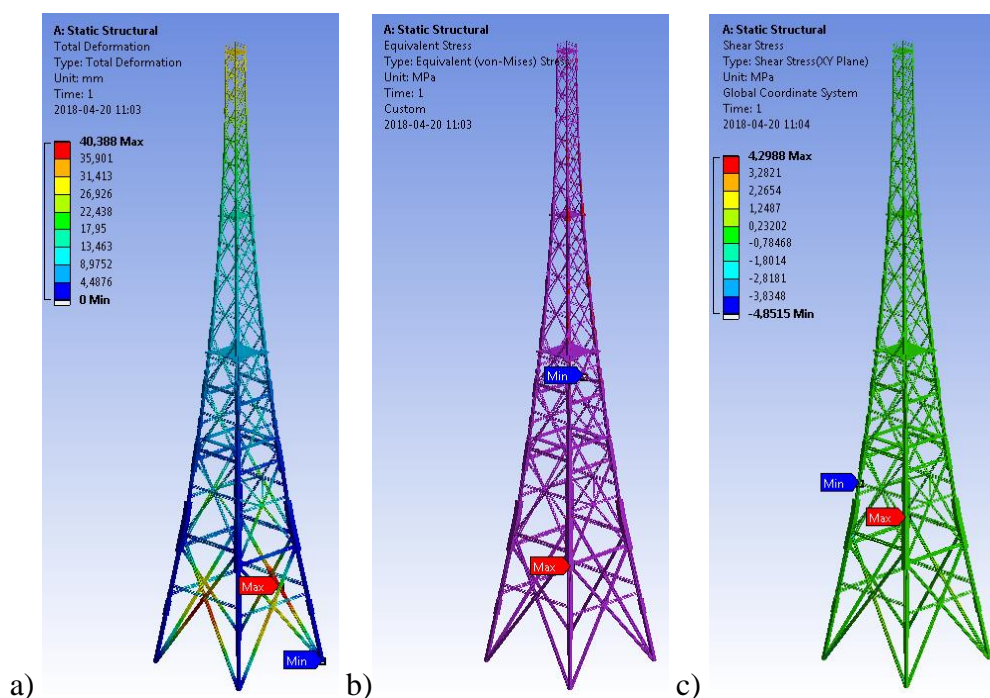


Rys. 2. Obciążenie wiatrem przyłożone do miejsca połączeń krzyżulców
Fig. 2. Wind load applied to bracing joints



Rys. 3. Siatka elementów skończonych zastosowana w analizie
Fig. 3. Finite element mesh used in analysis

4. Wyniki analizy wytrzymałościowej



Rys. 4. Wyniki analizy: a) przemieszczenia; b) naprężenia normalne; c) naprężenia ścinające
Fig. 4. Analysis results: a) deformation; b) equivalent stress; c) shear stress

Maksymalne wartości przemieszczeń (40 mm) oraz naprężeń (12,27 MPa) wystąpiły w skratowaniu dolnej części wieży, zaś największe naprężenia ścinające zaobserwowano w krawężnikach wieży. Analiza zmęczeniowa określiła wytrzymałość konstrukcji na ok. 1,4 miliona cykli założonego obciążenia wiatrem. Zakładając dwa pełne cykle na godzinę, trwałość wieży można oszacować na ok. 80 lat.

5. Podsumowanie

Konstrukcja wieży nadawczej Radiostacji gliwickiej odznacza się dużą sztywnością i wytrzymałością, wstępne wyniki analizy wskazują więc na długi możliwy okres eksploatacji. Drewno jest jednak materiałem o skomplikowanej i trudnej do zamodelowania strukturze. Dokładne określenie własności wytrzymałościowych drewna wymaga długotrwałych badań niszczących. Dalsze prace nad modelem będą dążyły do jak najwierniejszego odwzorowania faktycznego stanu drewna obecnego w konstrukcji wieży.

Literatura

1. Brol J., Adamczyk K. Analiza statyczno-wytrzymałościowa drewnianej wieży radiostacji w Gliwicach. Monografia „Spotkanie z zabytkiem” 1 (IV), s. 49-56, Gliwice (2010).
2. Wojacek B. Analysis of dynamic state and stability of the wooden transmission tower of Gliwice radiostation. Praca magisterska, Politechnika Śląska, Gliwice (2017).
3. Green D. W., Winandy J. E., Kretschmann D. E. Mechanical properties of wood. In: Wood handbook, U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison (1999).
4. Mergny E., Mateo R., Esteban M., Descamps T., Latteur P. Influence of cracks on the stiffness of timber structural elements. Proceedings of World Conference on Timber Engineering, Vienna (2016).

COFFEE MACHINE NETWORK MODEL – SUBSYSTEM ANALYSIS

BARTŁOMIEJ KRAMARZ, Eng.

Mechatronics, ME8, 3rd semester, graduate programme

Project supervisor: Grzegorz Dziatkiewicz, D.Sc, Ph.D. Eng.

Abstract. The aim of the article is to compare assignments of elements of the mechatronic product to subsystems created by Louvain and heuristic methods. As an example of a mechatronic product the beam-to-cup coffee maker was chosen. Firstly, the CAD model of product was created then the network model analysed in PAJEK software. Results were presented in article.



1. Introduction

Network analysis examines the structure of relationships between entities. It characterizes networked structures in terms of nodes (individual actors, people, or parts of device) and the ties, edges, or links (relationships or interactions) that connect them [3]. Social Network Analysis (SNA) is widely used among social sciences, but in this paper I will try to show that it also can have practical applications in engineering and mechatronic product development.

2. CAD Model

CAD model of the considered system was created using 3D Experience Platform, software that is being developed by Dassault Systèmes. Parts of the Coffee Machine were modelled in Catia Part Design and then assembled in Catia Mechanical Systems Design applications. The final CAD model can be seen on fig.1



Fig. 1. Model of coffee machine in CAD Software

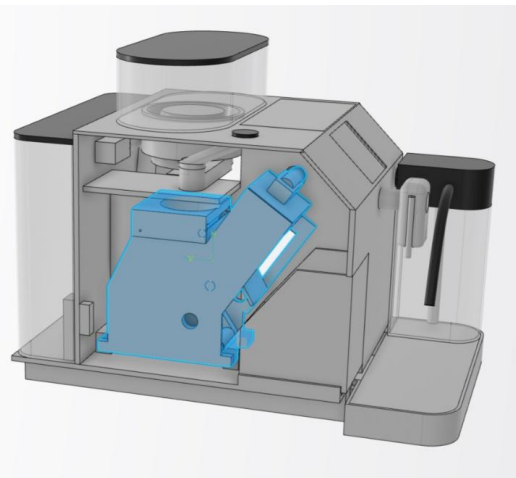


Fig. 2. Brew unit subsystem

Structural elements of the system have been organised in 15 groups according to their functionalities. List of groups is presented in table 1. In fig. 2 elements categorised as “brew unit” were presented.

Table 1. List of subsystems of coffee machine

1	Brew unit
2	Grounds container
3	Frame
4	Water container
5	Adapter
6	Pump
7	Valve
8	Thermoblock - coffee
9	Grinder
10	Motor
11	Thermoblock - milk
12	Milk container
13	Steering system
14	Heating plate
15	Electric system

3. Network Model

The network model of coffee machine was created in PAJEK Software. Each element from CAD model is represented in the model by one vertex and relations between elements by edges and arcs. Visualisation of the network has been presented in fig.3.

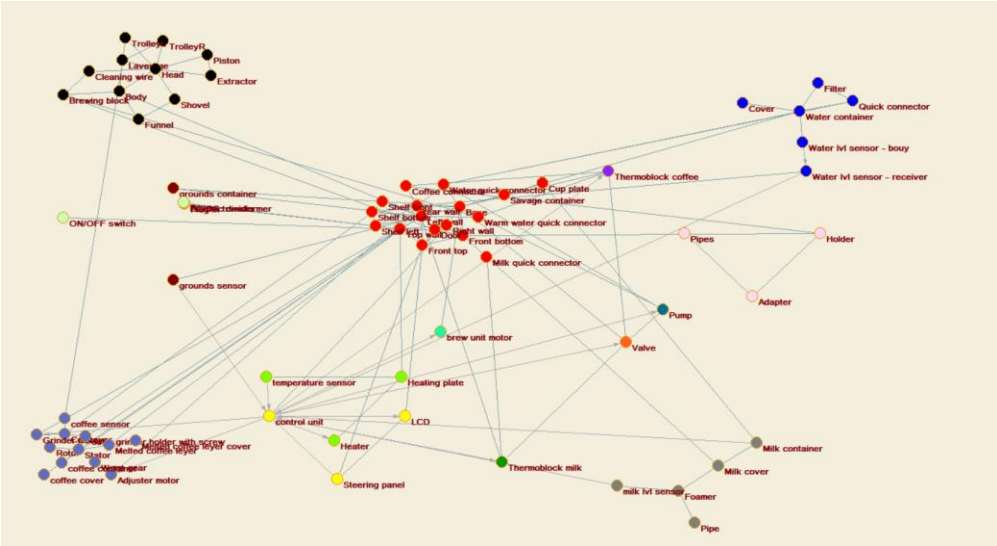


Fig. 3. Network diagram drawn using Kamada-Kawai method in PAJEK Software

Basic statistics of the network are presented in table 2. Not directed edges are representing mechanical connection between elements and directed arcs - a flow of information in the mechatronic system. In the analysed product there are 123 mechanical connections between elements and 16 ways of information transfer.

Table 2. Basic statistics of the network generated in PAJEK

Number of lines	16
Number of lines	123
Density	0.0505
Average Degree	3.8611

Density is the number of lines in a simple network, expressed as a proportion of the maximum possible number of lines [1]. In the present model, density is 0.0505012, which means that ~5.06 percent of all possible arcs are present.

4. Louvain assignation method

The Louvain method for community detection is an algorithm that finds high modularity partitions of large networks in a short time and that unfolds a complete hierarchical community structure for the network, thereby giving access to different resolutions of community detection.

Modularity is a scale value between -1 and 1 that measures the density of edges inside communities to edges outside communities [2].

In the Louvain method of community detection, first small communities are found by optimizing modularity locally on all nodes, then each small community is grouped into one node and the first step is repeated.

The network model presented in chapter 3 was further analysed in Pajek Software where different sets of partitions were created by the Louvain method with multi-level coarsening + multi-level refinement. By changing resolution in the scope 0.2-3.2, while other parameters which values are presented in table 3 remained constant, different number of subsystems were obtained, namely from 2 up to 15. Assignation of system elements to subsystems for different resolutions is presented in table 4. For a better transparency conditional formatting with colours scale were used.

Table 3. Constant parameters

number of random restarts	100
maximum number of iterations in each restart	2000
maximum number of levels in each iteration	2000
maximum number of repetitions in each level	5000

As one can see in table 4 there are huge similarities in results occurred by heuristic and Louvain methods. Highest number of inconsistencies takes place in subsystem 3 “frame”, in assignation with resolution “3.2” The group was divided between 7 different clusters. Other subsystems either remained entirely the same or were separated into two or three groups.

5. References

1. De Nooy W., Mrvar A., Batgaelj V., Exploratory social network analysis with Pajek, Cambridge University Press, Cambridge (2011)
2. Blondel V.D., Guillaume J.L., Lambiotte R., Lefebvre E., Fast unfolding of communities in large networks, Louvain-la-Neuve (2008)
3. Wasserman S., Faust K., Social Network Analysis, Cambridge University Press Cambridge: (1994)

Table 4. Assignment of elements to subsystems by The Louvain Method

	Resolutnion	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	1	1.3	1.5	1.8	2.2	2.4	2.6	3.1	3.2
	Modularity	0.8184	0.742	0.6406	0.6058	0.579	0.5144	0.4599	0.4304	0.3952	0.3527	0.334	0.3161	0.2733	0.265
Head	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Leverage	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TrolleyR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TrolleyL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Piston	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Extractor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Body	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Brewing block	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
Funnel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Shovel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cleaning wire	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
grounds container	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
grounds sensor	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
Left wall	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	3	4	3	3
Base	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	5	5	3
rear wall	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	5	6	6
Front bottom	3	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	5	6	7	7
Front top	3	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	5	6	7	7
Shelf bottom	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	3	4	3	3
Milk quick connector	3	2	2	2	2	3	4	4	4	6	6	6	7	8	8
Water quick connector	3	2	2	2	3	4	5	5	5	7	7	7	8	9	9
Top wall	3	2	3	3	4	2	6	6	6	8	8	8	9	10	10
Right wall	3	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	5	6	7	7
Shelf front	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	3	4	3	3
Shelf left	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	3	4	3	3
Door	3	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	5	6	2	2
brew connector	3	2	2	2	2	5	7	7	7	9	9	9	10	11	11
Savage container	3	2	2	4	5	3	4	4	4	6	6	6	7	12	12
Cup plate	3	2	2	4	5	3	4	4	4	6	6	6	7	12	12
Warm water quick connecto	3	2	2	2	2	1	1	7	7	2	2	2	9	2	2
Water container	4	2	2	2	3	4	5	5	5	7	7	7	8	9	9
Quick connector	4	2	2	2	3	4	5	5	5	7	7	7	8	9	9
Filter	4	2	2	2	3	4	5	5	5	7	7	7	8	9	9
Water lvl sensor - bouy	4	2	2	2	3	4	5	5	5	7	7	7	8	9	9
Water lvl sensor - receiver	4	2	2	2	2	4	5	5	5	7	7	7	8	6	6
Cover	4	2	2	2	3	4	5	5	5	7	7	7	8	9	9
Holder	5	2	2	2	2	5	7	7	7	9	9	9	10	11	11
Adapter	5	2	2	2	2	5	7	7	7	9	9	9	10	11	11
Pipes	5	2	2	2	2	5	7	7	7	9	9	9	10	11	11
Pump	6	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	3	5	5
Valve	7	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	3	5	5
Thermoblock coffee	8	2	2	2	2	3	3	3	7	2	2	2	9	3	5
Rotor	9	2	3	3	4	6	6	6	6	8	10	10	11	13	13
Stator	9	2	3	3	4	6	6	6	6	8	10	10	11	13	13
Conveyor	9	2	3	3	4	6	6	6	6	8	10	10	11	13	13
Worm gear	9	2	3	3	4	6	6	6	8	3	10	4	5	6	6
Adjuster motor	9	2	2	2	2	6	3	8	3	3	10	4	5	6	6
Grinder motor	9	2	3	3	4	6	6	6	6	8	10	10	11	13	13
coffee container	9	2	3	3	4	6	6	6	6	8	8	8	9	13	10
coffee cover	9	2	3	3	4	6	6	6	6	8	8	8	9	13	10
coffe grinder holder with sc	9	2	3	3	4	6	6	6	6	8	10	10	11	13	13
Melted coffee leyer	9	2	3	3	4	6	6	6	6	8	8	10	11	10	14
Melted coffee leyer cover	9	2	3	3	4	6	6	6	6	8	8	10	11	10	14
coffee sensor	9	1	1	1	1	6	1	1	1	10	10	10	11	13	13
brew unit motor	10	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	12	4	4
Thermoblock milk	11	2	2	2	2	3	3	3	3	6	6	4	5	8	8
Milk container	12	2	2	4	5	3	4	4	4	6	6	6	7	12	12
Milk cover	12	2	2	4	5	3	4	4	4	6	6	6	7	8	8
Foamer	12	2	2	4	5	3	4	4	4	6	6	6	7	8	8
Pipe	12	2	2	4	5	3	4	4	4	6	6	6	7	8	8
milk lvl sensor	12	2	2	4	5	3	4	4	4	6	6	6	7	8	8
LCD	13	2	2	2	2	3	3	3	3	5	3	11	12	7	7
Steering panel	13	2	2	2	2	3	3	3	3	5	3	11	12	7	7
control unit	13	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	11	12	4	4
Heating plate	14	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	11	12	4	4
Heater	14	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	11	12	4	4
temperature sensor	14	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	11	12	4	4
Plug in	15	2	3	3	4	2	6	6	6	8	8	8	9	10	10
AC/DC transformer	15	2	3	3	4	2	6	6	6	8	8	8	9	10	10
Electric divider	15	2	3	3	4	2	6	6	6	8	8	8	9	10	10
ON/OFF switch	15	2	3	3	4	2	6	6	6	8	8	8	9	10	10
Fuse	15	2	3	3	4	2	6	6	6	8	8	8	9	10	10

IDENTYFIKACJA USZKODZEŃ Z WYKORZYSTANIEM SHEAROGRAFII I ANALIZY FALKOWEJ

inż. ALEKSANDER KROWORZ

Mechanika i Budowa Maszyn, MB8, IPS, semestr III, 2 stopień

Opiekunowie naukowci: dr hab. inż. Andrzej Katunin, Prof. Pol. Śląskiej, Prof. dr José V.A. dos Santos, Prof. dr HernaniLopes

Streszczenie. Shearografia jest jedną z najbardziej obiecujących optycznych metod badań nieniszczących, ze względu na jej możliwość bezkontaktowego skanowania dużych obszarów. Jednakże, nie zawsze małe uszkodzenia są wykrywalne. W celu zwiększenia skuteczności lokalizacji uszkodzeń stosowane są dodatkowe narzędzia. W artykule omówiono połączenie analizy falkowej z shearografią na przykładzie belki ze sztucznie wywołanymi uszkodzeniami. Uzyskane wyniki potwierdziły skuteczność tego połączenia.



DAMAGE IDENTIFICATION USING SHEAROGRAPHY AND WAVELET ANALYSIS

Abstract. Shearography is one of the most promising optical non-destructive testing methods because of its ability to scan large areas at once without contact. Awkwardly, a small size damage is not always localized well. In this case, additional signal processing tools are searched to improve efficiency of damage localization. This paper discusses a combination of the wavelet analysis with shearography based on the example of a beam with small defects. The obtained results confirmed the effectiveness of this approach.

1. Wprowadzenie

Shearografia jest obecnie jedną z najbardziej obiecujących metod optycznych w dziedzinie badań nieniszczących. Powodem tego jest możliwość bezkontaktowego skanowania dużych obszarów jednocześnie. W rezultacie metoda ta zyskuje stopniowo coraz większą akceptację ze strony różnych gałęzi przemysłu, takich jak lotnictwo, motoryzacja czy branża oponiarska. Mimo to, wciąż są prowadzone badania i dążenia do zwiększenia wykrywalności uszkodzeń tą metodą [1, 2], na przykład przez użycie analizy falkowej, która została zastosowana w tej pracy jako metoda post-processingu uzyskanych wyników.

Metoda shearograficzna wywodzi się z interferometrii plamkowej, która z kolei powiązana jest blisko z interferometrią holograficzną. Jednakże w porównaniu do poprzednika, jest niewrażliwa na przypadkowe przesunięcie aparatury pomiarowej, spowodowanej wibracjami lub ogólnymi zaburzeniami [3]. Prowadzi to do wniosku, że może ona być stosowana poza obrębem warunków laboratoryjnych, przy statycznych i dynamicznych pomiarach. Shearografia oparta jest na zjawisku, w wyniku którego powstają plamki, gdy chropowata powierzchnia zostaje oświetlona przez koherentne światło [3], z jednej wiązki laserowej lub kilku.

Zanim to nastąpi, badana powierzchnia zostaje poddana wymuszeniu, których jest kilka rodzajów, w zależności od badanego materiału lub urządzenia. Wyróżnić można wymuszenie termiczne, akustyczne, próżniowe oraz ciśnieniowe [3]. Następnie, można wyróżnić dwa rodzaje plamek, obiektywne i subiektywne. W pierwszym przypadku nie ma systemu obrazowania, a wielkość plamek jest uzależniona od płaszczyzny obserwacji i od tego, jak jest wykonane podświetlenie powierzchni. Natomiast w drugim przypadku plamy są tworzone przez system obrazowy, oparty o rozbieżność w dyfrakcji fali. Istotną kwestią tutaj jest rozmiar plamek, który jest zależny od ilości pikseli w matrycy CCD lub CMOS. Kolejnym istotnym czynnikiem są mapy fazowe, uzyskane ze wzorów plamkowych. Zawierają się w nich informacje dotyczące pochodnych przemieszczeń powierzchni. W aspekcie aparatury pomiarowej, metoda shearograficzna składa się z aparatu cyfrowego, lasera, cyfrowego systemu shearograficznego oraz wymuszacza. Wiązka lasera jest poszerzona, żeby oświetlić powierzchnię badanego obiektu. Następnie rozproszone światło tworzy laserową plamkę, która jest rejestrowana przez interferometr Michelsona do matrycy. System shearograficzny dzieli obraz na dwa identyczne, lecz przesunięte względem siebie obrazy, które są rejestrowane przez kamerę. Te dwa wyniki łączą się spójnie i tworzą interferometryczny obraz plamkowy na matrycy CCD.

Analiza falkowa, użyta w niniejszej pracy do próby ulepszenia wyników uzyskanych metodą shearograficzną, jest modyfikacją transformaty Fouriera. W obydwu przypadkach działanie oparte jest o iloczyn skalarny badanego sygnału $s(t)$ i część zwaną jądrem, co jednocześnie jest główną różnicą między nimi. Podczas gdy transformata Fouriera jest analizą częstotliwościową stacjonarnych szeregów czasowych przedstawianą w funkcji sinus i cosinus, analiza falkowa jest analizą częstotliwościową niestacjonarnych szeregów czasowych, otrzymanych przez translację i dylatację falki podstawowej. Transformacja falkowa pozwala na przejście z układu czas-wartość do układu czas-skala, umożliwiając tym samym analizę zmiany częstotliwości w dziedzinie czasu. Jej rozdzielczość czasowa może się zmieniać, ponieważ jest zależna od właściwości zastosowanej falki.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie algorytmu, który umożliwi wykrywanie jeszcze mniejszych uszkodzeń w stosunku do tego, co potrafi metoda shearograficzna bez dodatkowego wspomaganie.

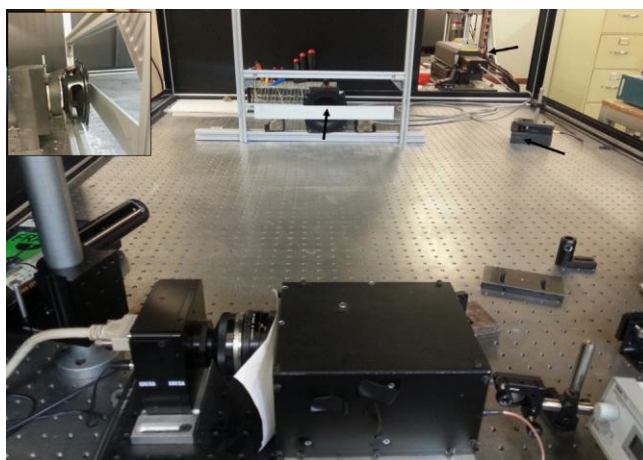
2. Metoda badawcza

Aparatura pomiarowa w niniejszym badaniu składa się z głośnika, lasera o ciągłej fali, systemu optyczno-akustycznego oraz cyfrowego systemu shearograficznego z rozdzielczością 4 mln punktów (Rys. 1.). Badanie zostało przeprowadzone na aluminiowej belce o wymiarach $400 \times 40 \times 3$ mm, w której wprowadzono uszkodzenia przy użyciu frezarki [2].

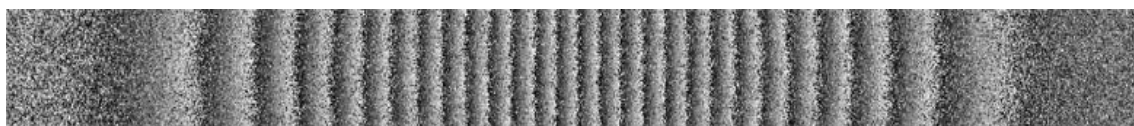
Istotnym czynnikiem w badaniu są częstotliwości własne, zmierzone dla różnych scenariuszy uszkodzeń. Zostały one określone przez pomiar funkcji odpowiedzi częstotliwościowej wzbudzonej belki z wykorzystaniem młotka modalnego i zmierzenie odpowiedzi przy użyciu mikrofonu o rozdzielczości częstotliwościowej równej 0.125 Hz. Wartości tych częstotliwości są potrzebne, aby móc prawidłowo wzbudzić belkę i zmierzyć pola rotacji modalnej za pomocą metody shearograficznej. Wzbudzenie belki przy użyciu określonej częstotliwości za pomocą głośnika powoduje uzyskanie mapy fazowej względem jej rotacji modalnej.

Dla potrzeb niniejszej pracy został przedstawiony scenariusz z pojedynczym uszkodzeniem o głębokości 0.41 mm. Belka została ustawiona w odległości 1.2 m od systemu shearograficznego, aby mogła zostać w całości zarejestrowana przez kamerę. W celu wyodrębnienia pola rotacji modalnej, mapa fazowa została poddana obróbce końcowej poprzez zastosowanie filtracji i innych technik przetwarzania.

Na Rys. 2. przedstawiona jest nieodfiltrowana mapa fazowa. Jak widać, uszkodzenie nie jest wykrywalne. W związku z tym, zastosowanie tutaj ma znaleźć analiza falkowa, aby umożliwić wykrywalność uszkodzeń.



Rys. 1. Układ eksperymentalny do pomiaru rotacji modalnej z użyciem shearografii [2]
Fig. 1. Experimental setup for the measurement of the modal rotations with shearography [2]



Rys. 1. Nieodfiltrowana mapa fazowa uszkodzenia 0.41 mm [2]
Fig. 1. Unfiltered phase map of damage scenario 0.41 mm [2]

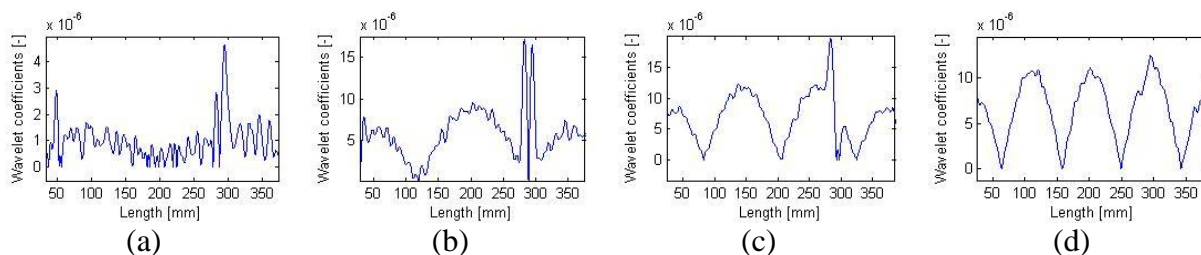
3. Analiza falkowa

W pracy została zastosowana ciągła (CWT) i dyskretna (DWT) transformacja falkowa jako narzędzia do zwiększenia wykrywalności uszkodzeń uzyskanych za pomocą frezarki. W przypadku CWT funkcją analizy jest falka, która porównuje sygnał do falki odpowiednio przesuniętej, skompresowanej lub rozciągniętej. Kompresja nazywana jest dylatacją, a rozciąganie skalowaniem, co odpowiada fizycznemu pojęciu skali [4]. DWT natomiast wykorzystuje dyskretny zestaw skal falkowych i translacji zgodnych z określonymi regułami. Transformacja ta rozkłada sygnał na wzajemnie ortogonalny zbiór falek, co jest główną różnicą w stosunku do CWT.

Przed rozpoczęciem analizy falkowej, empirycznie została dobrana falka Symlet z dwoma momentami zanikania. Jest to falka z rodziny Daubechies, nazywana również jej drugim typem. Falka Symlet wyróżnia się zwiększoną symetrycznością oraz prawie liniową fazą. Poza tym cechują ją te same własności co falki Daubechies, to jest ortonormalność oraz zwarty nośnik [5]. Argumentem przemawiającym za doбором tej falki jest mały szum i efektywniejsza lokalizacja uszkodzenia w stosunku do innych testowanych falek.

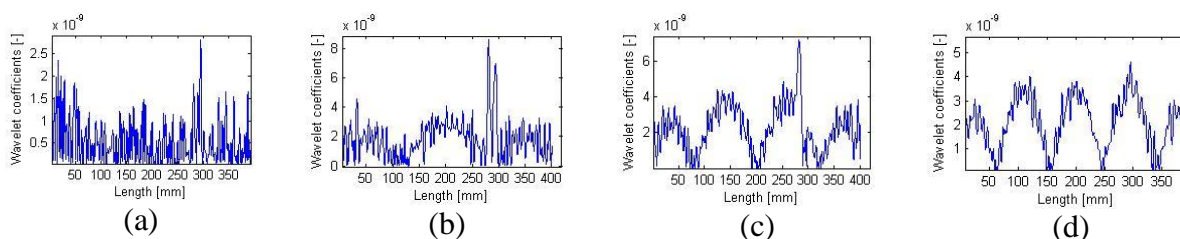
4. Wyniki

Wyniki CWT (Rys. 3.) oraz DWT (Rys. 4.) są przedstawione na podstawie pojedynczego uszkodzenia o głębokości 0.41 mm. Zostało zaobserwowane, że w zależności od rozpatrywanej postaci własnej, uszkodzenie jest wykrywalne bardziej lub mniej jako wysoki,



Rys. 3. Porównanie czterech postaci własnych dla pojedynczego uszkodzenia 0.41 mm uzyskanych przez CWT

Fig. 3. Comparison of four modal shapes for single damage 0.41 mm obtained by CWT



Rys. 4. Porównanie czterech postaci własnych dla pojedynczego uszkodzenia 0.41 mm uzyskanych przez DWT

Fig. 4. Comparison of four modal shapes for single damage 0.41 mm obtained by DW

wąski pik (Rys. 3 (a-c), 4 (a-c)). Jednakże, wyniki DWT w porównaniu do CWT cechuje duży szum, co jest zjawiskiem niepożądanym, ponieważ może maskować uszkodzenie. Ponadto, na podstawie wyników można stwierdzić, że coraz wyższa częstotliwość wzbudzenia nie sprzyja wykryciu uszkodzenia. Jest to widoczne na Rys. 4 (d), gdzie zbyt wysoka częstotliwość sygnału powoduje pokrycie się z uszkodzeniem. Wyniki zaprezentowane w pracy pokazują, że analiza falkowa zwiększa efektywność wykrywalności uszkodzeń metodą shearograficzną. Połączenie tych dwóch technik jest skutecznym narzędziem diagnostycznym. Jednakże jej rezultaty nie są doskonałe, dlatego wskazane są dalsze badania w tym kierunku.

Literatura

1. Araújo dos Santos, J. V.; Lopes, H., Damage localization based on modal response measured with shearography. Nobari, A. S., Aliabadi, F. M. H. (Eds.), Vibration based structural health monitoring methods. World Scientific Publishing (in press) (2018).
2. Minnini M., Gabriele S., Lopes H. i Araújo dos Santos J. V., Damage identification in beams using speckle shearography and an optimal spatial sampling, Mechanical Systems and Signal Processing, nr 79, s. 47-64 (2016).
3. Hung Y. Y., Chen Y. S., Ng S. P., Liu L., Huang Y. H., Luk B. L. et al., Review and comparison of shearography and active thermography for nondestructive evaluation, Materials Science and Engineering, t. 64, nr 5-6, 20, s. 73-112 (2009).
4. Katunin A., Modal-Based Non-Destructive Damage Assessment in Composite Structures Using Wavelet Analysis: A review, International Journal of Composite Materials, t. 3, nr 6(B), s. 1-9 (2013).
5. Katunin A., Diagnostics of composite structures using wavelets. Scientific Publishing Department of the Institute for Sustainable Technologies – NRI, s. 44-46 (2015).

NUMERICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF BODY DIMENSIONS ON ITS MECHANICAL PROPERTIES

inż. ADRIAN KUBECZKO

Mechatronics, ME8, semester III, graduate studies

Supervisor: prof. dr hab. inż. Antoni John

Abstract. Purpose of this thesis was to analyze the influence of body dimensions on its mechanical properties. The main focus was put on honeycomb structures, honeycomb sandwiches and plate girders. Range of work included creation of parametric models of examined structures, which enable easy and quick change of dimensions, as well as numerical discretization of models in order to perform FEM analysis for different states of deformation.



ANALIZA NUMERYCZNA WPŁYWU WYMIARÓWUKŁADU NA JEGO WŁASNOŚCI MECHANICZNE

Streszczenie. Celem pracy była analiza wpływu wymiarów ciała na jego własności mechaniczne. Główny nacisk został położony na struktury typu plaster miodu oraz belki perforowane. Zakres prac obejmował utworzenie modelu parametrycznego rozpatrywanych struktur, w celu uzyskania możliwości szybkiej zmiany ich wymiarów. Następnie dokonano dyskretyzacji modeli oraz ich analizy numerycznej MES w różnych stanach odkształcenia.

1. Introduction

Inspired by nature honeycomb structures offer good mechanical properties with relatively low weight. Properties of the honeycomb core highly depend on the direction to which the load is applied – orthotropic structure. Properties of these structures also depend on the dimension of cells, thickness of cell walls and facing skins and the material of which they were made. Hexagonal shape of the core provides maximal density for a given amount of material used. Because of the way in which honeycomb cores are produced, two out of six cell walls are twice as thick. Construction of a single cell can be seen on the figure 1.

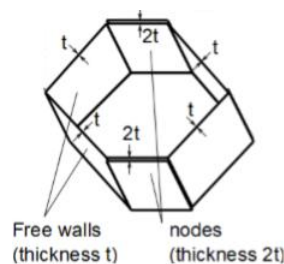


Fig. 1. Construction of a single honeycomb cell
Rys.1. Konstrukcja pojedynczej komórki struktury typu plaster miodu

Second type of structures used are perforated girders in the shape of I-beam. Thanks to their large diversity of structural solutions they are used in different kinds of constructions. Not only beams may differ in height or elements width but also openings perforated in the web have different shapes. Similar to honeycomb structures the purpose of performing such an operation of making openings has its purpose in significantly reducing the beams weight with relatively low stiffness and strength decrease. Circular shape of perforated holes is the most popular, with their diameter equal to 80% of girder web height.

2. Parametric model

In order to create parametric models of considered structures CATIA V5 software was used. Using the parametrization tool, parameters were assigned to individual dimensions of the created structures. Such a parameter used as a function attribute allowed to create dependencies between certain model dimensions and as a result – autogenerating model. By changing one dimension of the model, entire structure accordingly matches rest of dimensions to create a viable body. Figure 2 shows basic dimensions of structures used in analysis.

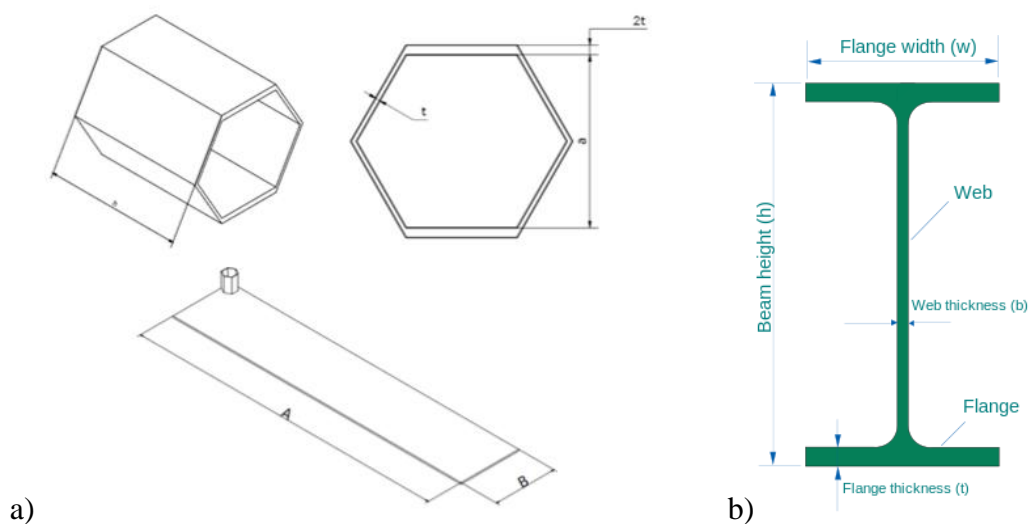


Fig. 2. Dimensions of honeycomb model (a) and perforated girder model (b)
Rys. 2. Wymiary modelu struktury typu plaster miodu (a) oraz belki perforowanej (b)

To create honeycomb core model out of a single cell, Rectangular Pattern tool was used. Directions of the created pattern were set through previously created planes, position of which was also parametrized by function dependent on cell dimensions. Number of cells in the core in particular direction was dependent on A and B dimensions, as well as a dimension marking the width of a single cell. Perforated girder model was parametrized in similar manner to the honeycomb model. In the first order the bottom flange of the girder was created. Following this step, web and the upper flange were created. Both, thickness and height, of flanges and web were parametrized to accordingly change and create a valid model of girder when one of dimensions is being changed. Dimension of holes perforated in the web was set to be equal to 80% of the web height. Despite the number of holes varying between consecutive iterations, they were always set to be symmetrical in regard to edges of the girder. Figure 3 shows finished, parametrized models of honeycomb structure and perforated girder.

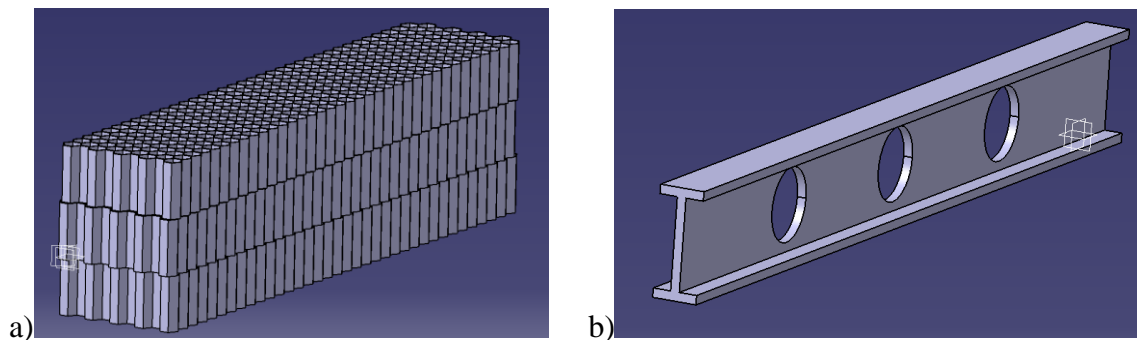


Fig. 3. Parametric model of honeycomb structure (a) and perforated girder (b)
 Rys. 3. Parametryczne modele struktury typu plaster miodu (a) oraz belki perforowanej (b)

3. Numerical analysis

Models previously created in CATIA V5 software were imported into Design Modeler part of Ansys software. Once imported, 3D body models were transformed into 2D shell models, preserving all the geometrical properties using the Mid-Surface tool. In the case of honeycomb structure, facing skins had to be separately modeled in the Design modeler for the Mid-Surface tool to work properly.

As a material for honeycomb structures aluminum alloy was used. Young's modulus of aluminum alloy is equal to 71 GPa and Poisson's ratio is equal to 0,33. Honeycomb structures were analyzed under boundary conditions corresponding to those during compression and three-point bending.

Structural steel was chosen as a material for perforated girder models. It's Young's modulus is equal to 200 GPa and Poisson's ratio is equal to 0,3. Perforated girder models were analyzed under boundary conditions corresponding to two types of bending: fixed bending, where one edge of the model is fixed to the wall and three-point bending.

Analyzed structures were tested for following dimension changing in each consecutive iteration are listed in table 1.

Table 1. Model dimensions changed in consecutive iterations
 Tabela 1. Wymiary modeli zmieniane w kolejnych iteracjach

Honeycomb structure	Perforated girder
Cell height	Web height
Cell wall thickness	Web thickness
Cell width	Flange width
Number of cells in a layer	Flange thickness
Number of layers	Number of holes
Offset direction of middle layer	Diameter of holes
Thickness of facing skins	

In each iteration values of occurring maximal deflection and stress were calculated and then compared between iterations. Figure 4 shows the distribution of deflection and stresses across the model for an exemplary three-point bending analysis of the honeycomb structure.

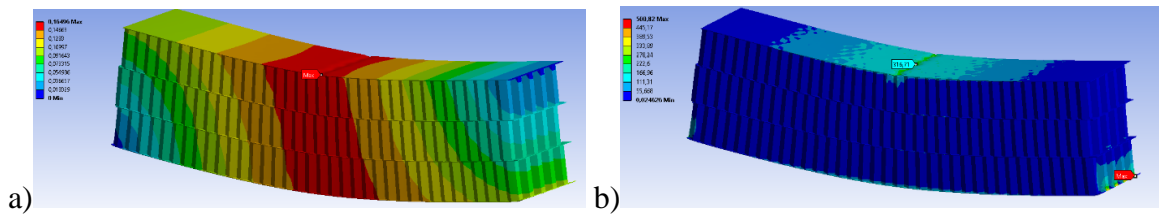


Fig. 4. Distribution of deflection (a) and stresses (b) for three-point bending analysis
 Rys. 4. Rozkład ugięcia (a) oraz naprężenia (b) dla próby zginania trójpunktowego

Maximal values of deflection and stresses in both types of analysis were presented in the form of a table. Exemplary table, showing values of maximal deflection for analysis of the number of layers in honeycomb structure for three-point bending is shown as table 2.

Table 2. Values of deflection in consecutive iterations for honeycomb structure
 Tabela 2. Wartości ugięcia dla kolejnych iteracji analizy struktury typu plaster miodu

Number of layers	Deflection [mm]	Percentage change [%]	
1 layer	1,5384	78	
2 layers	0,33754		
3 layers	0,16496		51

The same procedure of analyzing deflection, stresses and their comparison in the form of tables was kept for perforated girder models. Additionally non-linear buckling analysis was performed for perforated girder models.

4. Conclusions

In case of honeycomb structures, adding layers of honeycomb core into the structure as well as increasing the thickness of facing skins had the highest impact on analyzed values – up to 78% difference in deflection between model with one and two layers.

Perforated girder was analyzed for two types of bending. Iterative change of height of the web as well as it's thickness had the highest impact on occurring stress and deflection – up to 41% difference between iterations. Non-linear buckling analysis was also performed for girder models. Values of buckling obtained by changing the web height were also the most different from values obtained in default model – 273% difference in obtained buckling values.

References

- Hexcel Composites; Honeycomb Attributes and Properties, http://www.hexcel.com/user_area/uploads/Honeycomb_Attributes_and_Properties.pdf [Access: 6 November 2017].
- Hexcel Composites; Honeycomb Sandwich design technology, http://www.hexcel.com/user_area/uploads/Honeycomb_Sandwich_Design_Technology.pdf [Access: 6 November 2017].
- John M., John A., Skarka W. The influence of the geometrical parameters on the mechanical properties of honeycomb structure. MECHANIKA 2017 Volume 23(3): 359 - 364.

ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA PRZEGUBU PRZYRZĄDU DO TRENINGU SIŁOWANIA SIĘ NA RĘKĘ

inż. JAKUB LISICKI

Mechanika i Budowa Maszyn, MB4, semestr I, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr inż. Zdzisław Rak, mgr inż. Marcin Hatłas

Streszczenie. Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie weryfikacji wytrzymałościowej przegubu wcześniej zaprojektowanego przyrządu do treningu siłowania się na rękę. Analiza została przeprowadzona w środowisku Ansys Workbench z zastosowaniem metody elementów skończonych. Z racji, że przygotowana geometria cechowała się skomplikowanymi relacjami między częściami złożenia, należało zwrócić szczególną uwagę na zdefiniowanie odpowiednich zależności kontaktowych między elementami.

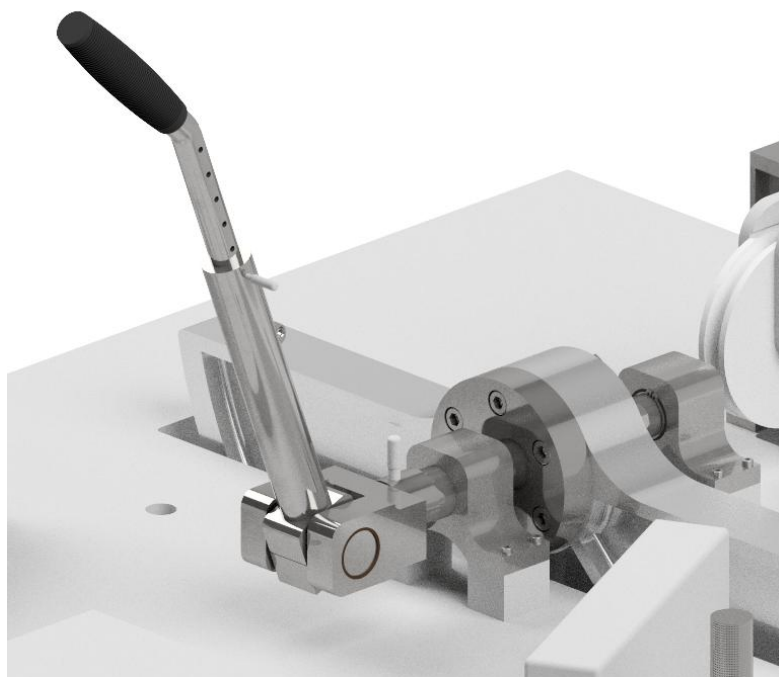


STRENGTH ANALYSIS OF THE LEVER IN THE ARM WRESTLING TRAINING DEVICE

Abstract. The purpose of this work was to carry out the strength analysis of the joint in the previously designed arm wrestling training device. The analysis was performed in the Ansys Workbench environment by using finite elements method. Due to the fact that the prepared geometry was characterized by complicated connections between the parts of the assembly, the particular attention should had to be paid to defining the appropriate contact relations between the elements.

1. Wprowadzenie

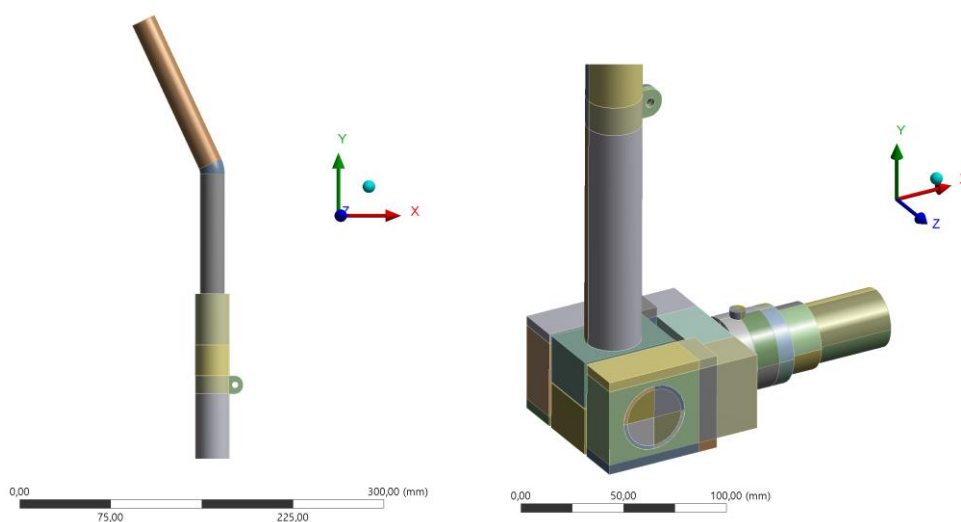
Metoda elementów skończonych jest jedną z najbardziej popularnych metod komputerowych, pozwalających na rozwiązywanie zagadnień brzegowych mechaniki. Polega na zastąpieniu ciągłego układu mechanicznego modelem dyskretnym, który w opisie matematycznym przyjmuje postać układu równań algebraicznych [1]. MES jest metodą aproksymacyjną, dlatego uzyskane wyniki nie są nigdy wynikami dokładnymi i obarczone są błędami wynikającymi np. z błędnego zamodelowania geometrii, niepoprawnego sformułowania warunków brzegowych, złego zdefiniowania parametrów materiału czy też błędu zaokrążeń, wynikającego z ograniczonej dokładności reprezentacji liczb zmiennoprzecinkowych. W pracy wykonano analizę metodą elementów skończonych przegubu zaprojektowanego przyrządu, służącego do oporowego treningu kończyny górnej, przeznaczonego dla zawodników siłujących się na rękę, przedstawionego na Rys. 1. Zadaniem tej części urządzenia jest umożliwienie użytkownikowi wykonywania oporowanego ruchu, imitującego ten, który zachodzi podczas pojedynku siłowania się na rękę. Występujący opór ruchu pochodzi z regulowanych stosów obciążeniowych, a jego wielkość zadawana jest przez użytkownika. Ze względu na występujące w układzie siły oraz duża złożoność geometrii analiza tego przegubu bez zastosowania metod komputerowych byłaby bardzo trudna do wykonania.



Rys. 1. Model zaprojektowanego urządzenia
 Fig. 1. Designed model of the device's lever

2. Analiza wytrzymałościowa z wykorzystaniem MES

Analizę powyższego elementu rozpoczęto od przygotowania geometrii w programie SpaceClaim. Z modelu usunięto elementy, który nie miały istotnego wpływu na wytrzymałość konstrukcji, a w późniejszych etapach analizy mogłyby powodować problemu w tworzeniu regularnej siatki (np. zaokrąglenia ścianek). Dodatkowo geometria została podzielona na mniejsze fragmenty, pomiędzy którymi została uwzględniona opcja Share Topology. Efektem tych prac był model bryłowy widoczny na Rys. 2.

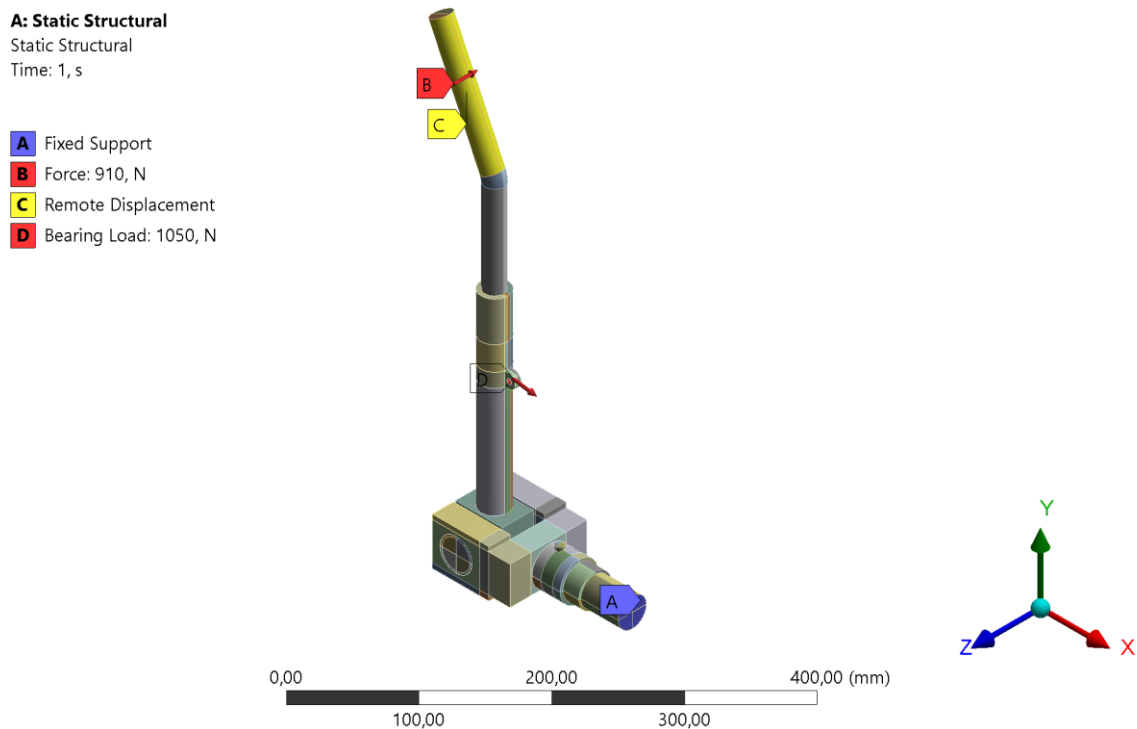


Rys. 2. Przygotowany model geometrii do dalszej analizy
 Fig. 2. Prepared geometry's model for further analysis

Kolejnym etapem było naniesienie siatki elementów skończonych. Głównym założeniem było przygotowanie odpowiednio zagęszczonej siatki elementów typu HEX20, celem uzyskania jak najdokładniejszych wyników. Wielkość pojedynczego elementu została ustawiona na 1,40 mm. Dodatkowo za pomocą funkcji MultiZone zostały wydzielone podstrefy siatki, co w połączeniu z wcześniejszym podzieleniem geometrii na mniejsze elementy umożliwiło wygenerowanie siatki składającej się wyłącznie z elementów sześciennych typu SOLID186, które są trójwymiarowymi, dwudziestowęzłowymi elementami bryłowymi wyższego rzędu o trzech stopniach swobody w każdym węźle. Następnym krokiem było zdefiniowanie materiału, stanów obciążeń, nadanie więzów oraz kontaktów w miejscach, gdzie było to wymagane.

Przyjęto, że elementy wykonane są z niestopowej, jakościowej stali C55, przeznaczonej do ulepszenia cieplnego, o module Young'a $E = 207$ GPa oraz naprężeniom dopuszczalnym $k_{dop} = 375$ MPa.

Następnie zdefiniowano stany obciążeń tak, jak zostało to pokazane na Rys. 3. Występujące w układzie siły pochodzą od umieszczonych w przyrządzie stosów obciążeniowych, które umożliwiają na regulację obciążenia w trakcie treningu.

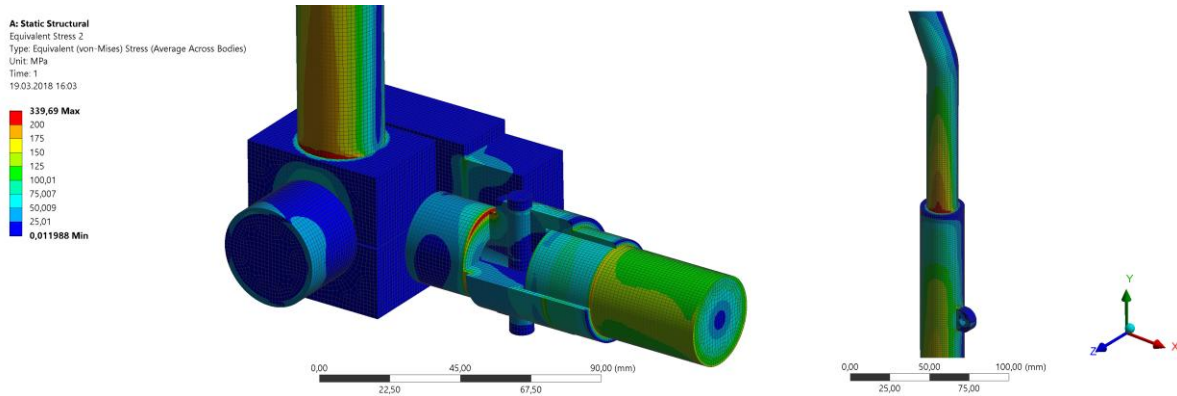


Rys. 3. Zdefiniowane stany obciążeń i naniesione więzy
Fig. 3. Defined load conditions and constraints

Przyłożona siła, oznaczona jako B, wywołująca obrót elementu w płaszczyźnie YZ, miała kierunek zgodny z osią Z, siła oznaczona jako D, położona była w płaszczyźnie OXY i nachylona była pod kątem 98 stopni względem osi Y. Natomiast na powierzchni oznaczonej literą A za pomocą funkcji Fixed Support zostały odebrane wszystkie stopnie swobody.

Ostatnim elementem było opisanie połączeń między elementami. Zdefiniowano regiony kontaktów między współpracującymi częściami, oraz połączenia ruchome, które w tym przypadku odnosiły się do połączeń obrotowych między sworzniem, a tulejami w przegubie.

Proces obliczenia tak przygotowanego modelu, składającego się z 255059 elementów skończonych i posiadającego 3429346 stopni swobody, trwał 22 minuty, a jego wynikiem były mapy rozkładu naprężeń zredukowanych von Misesa. Jedną z takich map została pokazana na Rys. 4.



Rys. 4. Mapa naprężeń zredukowanych (von Misesa)
Fig. 4. Distribution of reduced stressess (von Mises)

3. Wnioski

Uzyskane w toku analizy wartości naprężeń zredukowanych były mniejsze, niż zakładane naprężenia dopuszczalne, przez co można uznać że przegub został zaprojektowany poprawnie. Otrzymane mapy rozkładu naprężeń pokazały, że największe naprężenia występowały w miejscu łączenia przegubu z dolną częścią dźwigni, w miejscu pasowania górnej oraz dolnej części dźwigni oraz w okolicach mufy. Miejsce wystąpienia powyższych spiętrzeń były zgodne z przewidywaniami, przez co można było uznać że analiza została wykonana poprawnie. Co więcej, na przedstawionych ilustracjach można zaobserwować ciągłość rozkładu naprężeń, co zostało osiągnięte przez odpowiednio dużą dyskretyzację modelu.

Literatura

1. Bąk R., Burczyński T., Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego, WNT, Warszawa (2001).
2. Majchrzak E., Mochnacki B., Metody numeryczne. Podstawy teoretyczne, aspekty praktyczne i algorytmy, Wyd. Pol. Śl., Gliwice (2004).
3. Dobrzański L., Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, WNT, Warszawa (2006).

MODELOWANIE EKRANOWANIA TERMICZNEGO Z WYKORZYSTANIEM METAMATERIAŁÓW

inż. ANGELIKA ŁATAŚ

Mechanika i Budowa Maszyn, MB4, semestr III, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Grzegorz Działkiewicz

Streszczenie. Celem niniejszej pracy była analiza procesu sterowania dyfuzyjnym przepływem ciepła dla modelu ekranowania termicznego z wykorzystaniem metamateriałów. Wykonano analizę ustalonego przepływu ciepła w niejednorodnej płycie prostokątnej, przedstawiając rozkłady temperatur oraz strumienia ciepła. Analiza została przeprowadzona z zastosowaniem metody elementów skończonych (MES) w aplikacji Steady-State Thermal systemu ANSYS WORKBENCH.



MODELING OF THERMAL SHIELDING WITH ENGINEERED THERMAL METAMATERIALS

Abstract. The aim of the work was to analyse the process of diffusion heat flux control for a model of thermal shielding with engineered thermal metamaterials. The analysis was performed for a steady state heat flow in a heterogeneous rectangular plate, to show distributions of temperature and heat flux. The analysis was carried using the finite element method (FEM) in the Steady-State Thermal application of the ANSYS WORKBENCH system.

1. Wprowadzenie

Aktualnie obserwuje się wzrost liczby badań naukowych dotyczących metamateriałów [1], czyli sztucznie wytworzonych materiałów kompozytowych, których własności nie występują w materiałach naturalnych. Badania [1] pokazują, że odpowiednio zaprojektowane metamateriały są zdolne do sterowania dyfuzyjnym przepływem ciepła. Oprócz ekranowania, własności metamateriałów wykorzystuje się również do koncentracji strumienia ciepła oraz procesu odwracania kierunku strumienia ciepła. W niniejszej pracy skupiono się na przedstawieniu efektu ekranowania [2].

2. Model MES oraz wyniki obliczeń

Badając ustalony przepływ ciepła w niejednorodnej płycie prostokątnej wykorzystano równanie Laplace'a, ważne dla każdego z podobszarów płyty:

$$\nabla^2 T = 0, \quad (1)$$

gdzie: T – temperatura.

Zastosowano następujące warunki brzegowe: na lewej oraz prawej krawędzi płyty przedstawionej na Rys. 1 zadano warunek brzegowy I rodzaju:

$$\begin{aligned} (x, y) \in \Gamma: T(0, y) &= T_L \\ T(b, y) &= T_p, \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

Γ – brzeg obszaru,

T_L, T_p – znane temperatury na brzegu obszaru,

x – oś x , leżąca na dolnej krawędzi płyty,

y – oś y , leżąca na lewej krawędzi płyty,

b – szerokość płyty.

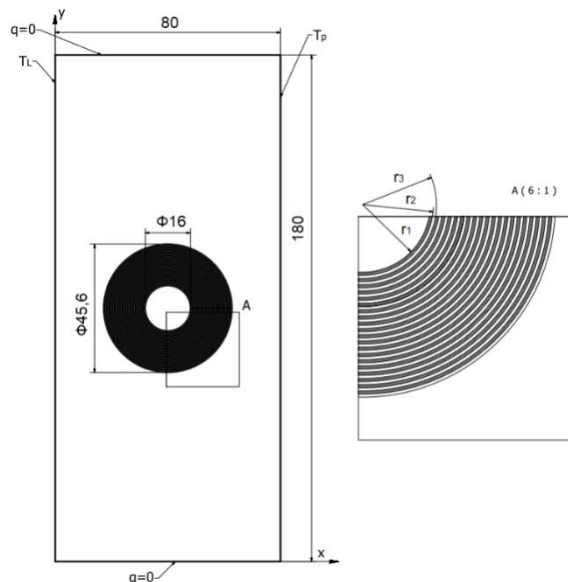
Na dolnej i górnej krawędzi płyty z Rys. 1 założono warunek izolacji termicznej:

$$\begin{aligned} (x, y) \in \Gamma: q(x, a) &= 0 \\ q(y, b) &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie:

a – wysokość płyty.

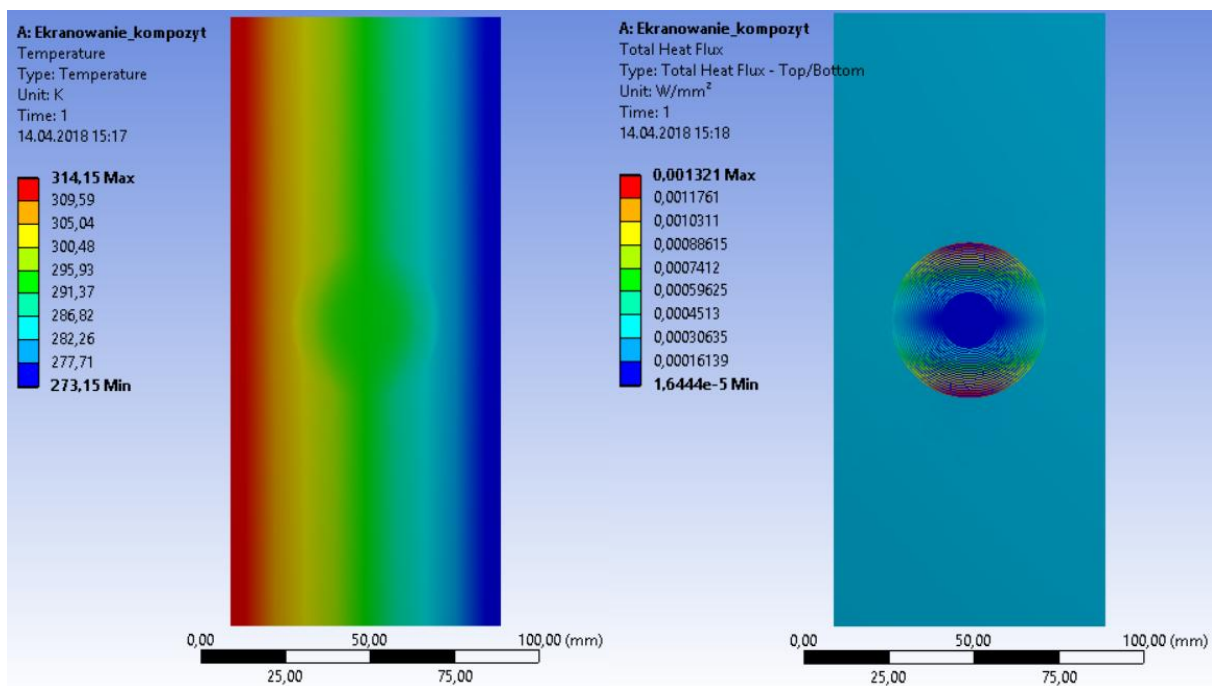
Modelowanie efektu ekranowania pokazano dla płyty prostokątnej o wymiarach: $190 \times 80 \times 1$ mm, z pierścieniem wykonanym z metamateriału, jak na Rys. 1. Zadano warunek brzegowy I rodzaju, zgodnie z (2), wtedy $T_L = 314 \text{ K}$, a $T_p = 273 \text{ K}$, gdzie T_L to temperatura przyłożona do lewego brzegu obszaru, z kolei T_p to temperatura przyłożona do prawego brzegu obszaru modelu. Na górnej i dolnej krawędzi założono warunek izolacji, jak w (3). Dodatkowo między warstwami kompozytu założono idealny warunek kontaktu termicznego [3]. Model geometryczny płyty, wraz z warunkami brzegowymi, przedstawiono na Rys. 1. Szczegół pokazuje sposób ułożenia 40-stu naprzemiennych warstw kompozytu zbudowanego z gumy lateksowej i silikonu. Grubość warstwy lateksowej wynosi: $g_2 = r_2 - r_1 = 0.38 \text{ mm}$, a silikonu: $g_3 = r_3 - r_2 = 0.36 \text{ mm}$.



Rys.1. Geometria rozważanej płyty
Fig. 1. Geometry of the analyzed model

Efekt ekranowania termicznego, otrzymany za pomocą pierścienia wykonanego z metamateriału, prowadzi do znikania gradientu temperatury w materiale rodzimym płyty, wewnątrz pierścienia, przy jednoczesnym niewielkim odkształceniu izoterm dla płyty, w stosunku do rozwiązania dla płyty jednorodnej. Wtedy należy zachować następującą relację między przewodnościami cieplnymi materiałów w układzie: $\lambda_l \lambda_s \sim \lambda_n^2$ [1], w której symbol λ_l oznacza współczynnik przewodności cieplnej gumy lateksowej, symbol λ_s to przewodność cieplna silikonu, zaś oznaczenie λ_n odnosi się do przewodności materiału rodzimego płyty. Zgodnie z tym założeniem, według [1], na materiał płyty, zastosowano 5%-owy roztwór agaru, o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda_n = 0.56 \text{ W/(mK)}$, natomiast drugą część, czyli pierścień ekranujący, zbudowano z koncentrycznej, warstwowej struktury składającej się z 40-stu naprzemiennych warstw dwóch materiałów izotropowych, o różnym przewodnictwie cieplnym. Jedna z nich to guma lateksowa o współczynniku przewodzenia ciepła wynoszącym $\lambda_l = 0.13 \text{ W/(mK)}$, drugą natomiast jest silikon, który charakteryzuje współczynnik przewodzenia ciepła wynoszący $\lambda_s = 2.6 \text{ W/(mK)}$.

Po wykonaniu analizy MES wyniki w postaci rozkładu temperatur oraz całkowitego strumienia ciepła pokazano na Rys. 2, jak w [4].



Rys.2. Rozkład temperatur (lewa strona) oraz rozkład strumienia ciepła (prawa strona) w modelu płyty z kompozytowym pierścieniem ekranującym

Fig. 2. The temperature distribution (left side) and the total heat flux distribution (right side) in a model with the composite shielding cylinder

Otrzymany rozkład temperatur jest stosunkowo równomierny, jednak zaobserwowano odkształcenia izoterm od pionowej osi symetrii płyty, w obszarze występowania pierścienia wykonanego z kompozytu. Z kolei otrzymany rozkład strumienia ciepła jest symetryczny, względem poziomej jak i pionowej osi symetrii. Najmniejszą wartość, niemalże równą zero, otrzymano wewnątrz pierścienia, co pokazuje, że przepływ ciepła w tym obszarze jest zablokowany przez ekran z metamateriału.

Celem głębszej analizy efektu ekranowania wykonano analizy również dla pierścieni ekranujących z miedzi oraz z poliuretanu. Model geometryczny pozostał bez zmian,

dokonano zastąpienia materiału pierścienia, jednorodnym materiałem izotropowym. Jednym z nich została miedź, o bardzo wysokim przewodnictwie cieplnym, zdefiniowanym współczynnikiem przewodzenia ciepła wynoszącym $\lambda_m = 420 \text{ W/(mK)}$, drugim natomiast poliuretan, będący dobrym izolatorem cieplnym, o współczynniku wynoszącym $\lambda_p = 0.03 \text{ W/(mK)}$.

Na podstawie otrzymanych wyników porównano wartość średniego gradientu strumienia ciepła w materiale rodzimym pierścienia oraz średnie odchylenie izoterm w stosunku do płyty jednorodnej, dla wszystkich trzech analiz. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki analizy dla różnych materiałów pierścienia ekranującego
Table 1. Analysis results for different shielding cylinder materials

Materiał pierścienia	$\nabla T_{\xi r} [K/mm]$	$\theta [^\circ]$
Miedź	10.089	20.5
Poliuretan	0.57040	14.0
Kompozyt	0.10065	10.7

Przedstawione trzy warianty porównano i zaobserwowano, że największe zniekształcenie izoterm uzyskano dla materiału o największej przewodności cieplnej, a najmniejsze przy zastosowaniu kompozytu. Badając gradient temperatury, w tym przypadku również, największą wartość otrzymano w wyniku zastosowania miedzi, a najmniejszą dla kompozytu.

3. Wnioski

W ekranowaniu termicznym chodzi o to, żeby uzyskać bardzo mały gradient temperatury w materiale rodzimym wewnątrz pierścienia, przy niewielkim odkształceniu izoterm - to odpowiada niewidzialności termicznej [1], ponieważ obecność pierścienia z metamateriału praktycznie nie zaburza rozkładu izoterm.

Dla miedzi (dobry przewodnik cieplny) uzyskano stosunkowo duży gradient temperatury wewnątrz, ale też duże zniekształcenie izoterm. Dla poliuretanu (dobry izolator cieplny) uzyskano mniejszy gradient temperatury wewnątrz, oraz mniejsze odkształcenie izoterm niż dla miedzi. Dopiero zastosowanie kompozytu w postaci metamateriału pozwoliło uzyskać najniższy gradient i praktycznie brak odchylenia izoterm. Pokazano w ten sposób, że metamateriał blokuje przepływ ciepła wewnątrz pierścienia.

Literatura

1. Narayana S., Sato Y., Heat flux manipulation with engineered thermal materials, „Physical Review Letters”, American Physical Society (2012).
2. Hu R., Wei X., Hu J., Luo X., Local heating realization by reverse thermal cloak, „Scientific Reports”, www.nature.com/scientificreports (2014).
3. Majchrzak E., Mochnecki B., Metody numeryczne: podstawy teoretyczne, aspekty praktyczne i algorytmy, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice (2004).
4. Ansys Workbench Help: „Thermal Conductivity”, Steady-State Thermal, Ansys Workbench 18.2

PRZYGOTOWANIE MODELU DO ANALIZY MEB W ŚRODOWISKU ANSYS WORKBENCH

inż. ALEKSANDER MAZUR

Mechanika i Budowa Maszyn, MB4, semestr III, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr inż. Jacek Ptaszny

Streszczenie. W pracy opisano metodykę przygotowania modelu do analizy przestrzennych układów liniowosprężystych za pomocą metody elementów brzegowych (MEB), w środowisku Ansys Workbench. Do utworzenia pliku z danymi programu MEB opracowano skrypt w języku Python. Porównano wyniki analizy wybranego układu uzyskane za pomocą MEB oraz metody elementów skończonych (MES).



DEVELOPMENT OF THE BEM MODEL BY USING ANSYS WORKBENCH

Abstract. A method for boundary element method (BEM) model development, for the analysis of 3D linear elastic structures, by using Ansys Workbench is presented. To prepare BEM code input file, a Python script is developed. BEM analysis results are compared to finite element method (FEM).

1. Wprowadzenie

Działanie maszyn i mechanizmów zależy od prawidłowego funkcjonowania ich elementów. Zbyt duże obciążenie takich elementów, może prowadzić do sytuacji gdy ich wymiary lub postać zmieniają się na tyle, że wykonywanie przez nie swojego pierwotnego zadania stanie się niemożliwe. Aby sprawdzić czy obciążenia, którym poddany zostanie element nie przekraczają wartości dopuszczalnych przeprowadza się obliczenia numeryczne. Wyniki tych obliczeń wraz z ich interpretacją pozwalają na określenie czy dane obciążenie zostało dobrane prawidłowo. W przypadku elementów o skomplikowanej geometrii może się okazać, że przeprowadzenie obliczeń analitycznych jest zbyt czasochłonne lub niemożliwe. W takiej sytuacji wykorzystuje się komputerowe metody takie jak np. metoda elementów skończonych (MES) lub metoda elementów brzegowych (MEB). Przy poprawnym zamodelowaniu zadania wyniki uzyskane tymi metodami są zbliżone do rzeczywistości na tyle, że ich znajomość może pozwolić na przewidzenie pracy elementów pod zadanym obciążeniem.

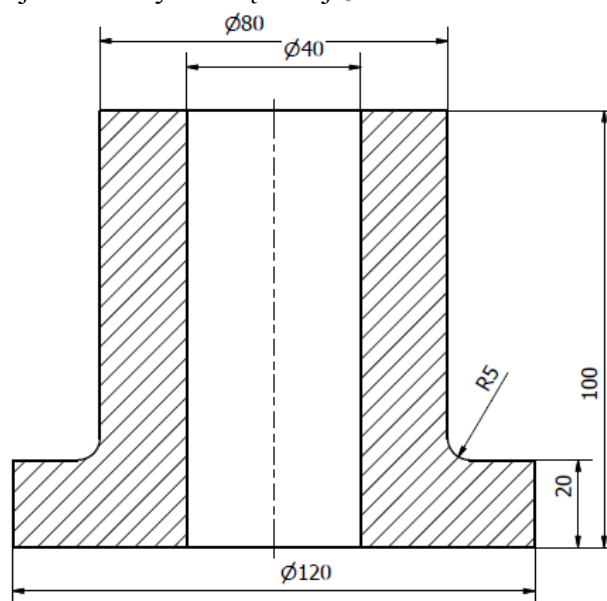
Metoda elementów skończonych to jedna z najpopularniejszych metod komputerowych, która umożliwia rozwiązywanie zagadnień brzegowych i brzegowo-początkowych. Jej istotą jest zastąpienie układu ciągłego układem dyskretnym, który może być opisany układem równań algebraicznych [1, 4].

Metoda elementów brzegowych jest metodą komputerową, która umożliwia rozwiązywanie brzegowych równań całkowitych. Dzięki dyskretyzacji brzegu ciała oraz odpowiedniej aproksymacji funkcji brzegowych funkcjami interpolacyjnymi uzyskuje się

układ równań algebraicznych. W przypadku niektórych zagadnień, np. liniowej sprężystości, niewiadome w układzie są związane jedynie z brzegiem układu [3].

2. Rozpatrywany układ

Rozpatrywany układ to tuleja o wymiarach przedstawionych na rysunku 1. Model został utworzony w programie SpaceClaim środowiska Ansys Workbench za pomocą narzędzia *Revolve*, ze względu na osiową symetrię tulei. Materiał, z którego została wykonana tuleja to stal konstrukcyjna o module Younga $E = 200$ GPa oraz liczbie Poissona $\nu = 0.3$. Model został obciążony wypadkową siłą ściskającą $F = 3000$ N rozłożoną równomiernie na powierzchni pierścieniowej o średnicy zewnętrznej $\phi 120$ mm, oraz utwierdzony sztywno na powierzchni przeciwległej o średnicy zewnętrznej $\phi 80$ mm.

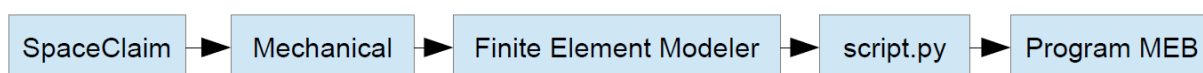


Rys. 1. Kształt i wymiary rozpatrywanej tulei
Fig. 1. Shape and dimensions of bush under consideration

3. Analiza MEB

Po utworzeniu wyjściowej geometrii cała bryła została zaznaczona i wybrano opcję *Detach All* dostępną po kliknięciu prawym przyciskiem myszy. Dzięki tej operacji bryła została podzielona na powierzchnie. Każdej z powierzchni nadano grubość. Wartość grubości była niewielka w stosunku do wymiarów modelu i w danym przypadku wynosiła 0,01 mm. Następnie powierzchnie zostały podzielone płaszczyznami XZ i YZ. Aby po podziale model nie był traktowany jako osobne ciała, w drzewku modelu, dla elementu, w zakładce *Analysis* zmieniono wartość opcji *Share Topology* z *None* na *Share*. Dzięki temu działaniu, każda z ćwiartek współdzieli krawędzie. Aby sprawdzić wektory normalne do powierzchni, wskazujące na zewnątrz, wykorzystano narzędzie *Normal* w zakładce *Measure*. W celu wygenerowania siatki każda z krawędzi została podzielona na określoną ilość elementów za pomocą opcji *Number of Divisions* narzędzia *Edge Sizing*. Aby wymusić określony podział należało również zmienić opcję *Behavior* z *Soft* na *Hard*. Dodatkowo w celu zapewnienia lepszej jakości siatki wykorzystano narzędzie *Face Meshing* na każdej z grup powierzchni (płaskie, walcowe oraz zaokrąglenia). Podczas tworzenia siatki wykorzystano elementy czworokątne o kwadratowych funkcjach kształtu.

Model po dyskretyzacji posiadał 3132 węzły i 1044 elementy. Następnie zadano warunki brzegowe tak jak opisano w punkcie 2. W celu wyeksportowania danych dotyczących materiału, siatki i warunków brzegowych wykorzystano moduł *Finite Element Modeler* dostępny z poziomu okna projektu. Po umieszczeniu go w projekcie został on połączony z zakładką *Setup* modułu *Static Structural*. Po otwarciu tego modułu można odczytać podstawowe informacje dotyczące modelu i siatki. Po wybraniu z drzewa *Generate Data* otrzymuje się dostęp do szczegółowych informacji odnośnie materiału, siatki i warunków brzegowych. Po utworzeniu odpowiedniego pliku tekstowego z danymi należy uruchomić skrypt języka Python. Aby to zrobić w oknie projektu trzeba wybrać: *File>Scripting>Run Script File...* a następnie zmienić rodzaj odczytywanych plików na *Python Script Files (*.py)*. Po wykonaniu skryptu utworzone zostały dwa pliki wejściowe dla programu MEB: *INPUT* oraz *INPUT2*. Struktura plików wejściowych oraz program MEB zostały opisane w pozycji [2]. Schemat przedstawiający kolejność uruchamiania kolejnych programów przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Kolejność uruchamiania programów w analizie MEB
 Fig. 2. The order in which programs are launched in BEM analysis

4. Analiza MES

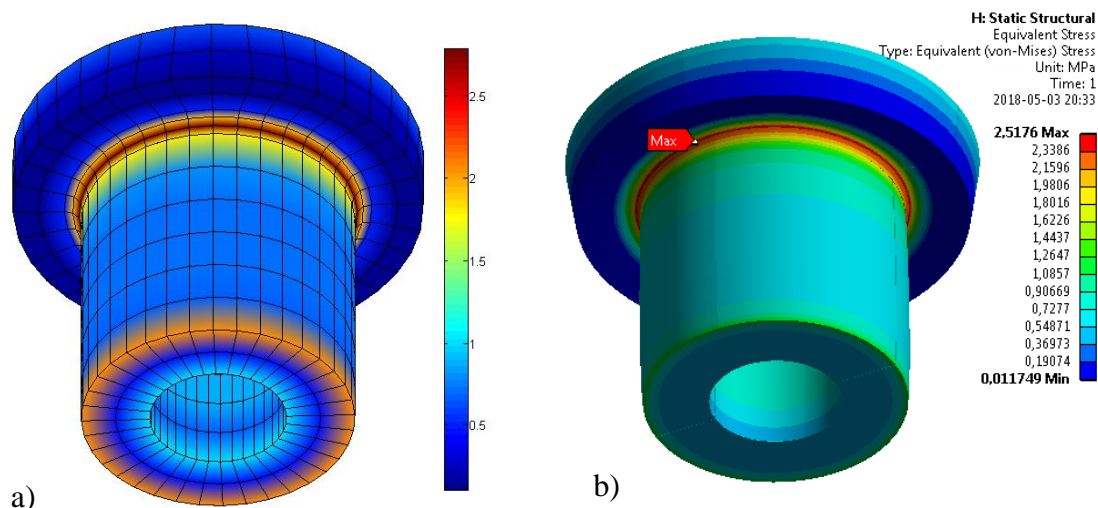
Utworzony model został podzielony na cztery równe części płaszczyznami XZ i YZ oraz zaznaczono wspólną topologię jak w punkcie 3. Następnie utworzona została siatka elementów skończonych. Do dyskretyzacji modelu wykorzystano elementy o kwadratowych funkcjach kształtu. W celu zapewnienia regularnej siatki wykorzystano narzędzie *Face Meshing* tak jak w punkcie 3. Utworzona siatka miała 31752 węzłów oraz 6336 elementów. Następnie zadano warunki brzegowe tak jak opisano w punkcie 2 oraz przeprowadzono analizę. Jako wynik analizy wybrano naprężenia redukowane Hubera-Misesa.

5. Wyniki

Tabela 1 przedstawia wartości maksymalnych przemieszczeń oraz naprężeń uzyskanych w analizach. Rysunek 3 przedstawia porównanie map naprężeń uzyskanych w analizach MES i MEB.

Tabela 2. Wartości przemieszczeń i naprężeń uzyskane w analizach MES i MEB
 Table 1. The values of displacements and stresses obtained in FEM and BEM analyses

Rodzaj analizy	Przemieszczenie maksymalne [mm]	Naprężenia przy zaokrągleniu [MPa]	Liczba węzłów	Liczba elementów
MEB	$6,31 \cdot 10^{-4}$	2,75	3132	1044
MES	$6,72 \cdot 10^{-4}$	2,52	21762	6336
Różnica względna δ	6,09%	9,04%		



Rys. 3. Naprężenia zredukowane w MPa, a) analiza MEB b) analiza MES
 Fig. 3. Equivalent stress distribution in MPa a) BEM analysis b) FEM analysis

Największe przemieszczenia w obydwu przypadkach pojawiło się, na zewnętrznej krawędzi obciążonej powierzchni i wynosiło ok. $6 \cdot 10^{-4}$ mm. Różnica względna pomiędzy wynikami wynosiła 6,09%. Przemieszczenie było niewielkie w porównaniu do wymiarów tulei.

W przypadku obu analiz największe spiętrzenie naprężeń pojawiło przy zaokrągleniu. Naprężenie w tym miejscu wynosiło 2,75 MPa oraz 2,52 MPa odpowiednio dla analizy MEB i MES.

Wyniki analiz MEB i MES są do siebie zbliżone, a uzyskane mapy naprężeń podobne. Środowisko ANSYS Workbench pozwala na wygenerowanie siatki elementów brzegowych, która może być wykorzystana w analizie MEB. Utworzona w ten sposób siatka zawiera o wiele mniej węzłów i elementów niż siatka elementów skończonych dla modelu bryłowego. Kolejnym etapem będzie opracowanie modułu wykorzystującego środowisko Ansys ACT.

Literatura

1. Bąk R., Burczyński T.: Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego. Warszawa: WNT (2001).
2. Beer G., Duenser C., Smith I.: The boundary element method with programming for engineers and scientists. Wiedeń-Nowy Jork: Springer-Verlag (2008)
3. Burczyński T.: Metoda elementów brzegowych w wybranych zagadnieniach analizy i optymalizacji układów odkształcalnych. Gliwice: Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej (1989).
4. Kacprzyk Z., Rakowski G.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej (1993).

KONCEPCJA NAPĘDU I STEROWANIA SYSTEMEM KONTROLI DOSTĘPU SZLABANU PARKINGOWEGO

inż. NIKODEM MIERZWIAK

Mechatronika, absolwent

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Jerzy Mendakiewicz

Streszczenie. W projekcie przedstawiono różne koncepcje napędu i sterowania systemem kontroli dostępu szlabanu parkingowego. Posługując się rankingiem koncepcji, wybrano koncepcje optymalne, które spełniają wymagania i zadania stawiane projektowanemu systemowi, a także eliminują problemy występujące w przykładowym rozwiązaniu technicznym. W podsumowaniu, po wynikach rankingów koncepcji, podano przykładowe podzespoły systemu dostępne na rynku.



THE DRIVE AND CONTROL CONCEPT OF THE PARKING BARRIER ACCESS CONTROL SYSTEM

Abstract. The project presents the concepts of drive and control of the parking barrier access control system. Concept ranking was used for select optimal concepts which meet the requirements and tasks for the system being designed, also eliminate the problems found in the exemplary technical solution. Below the results of the concept rankings, there are exemplary system components available on the market.

1. Wprowadzenie

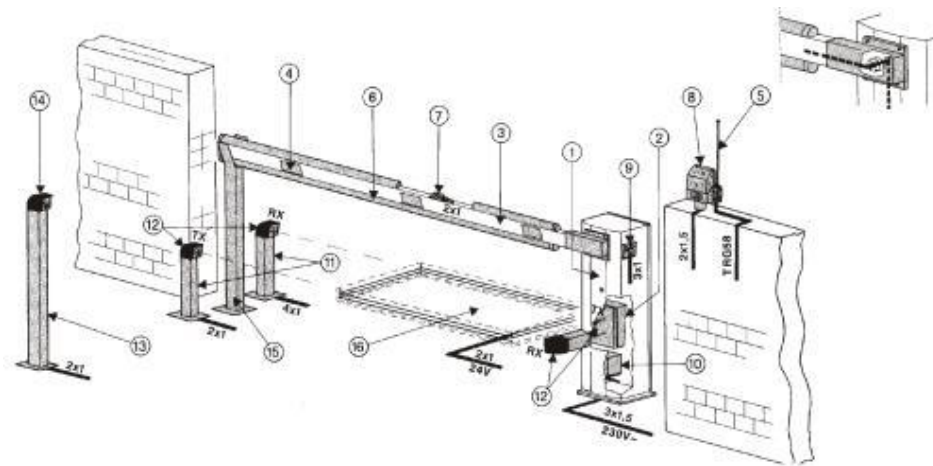
Przedmiotem pracy jest projekt koncepcji napędu i sterowania systemem kontroli dostępu szlabanu parkingowego [1]. Inspiracją dla opracowania tego projektu był system znajdujący się na terenie Politechniki Śląskiej Gliwicach, który posiada liczne wady. Celem projektu jest zaprojektowanie systemu, który spełni stawiane wymagania, a przede wszystkim eliminację wad występujących w systemie. W projekcie opisano szczegółowo przykładowy system szlabanu parkingowego. Opisano występujące problemy na podstawie m.in. wywiadu przeprowadzonego z użytkownikami i osobami obsługującymi system. Następnie postawiono zadania i wymagania dla projektowanego systemu. Zaprezentowano różne możliwości dla systemu oraz wybrano spośród nich optymalne koncepcje. Do wskazania koncepcji optymalnych posłużono się narzędziem zwanym rankingiem koncepcji, w którym oceniano koncepcje pod względem zaproponowanych kryteriów.

2. Występujące problemy

Podstawowymi problemami w pracy systemu szlabanu parkingowego są:

- brak lampy sygnalizującej pracę szlabanu,
- mało efektywna konfiguracja automatyki,
- źle funkcjonujące sterowanie pilotem,
- problemy z fotokomórkami bezpieczeństwa.

Przykładowym systemem dla opracowywanego projektu jest szlaban parkingowy znajdujący się na terenie Politechniki Śląskiej przy ulicy Konarskiego 18B w Gliwicach. Jest to system firmy CAME, model G4000. Poniżej (rys. 1) przedstawiono schemat szlabanu [2].



Rys. 1. Schemat szlabanu CAME G4000
Fig. 1. Barrier CAME G4000 draft

3. Wymagania oraz zadania stawiane systemowi szlabanu parkingowego

Dla potrzeb poprawnej realizacji projektu, sformułowano następujące wymagania i zadania:

- awaryjne sterowanie oraz awaryjne zasilanie,
- bezawaryjna praca fotokomórki bezpieczeństwa,
- brak negatywnego wpływu na płynność ruchu drogowego,
- praca z barierą o długości do 6 m,
- intuicyjne i bezproblemowe sterowanie z poziomu użytkownika,
- kontrola dostępu,
- odporność na czynniki zewnętrzne,
- programowalny czas pracy systemu,
- sterowanie nadzwyczajne,
- stopień ochrony – co najmniej IP 54,
- sygnalizacja pracy systemu,
- umożliwienie wjazdu kolumny pojazdów lub pojazdu z przyczepą,
- zamykanie szlabanu po określonym czasie bez reakcji,
- zamykanie szlabanu po określonym czasie od przecięcia wiązki podczerwieni,
- zapewnienie bezpieczeństwa użytkownikom.

4. Ranking koncepcji

Ranking koncepcji to narzędzie, które posłużyło do wskazania optymalnych rozwiązań. Zasady rankingu koncepcji:

1) Wprowadzono następujące oceniane kryteria:

- integracja z całością systemu,
- koszty,
- możliwość wprowadzania zmian,
- niezawodność,

- obsługa serwisowa,
 - odporność na czynniki zewnętrzne,
 - wpływ na bezpieczeństwo.
- 2) Kryteria zostały zaproponowane przez autora projektu.
 - 3) Kryteria otrzymały wagi liczbowe w skali: od 1 do 5, decydujące w jakim stopniu dane kryterium oceny jest ważne dla całości projektu. Wagi kryteriów są różne dla każdego rodzaju koncepcji. Wagi kryteriów zostały przyznane przez autora projektu na podstawie informacji zawartych w rozdziałach: 2 i 3, tak aby projekt spełnił stawiane zadania i wymagania, a także wyeliminował problemy występujące w przykładowym systemie.
 - 4) Oceny: 1 i 2 wskazują na negatywny wpływ na projektowany system, ocena 3 stwierdza neutralność – brak wpływu na system, oceny: 4 i 5 wskazują na pozytywny wpływ na system szlabanu parkingowego.
 - 5) Za optymalne rozwiązanie została uznana koncepcja, która uzyskała najwyższą średnią ważoną ocen.
 - 6) W przypadku takich samych ocen, przyjęta została koncepcja już istniejąca w przykładowym rozwiązaniu lub wskazana bezpośrednio przez autora projektu.
 - 7) Autor projektu miał możliwość wyboru dwóch koncepcji, które mogą współpracować ze sobą.

Tabela 1. Przykładowa tabela ocen rankingu
Table 1. An exemplary ranking table

Kryterium	Waga	Silnik Elektryczny DC 24V	Silnik Elektryczny AC 230V	Napęd Hydrauliczny
Integracja z całością systemu	4	5	4	1
Koszty	2	3	3	1
Możliwość wprowadzania zmian	3	3	3	3
Niezawodność	5	4	4	3
Obsługa serwisowa	5	4	4	2
Odporność na czynniki zewnętrzne	4	4	4	3
Wpływ na bezpieczeństwo	3	5	4	3
Średnia ważona ocen		4,08	3,81	2,35

5. Wybrane koncepcje i podsumowanie

Tworząc projekt skupiono się głównie na aspekcie bezpieczeństwa oraz niezawodności systemu w stosunku do przykładowego systemu znajdującego się na terenie Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Dodatkowym aspektem była redukcja kosztów, lecz nie mogła ona wpłynąć na pogorszenie się bezpieczeństwa, niezawodności bądź kosztem wymagań i zadań stawianych projektowanemu systemowi. Tabela 2 przedstawia tablicę morfologiczną zawierającą wszystkie zaproponowane koncepcje napędu i sterowania. Pogrubioną czcionką zaznaczono koncepcje, które wybrano jako optymalne.

Jako przykład redukcji kosztów można podać wybór fotokomórki refleksyjnej, która eliminuje problem występujący w przykładowym systemie, lecz nie powoduje konieczności ingerencji w nawierzchnię jezdni w celu poprowadzenia instalacji elektrycznej (przewodów).

Tabela 2. Tablica morfologiczna koncepcji napędu i sterowania
Table 2. Morphological table of the drive and control concept

Rodzaj		Koncepcja		
Napęd	Napęd	Silnik Elektryczny DC 24V	Silnik Elektryczny AC 230V	Napęd Hydrauliczny
	Przekładnia	Przekładnia walcowa	Przekładnia ślimakowa	Przekładnia pasowa
	Przeciwwaga	Sprężyna	Zespół sprężyn	Masa umieszczona na przeciwnym ramieniu
Sterowanie	Awaryjne Otwieranie	Klucz zwalniający mechanizm	Sterowanie przy pomocy przycisków	Awaryjne zasilanie przy pomocy akumulatora
	Sterowanie przez użytkownika	Karta magnetyczna	System komunikacji krótkiego zasięgu	Pilot radiowy
	Sterowanie nadzwyczajne	Klucz zwalniający mechanizm	Panel sterujący dla administratora	Pilot z funkcjami dla administratora
	Zabezpieczenia	Fotokomórka odbiornik - nadajnik	Fotokomórka refleksyjna	Drogowa pętla indukcyjna
	Sygnalizacja pracy	Sygnał dźwiękowy		Sygnał świetlny
	Zasilanie automatyki	24V AC lub DC		230V AC

Projekt eliminuje problemy opisane w punkcie 2. Stwierdzono, że koncepcje wybrane jako optymalne, spełniają wszystkie wymagania i zadania założone w punkcie 3. Do realizacji programowego czasu pracy dobrano zegar sterujący programowalny polskiego producenta F&F, model PCZ-521.3.

Oceniając poszczególne kryteria zaproponowanych koncepcji stawiano na rozwiązania proste i niezawodne.

Dobierając proponowane podzespoły i elementy wynikające z wyboru optymalnych koncepcji zwrócono uwagę, aby większość tych podzespołów i elementów znajdowała się w ofercie jednego producenta, co ma na celu zapewnienie kompatybilności.

Kompatybilność była też bardzo istotnym aspektem projektu, proponowane koncepcje były oceniane m.in. pod kątem kompatybilności z systemem i możliwości poddania systemu różnym modyfikacjom.

W projekcie przedstawiono zaproponowane podzespoły i elementy systemu głównie firmy CAME, wyjątkiem jest zastosowanie fotokomórki refleksyjnej. W ofertach firmy CAME nie znaleziono takich fotokomórek, lecz zaproponowana – jest kompatybilna z systemem.

Projekt oparto na rozwiązaniach firmy CAME, dzięki temu istnieje możliwość wykonania modernizacji systemu szlabanu parkingowego. To mogłoby wyeliminować problemy w pracy systemu, poprawę niezawodności, ułatwienie użytkownika i obsługi urządzenia.

Literatura

1. Mierzwia N., Koncepcja napędu i sterowania systemem kontroli dostępu szlabanu parkingowego, Projekt inżynierski, Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska (2018).
2. CAME S.A., „Dokumentacja techniczna 25 aktualizacja 5.3 © CAME 03/98 119G25”.
3. parkingoweblokady.pl, <http://parkingoweblokady.pl/images/baner-came-g4000.jpg>.
4. BRAMTECH Andrzej Hawajski, „BRAMTECH,” <http://sklep.bramtech.lublin.pl/szlabany/54-szlaban-lublin-hydrauliczny-faac-640-z-ramieniem-do-7-m.html> [dostępność: 03 01 2018].
5. Poradnik Inżyniera Mechanika, t. I-III, Warszawa, WNT (1968).

DESIGN OF PUNCH SHUTTLE, GIB, PUNCH AND DIE

DELESA KEJELA REGEA, B.Sc.Eng.

Erasmus + Program, semester I, master's programme
Tutor: Wendimu Fanta, B.Sc. Eng. Jimma University

Abstract. The project is concerned with the improvement of mechanical system of a hydraulic press found in Homicho Ammunition Engineering Industry (HAEI) that was done in four months of internship period. The objective is to shorten the production process of two hydraulic presses to one press to save time and manpower, which is to finish the draw and elongation process on one hydraulic press. Moreover, appropriate materials are selected to satisfy the design considerations. Modeling, force analysis and simulation was done to check the safety of the components.



1. Introduction

HAEI is one of the military production facilities of the Federal Democratic Republic of Ethiopian defense industries, which is located in the West Shewa zone of Oromia regional state. For the production of 122 mm Howitzer HE shell, the industry uses two hydraulic presses. The idea of this project is to shorten this production process, by finishing the draw and elongation process on one hydraulic press, which save time and manpower. Design is made for the main the components of the hydraulic press, these are Punch Shuttle, Gib, Punch and Die. First, modeling was made, and then further analysis was carried out. Secondly, the simulation is made using Autodesk Inventor software. Finally, the animation is done to shows the working principle of the modification of the machine, and it is uploded to youtube [3].

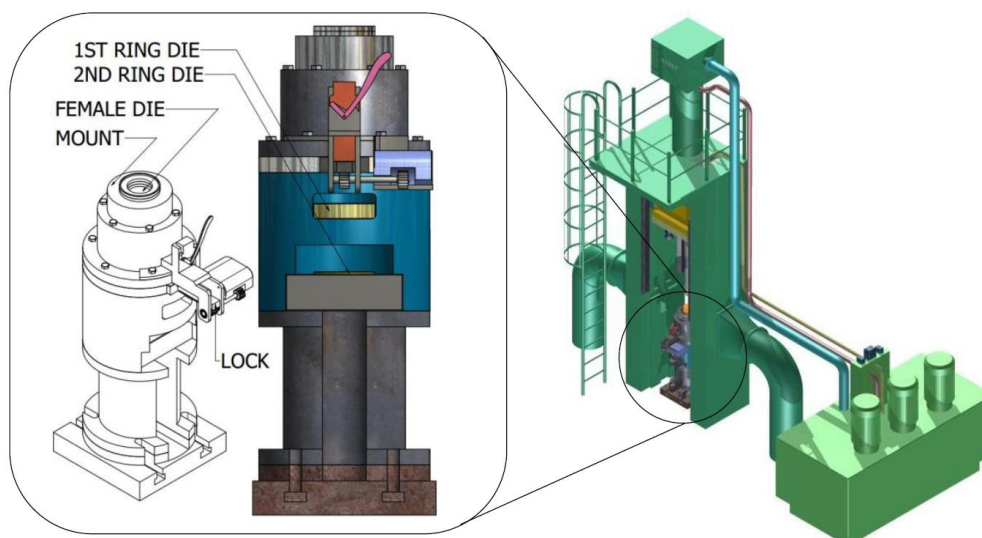


Fig. 1. Hydraulic press

2. Design and modeling

When a body of mass moment of inertia I (about given axis) is rotating about that axis with angular speed (ω), then it possesses some kinetic energy. In this case kinetic energy of rotating body, which is equal to work done due to angular displacement, is given by equation (1). Furthermore, *net torque is the difference of torque applied by the motor and the frictional torque transmitted due to the weight of punch shuttle and components found on it*, and then rearranging it we will get equation (2), this gives the amount of power required to drive the punch shuttle [1,2].

$$W = \frac{1}{2} I \omega^2 = T \theta \tag{1}$$

$$T_M \theta = W + T_F \theta = \frac{1}{2} I \omega^2 + T_F \theta \tag{2}$$

where W is work done, T is total net torque applied, T_M is torque required by the motor to drive the punch shuttle or transmitted to punch shuttle, T_F is total frictional torque transmitted due to the weight of punch shuttle and components found on it, I is total moment of inertia and θ - angular displacement of the punch shuttle, which is 12° in one second.

As shown on figure two, Punch Shuttle (1) is assemble to Punch Holder (3), and an Elongation (5 and 9) are added to to get the desired length. Finally, the Punch (6) is assembled at the end. The Gib carries all the components, and spacers (8) are placed to prevent wearing due to friction contact between the Punch Shuttle and Gib.

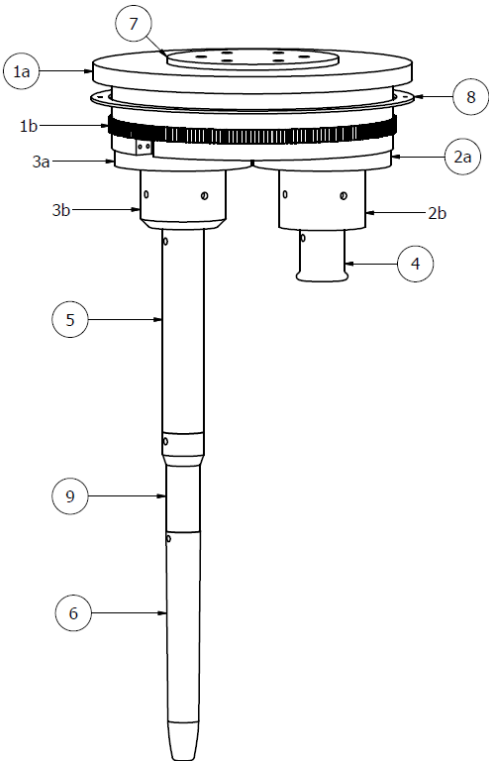


Fig. 2.Assembly of Punch and Punch Shuttle and other components

Design specifications of the punch are the following: the external, rear and tip diameter are $\varnothing 100$ mm, $\varnothing 90$ mm and $\varnothing 60$ mm respectively. Nose radius on punch is 10 mm, and punch

profile dimensions that means overall length 750 mm and height or largest diameter is 100 mm. In addition, the taper angle is 82.5° to outer side and taper length is 144 mm, and the largest taper radius is 700 mm. Depth of penetration for 1st draw 443 mm and 2nd draw 490 mm, and the mass of punch 46 kg. The material strength of $\sigma_y = 800$ MPa, $\sigma_{all} = 1200$ MPa, $\tau_y = 400$ MPa. The finite element analysis on figure 3 shows that the maximum stress is 544.2 MPa, which is less than the yield strength, that means the design is safe.

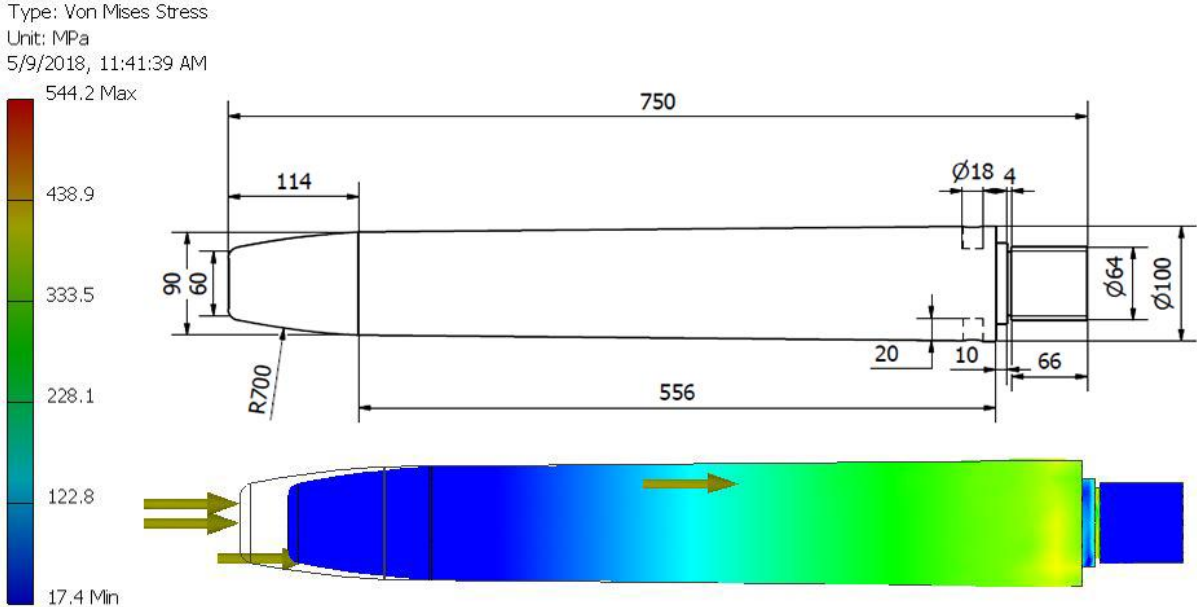


Fig. 3. Punch for 122mm Howitzer HE shell

There are two ring dies used for extruding the work piece to have required dimension. Each ring die has its own specification as listed below. The ring dies arranged as large diameter positioned upper (134 mm top), 132mm at lower position. The 1st ring die ($\varnothing 134$) gets its first elongation operation. The 2nd ring die ($\varnothing 132$) gets final elongation operation. For $\varnothing 134$ mm ring die, internal diameter is 134 mm, external diameter is $\varnothing 250$ mm, minimum clearance is 15mm, thickness or height is 65 mm, draft angle of 15° , and its mass is 16.5 kg. Figure 4 shows specifications for $\varnothing 132$ mm ring die.

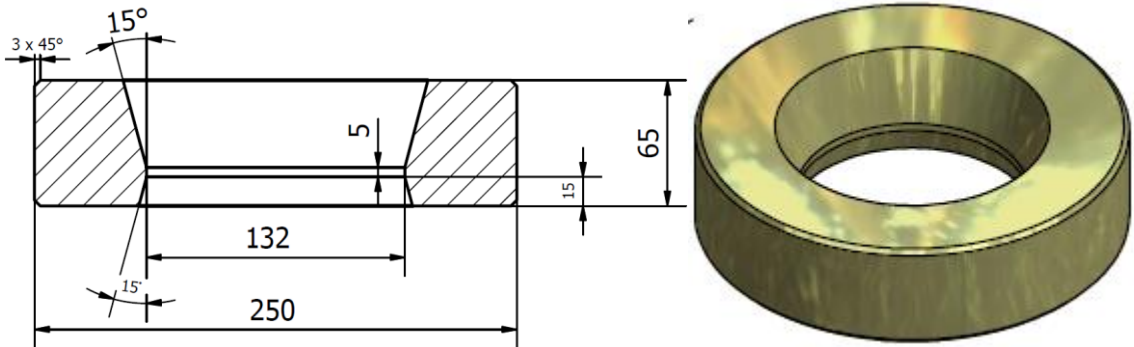


Fig. 4. $\varnothing 132$ mm ring die

There are cases where trouble, such as punch tip fracture, buckling fracture and flange fracture occurs during the punching operation. Often the cause of these troubles are a lack technical data concerning standard parts or an error in the selection of the punching tool materials and poor design of punch parameters. In order to reduce the incidence of these kinds of troubles, using correct standards for punch materials with concentration factors, correct and accurate punch parameters design under safety factor consideration are some of the solutions.

Force required to be exerted by the punch in order to extrude the work piece can be estimated from the actual shear area and shear strength or tensile strength of the material. It is given by the following formula [1,2]:

$$P = L t \tau \quad (3)$$

where P is punching force (kN), τ is shear strength (MPa), L is πD circumference (mm), D is tip punch diameter (mm), and t is punch tip thickness (mm).

Stress due to shearing force and stress due to tensile on the punch at the tip, at the nose and mean length of the punch is calculated. As a result, both stress due to shearing force and stress due to tensile force are much less than the material strength. The drawing force depends up on the cup material, its dimensions and configuration. The drawing force can be calculated empirically using the following equation for cylindrical shells, especially on ring die of hydraulic press [1,2]:

$$P = \pi d t \sigma_y \left(\frac{D}{d} - C \right) \quad (4)$$

where, P is drawing force (N), t is the thickness of the shell (mm), σ_y is yield strength of the material (MPa) = 800 MPa, C is constant to cover friction and bending its value is between 0.6 and 0.7, D is shell outer diameter at different cross sections, and d is rings diameter at step level. The drawing load for 134 mm diameter is 2121.2 kN, for the other die it is 2091 kN.

3. Conclusion

The industry has a great problem for the production of 122mm Howitzer HE shell. From the result, it possible to reduce the production process of the machine from two hydraulic presses to one hydraulic press. To sum it up, to satisfy the working conditions, each components passed through meticulous analysis, and acceptable result was found for the production line.

References

1. Khurmi, R.S. and Gupta, J.K., A Textbook of Machine Design, 14th edition, Eurasia Publishing House (PVT.) Ltd, Ram Nagar, New Delhi (2005).
2. Budynas-Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, Eighth edition (2006).
3. *YouTube Web: Available at <https://www.youtube.com/watch?v=PZbwZargiHA&t=94s>, (Last visit: 2018-05-09).*
4. ASM international hand book committee, Metals forging and forming hand book, ninth edition, vol. 14 (2006).

AUTONOMICZNY SYSTEM NADZORU OTOCZENIA Z WYKORZYSTANIEM PAKIETU SCILAB

inż. JAKUB RUDOLF

Automatyka i Robotyka, AB3, semestr III, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Witold Beluch

Streszczenie. Tematem artykułu jest projekt autonomicznego urządzenia do nadzoru otoczenia przy zastosowaniu pakietu Scilab. W artykule zostały opisane elementy i programy wraz z modułami, które umożliwiają działanie urządzenia, takie jak środowisko Scilab oraz platformy Arduino i Raspberry Pi. Ponadto przedstawione zostały takie zagadnienia jak podstawy metody analizy ruchu i cyfrowego przetwarzania dźwięku, które są stosowane w ramach projektu.



AUTONOMOUS SURVEILLANCE SYSTEM WITH USAGE OF THE SCILAB PACKAGE

Abstract. The topic of this article is the project of the autonomous surveillance system with the usage of Scilab package. The paper describes elements, programs and modules needed for its operation, such as Scilab, Arduino and Raspberry Pi. Additionally, it depicts the basics of motion detection analysis and digital audio signal processing which are used in this project.

1. Wprowadzenie

Profesjonalne systemy nadzoru otoczenia są zazwyczaj relatywnie drogie, na co mają wpływ takie elementy jak: koszty zakupu systemu oraz koszty jego obsługi i serwisowania. Niestety, nie każdego stać na taki wydatek. Z wyżej wymienionych względów powstał pomysł zrealizowania projektu urządzenia do nadzoru otoczenia, który poza koniecznością zakupu podstawowych elementów, takich jak czujniki dźwięku, kamera i płytki Arduino oraz Raspberry Pi, które mimo wszystko są dużo tańsze od wymienionych wcześniej systemów będących w sprzedaży, a dodatkowo mogą spełniać inne funkcje, bazuje wyłącznie na darmowym oprogramowaniu typu open source (łącznie z systemem operacyjnym).

2. Środowisko Scilab

Na potrzeby tego projektu korzystano wyłącznie z oprogramowania typu open source. Scilab, w przeciwieństwie do alternatywnego komercyjnego programu Matlab stworzonego przez firmę MathWorks, jest programem darmowym. Scilab to język programowania kojarzony dużą bazą algorytmów numerycznych, które pokrywają wiele aspektów obliczeniowych problemów inżynierskich. Scilab jest językiem interpretowanym, możliwe jest też dynamiczne kompilowanie i łączenie innych języków takich jak C oraz Fortran, dzięki temu zewnętrzne biblioteki mogą być używane w taki sposób, jak gdyby były wbudowane w środowisko od samego początku. Dodatkowo Scilab zapewnia wiele możliwości tworzenia elementów graficznych, takich jak tworzenie wykresów 2D, 3D jak i interfejsów zdefiniowanych przez użytkownika [1]. Ponadto, wbudowane środowisko Xcos umożliwia

kreowanie modeli systemów i symulacji. Ze względu na darmową dystrybucję programu, Scilab nie posiada wielu dodatkowych funkcji, które zapewnia firma MathWorks wraz z niezależnymi producentami w formie dodatkowych modułów do Matlaba. Z tego powodu środowisko Scilab umożliwia przygotowanie modułów rozszerzających możliwości języka, które pozwalają na rozwiązywanie konkretnych problemów. Ze względu na niekomercyjność programu, głównym źródłem dodatków do Scilaba jest prężnie działająca społeczność użytkowników. W przypadku tej pracy ze względu na potrzebę funkcji przetwarzania obrazu, której nie ma w podstawowej wersji programu, oraz ze względu na potrzebę połączenia środowiska z zewnętrznymi platformami, w projekcie zostały użyte następujące moduły:

- *Image Processing and ComputerVisionToolbox* – jest to moduł, który dodaje do środowiska Scilab możliwość przetwarzania obrazów bez korzystania z programów zewnętrznych. Za jego pomocą można m.in.: rozpoznawać obiekty na zdjęciach, łączyć obrazy czy estymować rozmiary obiektów na obrazach. Na potrzeby niniejszej pracy, moduł ten zostanie wykorzystany przy detekcji ruchu przez program Scilab.
- *Serial CommunicationToolbox* – jest to moduł umożliwiający programowi Scilab połączenie się z zewnętrznymi urządzeniami przy pomocy portu szeregowego. Jest to nieodzowne narzędzie w przypadku potrzeby połączenia z platformami Arduino jak i Raspberry Pi.
- *ArduinoToolbox* – moduł utworzony przez społeczność zajmującą się środowiskiem Scilab, dzięki któremu istnieje możliwość korzystania z połączenia szeregowego między komputerem, a płytką Arduino. To oprogramowanie dodaje dodatkowe bloki do programu Xcos, które umożliwiają sterowanie płytką Arduino poprzez kontrolę bloków w Scilabie. Na potrzeby projektu do zadań tego rozszerzenia należy sterowanie silnikiem krokowym oraz odbieranie i odczytywanie sygnałów z czujników podłączonych do płytki.

3. Arduino oraz Raspberry Pi [2,3]

Głównymi elementami urządzenia, które odpowiadają za odbieranie i przetwarzanie sygnałów dźwiękowych z otoczenia są płytki Arduino Uno i Raspberry Pi. Obie płytki składają się zaledwie z jednego obwodu drukowanego. Na płycie Raspberry Pi zainstalowany został system operacyjny Linux oraz środowisko Scilab. Dzięki temu urządzenie jest autonomiczne i mobilne, gdyż ze względu na małe gabaryty płytek i podzespołów nie zajmują one dużo miejsca. To na płycie Raspberry Pi działa opracowane oprogramowanie i to tam dochodzi do odbierania i przesyłania sygnałów z kamery oraz płytki Arduino Uno. Zadaniem drugiej płytki, to jest Arduino Uno, jest odbieranie sygnałów dźwiękowych za pomocą prostych czujników dźwięku (mikrofonów) oraz sterowanie silnikiem krokowym, który odpowiada za obrót kamery do detekcji ruchu. Użycie obu płytek było najlepszym rozwiązaniem ze względu na ułatwioną kontrolę nad prostymi czujnikami w przypadku płytki Arduino Uno (Raspberry Pi nie posiada domyślnie możliwości analogowych) oraz możliwość instalacji systemu operacyjnego oraz środowiska Scilab na płycie Raspberry Pi, co w przypadku płytki Arduinonie byłoby możliwe.

4. Detekcja ruchu w programie Scilab

Analiza ruchu jest jedną z podstawowych funkcji urządzenia. Jest to nieodzowny element, który musi występować w programie ze względu na obserwację otoczenia przez kamerę i ciągle przetwarzanie obrazu przez moduł *Image Processing and ComputerVision*. Dzięki modułowi możliwe jest zastosowanie algorytmu pozwalającego wychwycić ruch w sprawdzanym obszarze.

Z perspektywy programu ruch uchwycony na sekwencji wideo to zbiór następujących po sobie obrazów. Jednakże w przeciwieństwie do jednego obrazu, który informuje jedynie o lokalizacji danego obiektu, sekwencja wideo umożliwia sprawdzenie zmian położenia poruszających się obiektów. W przypadku analizy ruchu kolory na obrazie nie mają większego znaczenia, z reguły są one pominięte, a sekwencje utrzymane są w odcieniach szarości. Na podstawie tej informacji można stwierdzić, że ruch jest zespołem zmian parametrów odcieni szarości dla konkretnych pikseli, które zachodzą między kolejnymi klatkami sekwencji wideo.

Na potrzeby projektu wykorzystano jedną z podstawowych metod przetwarzania obrazu i analizy ruchu, metodę odejmowania obrazów. Polega ona na odjęciu od siebie dwóch kolejnych klatek i sprawdzenie wyników różnicy dla poszczególnych pikseli [4]. Zależność tę można opisać poprzez wzór:

$$J_w(x, y) = J_1(x, y) - J_2(x, y), \quad (1)$$

gdzie

$J_{1,2}$ – wartość intensywności pikseli w dwóch kolejnych klatkach;

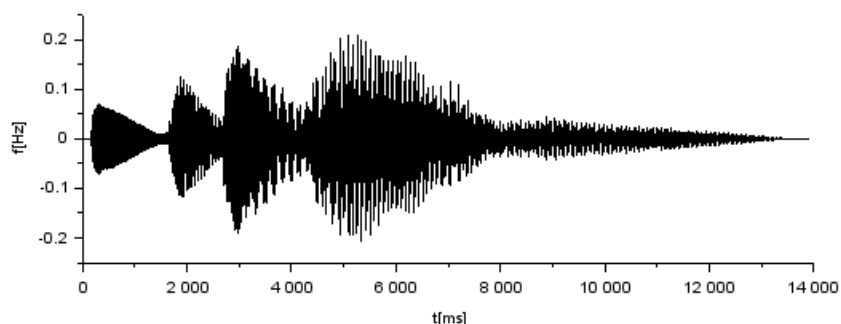
J_w – wartość intensywności pikseli w utworzonym obrazie różnicowym.

W przypadku, gdy wynik odejmowania wyniesie 0, będzie to oznaczało brak zmian na kolejnych obrazach. Natomiast w przypadku, gdy wartość będzie różna od 0, istnieje kilka możliwości:

- Piksele na jednym obrazie są nieruchome, a na drugim poruszają się (lub odwrotnie).
- Piksele są częściami dwóch różnych poruszających się obiektów.
- Na jednym obrazie piksele są fragmentem poruszającego się obiektu, natomiast na drugim obrazie piksele są innym fragmentem tego samego poruszającego się obiektu.
- Pojawiły się szumy bądź stabilizacja kamery była niedokładna, przez co sekwencja, na której nie było zmian, została odebrana, jak gdyby wystąpił tam ruch.

5. Przetwarzanie dźwięku w programie Scilab

W przeciwieństwie do przetwarzania obrazów, w przypadku Scilaba nie trzeba instalować dodatkowych modułów pozwalających analizować dźwięk. W zależności od typu pliku dźwiękowego jaki ma być wykorzystany należy w konsoli wpisać odpowiednią komendę by go wczytać. Scilab rozróżnia rozszerzenia .wav i .au. Wczytany sygnał dźwiękowy można potem poddać analizie w programie [5].



Rys. 1. Wykres częstotliwości od czasu utworzony w programie Scilab na podstawie pliku dźwiękowego .wav

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy odczyt pliku dźwiękowego .wav w programie Scilab.

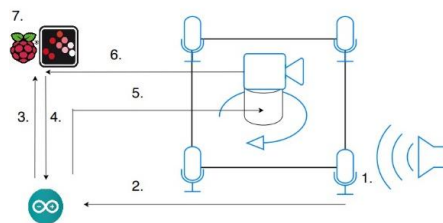
6. Działanie urządzenia

Głównymi elementami systemu są:

- Płytki Raspberry Pi 3 oraz Arduino Uno;
- Kamera do wykrywania ruchu oraz cztery czujniki dźwięku (mikrofony);
- Silnik krokowy.

Na działanie systemu nadzoru, które przedstawiono na rysunku nr. 2, składa się kilka następujących etapów:

1. System aktywuje się w momencie wykrycia źródła dźwięku, który zostanie odebrany przez czujniki dźwięku (mikrofony).
2. Odebranie sygnału dźwiękowego przez płytkę Arduino Uno i przesłanie plików dźwiękowych, które zostaną porównane w programie Scilab zainstalowanym na płycie Raspberry Pi.
3. W programie dochodzi do porównania wartości sygnałów dźwiękowych z czterech mikrofonów podłączonych do płytki Arduino Uno i wybrania tej, która jest najwyższa.
4. Z programu wychodzi polecenie obrotu silnika krokowego w stronę jednej z czterech stref sprawdzanych przez kamerę.
5. Silnik krokowy obraca podstawę z kamerą w kierunku strefy, z której sygnał dźwiękowy był najsilniejszy
6. Obraz z kamery po obrocie jest analizowany przez podprogram bazujący na module *Image Processing and ComputerVision* w programie Scilab.
7. Obraz jest analizowany przez algorytm wykrywający ruch i w przypadku jego wykrycia dochodzi do zasygnalizowania obecności poruszającego się obiektu na danym obszarze i pojawienia się odpowiedniego komunikatu.



Rys. 2. Schemat działania urządzenia

7. Podsumowanie

W artykule przedstawiono elementy składowe i zasadę działania proponowanego, niskobudżetowego systemu nadzoru otoczenia. Kolejnym krokiem będzie przygotowanie w pełni funkcjonalnego prototypu urządzenia, które dodatkowo może zostać w przyszłości rozbudowane o alarmy komunikujące wykrycie ruchu oraz o moduł zapewniający połączenie internetowe, poprzez który można będzie wysyłać stopklatki z poruszającym się obiektem.

Literatura

1. Baudin, M., Introduction to Scilab, Digiteo, Rocquencourt (2010).
2. Monk S., Arduino dla początkujących, Podstawy i szkice, Helion, Gliwice (2014).
3. Upton E., Halfacree G., Raspberry Pi, Przewodnik użytkownika, Helion, Gliwice (2015).
4. Tadeusiewicz R., Korohoda P., Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, WFPT, Kraków (1997).
5. Pomoc programu Scilab.

ANALIZA MES WPLYWU PUSTEK W PEKNIECIACH ROZGALEZIONYCH

inż. WOJCIECH SITEK

Mechanika i Budowa Maszyn, MB4, semestr III, 2 stopień
Opiekun naukowy: dr hab. inż. Piotr Fedeliński, Prof. Pol. Śl.

Streszczenie. Celem pracy jest analiza pustek w tarczy z pęknięciem rozgałęzionym z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (MES). Badano wpływ kształtu i wielkości pustki umiejscowionej w środku pęknięcia na uzyskiwane przemieszczenia oraz naprężenia zredukowane wyznaczone według hipotezy Hubera-von Misesa.



FEM ANALYSIS OF INFLUENCE OF VOIDS IN BRANCHED CRACKS

Abstract. The aim of study is analysis of voids in a plate with a branched crack using Finite Element Method (FEM). The influence of shape and size of void situated in the center of crack on obtained displacements and equivalent stresses calculated by the Huber-von Mises hypothesis was analyzed.

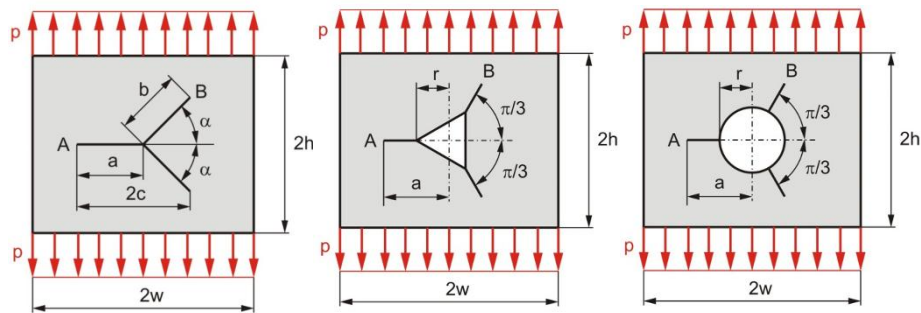
1. Wprowadzenie

Uniknięcie defektów konstrukcji w postaci pęknięć i mikropęknięć jest zadaniem trudnym i kosztownym, a czasem wręcz niemożliwym do zrealizowania jak choćby w materiałach spiekanych [1]. Dlatego właśnie znajomość wpływu kształtu i wielkości pustek może pozwolić na dokładniejszą identyfikację stanu konstrukcji. W ramach pracy przeprowadzono analizę wpływ dwóch kształtów pustek: trójkątnego i okrągłego uzyskiwane rozkłady przemieszczeń i naprężeń zredukowanych.

2. Analiza tarcz z pęknięciami rozgałęzionymi

Przedmiotem analizy były tarcze prostokątne z pęknięciem rozgałęzionym. Rozpatrywane tarcze zostały przedstawione na rys.1. Łącznie przeprowadzono pięć analiz: dla tarczy nie zawierającej pustki oraz dla każdego kształtu i wielkości pustki, gdzie dla pustki małej stosunek r/a wynosi 0.25, a dla dużej 0.5. Tarcza ma następujące wymiary: $a = b = 10$ mm, $h/w = 0.8$, $a/w = 0.5$, $\alpha = \pi/3$. Tarcze były obciążone w kierunku pionowym siłami powierzchniowymi $p = 10$ MPa. Materiałem przyjętym na tarczę była stal o wartości modułu Younga $E = 200\ 000$ MPa oraz liczbie Poissona $\nu = 0.3$. Tarcze były rozpatrywane w płaskim stanie odkształcenia.

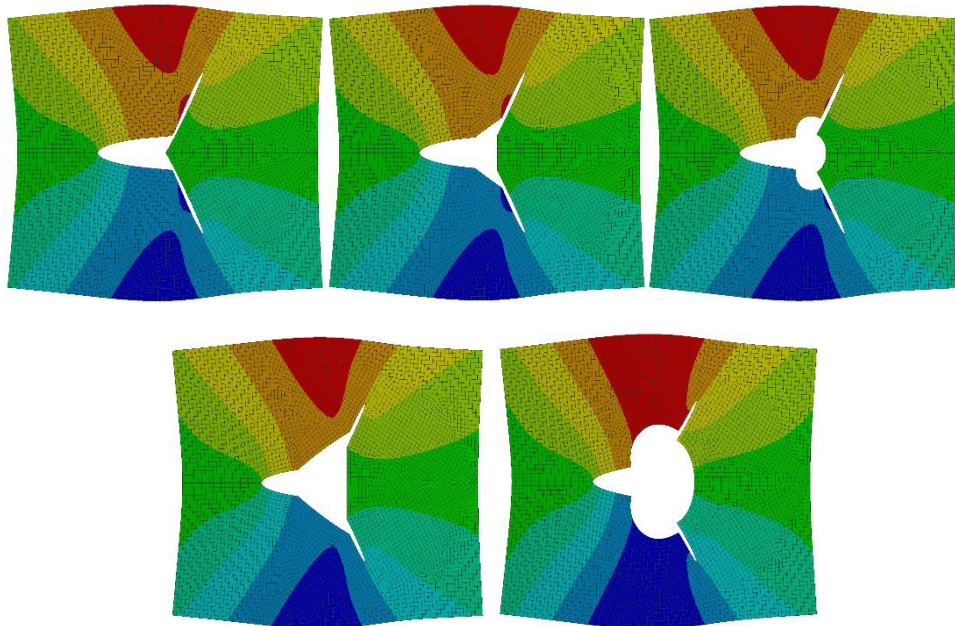
Analiza numeryczna została przeprowadzona w programie ANSYS 18.2. Tarcze zostały zdyskretyzowane elementami czworokątnymi o kwadratowej funkcji kształtu, długość boku elementu wynosi 0.5 mm. Dla tak przyjętej wielkości siatki, liczba elementów skończonych wyniosła około 5000, zależnie od rozpatrywanego modelu.



Rys. 1. Tarcze z pęknięciami rozgałęzionymi [1]

Fig. 1. Plates with branched crack [1]

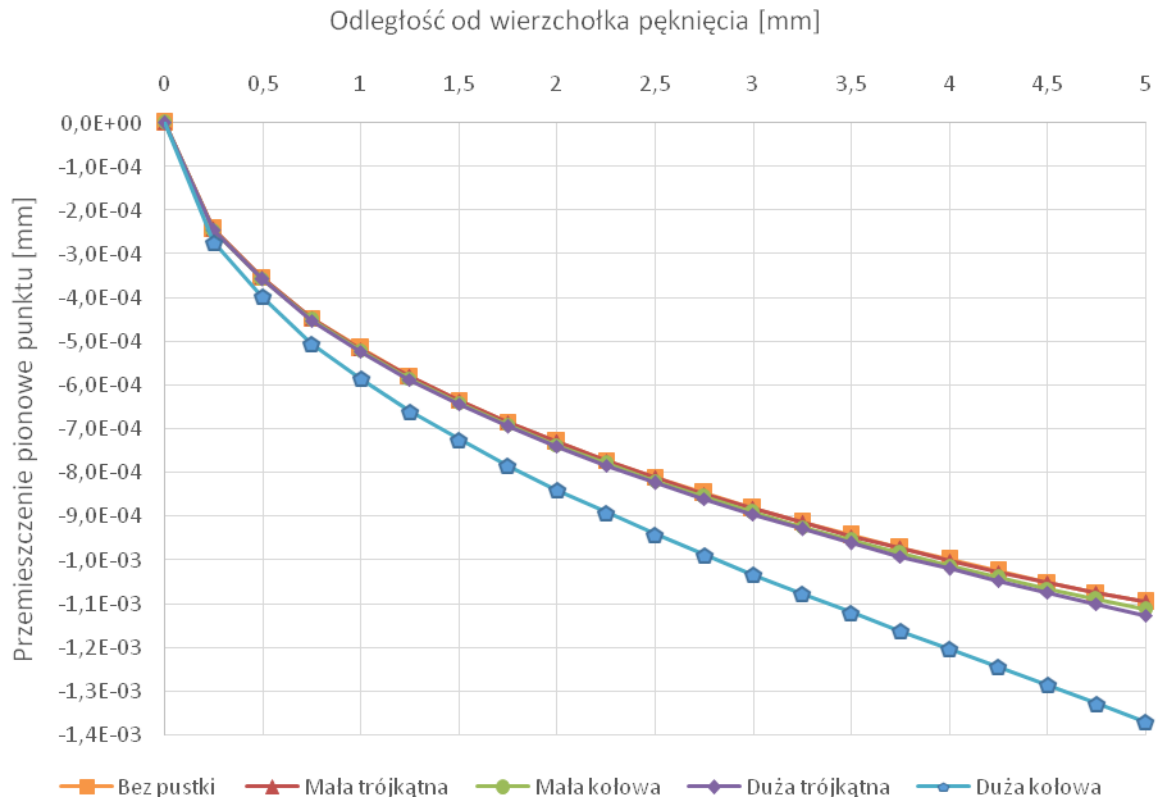
Na rys. 2 zostały zestawione otrzymane mapy przemieszczeń pionowych. Widać wyraźnie, że w przypadku trzech pierwszych tarcz tj. bez pustek, z małą pustką trójkątną i z małą pustką okrągłą, rozkład przemieszczeń jest do siebie bardzo zbliżony. W przypadku obecności dużej pustki trójkątnej, otrzymane wyniki przemieszczeń są podobne. Dopiero w ostatnim przypadku, widać wyraźny wpływ dużej pustki kołowej, zwiększającej podatność tarczy.



Rys. 2. Mapy przemieszczeń pionowych

Fig. 2. Distribution of vertical displacements

Na rys. 3. został przedstawiony wykres przemieszczeń pionowych na krawędzi poziomego pęknięcia dla wszystkich przeprowadzonych analiz. Otrzymane wyniki potwierdzają, że jedynie obecność dużej pustki okrągłej w znaczący sposób wpływa na przemieszczenia, w pozostałych przypadkach wpływ ten jest wielokrotnie mniejszy. Pustka okrągła ma większy wpływ na wzrost przemieszczeń niż pustka trójkątna.



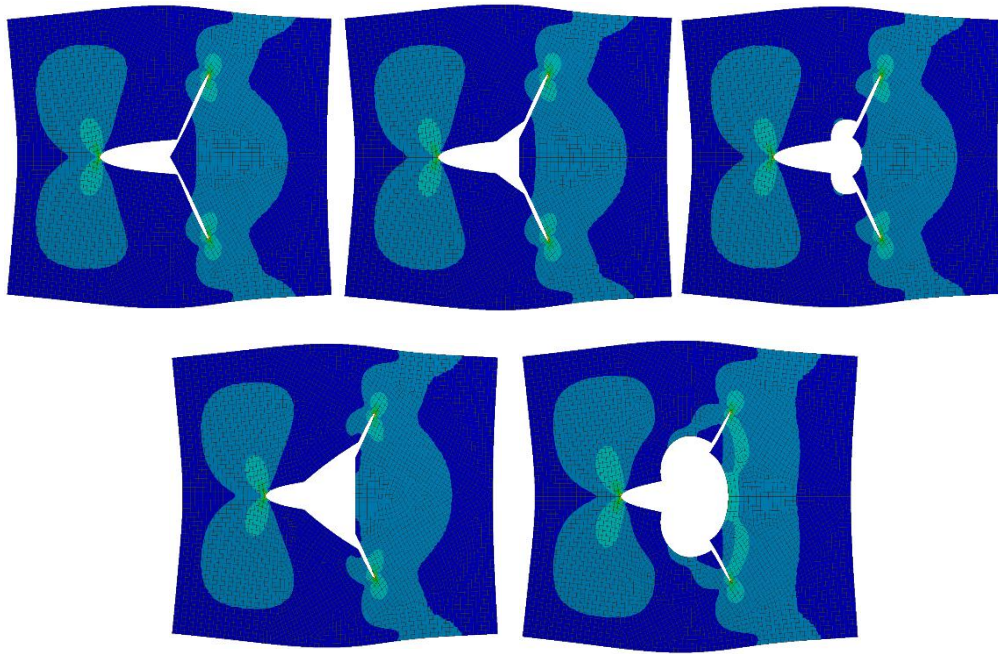
Rys. 3. Przeszyczenia pionowe krawędzi poziomego pęknięcia
 Fig. 3. Vertical displacements of horizontal crack edge

W tabeli 1 przedstawiono przeszycczenia krawędzi poziomego pęknięcia w odległości 5 mm od wierzchołka oraz względnę różnicę przeszycczeń odniesionę do pęknięcia bez pustki. Na podstawie danych zawartych w tabeli 1 wynika, że obecność małej pustki trójkątnej praktycznie nie wpływa na przeszycczenia krawędzi pęknięcia oraz że w przypadku tego kształtu dwukrotne zwiększenie pustki powoduje wzrost przeszycczenia o 2,8%. W przypadku okrągłej pustki wzrost ten jest większy o 23,3%.

Tabela 1. Przeszycczenia poziomego pęknięcia
 Table 1. Displacement of horizontal crack

Analizowana wielkość	Rodzaj pustki				
	bez pustek	mała trójkątna	mała okrągła	duża trójkątna	duża okrągła
przeszycczenie x 10 ⁻³ [mm]	-1,0953	-1,0963	-1,1137	-1,1269	-1,3693
różnica względną [%]	0,00	-0,09	-1,68	-2,89	-25,02

Na rys. 4 zostały zestawione otrzymane mapy naprężeń redukowanych. Podobnie jak miało to miejsce w przypadku przeszycczeń, rozkład naprężeń dla pierwszych czterech tarcz jest do siebie bardzo zbliżony. Dla tarczy z dużą pustką okrągłą, wyższe wartości naprężeń zajmują większy obszar, co jest szczególnie widoczne w prawej części tarczy, gdzie występuje spiętrzenie naprężeń na brzegu pustki. W porównaniu do pozostałych układów, dla tarczy z dużą pustką kołową wyższe wartości naprężeń tworzą pas ciągnący się od jednego wierzchołka ukośnego pęknięcia do drugiego.



Rys. 4. Rozkłady naprężeń redukowanych
 Fig. 4. Distribution of equivalent stresses

3. Wnioski

Przeprowadzone analizy pokazały, że dla pustek małych, niezależnie od ich kształtu, ich wpływ na otrzymane przemieszczenia i naprężenia redukowane jest znikomy. Wraz ze wzrostem pustki, czynnikiem determinującym jej wpływ w pierwszej kolejności staje się kształt. Okrągły kształt pustki powoduje większe spiętrzenie naprężeń niż kształt trójkątny. Obecność dużej pustki okrągłej spowodował także wzrost przemieszczenia na krawędzi pęknięcia, znacząco zwiększając podatność tarczy.

Literatura

1. Fedeliński P., Effective elastic properties of sintered materials with branched cracks. AIP Conference Proceedings 1922, 030008 (2018).
2. Krzesiński G., Zagrajek T., Marek P., Borkowski P., Metoda elementów skończonych w mechanice materiałów i konstrukcji. Rozwiązywanie wybranych zagadnień za pomocą systemu ANSYS. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa (2015).

METODA ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH DLA JEDNOWYMIAROWEGO RÓWNIANIA Z DWOMA CZASAMI OPÓŹNIEŃ

inż. DOMINIKA SKONIECZNA

Mechanika i Budowa Maszyn, MB4, semestr III, 2 stopień

Opiekun naukowy: prof. dr hab. inż. Ewa Majchrzak

Streszczenie. Praca dotyczy modelowania przepływu ciepła w cienkich warstwach metalowych poddanych działaniu lasera o ultrakrótkim impulsie. Model matematyczny procesu bazuje na równaniu z dwoma czasami opóźnień uzupełnionym warunkami brzegowo-początkowymi. Zadanie rozwiązano za pomocą zaproponowanego algorytmu metody elementów skończonych. Pokazano wyniki obliczeń i sformułowano wnioski.



FINITE ELEMENT METHOD FOR ONE DIMENSIONAL DUAL-PHASE LAG EQUATION

Abstract. The paper concerns numerical modeling of heat transfer in thin metal films subjected to the ultra-short laser pulse. Mathematical model is based on the dual-phase lag equation supplemented by boundary and initial conditions. The problem is solved using the proposed algorithm of the finite element method. The results of computations and the conclusions are shown.

1. Wprowadzenie

Modelowanie przepływu ciepła w skali makro bazuje na prawie Fouriera i równaniu Fouriera. Prawa Fouriera nie można stosować w przypadku, gdy wymiary obiektu wyrażone są w nanometrach i porównywalne ze średnią ścieżką swobodną nośników ciepła i/lub czas trwania procesu jest porównywalny z czasem relaksacji nośników ciepła. Taka sytuacja ma miejsce np. w modelowaniu oddziaływań lasera o ultrakrótkim impulsie na cienkie warstwy metalowe. Model matematyczny przepływu ciepła w skali mikro bazuje na uogólnionym prawie Fouriera, w którym występują dwa czasy opóźnień: czas relaksacji oraz czas termalizacji. Na podstawie tego prawa wyprowadza się równanie z dwoma czasami opóźnień.

W artykule zaproponowano algorytm metody elementów skończonych dla równania z dwoma czasami opóźnień uzupełnionego warunkami brzegowymi i początkowymi (zadanie 1D). Pokazano wyniki obliczeń, czyli rozkłady temperatury w cienkiej warstwie metalowej poddanej działaniu lasera o ultrakrótkim impulsie.

2. Model matematyczny

Równanie z dwoma czasami opóźnień opisujące przepływ ciepła w skali mikro ma następującą postać

$$0 < x < L: c \left[\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} + \tau_q \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial t^2} \right] = \lambda \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + \lambda \tau_r \frac{\partial^3 T(x, t)}{\partial t \partial x^2} + Q(x, t) + \tau_q \frac{\partial Q(x, t)}{\partial t} \quad (1)$$

gdzie c jest objętościowym ciepłem właściwym, λ współczynnikiem przewodzenia ciepła, τ_q to czas relaksacji, τ_T to czas termalizacji, T oznacza temperaturę, x współrzędną przestrzenną, t to czas. Funkcję źródła $Q(x, t)$ związaną z oddziaływaniem lasera można zdefiniować następująco [1]

$$Q(x, t) = \sqrt{\frac{\beta}{\pi}} \frac{1-R}{t_p \delta} I \exp \left[-\frac{x}{\delta} - \beta \frac{(t-2t_p)^2}{t_p^2} \right] \quad (2)$$

gdzie I jest intensywnością lasera, t_p czasem charakterystycznym impulsu lasera, δ oznacza optyczną głębokość penetracji, R to współczynnik odbicia nagrzewanej powierzchni oraz $\beta = 4 \ln 2$.

Równanie (1) jest uzupełnione warunkami brzegowymi:

$$\begin{aligned} x=0: \quad q_{b1}(x, t) + \tau_q \frac{\partial q_{b1}(x, t)}{\partial t} &= \lambda \left[\frac{\partial T(x, t)}{\partial x} + \tau_T \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial t \partial x} \right] \\ x=L: \quad q_{b2}(x, t) + \tau_q \frac{\partial q_{b2}(x, t)}{\partial t} &= -\lambda \left[\frac{\partial T(x, t)}{\partial x} + \tau_T \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial t \partial x} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

oraz początkowymi:

$$t=0: \quad T(x, 0) = T_p, \quad \left. \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} \right|_{t=0} = 0 \quad (4)$$

gdzie $q_{b1}(x, t)$, $q_{b2}(x, t)$ to brzegowe strumienie ciepła, natomiast T_p jest temperaturą początkową. W zadaniu przyjęto (zgodnie z literaturą) $q_{b1}(0, t) = q_{b2}(L, t) = 0$.

3. Metoda elementów skończonych

Zadanie rozwiązano za pomocą algorytmu MES opracowanego dla równania z dwoma czasami opóźnień [2]. Algorytm ten wyprowadzono stosując kryterium metody odchyłek ważonych [3]. Rozpatrywaną warstwę podzielono na n liniowych elementów skończonych. Węzły 0 i n są węzłami brzegowymi, węzły $i=1, 2, \dots, n-1$ węzłami wewnętrznymi. Dokonano dyskretyzacji czasu ze stałym krokiem Δt .

Końcowa postać układu równań jest następująca [2]

$$\left[\frac{\Delta t + \tau_T}{\Delta t} \mathbf{K} + \frac{\Delta t + \tau_q}{(\Delta t)^2} \mathbf{P} \right] \mathbf{T}^f = \left[\frac{\tau_T}{\Delta t} \mathbf{K} + \frac{\Delta t + 2\tau_q}{(\Delta t)^2} \mathbf{P} \right] \mathbf{T}^{f-1} - \frac{\tau_q}{(\Delta t)^2} \mathbf{P} \mathbf{T}^{f-2} + \mathbf{Z}^f + \mathbf{B}^f \quad (5)$$

gdzie \mathbf{T}^{f-2} , \mathbf{T}^{f-1} , \mathbf{T}^f są macierzami jednokolumnowymi zawierającymi wartości temperatur w węzłach $x_i = ih$, $i=0, 1, 2, \dots, n$, h jest długością elementu skończonego, przy czym \mathbf{T}^f zawiera nieznane temperatury, natomiast \mathbf{T}^{f-2} , \mathbf{T}^{f-1} są znane z poprzednich dwóch chwil czasu.

Macierze \mathbf{K} i \mathbf{P} o wymiarach $(n+1)(n+1)$ to odpowiednio macierz przewodności cieplnej oraz macierz pojemności cieplnej. Są one takie same, jak metodzie elementów skończonych stosowanej dla równania Fouriera [3].

Jednokolumnowa macierz \mathbf{Z}^f związana jest z funkcją źródła, natomiast jednokolumnowa macierz \mathbf{B}^f z dołączonymi warunkami brzegowymi. Funkcję źródła i jej pochodną na elemencie można np. przybliżyć średnią arytmetyczną wartości tych funkcji w węzłach elementu, czyli:

$$Q^{(i,f)} + \tau_q \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)^{(i,f)} = \frac{1}{2} \left[Q_{i-1}^f + \tau_q \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_{i-1}^f + Q_i^f + \tau_q \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_i^f \right] \quad (6)$$

Pochodną funkcji źródła (2) względem czasu wyznacza się analitycznie.

Macierz \mathbf{Z}^f ma następującą postać:

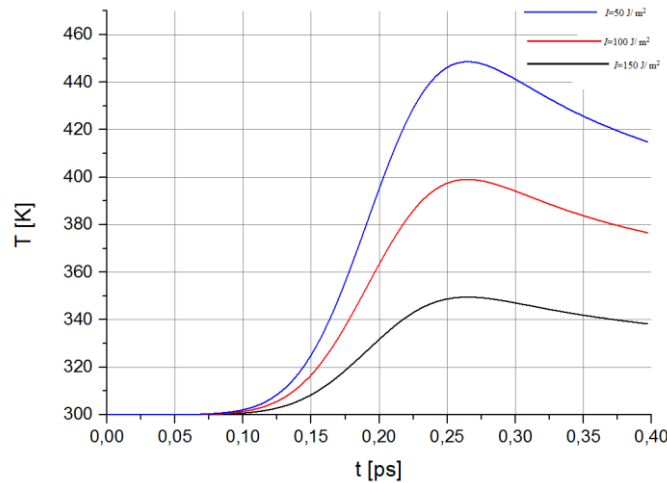
$$\mathbf{Z}^f = \frac{h}{2} \begin{bmatrix} Q^{(1),f} + \tau_q \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)^{(1),f} \\ \dots \\ Q^{(i),f} + \tau_q \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)^{(i),f} + Q^{(i+1),f} + \tau_q \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)^{(i+1),f} \\ \dots \\ Q^{(n),f} + \tau_q \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)^{(n),f} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Wskaźniki w nawiasach oznaczają numery elementów skończonych.

4. Wyniki obliczeń

Cienka warstwa metalowa o grubości $L=100$ nm ($1 \text{ nm}=10^{-9}$ m), wykonana ze złota, poddana jest działaniu lasera. Parametry termofizyczne złota są następujące: $\lambda=315$ W/(m K), $c=2.4897$ MJ/(m³K), $\tau_q=8.5$ ps, $\tau_T=90$ ps ($1 \text{ ps}=10^{-12}$ s) [1]. Obliczenia przeprowadzono dla 100 elementów skończonych, przyjęto krok czasu $\Delta t=0.0001$ ps.

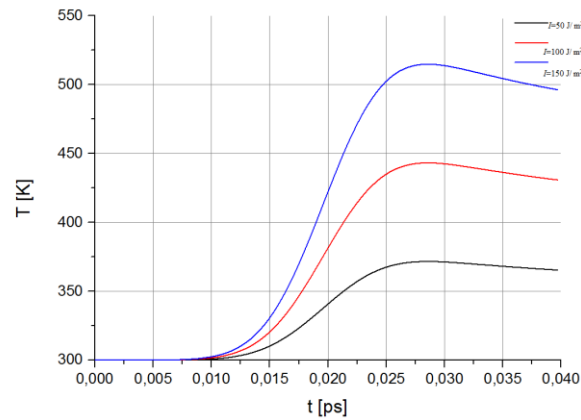
Rozpatrywano trzy intensywności lasera: 50 J/m^2 , 100 J/m^2 i 150 J/m^2 oraz dwa czasy charakterystyczne impulsu lasera: 0.1 ps i 0.01 ps. Na rysunkach 1 i 2 pokazano przebiegi temperatury na nagrzewanej powierzchni dla różnych intensywności lasera i różnych czasów charakterystycznych.



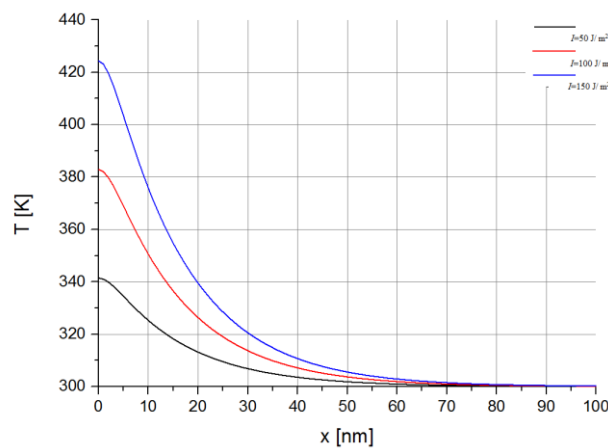
Rys.1. Przebiegi temperatury w punkcie $x=0$ ($t_p=0.1$ ps)
Fig. 1. The courses of temperature at the point $x=0$ ($t_p=0.1$ ps)

Porównując wyniki przedstawione na rysunkach można zauważyć, że dla krótszego czasu impulsu lasera otrzymuje się wyższe wartości temperatury. Ponadto, największą wartość funkcja źródła osiąga dla czasu $t=2t_p$ (wzór (2)). Z kolei maksymalne wartości temperatury na nagrzewanej powierzchni pojawiają się znacznie później. Wynika to z czasów opóźnień τ_q oraz τ_T , które spowalniają przewodzenie ciepła w cienkiej warstwie metalowej.

Rysunek 3 ilustruje rozkład temperatury w rozważanym obszarze dla różnych intensywności lasera i $t_p = 0.01$ ps. Wzrost temperatury nie nastąpił w całej warstwie. Dla $x > 0.85$ nm temperatura w warstwie jest równa temperaturze początkowej.



Rys.2. Przebiegi temperatury w punkcie $x=0$ ($t_p = 0.01$ ps)
 Fig. 2. The courses of temperature at the point $x=0$ ($t_p = 0.01$ ps)



Rys.3. Rozkład temperatury w obszarze dla różnych intensywności lasera ($t_p = 0.01$ ps)
 Fig. 3. Temperature distribution in the domain for different laser intensities ($t_p = 0.01$ ps)

5. Wnioski

W artykule omówiono metodę elementów skończonych dla jednowymiarowego równania z dwoma czasami opóźnień oraz pokazano wyniki obliczeń. Dla przyjętych parametrów lasera temperatura nie przekroczyła temperatury topnienia złota. Stosując większe intensywności lasera konieczne byłoby uwzględnienie w modelu procesu topnienia i krzepnięcia warstwy.

Literatura

1. Zhang Z.M. Nano/microscale heat transfer, McGraw-Hill, New York (2007).
2. Skonieczna D., Metoda elementów skończonych dla równania z dwoma czasami opóźnień, Politechnika Śląska, Wydział MT, Praca przejściowa (2018)
3. Majchrzak E., Mochnacki B., Metody numeryczne. Podstawy teoretyczne, aspekty praktyczne i algorytmy. Wyd. Pol. Śl. Gliwice (2004).

BADANIE ODDZIAŁYWAŃ LASERA NA MIKROKRYSZTAŁY

inż. ANNA SKORUPA

Mechanika i Budowa Maszyn, SMB, semestr I, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr inż. Jolanta Dziatkiewicz

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę oddziaływań lasera na mikrokryształy srebra o strukturze A1 związaną z przepływem ciepła w materiale. W trakcie badania zmieniano następujące parametry: zagęszczenie siatki oraz liczbę ultrakrótkich impulsów lasera. W artykule zamieszczono informacje na temat materiałów inżynierskich o strukturze mikrokryształicznej oraz przepływie ciepła. Zaprezentowano także metodę obliczeń, tj. metodę różnic skończonych, oraz wyniki badań uzupełnione odpowiednimi wnioskami.



ANALYSIS OF LASER INTERACTIONS ON MICROCRYSTALS

Abstract. This article presents an analysis of laser interactions on microcrystals of silver with A1 structure, which is connected with heat flow in material. During the test, the following parameters were changed: the mesh density and the number of ultra-short laser impulses. The article contains information about engineering materials with microcrystalline structure and heat flow. It presents also the method of calculation, it is the finite difference method, and the results of the research, which were complemented with appropriate conclusions.

1. Wprowadzenie

Materiały inżynierskie w ujęciu technicznym stanowią ciała stałe, które dzięki swoim własnościom mogą zostać wykorzystane do potrzeb technicznych. Ze względu na sposób ułożenia atomów bądź jonów w jego strukturze wyróżnia się materiały krystaliczne oraz amorficzne (niekrystaliczne). Ciała krystaliczne cechują się uporządkowaną i regularną budową, gdzie atomy, cząsteczki lub jony powtarzają się w sposób periodyczny w trzech nierównoległych kierunkach, które nie leżą na wspólnej płaszczyźnie [1, 2].

Mikrokryształy natomiast są to kryształy mikrometrycznych rozmiarów (przy czym $1\ \mu\text{m}$ – $10^{-6}\ \text{mm}$). Warto również zauważyć, że wśród materiałów inżynierskich wyróżnia się takie, które charakteryzują się mikrostrukturą, co oznacza, że jeden z ich wymiarów nominalnych jest w skali mikrometrycznej. Są to na przykład cienkie folie metalowe otrzymywane metodami PVD i CVD lub za pomocą obróbki mikroskrawaniem oraz materiały metalowe o strukturze mikrokryształicznej uzyskanej dzięki nadaniu odpowiednich parametrów podczas procesów metalurgicznych (podczas krystalizacji lub obróbki plastycznej). Mikrokryształy mogą także stanowić materiały ceramiczne w postaci proszków, które wytwarzane są poprzez syntezę w fazie stałej lub metodą zol-żel [1 – 4].

Oddziaływanie lasera na mikrokryształy związane jest głównie z wydzielaniem się ciepła w danym materiale, co wynika z dużej ilości energii skupionej w wyemitowanej wiązce. Ciepło definiuje się jako energię wewnętrzną przekazywaną pomiędzy ciałami lub układami termodynamicznymi.

Przepływ wspomnianej energii odbywa się od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze. Do mechanizmów przepływu ciepła zalicza się [5, 6]:

- konwekcję, gdzie wymiana energii odbywa się poprzez swobodny lub wymuszony ruch cząsteczek,
- promieniowanie, które polega na emisji energii w postaci fali elektromagnetycznej przez dane ciało fizyczne,
- przewodzenie ciepła, gdzie energia przekazywana jest pomiędzy cząsteczkami w obrębie danego ośrodka.

W ciałach stałych wymiana ciepła odbywa się poprzez elektrony lub drgania sieci krystalicznej, za co odpowiadają kwanty energii zwane fononami [6].

2. Nieustalony przepływ ciepła

W poniższej pracy rozpatrywano przepływ ciepła w stanie nieustalonym. W przypadku stanu nieustalonego dla obszarów 1D (jednowymiarowych – jeden z wymiarów L jest o konkretnej długości, natomiast pozostałe są od niego znacznie mniejsze) przepływ ciepła opisany jest przez równanie Fouriera jako funkcja $T = T(x, t)$ zależna od położenia x oraz czasu t [7]:

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + \frac{Q(x, t)}{c \cdot \rho}, \quad (1)$$

gdzie:

$T(x, t)$ – temperatura w danym punkcie geometrycznym w określonej chwili czasu [K],

λ – współczynnik przewodzenia ciepła [W/(m·K)],

c – ciepło właściwe danego materiału [J/(kg·K)]

ρ – gęstość danego materiału [kg/m³]

$Q(x, t)$ – zewnętrzne źródło ciepła (wydajność wewnętrzna źródeł ciepła) [W/m³],

$a = \lambda / (c \cdot \rho)$ – współczynnik dyfuzji ciepła [m²/s].

Pole temperatur dla nieustalonego przepływu ciepła w obszarze 1D wyznaczono wykorzystując metodę różnic skończonych (MRS). W pierwszej kolejności wykonano dyskretyzację czasu o krok $\Delta t = t^f - t^{f-1} = \text{const.}$ (f – krótka chwila) [7]:

$$0 = t^0 < t^1 < \dots < t^{f-1} < t^f < \dots < t^F. \quad (2)$$

W podobny sposób utworzono siatkę geometryczną, która składa się z n węzłów (brzegowych x_0 i x_n oraz wewnętrznych) oddalonych od siebie o stały krok $h = x_i - x_{i-1} = \text{const.}$ (gdzie $i = 1, \dots, n$) [7]:

$$0 = x_0 < x_1 < \dots < x_{i-1} < x_i < \dots < x_n = L. \quad (3)$$

W następnym etapie zastosowano aproksymację ilorazu różnicowego pierwszego i drugiego rzędu. Uwzględniając odpowiednie warunki brzegowe i początkowe, równanie (1) przyjmuje następującą postać [7]:

$$T_i^f = \frac{a\Delta t}{h^2} T_{i-1}^{f-1} + \left(1 - 2 \frac{a\Delta t}{h^2}\right) T_i^{f-1} + \frac{a\Delta t}{h^2} T_{i+1}^{f-1} + \frac{Q_i^{f-1} \Delta t}{c\rho}. \quad (4)$$

Na podstawie przedstawionego wzoru (4) możliwa jest aproksymacja pola temperatur w danym węzle w danej chwili czasu t^f .

Dodatkowo dla przeprowadzonej analizy przepływu ciepła za pomocą schematu jawnego metody różnic skończonych konieczne jest uwzględnienie warunku stabilności, który definiuje maksymalną wartość dla kroku czasu Δt [7]:

$$\left(1 - 2 \frac{a\Delta t}{h^2}\right) \geq 0 \Rightarrow \Delta t \leq \frac{h^2}{2a}. \quad (5)$$

3. Rodzaje warunków brzegowych

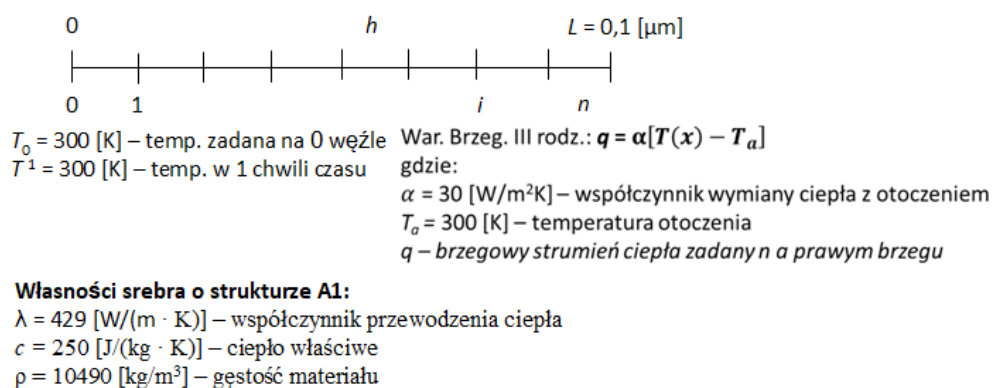
Wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje warunków brzegowych [7]:

- 1) warunek brzegowy I rodzaju – determinuje konkretną wartość temperatury na brzegu,
- 2) warunek brzegowy II rodzaju – definiuje brzegowy strumień ciepła,
- 3) warunek brzegowy III rodzaju – określa wymianę ciepła z otoczeniem.

W przypadku prezentowanych poniżej rezultatów badań przeprowadzono analizę tylko dla warunku brzegowego III rodzaju, ponieważ opisuje on przypadek najczęściej występujący w środowisku naturalnym, a otrzymane wyniki są najbardziej zbliżone do rzeczywistości.

4. Sformułowanie zadań

Podczas badania wykonano analizę przepływu ciepła przez warstwę 1D dla srebra o określonej grubości ($L = 0,1$ [μm]). Do powierzchni próbki dostarczono ultrakrótki impuls lasera o $Q = 10^{20}$ [J] w czasie od 10 do 30 chwili czasu. Pomiar przeprowadzono dla 100 chwil czasu o kroku czasu $\Delta t = 3 \cdot 10^{-16}$ [s]. W trakcie doświadczenia zmieniano zagęszczenie dyskretyzowanej siatki dla badanego obszaru, gdzie $n_1 = 100$, $n_2 = 50$, $n_3 = 200$ (kolejno próba 1, 2, 3). Następnie dla siatek n_1 i n_3 zastosowany dodatkowy ultrakrótki impuls lasera pomiędzy 50 a 80 chwilą czasu (próba 4, 5). Na rys. 1 przedstawiono schemat siatki różnicowej dla rozpatrywanych przypadków.



Rys. 1. Schemat siatki różnicowej

Fig. 1. Scheme of discretization

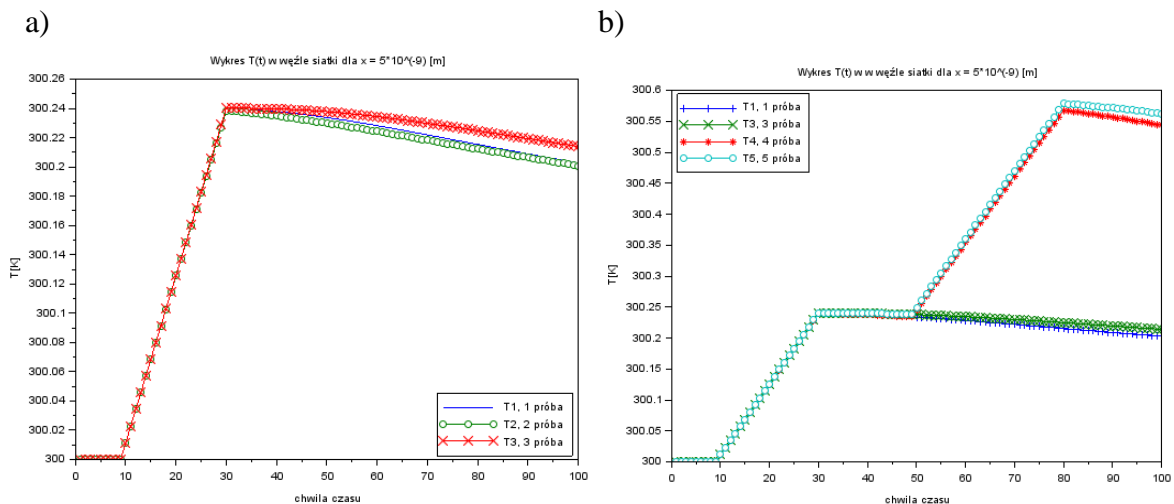
5. Przedstawienie otrzymanych wyników, ich analiza i wnioski

Otrzymane w postaci macierzy wyniki symulacji numerycznej przedstawiono na wykresach (rys. 2).

Na podstawie zamieszczonych na rys. 2 wyników badań można zauważyć, że oddziaływanie ultrakrótkiego (20 chwil czasu) impulsu lasera na próbkę powoduje nagły

wzrost temperatury o 0,24 K w obrębie całego obszaru, a następnie obserwuje się spadek tej temperatury. Podobnie dla prób 4 i 5 dodatkowy ultrakrótki (30 chwil czasu) impuls lasera przyczynia się do wzrostu temperatury o 0,35 K. Szybkie zmiany na wykresie potwierdzają, że srebro jest dobrym przewodnikiem. Niewielka zmiana temperatury wynikająca ze stosunkowo krótkiego oddziaływania lasera o dużej mocy pokazuje, że nieco większe znaczenie ma czas oddziaływania niż ilość dostarczonego ciepła do powierzchni próbki.

Porównując różne stopnie zagęszczenia siatki uzyskanej po przeprowadzeniu dyskretyzacji badanego obszaru, można zauważyć, że liczba węzłów wpływa na otrzymane wyniki. Podczas ogólnej analizy całego obszaru czasoprzestrzennego różnica ta jest znikoma. Jednakże w przypadku interpretacji wyników dla węzłów w pobliżu węzłów brzegowych, przy większym zagęszczeniu siatki możliwa jest dokładniejsza aproksymacja pola temperatur w danym węźle pomiarowym.



Rys. 2. Przebieg $T(t)$ w węzłach pomiarowych dla $x = 5 \cdot 10^{-9}$ [m]: a) dla próby 1 – 3 oraz b) dla próby 1, 2, 4, 5
 Fig. 2. Progress of $T(t)$ in the measuring nodes for $x = 5 \cdot 10^{-9}$ [m]: a) for case 1 – 3 and b) for case 1, 2, 4, 5

Literatura

1. Blicharski M., Inżynieria materiałowa, WNT, Warszawa (2014).
2. Dobrzański L. A., Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierski z podstawami projektowania materiałowego, WNT, Warszawa (2002).
3. Nogas – Ćwikiel E., Otrzymywanie proszków ceramicznych dla kompozytów ceramiczno – polimerowych dla detektorów piroelektrycznych, Uniwersytet Śląski. Katowice (2012).
4. Szysiak A., Metoda zol – żel do otrzymywania nanokrystalicznych związków z układów Y-Nd-Al-O: synteza, struktura, luminescencja, Warszawa (2013).
5. Składzień J., Termokinetyka dla elektryków, Skrypt Politechniki Śląskiej 751. Gliwice (1975).
6. Romanova T., Transport ciepła w prostych kryształach molekularnych z nieporządkiem w podukładzie dipolowym, Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych im. Włodzimierza Trzebiatowskiego PAN, Wrocław (2015).
7. Majchrzak E., Mochnacki B., Metody numeryczne. Podstawy teoretyczne, aspekty praktyczne i algorytmy, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice (2004).

WYZNACZANIE ZASTĘPCZYCH WŁASNOŚCI JEDNOKIERUNKOWEGO MATERIAŁU KOMPOZYTOWEGO

inż. PRZEMYSŁAW SOBCZYK

Nanotechnologia i Technologie Procesów Materiałowych, NT4, semestr III, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr inż. Witold Ogierman

Streszczenie. W pracy przedstawiono podstawowe informacje na temat kompozytów. W celu wyznaczenia zastępczych własności materiału wzmocnionego włóknami zorientowanymi w jednym kierunku wykorzystano metodę Mori-Tanaki. Głównym celem badań jest analiza wpływu udziału objętościowego włókien na zastępcze własności materiału kompozytowego, w szczególności zbadano zastępczy moduł Younga w kierunku równoległym do osi włókien E_1 i zastępczy moduł Younga w kierunku prostopadłym do osi włókien E_2 .



DETERMINATION OF EFFECTIVE PROPERTIES OF UNIDIRECTIONAL COMPOSITE MATERIAL

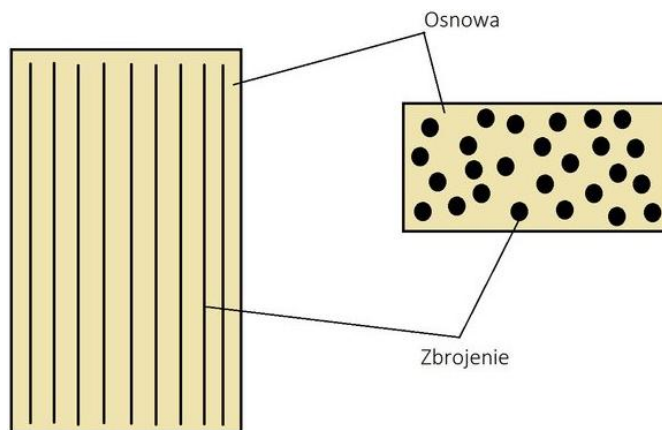
Abstract. The paper presents basic information about composites. In order to determine the effective material properties of unidirectional composite Mori-Tanaka method has been applied. The main goal of the study is investigation of the influence of volume fraction of fibers on effective properties of the composite. In particular the effective Young's modulus in the direction parallel to the axis of the fibers E_1 and the effective Young's modulus in the direction perpendicular to the axis of the fibers E_2 have been studied.

1. Wprowadzenie

Kompozyt to materiał, który został wytworzony w sposób sztuczny przez człowieka lub w naturalnym środowisku, składa się z co najmniej dwóch materiałów różnych chemicznie. Materiały te należy zespolić w taki sposób, aby pomimo granicy rozdziału między materiałami wystąpiło nieprzerwane połączenie komponentów, faza zbrojąca w osnowie powinna być rozłożona równomiernie [1, 2].

Najczęściej w skład kompozytów wchodzi dwie fazy (rys. 1) [1]:

- faza ciągła (osnowa),
- faza rozproszona (wzmocnienie).



Rys. 2. Przedstawienie dwóch faz w kompozycie
Fig. 1. Presentation of two phases in the composite

2. Zastosowanie metody Mori-Tanaki

Metoda Mori-Tanaki to jedna z metod mikromechaniki, która pozwala na określanie własności zastępczych materiału. W swojej podstawowej formie metoda ta ograniczona jest do analizy materiałów dwufazowych i rozważania liniowo-sprężystych własności materiału [3, 4]. Wykorzystując metodę Mori-Tanaki zastępczy tensor sztywności C można wyrazić w następujący sposób:

$$C = [f_i C_i B + (1 - f_i) C_m] [f_i B + (1 - f_i) I]^{-1} \quad (1)$$

gdzie:

f_i – udział objętościowy włókien (inkluzji),

C_m – tensor sztywności materiału osnowy,

C_i – tensor sztywności materiału włókien (inkluzji),

B – tensor koncentracji odkształceń,

I – tensor jednostkowy.

Tensor koncentracji odkształceń przyjmują następującą formę:

$$B = [S(C_m^{-1} C_i - I) + I]^{-1}. \quad (2)$$

Tensor S , będący rozwiązaniem problemu pojedynczej inkluzji Eshelby'ego, dla włókna nieskończenie długiego o przekroju kołowym można wyrazić jako (przedstawiono wyłącznie niezerowe komponenty tego tensora) [5]:

$$S_{21} = S_{31} = \frac{\nu}{2(1-\nu)}, \quad S_{22} = S_{33} = \frac{5-4\nu}{8(1-\nu)}, \quad S_{23} = S_{32} = \frac{4\nu-1}{8(1-\nu)}, \quad (3)$$

$$S_{44} = S_{55} = \frac{1}{4}, \quad S_{66} = \frac{3-4\nu}{8(1-\nu)},$$

gdzie ν to liczba Poissona osnowy.

3. Analiza wpływu udziału objętościowego włókien na zastępcze własności materiału

W trakcie realizacji badań jako materiał włókna przyjęto Kevlar 49 natomiast jako materiał osnowy uwzględniono żywicę epoksydową. Założono liniowo-sprężyste modele materiałów dla poszczególnych faz, a ich parametry przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Własności materiałowe poszczególnych faz
Table 1. Material properties of the material phases

Właściwości	Włókno – Kevlar 49	Osnowa – żywica epoksydowa
Moduł E, GPa	125	3.92
Liczba Poissona ν	0.36	0.36

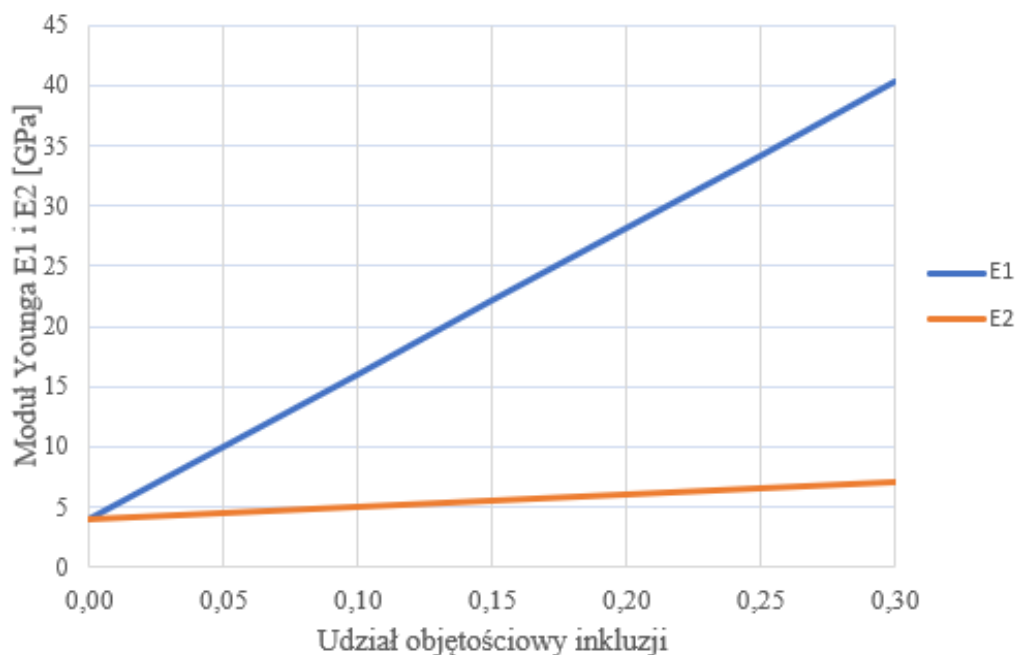
Dla przyjętych parametrów materiałowych poszczególnych faz tensor koncentracji odkształceń przyjmuje następującą postać:

$$B = \begin{bmatrix} 1.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 \\ -0.34568 & 0.04512 & -0.00533 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 \\ -0.34568 & -0.00533 & 0.04512 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 \\ 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.06081 & 0.00000 & 0.00000 \\ 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.06081 & 0.00000 \\ 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.05045 \end{bmatrix}.$$

Zastępczy tensor sztywności dla udziału objętościowego włókien 30% można przedstawić natomiast w następującej formie:

$$C = \begin{bmatrix} 44.2941 & 5.6252 & 5.6252 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 5.6252 & 10.1960 & 5.4295 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 5.6252 & 5.4295 & 10.1960 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 2.5719 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 2.5719 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 2.3832 \end{bmatrix}.$$

Przeprowadzono analizę wpływu udziału objętościowego włókien z zakresu od 0 % do 30 % na zastępczy moduł Younga w kierunku równoległym do osi włókien E_1 i zastępczy moduł Younga w kierunku prostopadłym do osi włókien E_2 . Poszczególne moduły Younga wyznaczono bazując na zastępczych tensorach sztywności, które obliczono dla różnych udziałów objętościowych włókien. Wynik analizy przedstawiono na rys. 2.



Rys 2. Wpływ udziału objętościowego inkluzji na E_1 i E_2
 Fig. 2. Influence of volume fraction of inclusions on E_1 and E_2

4. Wnioski

Na podstawie analizy wykresu rys. 2 można stwierdzić, że udział objętościowy włókien ma duży wpływ na zastępcze własności analizowanego materiału kompozytowego. Wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien rośnie zastępczy moduł Younga w kierunku równoległym do osi włókien E_1 oraz zastępczy moduł Younga w kierunku prostopadłym do osi włókien E_2 , w szczególności przy 30% udziale objętościowym włókien E_1 wzrósł około dziesięciokrotnie w porównaniu do materiału bez wzmocnienia. W dalszej części pracy zostanie przeanalizowany kompozyt z wieloma warstwami ułożonymi w stos, w których włókna będą skierowane w różnych kierunkach, wykorzystane zostaną modele analityczne oraz numeryczne. Ostatnim etapem będzie porównanie wyników uzyskanych analitycznie i numerycznie.

Literatura

1. German J., Podstawy mechaniki kompozytów włóknistych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków (2001).
2. Boczowska A., Kapuściński J., Puciłowski K., Kompozyty, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa (2000).
3. Ogierman W., Kokot G., A study on fiber orientation influence on the mechanical response of a short fiber composite structure. Acta Mechanica, 227(1), p. 173-183 (2016).
4. Klusemann B., Svendsen B., Homogenization methods for multi-phase elastic composites: Comparisons and benchmarks. Technische Mechanik, October 16, (2009).
5. Mura T., Micromechanics of defects in solids. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, (1987).

ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA KONTROLERÓW DO GIER WIDEO

inż. MIKOŁAJ STRYCYŃSKI,

Mechanika i Budowa Maszyn, SMB1, semestr I, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Jerzy Mendakiewicz

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę wytrzymałościową gałek analogowych (analog) czterech różnych kontrolerów do gier wideo, ze szczególnym uwzględnieniem naprężeń i przemieszczeń, spowodowanych różnymi wariantami przyłożenia obciążenia, uwarunkowanego geometrią oraz ergonomią analoga. Analiza została przeprowadzona w programie MSC Patran/Nastran z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Do zrealizowania modelu gałek wykorzystano oprogramowanie CAD – NX 10.



STRENGTH TEST OF VIDEO GAME CONTROLLERS

Abstract. This article presents durability analysis of four gamepads analog sticks, with particular emphasis on stress and displacement, caused of different load location, determined by geometry and ergonomic shape of stick. The analysis was carried out by finite element method in the MSC Patran/Nastran program. Models of analogue stick was created in CAD program – NX 10.

1. Wprowadzenie

Rozwój kontrolerów na przestrzeni minionych lat w dużym stopniu przyczynił się do narodzenia jak i rozwoju różnych gatunków gier, które wraz z upływem czasu wymagały nowych środków wpływających na ruch postaci i interakcji z otoczeniem. Wraz z rozwojem sposobu sterowania urządzenia te musiały sprostać wymaganiom stawianym przez społeczność graczy, które od prostego zaspokojenia potrzeby wygody, ewoluowały do zwiększenia doznań z rozgrywki i dostarczenia dużej precyzji sterowania wymaganej przez



Rys. 3. Analizowane kontrolery [1]

Fig. 1. Analyzed controllers [1]

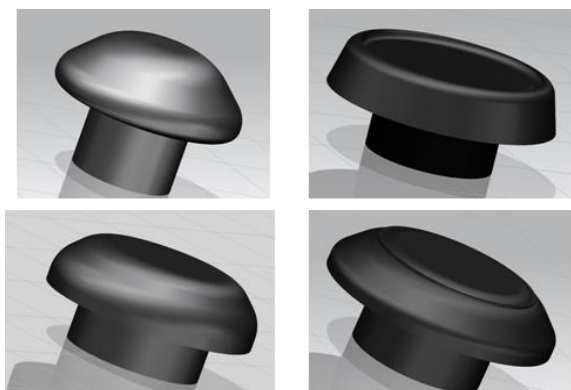
Jednym z podstawowych kryteriów stawianym współczesnym kontrolerom jest duża wytrzymałość gałki analogowej – elementu narażanemu na najbardziej dynamiczne zmiany obciążenia w trakcie eksploatacji. Różne modele kontrolerów (rys. 1) charakteryzują się odmienną geometrią analoga jak i rozmieszczeniem na padzie, determinując sposób ułożenia palca i powierzchni, na której zostaje przyłożone obciążenie.

2. Wyznaczenie własności zastępczych materiału gałek analogowych

W pracy skupiono się na przeanalizowaniu wpływu geometrii gałek analogowych na ich wytrzymałość. W tym celu, zdecydowano się na ujednoczenie parametrów materiałowych:

- moduł Younga $E = 0,1 \text{ GPa}$,
- gęstość $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$,
- materiał jednorodny i izotropowy.

Zabieg ten został umotywowany faktem, że oryginalny materiał, z którego wykonane są badane obiekty, to tworzywo sztuczne, charakteryzujące się zmiennymi właściwościami, zależnymi w dużym stopniu od warunków panujących w otoczeniu. W celu uzyskania modeli oddających w jak najdokładniejszym stopniu ich realną geometrię, wykonano serię pomiarów najważniejszych powierzchni drążków. Wszystkie wymiary gałek analogowych, zostały zaokrąglone do 0,01 mm. Modele gałek wykonane w programie NX 10, przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Modele gałek analogowych (DualShock 3, DualShock 4, Steam Controller, Wii U Gamepad)[1]

Fig. 2. Analog sticks models (DualShock 3, DualShock 4, Steam Controller, Wii U Gamepad)[1]

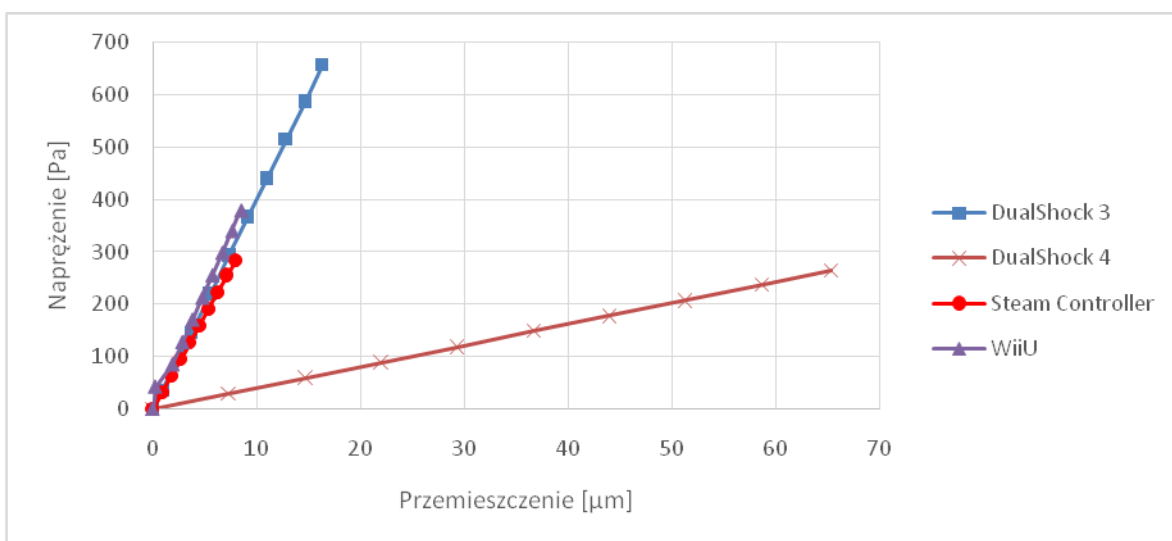
3. Analiza wytrzymałościowa

Analiza wytrzymałościowa gałek analogowych z kontrolerów DualShock 3, 4, Steam Controller i Wii U Gamepad została przeprowadzona w programie MSC Patran/Nastran z wykorzystaniem metody elementów skończonych. W celu poprawnie przeprowadzonej analizy, należało określić realne ułożenie gałki w trakcie użytkowania. Zdecydowano się na położenie krańcowe, w którym drążek gałki opiera się o obudowę kontrolera będącą drugą nieruchomą podporą układu. Miejscami przyłożenia obciążenia są natomiast: górna powierzchnia gałki (najczęściej wykorzystywana przez użytkowników przestrzeń analoga w trakcie rozgrywki) oraz krawędź boczna gałki w kierunku poziomym. Wartość siły przyłożonej w dwóch wariantach obciążenia określono na podstawie wyników badań przeprowadzonych przez Raghav'a Bhardwaj, który ustalił jej wartość na 8,9 N [2].

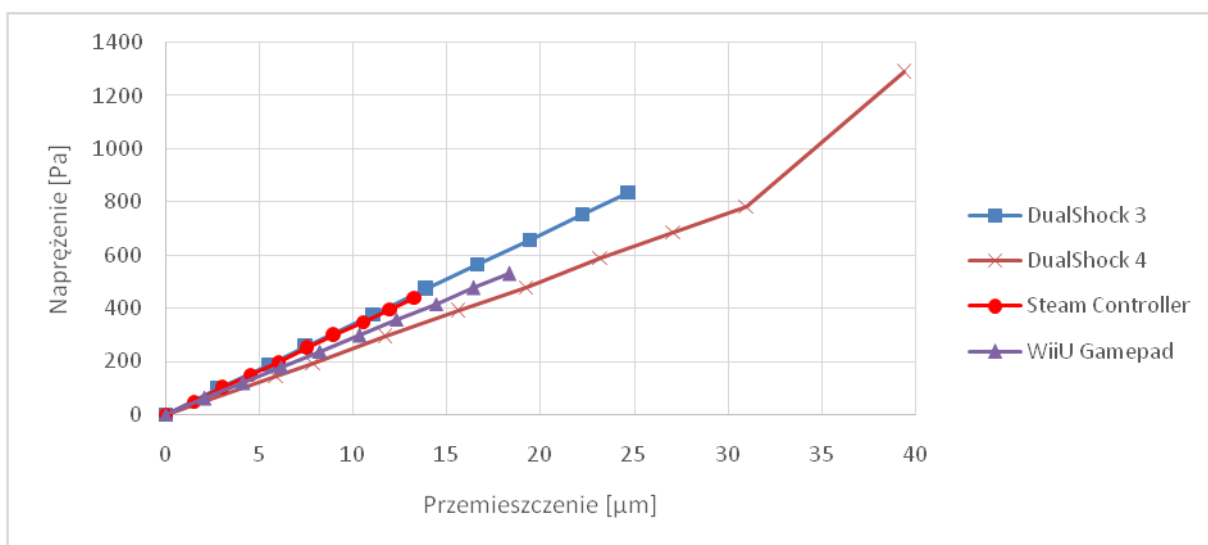
W trakcie analizy sprawdzono powstałe naprężenia i odkształcenia dla wartości sił z przedziału od 1 do 8,9 N, z krokiem równym 1 N. Największe wartości naprężenia i przemieszczenie, wyznaczone na podstawie hipotezy Hubera von Misesa dla obu wariantów obciążenia siłą o wartości 8,9 N, w formie tabelarycznej przedstawiono w tabeli 2. Wykresy na rysunkach 3 i 4 przedstawiają liniowy stosunek przemieszczenia i naprężenia wzdłuż kierunku przyłożonej siły – rys. 3 na krawędzi, rys. 4 na górnej powierzchni analoga.

Tabela 2. Wartości największych naprężeń i odkształceń
Table 2. The largest values of stress and displacements

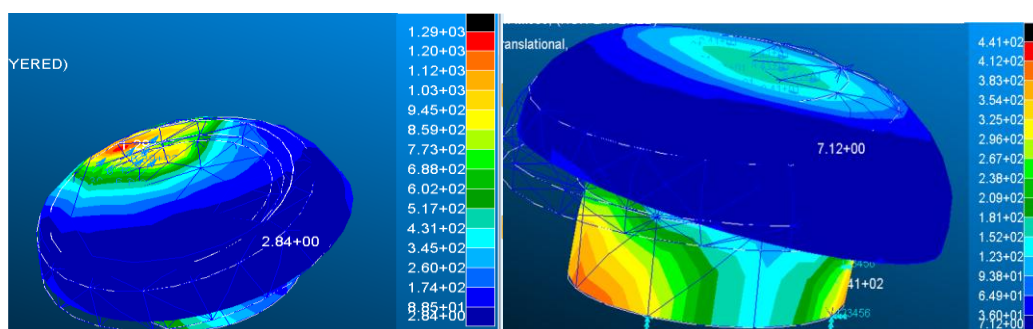
	DualShock 3	DualShock 4	Steam Controller	Wii U Gamepad
Naprężenie [Pa]	838	1290	441	529
Przemieszczenie [μm]	24,7	39,4	13,3	18,3



Rys. 3. Wykres naprężenia od przemieszczenia (siła przyłożona na krawędzi gałki)
Fig. 3. Stress graph from displacement of the analog stick



Rys. 4. Wykres naprężenia od przemieszczenia (siła przyłożona na górnej powierzchni gałki)
Fig. 4. Stress graph from displacement of the analog stick



Rys. 5. Miejsce największych naprężeń powstałych w gałkach
 Fig. 5. Point of the greatest stress formed in the analog sticks

4. Wnioski

W wyniku analizy geometrii gałek analogowych i jej wpływu na odporność na odkształcenia jak i rozkład naprężeń, wykazano że kontrolerem posiadającym gałkę analogową spełniającą wymienione kryteria jest Steam Controller. Duża średnica drążka i stosunkowo mała wysokość grzybka sprawia, że powstające w nim zmiany nie wpływają bardzo znacząco na procesy niszczące, a brak ostrych krawędzi łagodzi spiętrzanie się naprężeń mogących wykonać punktowe zniszczenie obiektu (rys. 5). Gałka ze Steam Controller'a, jako jedyna z analizowanych, uzyskała najlepszy wynik spośród pozostałych kontrolerów w próbie pierwszej gdzie badano wpływ siły przyłożonej do krawędzi gałki, jak i w drugiej – analiza wpływu położenia palca, uwarunkowanego rozmieszczeniem drążka na kontrolerze. Oznacza to, że bez względu na miejsce przyłożenia siły, gałka będzie wykazywać się dużą wytrzymałością. Steam Controller, jedyny spośród analizowanych kontrolerów, posiada na krawędzi analoga porowatą powierzchnię oznaczającą miejsce, w które przyłożona siła wpływa w najmniej szkodliwy sposób na gałkę.

Najgorszy wynik w trakcie analizy, został zanotowany przy gałce z DualShock 4. Bez względu na miejsce, czy wartość przyłożonej siły, powstałe naprężenia i odkształcenia w zdecydowanym stopniu przyspieszają proces niszczenia obiektu. Najbardziej zauważalne zmiany w geometrii analoga wystąpiły w przypadku siły przyłożonej w miejscu najczęstszego położenia palca na gałkę (rys. 5), uwarunkowanego rozmieszczeniem analoga na kontrolerze – górna powierzchnia kontrolera. Wykonane wgłębienie w grzybku, mimo małych zaokrąglenia ścianki, sprzyja spiętrzaniu się naprężeń przekraczających granicę plastyczności materiału, z którego wykonany jest element, powodując nieodwracalne odkształcenia w elemencie. Dodatkowo, poprzez stosunkowo cienką ścianę gałki, powierzchnia ta jest narażona na szybkie zniszczenie objawiające się oderwaniem lub wytarciem. DualShock 4 wykazuje się stosunkowo szybkim ścieraniem powierzchni gałki. Liczne ruchy palca wykonywane w trakcie gry wycierają początkowo chropowaty obszar drążka mający na celu zabezpieczenie palca przed ślizganiem, doprowadzając do powstania gładkiego pola, odbierając graczowi precyzję sterowania [1].

Literatura

1. Stryczyński M., Analiza mechatroniczna kontrolerów do gier wideo, Projekt inżynierski, Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, 2018
2. Bhardwaj R., The Ergonomic Development of Video Game Controllers, 2016

IDENTYFIKACJA WARTOŚCI KRYTYCZNYCH WYBRANEGO PARAMETRU MODELU DYNAMIKI PRZEWODZENIA IMPULSÓW NERWOWYCH HODGKINA-HUXLEYA

inż. OLGA URBAŃCZYK

Automatyka i Robotyka, AC4, semestr I, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Grzegorz Działkiewicz

Streszczenie. Model propagacji impulsu nerwowego opiera się na bilansie prądu w komórce, na który składają się gęstości prądów sodu, potasu, wycieku innych jonów oraz gęstości prądu wynikającego z istnienia zewnętrznych źródeł. Odpowiedź komórki wymaga odpowiedniego pobudzenia zewnętrznego. W pracy, za pomocą symulacji komputerowej, określono wartości krytyczne sygnału pobudzenia, które zapoczątkowują odpowiedź komórki nerwowej.



IDENTIFICATION OF THE CRITICAL VALUES OF THE SELECTED DYNAMICS PARAMETER OF THE HODGKIN-HUXLEY NERVOUS IMPULSE MODEL

Abstract. The model of a nerve impulse propagation is based on the current balance in the cell, which consists of the currents of sodium, potassium, leaks of other ions and the current density resulting from the existence of external sources. The cell's response requires appropriate external stimulation. At work, by means of computer simulation, the critical values of the excitation signal were determined, which initiate the response of the nerve cell.

1. Wprowadzenie

Alan Hodgkin i Andrew Huxley przeprowadzili serię starannych pomiarów przepływu jonów potasowych i sodowych przez błonę olbrzymiego aksonu kałamarnicy [1]. Badania zostały przeprowadzone w stanie zakleszczonym w przestrzeni, co oznacza, że przykładowe napięcie było stałe wzdłuż długości aksonu. Naukowcy przyjęli również, że przepływ jonów przez błonę komórkową ma charakter niesłabnącej fali, czyli solitonu [3]. Zaproponowali szereg równań opisujących proces przepływu jonów. Na podstawie eksperymentów dowiedli, że całkowity prąd w komórce składa się z gęstości prądów sodu, potasu, wycieku innych jonów (ang. leakage) oraz gęstości prądu wynikającego z istnienia zewnętrznych źródeł, wtedy równanie dynamiki zmian potencjału błony komórkowej ma postać [1]:

$$C \frac{dv}{dt} = g_{Na} m^3 h (v_{Na} - v) + g_K n^4 (v_K - v) + g_L (v_L - v) + I, \quad (1)$$

gdzie: I - gęstość prądu wzbudzenia, C - pojemność błony komórkowej, v - potencjał błonowy, t - czas, m - zmienna sodowego włączenia transportu jonów; h - zmienna sodowego wyłączenia transportu jonów; n - zmienna potasowego włączenia; g_{Na} - maksymalna wartość przewodności jonów sodowych; g_K - maksymalna wartość

przewodności jonów potasowych, v_{Na} - potencjał odwrócenia jonów Na, v_K - potencjał odwrócenia jonów K, v_L - potencjał odwrócenia jonów wycieku. Zmienne m , h i n są nazywane zmiennymi bramkującymi. Są zależne od czasu, bezwymiarowe, a ich wartości wahają się pomiędzy 0 a 1. Schemat zmiany stanu napięcia błony komórkowej charakteryzowany jest szybkościami przejść α_m i β_m . Stąd można rozpisać równania kinetyczne opisujące dynamikę przejść [2]:

$$\frac{dm}{dt} = \alpha_m(1 - m) - \beta_m m, \frac{dh}{dt} = \alpha_h(1 - h) - \beta_h h, \quad \frac{dn}{dt} = \alpha_n(1 - n) - \beta_n n, \quad (2)$$

Okazuje się, że wszystkie szybkości przejść są funkcjami potencjału v :

$$\begin{aligned} \alpha_m(v) &= \frac{\frac{v+45}{10}}{1 - \exp\left(-\frac{(v+45)}{10}\right)} & \beta_m(v) &= 4 \exp\left(-\frac{(v+70)}{18}\right) \\ \alpha_h(v) &= 0.07 \exp\left(-\frac{(v+70)}{20}\right) & \beta_h(v) &= \exp\left(-\frac{(v+40)}{10}\right) + 1 \\ \alpha_n(v) &= \frac{1}{100} \frac{v+60}{1 - \exp\left(-\frac{(v+60)}{10}\right)} & \beta_n(v) &= \frac{1}{8} \exp\left(-\frac{(v+70)}{80}\right). \end{aligned} \quad (3)$$

Typowy zestaw parametrów równania (1) przedstawiono w Tabeli 1.

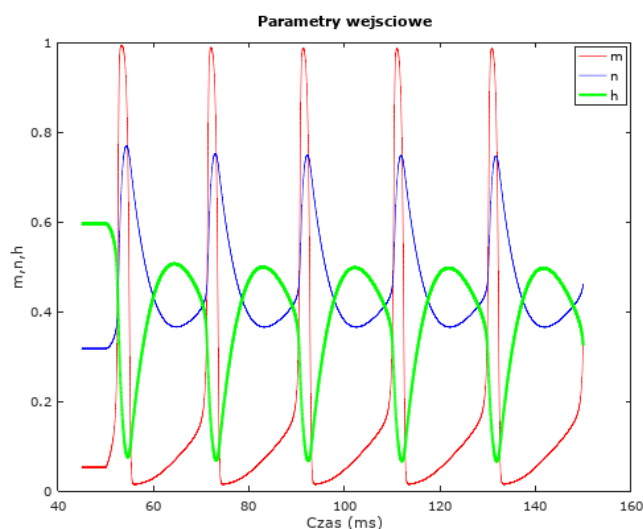
Tabela 1. Zestaw parametrów modelu Hodgkina-Huxleya
Table 1. Hodgkin-Huxley model parameter set

i	v_i [mV]	g $\left[\frac{mS}{cm^2}\right]$
Na	45	120
K	-82	36
L	-59	0.3

Rozwiązywano układ równań (1)-(3) z odpowiednimi warunkami początkowymi. W tym celu napisano program komputerowy w środowisku Octave wykorzystujący metodę Eulerada całkowania równań dynamiki.

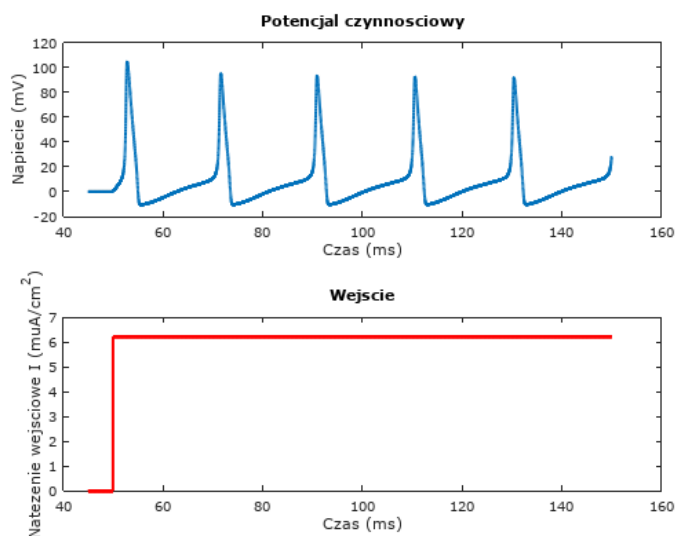
2. Przeprowadzone badania

Odpowiedź komórki nerwowej na sygnał pobudzenia może być różna jakościowo, w zależności od wielkości pobudzenia, co nie jest spotykane w układach liniowych. Wzbudzenie komórki nerwowej do odpowiedzi o maksymalnej amplitudzie potencjału czynnościowego 100 mV nie zachodzi dla prądów wzbudzenia mniejszych niż $2.24 \mu A/cm^2$, dla parametrów z Tabeli 1. $I=2.24 \mu A/cm^2$ jest wartością krytyczną dla której następuje „skok” potencjału czynnościowego i pełna pojedyncza odpowiedź komórki nerwowej. Dla pobudzenia o wartości większej niż $6.22 \mu A/cm^2$ obserwuje się samopodtrzymującą się okresową odpowiedź impulsową o maksymalnej amplitudzie rzędu 100 mV. Rozwiązania równań dynamiki H-H (Hodkina-Huxleya) dla $I=6.22 \mu A/cm^2$ przedstawiono na poniższych rysunkach. Cykl zmian w parametrach bramkujących zostaje podtrzymany w obserwowanym czasie symulacji (Rysunek 1).



Rys. 1. Zmienne bramkujące dla pobudzenia $I=6.22 \mu\text{A}/\text{cm}^2$
 Fig. 1. Gating variables for stimulation $I = 6.22 \mu\text{A} / \text{cm}^2$

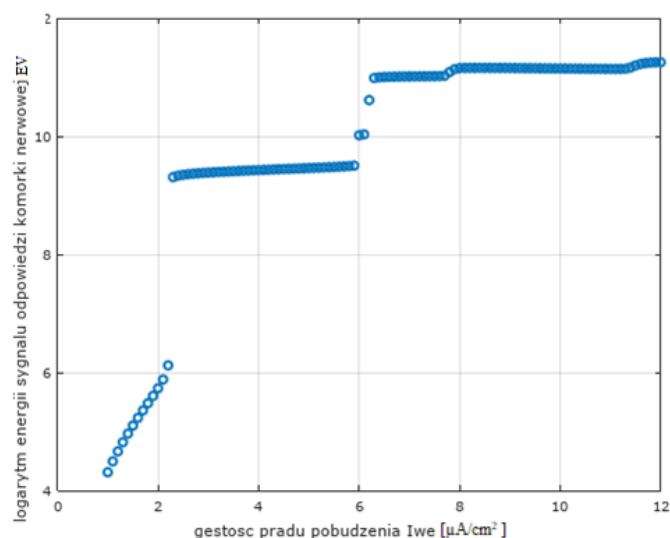
W obserwowanym czasie symulacji potencjał czynnościowy komórki dla $I=6.22\mu\text{A}/\text{cm}^2$ zmienia się dynamicznie i okresowo (Rysunek 2). Sugeruje to zachowanie, w którym komórka odpowiada ze stałą częstotliwością 1 skoku amplitudy co 18 ms i amplitudą 100mV.



Rys. 2. Potencjał czynnościowy dla pobudzenia w postaci skoku Heaviside'a o amplitudzie $I = 6.22 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

Fig. 2. Functional potential for stimulation in the form of the Heaviside jump with the amplitude $I = 6.22 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

Energia sygnału odpowiedzi komórkowej EV oraz energia sygnału pobudzenia EI zostały wyznaczone w programie za pomocą całkowania metodą trapezów[4]. Rysunek 4. przedstawia logarytm energii sygnału odpowiedzi komórki nerwowej EV , w zależności od gęstości prądu pobudzenia I . Wartości $\log EV$ stopniowo rosną, aż $\log EV = 6$ dla $I = 2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Wtedy następuje wyraźny skok do wartości $\log EV = 9$. Podobny skok występuje po osiągnięciu wartości $I = 6.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, wtedy $\log EV = 11$.



Rys.4. Logarytm energii sygnału odpowiedzi komórki nerwowej EV w zależności od gęstości prądu pobudzenia I

Fig. 4. Logarithm of the signal energy of the nerve cell response EV vs. the current stimulation density I

Na Rysunku 4. wyraźnie widoczne są charakterystyczne przeskoki wartości. Są one odwzorowaniem tego, co dzieje się w komórce nerwowej po przekroczeniu progowej wartości prądu pobudzenia. Określenie wartości prądu pobudzenia, dla których występują przeskoki energii pozwala na wyznaczenie krytycznych punktów parametru modelu dynamiki przewodzenia impulsów nerwowych Hodgkina-Huxleya.

3. Podsumowanie

Podsumowując niniejszą pracę można stwierdzić, że zjawiska zachodzące w komórkach nerwowych wymagają odpowiedniego pobudzenia w celu uzyskania odpowiedzi. Określenie pobudzenia potrzebnego do uzyskania odpowiedzi komórkowej, czyli natężenia wejściowego I może zostać wykorzystane w celu optymalizacji doboru gęstości prądu, tak aby jak najmniejsze było zużycie metaboliczne komórki. Za pomocą symulacji komputerowej określono wartości $I=2.24\mu\text{A}/\text{cm}^2$ oraz $I=6.22\mu\text{A}/\text{cm}^2$, które zapoczątkowują odpowiedź komórki. Warto podkreślić, że odpowiedź komórki dla każdej z wartości jest różna. W pierwszym przypadku występuje jedynie pojedyncza odpowiedź. W drugim przypadku odpowiedź komórkowa jest okresowa, czyli zostaje podtrzymana.

Literatura

1. Scott Alwyn Schody do umysłu, wyd. I, przeł. Barańska Halina, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1999, ISBN 83-204-2385-6.
2. Jerzy Łuczka, Marcin Kostur *Transmisja impulsów nerwowych: Model Hodgkinga-Huxleya* [online] 2013. Dostęp: 18.12.2017, visual.icse.us.edu.pl/
3. C.Eilbeck *John Scott Russell and the solitary wave* Heriot-Watt University, Department of Mathematics, 2007. Dostęp: 18.12.2017, macs.hw.ac.uk/~chris/scott_russell.html.
4. Majchrzak E., Mochnacki B.: *Metody numeryczne. Podstawy teoretyczne, aspekty praktyczne i algorytmy*, Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2004, wyd. IV.

ANALIZA PRZEGRZEWANIA SIĘ MIKROURZĄDZEŃ W ELEKTRONICE

inż. PAWEŁ WITEK

Mechanika i Budowa Maszyn, MB4, semestr I, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr inż. Jolanta Dziatkiewicz

Streszczenie. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki symulacji jednowymiarowego procesu rozchodzenia się ciepła, które generowane jest w podstawowych blokach układów scalonych - inwerterach. W tym celu użyta została metoda różnic skończonych, a program wykonujący obliczenia napisany został w środowisku SciLab. Zamodelowane zostały dwie struktury półprzewodnikowe. Jedna złożona z warstwy inwerterów położonych na krzemowej podstawie, druga dodatkowo wzbogacona o warstwę tlenku krzemu położonej na brzegu.



ANALYSIS OF ELECTRONIC MICRODEVICES OVERHEATING PROCESS

Abstract. The paper presents the results of one-dimensional simulation of heat dissipation process which is generated by the elemental structural block of modern integrated circuits – the inverter. To achieve this, finite difference method was used and carried out in SciLab programming environment. Two types of semiconducting structures were modelled. First one being the layer of inverters on the silicon base and the second one with additional layer of silicon dioxide on the top of inverters layer.

1. Wprowadzenie

Szybki rozwój elektroniki i idąca z nim w parze informatyzacja wszystkich gałęzi życia człowieka stały się przyczyną postępującej miniaturyzacji urządzeń elektronicznych. Układy budowane początkowo z zaledwie kilku komponentów wypierane były z czasem przez inne, coraz bardziej skomplikowane i oferujące więcej funkcji oraz lepsze parametry. Często wykorzystywane bloki funkcjonalne, złożone z podstawowych elementów takich jak tranzystory czy rezystory, zaczęto umieszczać w hermetycznych obudowach z wyprowadzonymi kanałami służącymi do przesyłania i odbierania sygnałów elektrycznych, jednocześnie wykonując wszystkie podzespoły na jednym kawałku monokrystalicznego krzemu, odpowiednio domieszkując go pierwiastkami takimi jak fosfor czy bor. Te tzw. układy scalone przyczyniły się do modularyzacji elektroniki, stając się coraz bardziej rozbudowane i wielozadaniowe. Ich duża złożoność w połączeniu z małym rozmiarem skutkuje gęstym upakowaniem elementów budulcowych, co prowadzi do problemów z dyssypacją ciepła powstałego na skutek przepływu przez nie prądu elektrycznego. W niniejszej pracy podjęto próbę symulacji rozchodzenia się ciepła w modelowym układzie scalonym, przy wykorzystaniu metody różnic skończonych [1].

2. Matematyczny opis przepływu ciepła

W celu opisanie przepływu ciepła przez dowolny materiał, powszechnie wykorzystywane jest równanie Fouriera [2]:

$$c\rho \frac{\partial T(X,t)}{\partial t} = \nabla[\lambda(X,T)\nabla T(X,t)] + g(X,t), \quad (1)$$

gdzie: T – temperatura, t – czas, λ – współczynnik przewodzenia ciepła, c – ciepło właściwe materiału, ρ – gęstość, $g(X,t)$ – funkcja źródła ciepła. Sprowadzając powyższe równanie do przypadku jednowymiarowego oraz zakładając niezmiennosć gęstości, ciepła właściwego i współczynnika przewodzenia ciepła względem temperatury i położenia, otrzymuje się:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{g(x,t)}{c\rho}, \quad (2)$$

gdzie a – współczynnik dyfuzji ciepła, wynoszący:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (3)$$

Równanie (2) przekształcone tak, by można je było rozwiązać numerycznie przy użyciu metody różnic skończonych ma postać:

$$T_i^f = \frac{\alpha\Delta t}{h^2} T_{i-1}^{f-1} + \left(1 - 2\frac{\alpha\Delta t}{h^2}\right) T_i^{f-1} + \frac{\alpha\Delta t}{h^2} T_{i+1}^{f-1} + \frac{g_i^{f-1}\Delta t}{c\rho}, \quad (4)$$

gdzie: i – numer węzła zdyskretyzowanej przestrzeni, f – numer kroku czasu, natomiast wyrażenie

$$\left(1 - 2\frac{\alpha\Delta t}{h^2}\right) \geq 0 \rightarrow \Delta t \leq \frac{h^2}{2a}, \quad (5)$$

jest tak zwanym warunkiem stabilności.

3. Budowa modelu

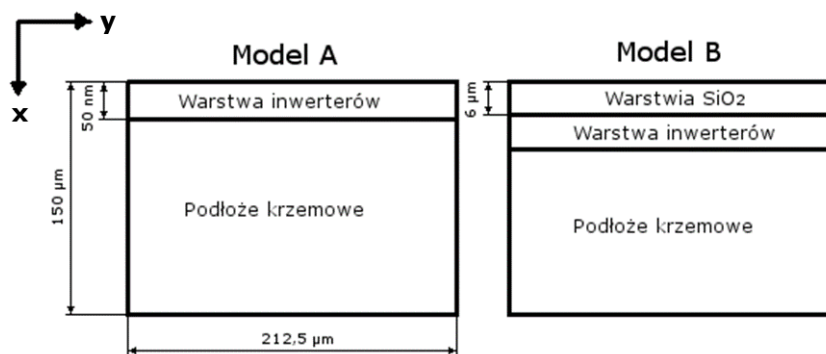
Nowoczesne układy scalone zbudowane są z połączonych ze sobą komplementarnych par tranzystorów o przeciwnym typie przewodnictwa. Struktury takie zwane są inwerterami. W danym momencie tylko jeden z tych tranzystorów jest otwarty (przewodzi prąd elektryczny), podczas gdy drugi jest zatkany (nie przewodzi). Zmiany stanów logicznych układu powodują odwrócenie stanów tranzystorów. W czasie zmiany występuje krótki okres, w którym oba tranzystory są otwarte, powodując zwarcie układu. Dodatkowo ze względu na niedoskonałości struktury, w układzie pojawia się prąd upływu, a występowanie pasożytniczych pojemności skutkuje występowaniem prądów ładowania. Wszystkie te zjawiska prowadzą do wydzielania się ciepła w inwerterach zgodnie z prawem Joule'a - Lenza. Aby zbadać jak ciepło to rozchodzi się w układzie, rozpatrzono dwa wyidealizowane modele, przedstawione na rysunku 1.

W celu uproszczenia obliczeń, przyjęto założenie że ciepło powstaje w jednolitym bloku krzemowym stanowiącym inwerter, którego powierzchnia A_m ma wymiary $5,5 \times 2,125 \mu\text{m}$, natomiast grubość l warstwy wynosi 50 nm. Założono również, że ciepło powstaje jedynie na skutek przepływu prądu ładowania i rozładowania bramek tranzystorów. Ilość energii koniecznej by to nastąpiło oszacowano na poziomie $E = 37,5 \text{ fJ}$ [3].

Tak przyjęte założenia pozwalają na obliczenie objętościowego natężenia ciepła powstającego przy każdej zmianie stanu inwertera:

$$g = \frac{P}{V} = \frac{P}{Al} = \frac{E}{Al\Delta t}, \quad (6)$$

gdzie: P – moc pojedynczego impulsu, Δt – czas potrzebny na zmianę stanu inwertera.



Rys. 1. Schemat modeli przyjętych do symulacji
Fig. 1. Structure of models used in simulations

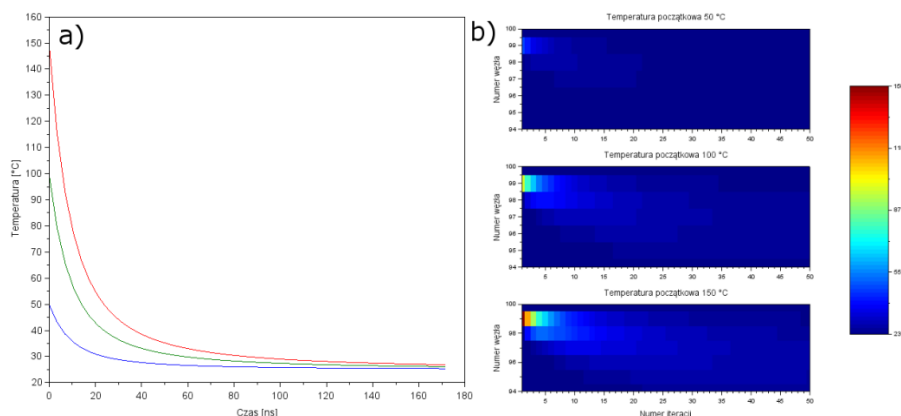
Przyjęte zostało, że zmiany stanu inwerterów będą następować w odstępach czasowych równych pojedynczemu krokowi czasowemu modelu, który ustalony został na poziomie 3,5 ns, co odpowiada częstotliwości taktowania układu rzędu 286 MHz. Przestrzeń wzdłuż osi x została zdyskretyzowana na 100 odcinków (101 węzłów) po 1,5 μm każdy. W węzle $i = 1$ oraz $i = 101$ wykonywane są obliczenia warunków brzegowych. W przypadku modelu A węzeł $i = 2$ stanowi warstwę inwerterów, natomiast w modelu B warstwę tę stanowi węzeł $i = 6$, natomiast poprzedzające go węzły (od 2 do 5) modelują warstwę tlenku krzemu. Dla tak dobranego kroku czasowego, moc objętościowych impulsów ciepła wydzielanych w pojedynczym inwerterze podczas jego zmiany stanu wynosi $1,832 \cdot 10^{13} \text{ J/m}^3$.

4. Wyniki symulacji

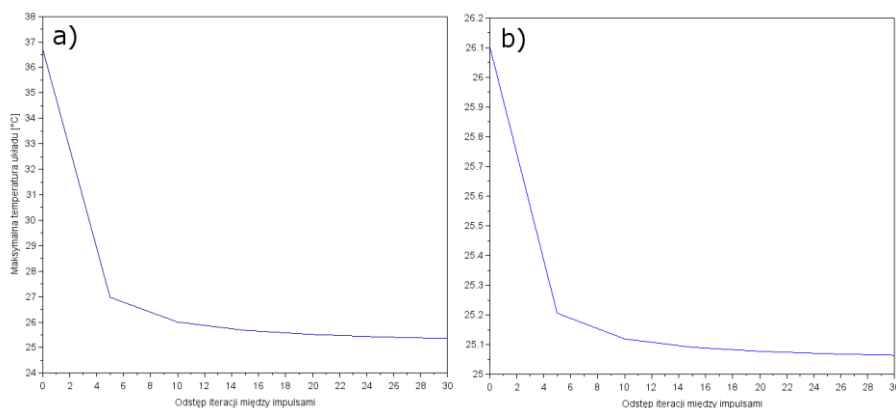
W przypadku modelu A wykonano symulację w dwóch wariantach warunków brzegowych. W pierwszym wariantcie przy warstwie inwerterów zastosowano warunek 1 rodzaju (idealne chłodzenie – stała temperatura warstwy), w drugim wariantcie warunek 3 rodzaju (swobodna wymiana ciepła przez konwekcję – przyjęto $\alpha = 100, 1000$ i 4000). W obu przypadkach na przeciwległym brzegu modelu zastosowano warunek 3 rodzaju ($\alpha = 100$).

Zbadany został przebieg chłodzenia się inwertera z temperatur początkowych 50, 100 oraz 150 $^{\circ}\text{C}$. Rysunek 2a przedstawia przebieg temperatur w czasie, natomiast rysunek 2b pokazuje w sposób graficzny rozkład temperatury. Podobne symulacje przeprowadzono dla wariantu 3, jednak nie stwierdzono wyraźnych różnic między różnymi współczynnikami dyfuzji ciepła.

Aby zbadać wpływ częstotliwości generowanych przez inwerter impulsów ciepła na temperaturę końcową układu, wykonano symulacje dla odstępów między impulsami wynoszącymi 0, 5, 10, 15, 20, 25 oraz 30 iteracji, sprawdzając za każdym razem maksymalną temperaturę osiągniętą przez układ w wariantcie 1 (Rys. 3a). Podobnie postąpiono dla modelu B (Rys. 3b).



Rys. 2. a) Przebieg chłodzenia inwertera z temp. początkowej.
 b) Graficzne przedstawienie chłodzenia
 Fig. 2. a) Cooling process of inverter from initial temperature.
 b) Graphical representation of inverter cooling.



Rys. 3. Zależność odstępu między impulsami ciepła od temp. końcowej modelu a) A, b) B
 Fig. 3. Dependency between heat pulse interval and final temperature of model a) A, b) B

5. Podsumowanie

Zastosowanie MRS pozwoliło na stosunkowo proste obliczenie własności termicznych dwóch modeli układów scalonych. Pomimo konieczności zastosowania krótkiego kroku czasowego możliwe było wyciągnięcie pewnych ważnych wniosków. O wiele efektywniejszym sposobem chłodzenia jest metoda kontaktowa (1 warunek brzegowy), niż swobodny przepływ ciepła. Dodatkowo zastosowanie warstwy tlenku na inwerterach powoduje powstanie izolacji cieplnej układu, która wspomaga jego chłodzenie jednak może też utrudniać odprowadzanie ciepła w już nagrzanym układzie.

Literatura

1. Veendrick H.J.M., Bits on Chips, Springer International Publishing, (2018).
2. Grossmann, C., Numerical treatment of partial differential equations, Springer, Berlin (2007).
3. Rabaey, J. M., Digital integrated circuits, Pearson Education (2003).

OPTYMALNE STEROWANIE POZIOMEM GLUKOZY WE KRWI

inż. KAROLINA ZAGRAJEWSKA

Automatic Control and Robotics, semester I, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Grzegorz Działkiewicz

Streszczenie. Celem pracy jest wyznaczenie parametrów optymalnego sterowania poziomem glukozy we krwi, z zastosowaniem modelu matematycznego dynamiki glukozy i insuliny. Wykorzystano równania różniczkowe pierwszego rzędu, tworzące model minimalny – tzw. Model Bergmana. Równania rozwiązano numerycznie w środowisku obliczeniowym MATLAB. Optymalizacja była możliwa, dzięki rozwiązaniu problemu optymalnego sterowania poziomem glukozy, za pomocą algorytmu inteligencji obliczeniowej, jakim jest algorytm genetyczny.



OPTIMAL CONTROL OF GLUCOSE LEVEL IN BLOOD

Abstract. The aim of the work was to determine the parameters of optimal control of blood glucose levels using the mathematical model of glucose and insulin dynamics. First order differential equations were used, forming the minimum model - the so-called Bergman model. The equations were solved numerically in the MATLAB computing environment. Optimization was possible by solving the problem of optimal glucose control using a computational intelligence algorithm, which is a genetic algorithm.

1. Wprowadzenie

Cukrzyca to choroba spowodowana niewydolnością lub całkowitą niezdolnością trzustki do produkcji insuliny, odpowiadającej za regulację poziomu glukozy we krwi. U osób chorych występuje brak samoczynnej produkcji insuliny, co wymusza ingerencję z zewnątrz [1]. Pierwszym znaczącym modelem dynamiki układu glukoza-insulina, jaki powstał, był sformułowany w 1981 roku model Bergmana. Jest również nazywany modelem minimalnym, który zawiera równania opisujące kolejno dynamikę: glukozy, aktywności śródmiąższowej insuliny oraz insuliny [2]. Dla osoby chorej Model Minimalny został wyrażony następującym układem równań różniczkowych zwyczajnych:

$$\frac{dG(t)}{dt} = -(p_1 + X(t))G(t) + p_1 G_B + p(t), \quad (1)$$

$$\frac{dX(t)}{dt} = -p_2 X(t) + p_3 [I(t) - I_B], \quad (2)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = -n[I(t) - I_B] + u(t), \quad (3)$$

$G(t)$ [mg/dl] – poziom glukozy w chwili czasu t [min], $I(t)$ [μ U/ml] – poziom insuliny w chwili czasu t [min], $X(t)$ [min^{-1}] – śródmiąższowa aktywność insuliny w chwili czasu t [min], G_B [mg/dl] – bazowy poziom glukozy pacjenta, I_B [μ U/ml] – bazowy poziom insuliny pacjenta, $u(t)$ [μ U/(ml·min)] – zewnętrzna dawka insuliny, p_1, p_2, p_3 [min^{-1}], [min^{-1}], [$\text{min}^{-2}/(\mu\text{U}/\text{ml})$] – parametry modelu, określone dla każdego pacjenta indywidualnie,

n [min^{-1}] – stała czasowa określająca zanikanie insuliny lub stała ułamkowa zanikania dla insuliny endogennej, $p(t)$ [$\text{mg}/(\text{dl}\cdot\text{min})$] – wpływ posiłku w chwili czasu t [min]. Natomiast dla osoby zdrowej zmianie ulega jedynie równanie dotyczące dynamiki insuliny:

$$\frac{dI(t)}{dt} = \begin{cases} \gamma[G(t) - h]t - n[I(t) - I_B] & \text{dla } G(t) - h > 0 \\ -n[I(t) - I_B] & \text{dla } G(t) - h \leq 0, \end{cases} \quad (4)$$

γ [$(\mu\text{U}/\text{ml})/(\text{mg}/\text{dl})^{-1}\text{min}^{-1}$] - wskaźnik trzustkowego uwalniania insuliny po podaniu posiłku, powyżej wartości h , h [mg/dl] – poziom glukozy, powyżej którego jest możliwe wydzielanie przez trzustkę insuliny.

2. Część praktyczna

Do utworzenia modeli matematycznych w środowisku MATLAB, zastosowano parametry uzyskane dla przykładowych pacjentów, zasięgnięte z bibliografii (Tab. 1.) [3]

Tabela 1. Dane pacjentów [3]

Table 1. Patient data [3]

pacjent	p_1	p_2	p_3	G_B	I_B	h	n	γ
	min^{-1}	min^{-1}	min^{-2}	mg/dl	$\mu\text{U}/\text{ml}$	mg/dl	min^{-1}	$[(\mu\text{U}/\text{ml})/(\text{mg}/\text{dl})^{-1}\text{min}^{-1}]$
zdrowy	0.028	0.025	13e-6	80	15	90.9	0.23	5.36e-3
chory	0	0.025	13e-6	140	0	-	-	5.36e-3

Jako warunki początkowe dla modelu, wykorzystane w równaniach, zostały przyjęte: glukoza: 140mg/dl dla chorego i 80mg/dl dla zdrowego pacjenta. Śródmiaższowa aktywność insuliny: 0 min^{-1} i insulina: 0 $\mu\text{U}/\text{ml}$ dla chorego i 15 $\mu\text{U}/\text{ml}$ dla pacjenta zdrowego. Posiłki zostały zamodelowane z wykorzystaniem tzw. funkcji posiłku, w postaci funkcji eksponencjalnej, dla obu pacjentów [3]:

$$p(t) = B \exp[-th(t-t_m)], \quad (5)$$

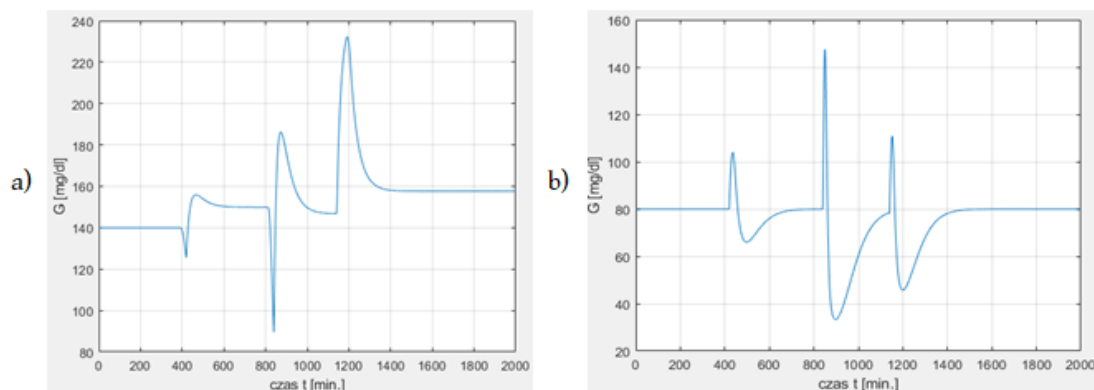
B to szybkość zmian stężenia glukozy, wynikająca z przyjętego posiłku, wynosiła odpowiednio dla śniadania, obiadu i kolacji: 3mg/(dl·min), 12mg/(dl·min), 5mg/(dl·min), szybkość trawienia th przyjęto równą 0.05 min^{-1} , a t_m oznacza chwilę rozpoczęcia posiłku [3]. Początki posiłków zostały określone na godziny 7:00 – śniadanie, 14:00 – obiad oraz 19:00 – kolacja. W optymalizacji jako funkcję celu wybrano miarę odchylenia poziomu glukozy $G(u, t)$ od poziomu bazowego na całym przedziale obserwacji $T_{max} = 2000\text{min}$:

$$\int_0^{T_{max}} (G(u', t) - G_B)^2 dt, \quad (6)$$

Całka podlegała minimalizacji, a zmiennymi projektowymi były wielkości dawek insuliny u' , o zakresach wartości wynoszących [10;500] $\mu\text{U}/\text{min}$ [4].

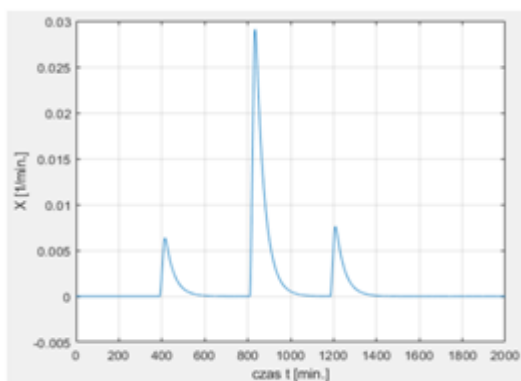
3. Wyniki

Dynamikę glukozy po optymalizacji przedstawiono na Rys. 2a, porównując z dynamiką glukozy osoby zdrowej (Rys. 2b). Wykres śródmiaższowej aktywności insuliny na Rys. 3, a wykres dynamiki insuliny na Rys. 4.

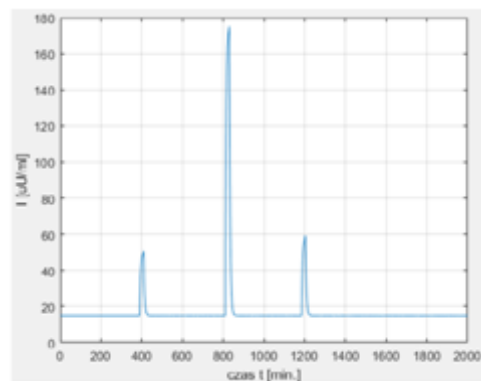


Rys. 2 Dynamika glukozy: a) pacjenta leczonego optymalnie,
b) pacjenta zdrowego po spożyciu posiłku
Fig. 2 Glucose dynamics: a) patient being treated optimally,
b) health patient after eating a meal

Widać na wykresie, że dzięki odpowiednim dawkom insuliny wartość początkową poziomu glukozy nie różni się diametralnie od wartości końcowej poziomu glukozy. Dzięki temu możliwa jest kontrola nad poziomem glukozy we krwi, a także normalne funkcjonowanie organizmu zarówno na początku, przed spożyciem posiłków, jak i na koniec dnia, po ich konsumpcji.



Rys. 3 Śródmiaższowa aktywność insuliny pacjenta leczonego optymalnie
Fig. 3 Interstitial insulin activity of the patient being treated optimally



Rys. 4 Dynamika insuliny pacjenta leczonego optymalnie
Fig. 4 The dynamics of the patient's insulin treated optimally

Jak wynika z Rys. 3 śródmiaższowa aktywność insuliny przyjęła poprawną formę, a więc: wzrost-spadek i jej aktywność odnotowano tylko w porze przyjmowania posiłków. Maksymalna wartość dynamiki insuliny osiągnęła ok. $180\mu\text{U/ml}$, a wg optymalizacji, dawka u' powinna wynieść wtedy 443.93mU/min , co stanowi niewiele, poniżej wyznaczonej wartości maksymalnej. Dzięki optymalizacji otrzymane zostały następujące optymalne dawki

insuliny u' dla poszczególnych posiłków: 95.98 mU/min - śniadanie, 443.93 mU/min – obiad, 120.37 mU/min – kolacja.

4. Wnioski

Dzięki zastosowaniu odpowiednich modeli matematycznych, możliwe było otrzymanie optymalnego rozwiązania, a zatem wyznaczenie odpowiednich dawek insuliny, które należało podać przed posiłkiem. Opracowany model jest elastyczny ze względu na wymagane zmiany i istnieje możliwość pełnego spersonalizowania modelu. Opierając się o otrzymaną wartość końcową poziomu glukozy oraz pozostałych zmiennych stanu istnieje możliwość określenia ich jako wartość bazową dla następnego dnia, co pozwoli na utworzenie dowolnej terapii na dowolną liczbę dni. Zaproponowane w niniejszej pracy rozwiązanie może być zastosowane tylko dla osób chorych na cukrzycę typu I.

Literatura

1. P. J. Sonksen, Insulin: understanding its action in health and disease [w:] *British Journal of Anaesthesia*. 85 (1), 2000, p. 69–79 [tłum. własne].
2. N. Sivaramakrishnan, Optimal Model Based Control for Blood Glucose Insulin System Using Continuous Glucose Monitoring [w:] *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 9(4), 2017, p.485-489 [tłum.własne]
3. Michael E. Fisher, A Semiclosed-Loop Algorithm for the Control of Blood Glucose Levels in Diabetics, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 38, no. 1, 1991, p. 57-59 [tłum.własne]
4. Claudia Cecilia Yamamoto Noguchi, EikoFurutani, and Shoichiro Sumi, Mathematical Model of Glucose-Insulin Metabolism in Type 1 Diabetes Including Digestion and Absorption of Carbohydrates, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, vol. 7, no. 6, 2014, p. 314–320 [tłum. własne]