



Ogólnopolska Konferencja Naukowa Młodych Inżynierów

MONOGRAFIA NAUKOWA

RZESZÓW 2018

**Ogólnopolska
Konferencja Naukowa
Młodych Inżynierów
2018**

Ogólnopolska Konferencja Naukowa i Konkurs Młodych Inżynierów

Monografia pod kierownictwem naukowym
dr hab. inż. Lucyna Leniowska, prof. UR

Rzeszów 2018

Recenzenci

dr hab. inż. Lucyna Leniowska, prof. UR, Uniwersytet Rzeszowski

Prof. dr hab. inż. Jarosław Bobitski, Politechnika Lwowska

dr hab. inż. Tadeusz Kwater, prof. UR, Uniwersytet Rzeszowski

dr hab. inż. Bartosz Koczurkiewicz, prof. UR, Politechnika Częstochowska

dr inż. Paweł Krutys, Uniwersytet Rzeszowski

dr inż. Stanisław Adamiak, Uniwersytet Rzeszowski

dr inż. Wojciech Bochnowski, Uniwersytet Rzeszowski

Projekt Okładki

Piotr Markowski, Mateusz Nycz



ISBN 978-83-952298-0-0

Wydawca

Koło Naukowe Mechatron-SEP
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy
Uniwersytet Rzeszowski
ul. Pigonia 1, 35-310 Rzeszów

Spis treści

Oskar Moraczyński, Barbara Kucharska, Grzegorz Wójcik

Analiza powierzchni detalu kształtowanego metodą hydromechaniczną 6
Paweł Śliwa, Arkadiusz Bożek, Marcin Szyszka, Konrad Trzeciak

Biometria i biometryczne systemy zabezpieczeń.....13

Rafał Fuksa, Mariusz Działo, Piotr Prach

Biometryczne innowacyjne systemy zabezpieczeń technicznych 24

A. Głuszek, M. Kiszka,, P. Sawicka-Chudy,, S. Adamiak

Charakteryzacja struktur tlenku tytanu i tlenku miedzi za pomocą metody Scratch-test 37

Bartosz Zdeb, Łukasz Stępień

Ekologiczna lodówka zasilana panelem fotowoltaicznym..... 51

Krzysztof Grzelak, Jakub Hawliczek,, Janusz Kluczyński, Mariusz Kusztal, Jakub Łuszczek, Damian Malcharek,
Cezary Małko, Michał Nowosadzki, Cezary Rudzki, Rafał Szymaniuk, Jakub Wąsik

Jednoosiowy Robot Rozpoznawczy 60

Marcin Majczak, Wojciech Słysz, Grzegorz Pado

Linia technologiczna w pełni zautomatyzowana – projekt i wykonanie. 73

Miłosz Linek, Magdalena Kopciuch

Plan i realizacja układu do nadawania ruchu posuwowego w prototypowym urządzeniu do
pneumokulkowania 85

Jarosław Mikoś, Dominik Potyrała, Ryszard Ruchaj, Karolina Leszczak

Projektowanie - komputerowe wspomaganie w cyfrowej wersji..... 95

Karolina Leszczak, Ryszard Ruchaj, Dominik Potyrała, Jarosław Mikoś

Samochody elektryczne – elektryzująca przyszłość 103

Grzegorz Wójcik

Właściwości wytrzymałościowe i mikrostruktura ostrzy stalowych azotowanych gazowo.. 114

A. Głuszek, M. Kiszka, P. Prach, D. Zaborniak, M. Turzyniecki

Zastosowanie metody rysy w inżynierii materiałowej do uzyskania krytycznych obciążeń
związanych z adhezyjnymi właściwościami powłok 124

M. Kiszka, A. Głuszek, P. Prach, D. Zaborniak, M. Turzyniecki

Zastosowanie mikroskopii elektronowej w dziedzinie inżynierii materiałowej do badań składu
chemicznego oraz właściwości strukturalnych wybranych metali i ich stopów 132

Wojciech Słysz, Karol Nawrot

Model kinematyczny oraz sterowanie manipulatorem AL5A.....141

Analiza powierzchni detalu kształtowanego metodą hydromechaniczną

Oskar Moraczyński{1}, Barbara Kucharska(1), Grzegorz Wójcik (1)

¹Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Procesowej i Technologii Materiałów, Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa

Streszczenie

W pracy przedstawiono badania powierzchni rury układu wydechowego samochodu, wykonanego ze stali austenitycznej X5CrNi18-10. Badany wyrób uzyskano drogą hydromechaniczną, pozwalającą na kształtowanie blach płaskich oraz profili zamkniętych z użyciem cieczy pod ciśnieniem. W pracy przedstawiono badania stanu powierzchni rury od strony kontaktu z matrycą, nadającej kształt rurze, oraz od strony kontaktu z cieczą pod ciśnieniem. Określono morfologię powierzchni i parametry chropowatości, a także cechy struktury stali w oparciu o metodę dyfraktometrii rentgenowskiej. Wykazano różnice w stanie obu powierzchni rury i ich chropowatości przy podobnych cechach zmian w strukturze spowodowanych odkształceniem plastycznym.

Słowa kluczowe: hydromechanika, rura, kształtowanie

Analysis of the surface of a detail shaped by hydromechanic metod

Abstract

The paper presents the investigation of the surface of the car exhaust pipe, made of austenitic steel X5CrNi18-10. The tested product was obtained by hydromechanical method, allowing for the forming of flat sheets and closed profiles using liquid under pressure. The paper presents tests of the surface condition of the pipe from the side of contact with the die, giving shape to the pipes, and on the side of contact with the liquid under pressure. The surface morphology and its roughness parameters were determined, and structure features based on the X-ray diffractometry method were determined. Differences in the state of both surfaces of the pipe and their roughness were shown, with similar features of changes in the structure caused by plastic deformation.

Wstęp

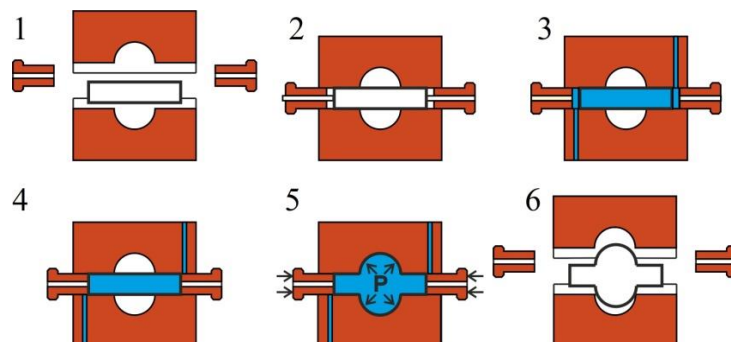
Przemysł motoryzacyjny w ostatnich latach stoi przed coraz większymi wyzwaniami dotyczącymi nie tylko kwestii bezpieczeństwa i redukcji emisji spalin, ale również zwiększenia komfortu użytkowników. Uzyskanie odpowiedniej wygody polega na zwiększeniu przestrzeni w kabinie i w części bagażowej. Takie wymogi powodują konieczność upakowania detali mechaniki samochodowej w jak najmniejszej przestrzeni. Detale te, oprócz spełniania funkcji użytkowych, muszą zatem posiadać skomplikowane kształty. Te z kolei, w tradycyjnych zabiegach formowania plastycznego, możliwe są do uzyskania poprzez kilkustopniowe gięcie, tłoczenie oraz spawanie kilku mniejszych części składowych. Znacznie większe możliwości daje metoda kształtowania hydromechanicznego, dzięki której możliwe jest wykonanie całego detalu o złożonych kształtach [1-4].

Technologia hydromechaniczna polega na kształtowaniu blach płaskich i profili zamkniętych za pomocą płynu pod ciśnieniem [5]. Kształtowanie profili tą metodą jest najpowszechniej stosowane w produkcji aluminiowych ram rowerowych. W przemyśle motoryzacyjnym metodą hydromechaniczną produkuje się karoserie, ramy nośne, tłumiki i inne części, w tym części układu wydechowego [6]. Przykładowe wyroby otrzymane metodą hydromechaniczną przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowe wyroby otrzymane metodą hydromechaniczną [7]

Zaletą stosowania tej metody jest zmniejszenie w konstrukcjach ilości połączeń spawanych oraz uzyskiwanie detali o lepszym stanie powierzchni, cieńszych ściankach i z lepszą tolerancją wymiarów [3]. Zastosowanie cieczy powoduje, że podczas odkształcania detalu nie występuje wzrost temperatury. Ostateczne nadanie kształtu wyrobu przy wykorzystaniu technologii hydromechanicznej składa się z kilku etapów. Pierwszym etapem jest umieszczenie półfabrykatu w matrycy i odpowiednie jej uszczelnienie. Następnie do środka matrycy wpompowywany pod ciśnieniem jest płyn. Ciśnienie cieczy, oddziałujące na ścianki półfabrykatu, powoduje nadanie mu ostatecznego kształtu, ograniczonego przez matrycę [1, 3, 8, 9, 10]. Schematyczne zobrazowanie metody przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat zabiegu formowania za pomocą płynu pod ciśnieniem
Źródło: opracowanie własne w oparciu o [8]

Material i metodyka badań

Materiałem badawczym była rura – detal układu wydechowego samochodu, wykonana technologią hydromechaniczną ze stali gatunku $X5CrNi18-10$ (AISI304). Stal ta jest najszerszej stosowaną z grupy stali austenitycznych odpornych na korozję w różnych gałęziach przemysłu. Charakteryzuje się dużą ciągliwością, formowalnością i spawalnością.

Skład chemiczny stali skontrolowano z wykorzystaniem spektrometru plazmowego pod kątem zgodności z normą $PN-EN 10088-1:1998$. Potwierdzenie gatunku wynika z zestawienia otrzymanych stężeń pierwiastków z podanymi w normie, co przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny stali - rury wydechowej samochodu

Metoda oznaczenia składu chemicznego	Skład chemiczny w % wag							
	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni
wg PN-EN 10088-1:1998	max	max	max	max	max	max	17,50–	8,00 –
	0,07	1,0	2,0	0,045	0,015	0,11	19,50	10,15
Spektrometr plazmowy	0,04	0,4	1,4	0,030	0,005	0,10	18,21	9,59

W dalszych badaniach dokonano określenia stanu powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej rury hydroformowanej. Powierzchnie te w procesie kształtowania miały kontakt z innym ośrodkiem. Powierzchnia wewnętrzna miała kontakt z płynem pod ciśnieniem, natomiast powierzchnia zewnętrzna miała kontakt z metalową matrycą. Do badań wytypowano cztery miejsca na długości rury, oznaczone jako A, B, C i D (Rys. 3). Z tych miejsc pobrano wycinki rury, których powierzchnie badano pod kątem morfologii z użyciem mikroskopu skaningowego oraz pod kątem topografii i chropowatości z użyciem profilometru stykowego.



Rys. 3. Analizowany Dedal uzyskany technologią hydromechaniczną (~1m długości)

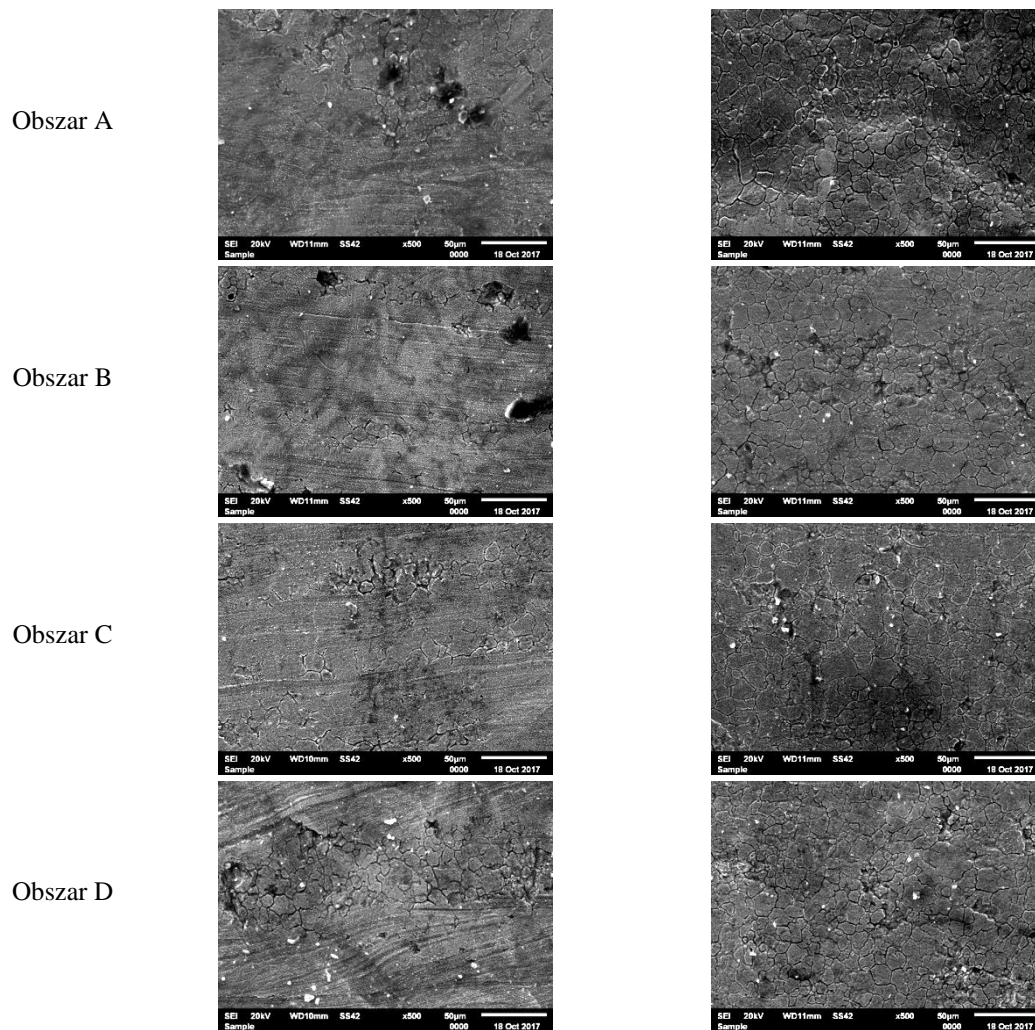
Mając na względzie różny wpływ ośrodka mającego kontakt z powierzchnią rury na strukturę przypowierzchniową stali, dokonano również badania obu powierzchni metodą dyfraktometrii rentgenowskiej.

Wyniki badań

Ocena stanu powierzchni przeprowadzona z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego pozwoliła na wykazanie różnicy w stanie powierzchni rury mającej kontakt z cieczą i powierzchni kontaktu z matrycą. Nie stwierdzono różnicy w stanie tej samej powierzchni rury w różnych miejscach badania. Na powierzchni zewnętrznej rury występowały typowe dla tarcia o matrycę rysy oraz zatarcia stali - ślady kierunkowej deformacji powierzchni rury. Zatarcia spowodowały, że nierówności powierzchniowe pozostałe po produkcji rury, w tym spowodowane nalotem technologicznym, zostały częściowo zasklepione. Rysy miały często kształt odbiegający od prostoliniowego, co świadczy o złożonym procesie odkształcania plastycznego podczas hydroformowania. Na powierzchni wewnętrznej rury rysy nie występowały, a powierzchnia była pokryta nalotem technologicznym pochodzącym ze środków smarnych, które w wyniku zestalenia utworzyły w nim siatkę spękań. Zestawienie obserwowanych stanów rzeczywistych powierzchni przedstawiono na rysunku 4.

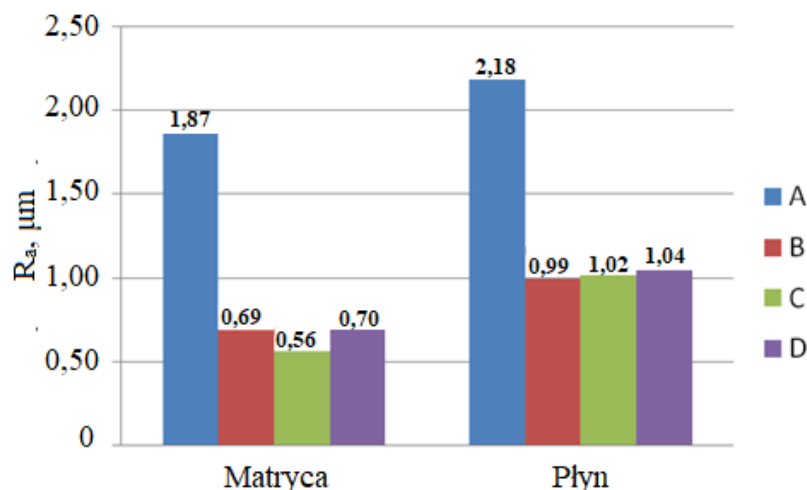
Powierzchnia kontaktu z matrycą

Powierzchnia kontaktu z cieczą



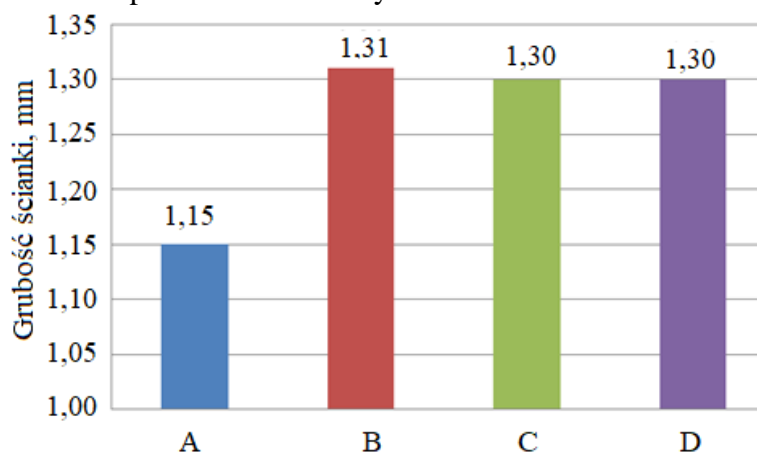
Rys. 4. Powierzchnia rury układu wydechowego

Stopień rozwinięcia powierzchni opisano parametrem chropowatości R_a , wyznaczonym w oparciu o profile liniowe zarejestrowane profilometrem stykowym zgodnie z normą EN ISO 4287:1999. Zestawienie wyznaczonych wartości R_a przedstawiono na rysunku 5. Wynika z niego, że chropowatość powierzchni rury nie mającej kontaktu z matrycą jest większa niż tej, która ulegała dodatkowo tarcia o matrycę. Potwierdza to wnioski wynikające z obserwacji SEM.



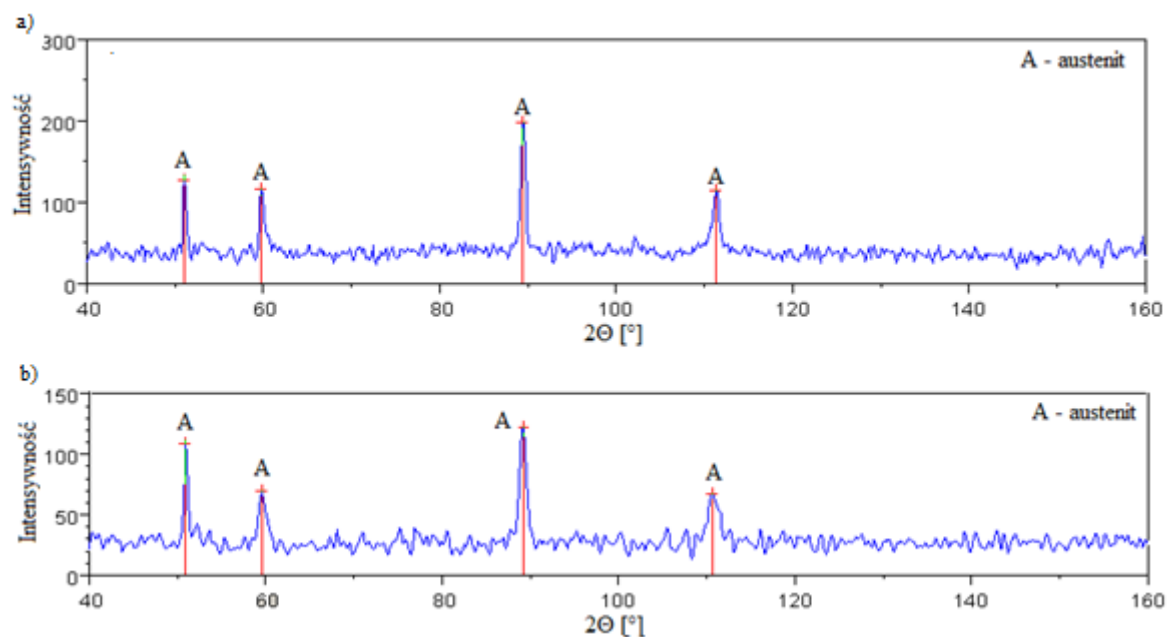
Rys. 5. Chropowatość – parametr R_a , powierzchni hydroformowanej rury mającej kontakt z matrycą i z cieczą

Badania chropowatości wykazały występowanie również pewnej zależności stanu powierzchni względem odkształcenia zadanemu półfabrykatowi. Większe odkształcenie spowodowało uzyskanie wyższych wartości parametru chropowatości. Grubość ścianki rury przed procesem hydromechanicznym była taka sama na jej całej długości i wynosiła 1,5 mm. Po procesie kształtowania grubość ścianki zmalała do około 1,3 mm (obszary B, C i D) a tam gdzie odkształcenie plastyczne było największe (obszar A) nawet do ok. 1,1 mm. Grubość ścianki rury wyznaczoną metodą mikroskopową na przekrojach poprzecznych wycinków pobranych w obszarach A-D przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Grubość ścianki rury kształtowanej hydromechanicznie w różnych obszarach badania

Badania rentgenowskie i analiza zarejestrowanych dyfraktogramów na obu powierzchniach rury wykazały występowanie refleksów pochodzących od austenitu. Dla wszystkich obszarów badania, z każdej ze stron rury, uzyskano podobne wyniki (rysunek 7). Materiał rury wykazywał podobny rodzaj tekstury, w którym najsilniejsze natężenie refleksów, a więc usytuowane równoległe do powierzchni, wykazywały płaszczyzny (110). Szczegółowe parametry refleksów dyfrakcyjnych przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 7. Rentgenogramy dla obszaru A, strona kontaktu powierzchni z: a) płynem, b) matrycą

Tabela 2. Rentgenogramy liczbowe dla obu stron rury

Powierzchnia kontaktu z płynem			Powierzchnia kontaktu z matrycą		
2θ, °	d _{hkl} , Å	J, %	2θ, °	d _{hkl} , Å	J, %
51,10	2,07	65	50,96	2,07	88
59,81	1,79	58	59,54	1,80	57
89,44	1,27	100	89,14	1,27	100
111,30	1,08	58	110,64	1,08	55

Wnioski

Zastosowanie technologii hydromechanicznej do kształtowania profili zamkniętych, przedstawionych w pracy na przykładzie rury do układu wydechowego samochodu, umożliwia uzyskanie skomplikowanych kształtów i krzywizn, co wiąże się z wprowadzeniem złożonego stanu odkształcenia plastycznego. Technologiczne rysy na powierzchni rury nie mają prostoliniowego kształtu, a grubość ścianek jest zróżnicowana.

Powierzchnie rury mają różną chropowatość. Powierzchnia zewnętrzna rury, mająca kontakt z matrycą, wykazuje niższe wartości parametru R_a w porównaniu do powierzchni wewnętrznej rury mającej kontakt z cieczą. W badaniach SEM wykazano, że jest to spowodowane zestalonym nalotem technologicznym, który ulega zacieraniu w wyniku tarcia a tym samym „wygładza” powierzchnię. Wyraźny związek chropowatości stwierdzono względem stopnia odkształcenia plastycznego rury. Tam gdzie redukcja grubości ścianki była największa parametr chropowatości powierzchni rury wzrósł ponad dwukrotnie, co oznacza, że odkształcenie plastyczne ma decydujący wpływ na chropowatość powierzchni. Niezależnie od powierzchni i obszaru hydroformowanej rury, jej austenityczna mikrostruktura uległa takiemu samemu rodzajowi tekstury, z dominacją płaszczyzn (110) usytuowanych równolegle do powierzchni rury.

Literatura

- [1] Kocańda A., Sadłowska H., Automotive component development by means of hydroforming, Archives of Civil and Mechanical Engineering 8 (3), 2008, 55-69
- [2] Morphy G., Pressure-sequence and high pressure hydroforming: Knowing the processes can mean boosting profits, The Tube & Pipe Journal, September/October 1998, (thefabricator.com, February 2001)
- [3] Bahman K., Trends for stainless steel tube in automotive applications, The Tube & Pipe Journal, September 13, 2005 (thefabricator.com, 20.04.2018)
- [4] Gronostajski Z., Kuziak R., Metalurgiczne, technologiczne i funkcjonalne podstawy zaawansowanych wysokowytrzymałych stali dla przemysłu motoryzacyjnego, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, 2010, 22-26
- [5] Podatność stali nierdzewnych na przeróbkę plastyczną, Euro Inox, Seria Materiały i zastosowania, Zeszyt 8, 2008
- [6] Nakamori T., Shukuno K., Manabe K., In-process Controlled Y-shape Tube Hydroforming with Hight Accurate Built-in Sensors, Procedia Engineering 184, 2017, 43-49
- [7] Stadnik R., Kazanecki J., Investigation of hydroforming of the Y-shape branch, Metallurgy and Foundry Engineering 35(1), 2009, 13-25
- [8] Strona internetowa firmy Inox: <http://www.inoxveneta.it/en/tube-hydroforming> (23.03.2018)
- [9] Morteza Alizad-Kamran, Mohammad Hoseinpour Gollo, Abbas Hashemi, S.M. Hossein Seyedkashi, Determination of critical pressure in analyzing of rupture instability for hydromechanical deep drawing using advanced yield criterion, Archives of Civil and Mechanical Engineering 18, 2018, 103-113
- [10] Mingtao Chen, Xiaoting Xiao, Jianghuai Tong, Heng Guo, Jianping Wen, Optimization of loading path in hydroforming of parallel double branched tube through response surface methodology, Advances In Engineering Software 115, 2018, 429-438
- [11] Blicharski M.: Inżynieria Materiałowa – stal, WNT, 2012

Biometria i biometryczne systemy zabezpieczeń

Paweł Śliwa¹, Arkadiusz Bożek¹, Marcin Szyszka², Konrad Trzeciak²

¹Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Katedra Inżynierii Komputerowej

²Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Katedra Mechatroniki i Automatyki

Streszczenie:

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie tematu szeroko pojętej biometrii i opartych o nią systemów zabezpieczeń. Biometria jest dynamicznie rozwijającą się częścią teleinformatyki, w związku z tym zajmuje szczególne miejsce w życiu codziennym każdego z nas. Systemy zabezpieczeń oparte o biometrię, mają swoje wady i zalety, które jednoznacznie determinują sytuacje oraz miejsca ich użycia. Publikacja opisuje je, wyjaśnia zasadę działania, a przede wszystkim promuje jako nowoczesne, bezpieczne oraz atrakcyjne z punktu widzenia osób zainteresowanych ich wykorzystaniem. Korzystając z możliwości jakie dają nam laboratoria Uniwersytetu Rzeszowskiego przeprowadziliśmy badania nad trzema wybranymi przez nas biometrycznymi systemami zabezpieczeń. Dokonane przez nas pomiary uwypuklają cechy charakterystyczne dla każdego z nich, tj. wpływ warunków zewnętrznych na pomiar, możliwość dopuszczenia nieautoryzowanych osób do systemu oraz zauważalne różnice w wydajności skanowania. Nasze opracowanie jest pomocne dla osób stojących przed wyborem systemu zabezpieczeń jak najlepiej dopasowanego do swoich potrzeb. Dla czytelnika nie mającego do tej pory kontaktu z biometrią i działającymi na jej zasadzie systemami zabezpieczeń jest to natomiast okazja do bliższego zapoznania się z nimi i zaletami ich użycia.

Słowa kluczowe: biometria, systemy zabezpieczeń, minucje

Biometrics and biometric security systems

Abstract:

The aim of this article is to present the subject of widely understood biometrics and security systems based on it. Biometrics is a dynamically developing part of ICT, therefore it occupies a special place in everyday life of each of us. Security systems based on biometrics have their advantages and disadvantages, which clearly determine the situations and places of their use. The publication describes them, explains the principle of operation, and above all promotes these systems as modern, safe and attractive from the point of view of people interested in their use. Taking advantage of the opportunities offered by the laboratories of the University of Rzeszów, we conducted research on three biometric security systems selected by us. Our measurements emphasize the characteristics of each of them, i.e. the influence of external conditions on the measurement, the possibility of getting unauthorized persons into the system and noticeable differences in scanning performance. Our elaboration is helpful for people facing the choice of a security system that suits their needs. For the reader who has not yet been in contact with biometrics and security systems operating on its basis, it is an opportunity to get to know them better and the advantages of their use.

1. Biometria

Jest to nauka zajmująca się badaniem zmienności populacji organizmów. Wyniki pomiarów biometrycznych po opracowaniu metodami statystyki matematycznej wykorzystywane są, między innymi w antropologii, fizjologii, genetyce, hodowli, medycynie, paleontologii. Biometria wykorzystywana jest przede wszystkim jako sposób kontroli dostępu do chronionych pomieszczeń lub autoryzacji użytkowników korzystających z określonych danych, programów czy urządzeń [1]. Wzmianki na temat wykorzystania biometrii sięgają bardzo odległej historii ludzkości. Już w naściennych malowidłach sprzed 30 tys. lat, znajdujących się w grotach, znajdujemy odciski dłoni wokół malowideł. Jak inaczej to

traktować, niż jako podpis autora? Są także inne wzmianki mówiące o wykorzystywaniu odcisków palców na glinianych tabliczkach w handlu przez Babilończyków (ok. V w p.n.e.), czy też odcisków palców i stóp przez Chińczyków do identyfikacji dzieci w czasach średniowiecza. Pomimo opisanych wyżej przypadków korzystania z biometrii należy przyjąć, że dopiero druga połowa XIX wieku była przełomowa dla dalszego rozwoju tej dziedziny. Pojawiły się pierwsze teoretyczne i praktyczne systemy wykorzystania cech biometrycznych. Naturalnie, zastosowanie biometrii w XIX wieku, miało niewiele wspólnego z dzisiejszym jej wykorzystaniem z oczywistego powodu - braku zaawansowanego przetwarzania komputerowego. Biometria z powodzeniem może zostać wykorzystana w zabezpieczeniach opartych na danych biometrycznych: wizerunku twarzy, zapisu linii papilarnych palców, zapisu obrazu tęczówki oka. Takie zabezpieczenie eliminuje fałszerstwa lub stanowi kod dostępu. Podstawowy system rejestracji biometrycznej składa się z czytników biometrycznych (zwanych inaczej czujnikami). To właśnie one pobierają linie papilarne naszego palca, czy też odczytują obraz naszej twarzy. Następnie zgromadzone na wejściu dane biometryczne przekazywane są do ekstraktora cech. Urządzenie to wyodrębnia jedynie najistotniejsze elementy wprowadzonych danych. Gromadzenie całego obrazu biometrycznego byłoby zadaniem wręcz niewykonalnym (między innymi ze względu na wielkość takiego obrazu). Stąd wyodrębniane są jedynie najważniejsze jego elementy. Ostatnim krokiem jest zapisanie przetworzonych na postać cyfrową danych biometrycznych do głównej bazy danych [1].

Uwierzytelnienie jest to proces weryfikacji tożsamości użytkownika, sprawdzenie, kontrola zgodności z prawdą, określenie autentyczności, stwierdzenie, poświadczenie prawdziwości również z uwzględnieniem określonego prawdopodobieństwa. Weryfikacja – polega na przedstawieniu się użytkownika, a następnie porównaniu wskazanego identyfikatora ze wzorcem zapisanym w bazie (porównanie 1:1). Identyfikacja natomiast polega na analizie cech użytkownika, a następnie porównaniu ich ze wszystkim dostępnymi wzorcami w bazie (porównanie 1:N) [2].

2. Wskaźniki skuteczności metod biometrycznych

Kiedy pierwszy raz używamy systemu biometrycznego musimy się zarejestrować. Wprowadzamy, więc swoje dane biometryczne, które zostają zapisane, jako szablon i od tej pory będą one przechowywane w bazie danych wraz z informacją, do kogo należą. Nareszcie możemy się zalogować. Wprowadzane przy logowaniu dane za każdym razem porównywane są z zapisanymi w bazie szablonami. Algorytm porównywania zwróci nam jedną z dwóch informacji: akceptacja lub odrzucenie (odpowiednio: jeśli porównanie się udało/nie udało). To, jak dokładnym algorytmem porównania będzie posługiwał się komparator cech można zdefiniować za pomocą dwóch wartości: FAR i FRR [2].

FAR, czyli False Acceptance Rate oraz FRR – False Rejection Rate, to dwa podstawowe wskaźniki odpowiedzialne za błędy w odczytach danych biometrycznych. Pierwszy z nich mówi nam ile błędnych próbek biometrycznych system uzna za poprawne. Z kolei FRR mówi ile pozytywnych porównań zostało oznaczonych negatywnie. Wartości te są inne dla różnych urządzeń biometrycznych [3].

Załóżmy, że nasz system biometryczny przechowuje szablon pewnej osoby. Nazwijmy ją osobą N, która zamierza przejść etap weryfikacji. Spróbujmy teraz przewidzieć, jaka jest

szansa, że N nie zaloguje się do systemu. Obliczmy prawdopodobieństwo braku sukcesu dla zarejestrowanej osoby FRR(N) [4]:

$$FRR(N) = \frac{\text{liczba poprawnych prób, które zostały uznane za błędne dla osoby } N}{\text{liczba wszystkich prób weryfikacji dla osoby } N}$$

Oznacza to, że jeśli podczas 1000 prób logowania, 10 z nich komparator uzna za błędne, to $FRR(N) = 0.01$. Zastanówmy się teraz, jaka jest szansa na to, że ktoś inny będzie wstanie zalogować się na konto osoby N, przechodząc etap weryfikacji. Pomyślmy jak obliczyć prawdopodobieństwo sukcesu dla niezarejestrowanej osoby FAR(N) [4]:

$$FAR(N) = \frac{\text{liczba niezależnych, błędnych prób, uznanych za poprawne dla osoby } N}{\text{liczba niezależnych prób weryfikacji dla osoby } N}$$

W naszym przypadku słowo „niezależny” oznacza, że próbki biometryczne pobierane są od różnych osób. Jeśli w grupie 1000 różnych osób znajdziemy 10, które mogą zalogować się na konto N, to $FAR(N) = 0.01$. Same wskaźniki FAR i FRR zwykle definiowane są jako średnia arytmetyczna odpowiednio FAR(N) i FRR(N) wszystkich osób w bazie danych. Jeśli posiadamy X zarejestrowanych użytkowników (X szablonów) to wskaźniki można przedstawić jako [4]:

$$FAR = \frac{1}{X} \sum_{N=1}^X FAR(N)$$

$$FRR = \frac{1}{X} \sum_{N=1}^X FRR(N)$$

Do tej pory przyglądaliśmy się jedynie weryfikacji. Otrzymywaliśmy ID (login) oraz wejściowe dane biometryczne, które zostawały porównywane z odpowiednim szablonem w bazie danych (i co najistotniejsze, mieliśmy tylko jedno porównanie). Zajmijmy się identyfikacją. Tym razem musimy dokonać tyle porównań, ilu użytkowników mamy zarejestrowanych. Rozpatrzmy bazę, w której mamy N różnych szablonów. Wprowadźmy następujące oznaczenia [1]:

FAR_N – niesłuszne zaakceptowanie dla naszej N-osobowej bazy,
 FRR_N – nieudana identyfikacja, również dla N-osobowej bazy.

$$FAR_N = 1 - (1 - FAR)^N$$

Widać więc, że dla małych wartości FAR (współczynnik ten osiąga zwykle małe wartości), można założyć, że prawdopodobieństwo niesłusznego zaakceptowania zależy liniowo od liczby rekordów bazy [4]:

$$FAR_N = FAR * N,$$

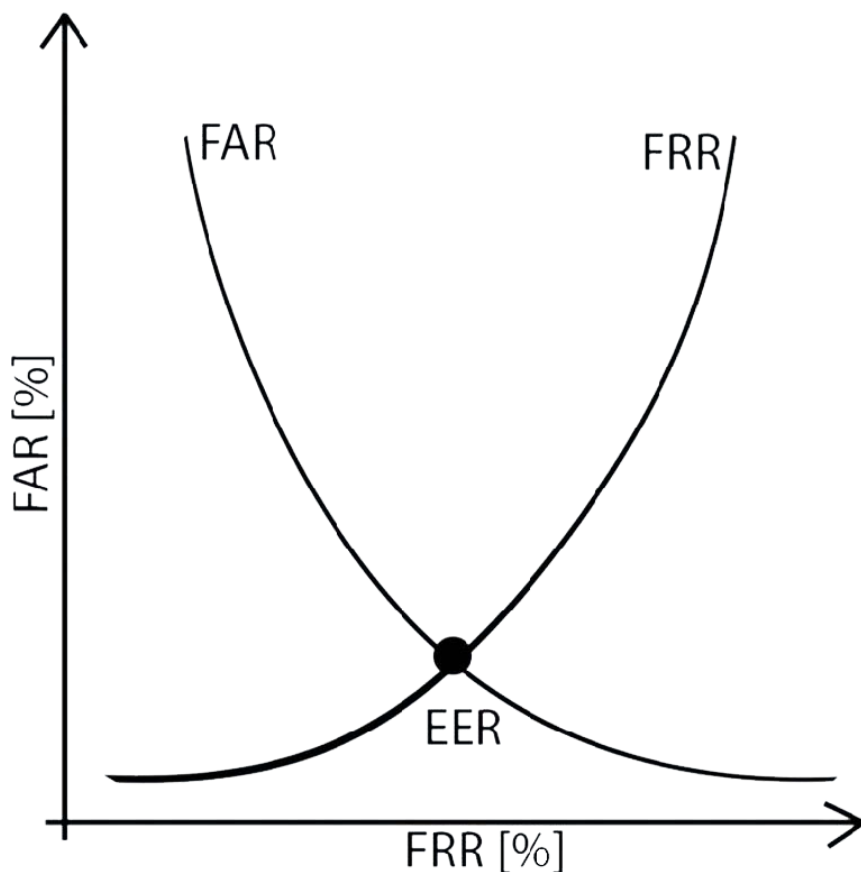
tymczasem:

$$FRR_N = FRR * (1 - FAR)^{N-1}.$$

Tutaj również ze względu na małe FAR możemy oszacować że FRR_N zależy tylko od FRR komparatora.

Współczynnik fałszywych akceptacji i współczynnik fałszywych odrzuceń pozwalają nam zdefiniować rzeczywiste bezpieczeństwo danej biometrii. Myśląc nad wyborem odpowiedniego urządzenia do zabezpieczeń biometrycznych powinniśmy kierować się właśnie tymi współczynnikami. Musimy również pomyśleć nad pewnym kompromisem. Im wyższy wskaźnik FRR, tym bardziej niewygodny w użytkowaniu staje się nasz system. Analogicznie sytuacja wygląda ze współczynnikiem FAR [6].

Zaopatrując się w system z ustawieniami $FAR = 1$ oraz $FRR = 0$ dostajemy zupełnie niezabezpieczony system. Tymczasem $FAR = 0$ i $FRR = 1$ to ustawienia systemu, który nie zaakceptuje nikogo.



Wykres 1. Zależność FAR i FRR [opracowanie własne]

EER (ang. Equal Error Rate) – współczynnik błędu zrównoważonego, służy on do wyznaczania dokładności konkretnej implementacji biometrii. Im niższy, tym lepszy osiągnięty rezultat. Współczynnik ten często wykorzystywany jest do porównania różnych technologii biometrii głosowej [5].

3. Badania

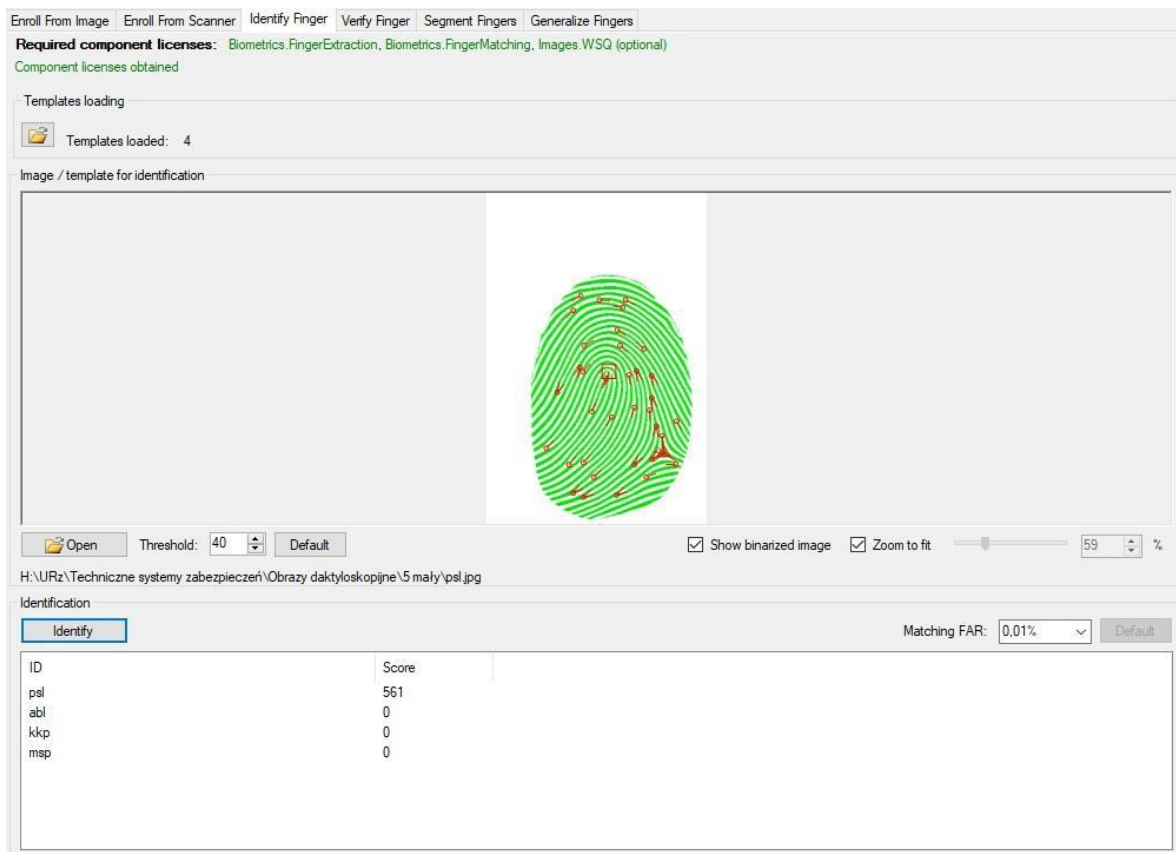
Do przeprowadzenia badań oraz procesów weryfikacji i identyfikacji wykorzystaliśmy wielomodułowe oprogramowanie MegaMatcher SDK. Jest to bardzo wygodne narzędzie umożliwiające symulację działania biometrycznego systemu zabezpieczeń, które jednocześnie pozwala na wdrożenie i rozwój tych systemów dzięki szerokiej gamie modułów i gotowych rozwiązań deweloperskich. Oprogramowanie spełnia najnowsze standardy biometryczne i może być z powodzeniem wykorzystane zarówno w obszarach cywilnych jak i administracji publicznej. Pobranie próbki polegało na przyłożeniu palca do skanera, zbliżeniu twarzy lub oka do kamery, następnie czujnik generował na podstawie obrazu unikatowy kod, zwany wektorem cech użytkownika. Wygenerowany kod jest zapisywany w bazie danych, a następnie porównywany ze świeżo pobranymi próbkami przy każdej próbie dostępu do systemu.

3.1 Badania obrazu daktyloskopijnego

Odciski palców pobraliśmy za pomocą skanera Futronic FS80H. Jest on kompatybilny z wykorzystanym przez nas oprogramowaniem i połączony z komputerem za pomocą magistrali USB. Do jego podstawowych parametrów technicznych należą:

- a) rozdzielczość obrazu: 500 dpi,
- b) głębia kolorów: 8 bitów,
- c) temperatura pracy: $-10 \div 55$ °C,
- d) napięcie zasilania: $4.5 \div 5.5$ V.

Podczas badania zasymulowaliśmy sytuacje weryfikacji i identyfikacji użytkownika.



Rys. 1. Identyfikacja obrazu daktyloskopijnego [opracowanie własne]

Na grafice (Rys. 1) widzimy sytuację, w której system porównuje pobrany odcisk palca ze wszystkimi zapisanymi rekordami w bazie. Na podstawie wyników można stwierdzić, że odcisk należał do użytkownika „PS”. Pozostałe zapisane wektory cech zostały odrzucone.



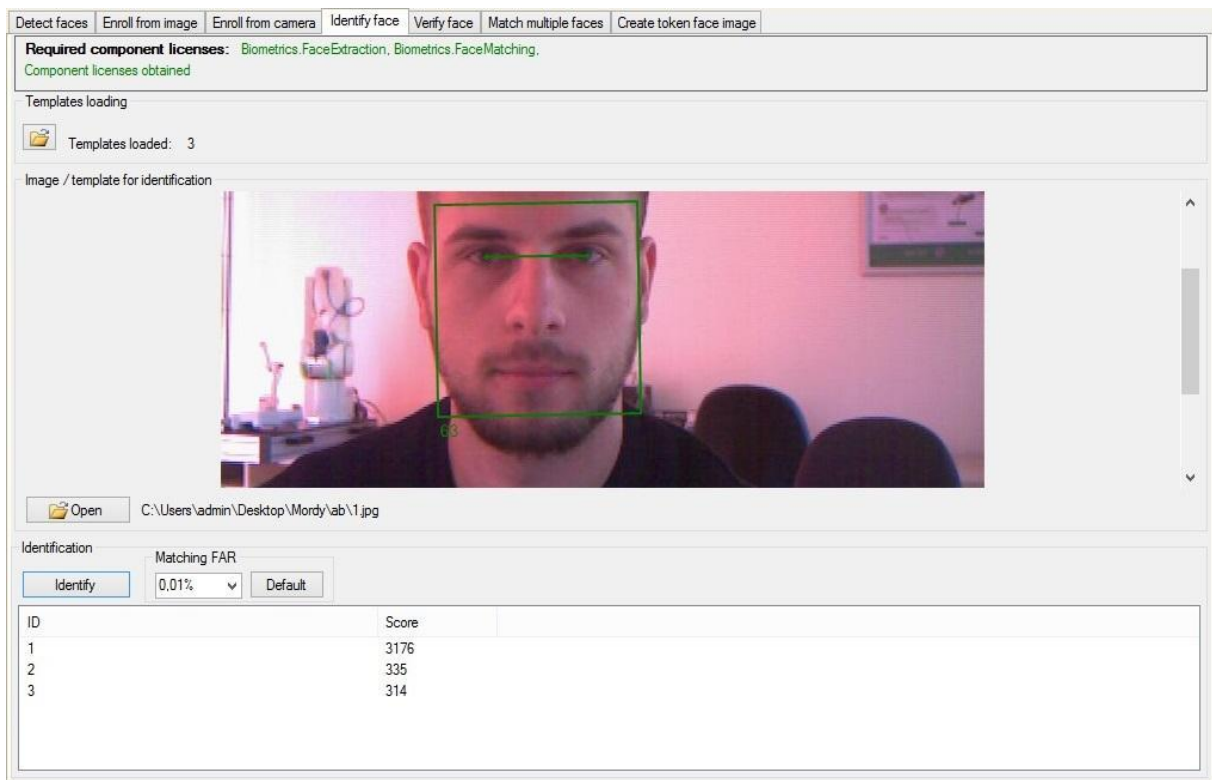
Rys. 2. Weryfikacja tego samego obrazu daktyloskopijnego [opracowanie własne]

Z kolei na powyższym obrazie (Rys. 2) możemy zaobserwować proces weryfikacji. Algorytm sprawdzający zaznacza liniami punkty charakterystyczne, które znajdują się na obu próbkach. Wysoki współczynnik podobieństwa (ang. matching score) pozwala jednoznacznie stwierdzić, że dany odcisk należy właśnie do tego użytkownika.

3.2 Rozpoznawanie twarzy

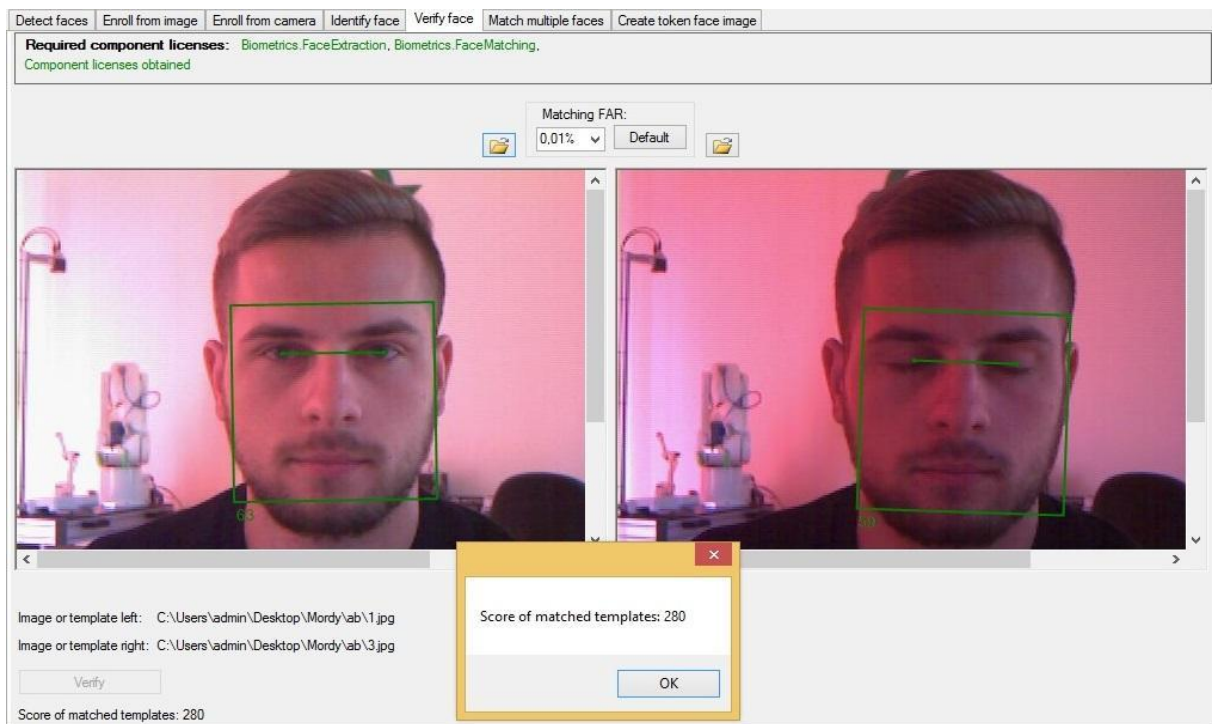
Do badań geometrii twarzy wykorzystaliśmy wielofunkcyjne urządzenie VistaFA2, które umożliwia pobieranie próbek głosowych, obrazów twarzy oraz tęczówki oka. Skaner bardzo dobrze współpracuje z pakietem MegaMatcher i tak jak w przypadku skanera Futronic urządzenie jest połączone z komputerem za pomocą portu szeregowego USB. Biometria twarzy pozwala na bardzo dokładne pomiary pomimo niesprzyjających warunków oświetleniowych. Warto zaznaczyć, że kształt twarzy wraz z upływem lat zmienia się na tyle nieznacznie, że system jest w stanie interpretować pomiary wykonywane w odstępach wielu lat, wyróżniamy cechy geometryczne oraz antropometryczne twarzy, np.:

- a) kształt brwi,
- b) kształt nosa,
- c) kształt ust,
- d) odległość między środkami oczu,



Rys. 3. Identyfikacja twarzy [opracowanie własne]

Na rysunku (Rys. 3) widzimy proces identyfikacji twarzy użytkownika próbującego uzyskać dostęp do naszego systemu, pobraliśmy trzy próbki dla tej samej osoby. Zostały one wykonane w różnych warunkach oświetlenia, a twarz była ustawiana pod różnymi kątami względem kamery. Pomimo to system nie dał się oszukać i poprawnie zweryfikował oraz dopasował próbkę do każdego z zapisanych szablonów.

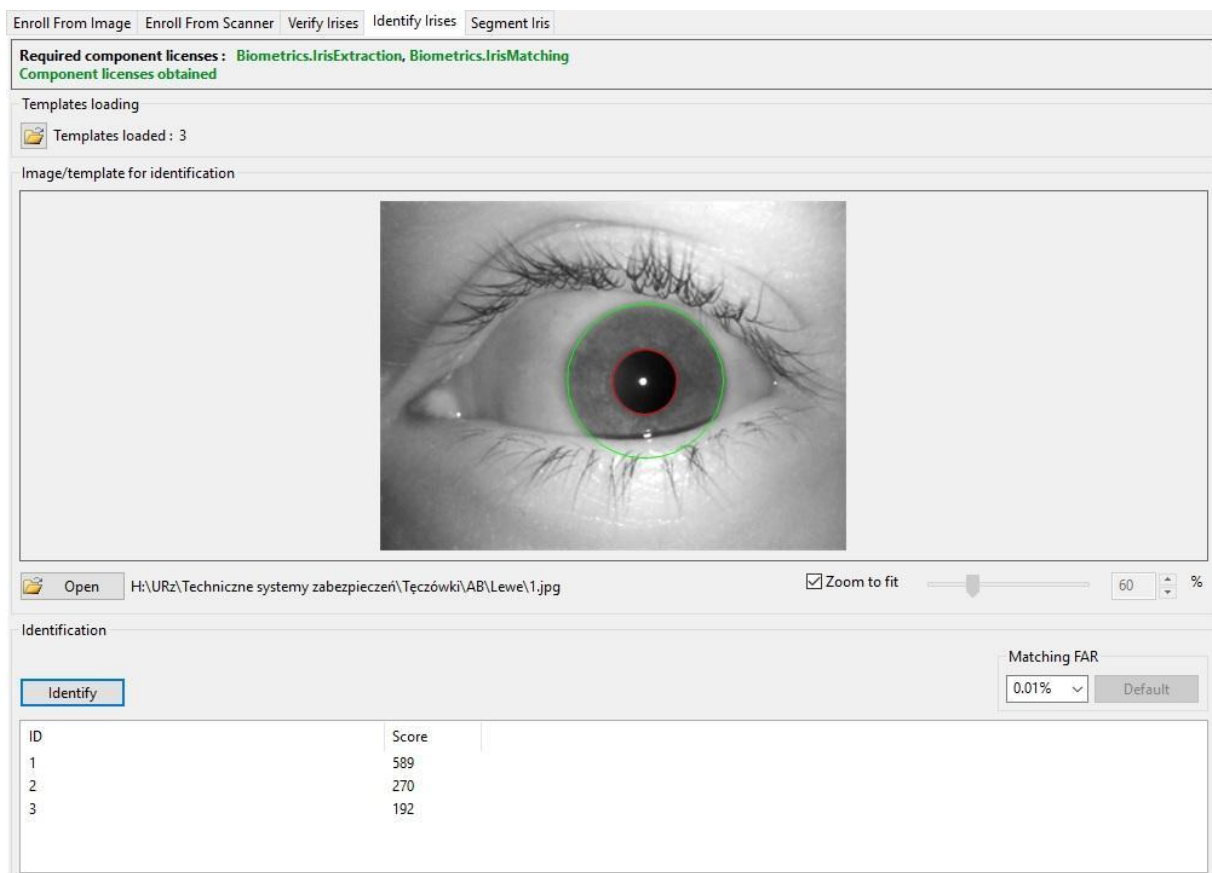


Rys. 4. Weryfikacja twarzy użytkownika [opracowanie własne]

Na obrazie (Rys. 4) obserwujemy sytuację, w której użytkownik próbuje uzyskać dostęp do zasobów systemów. Ze strony systemu następuje odpowiedź i weryfikacja użytkownika, co finalnie pozwala na dopuszczenie go. Algorytm jest bardzo czuły i doskonale radzi sobie ze słabymi warunkami oświetlenia oraz rozpoznaje użytkownika pomimo zamkniętych oczu.

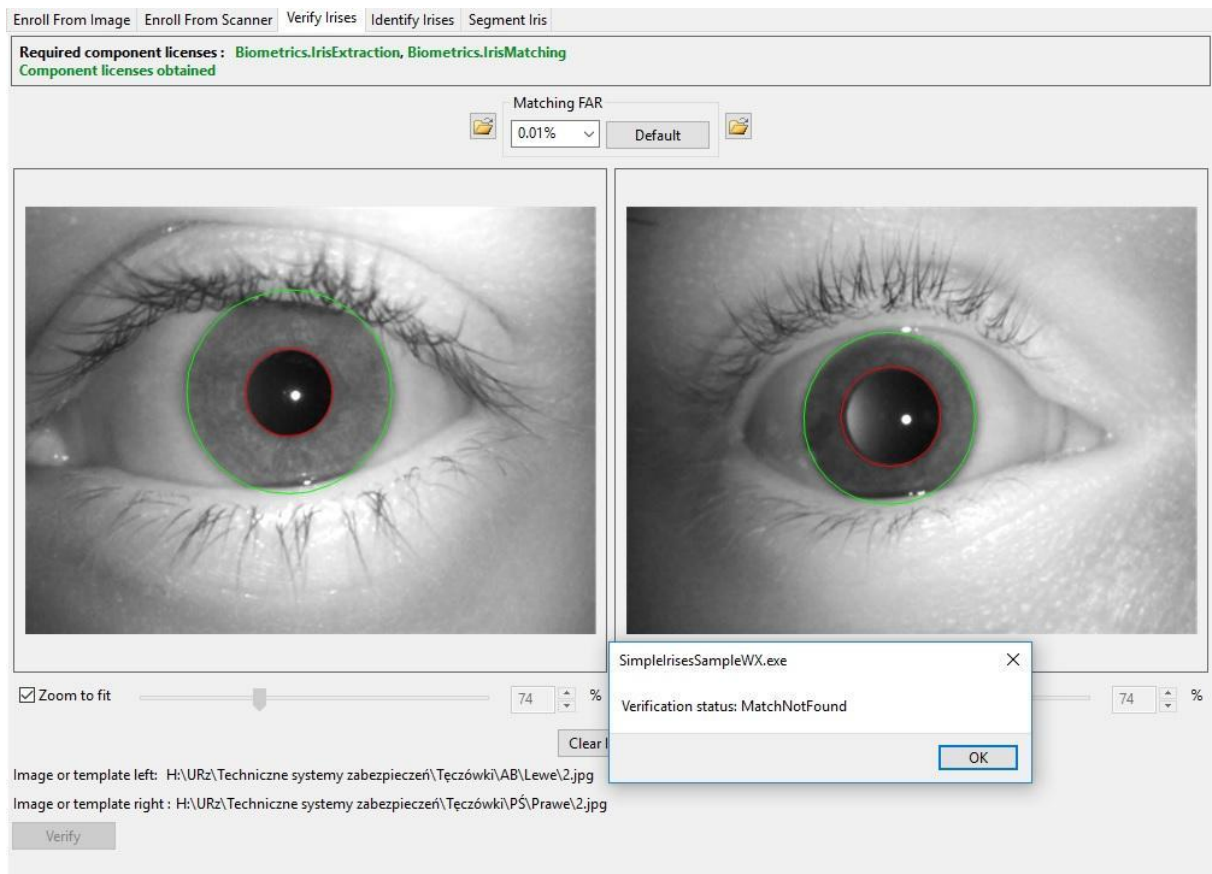
3.3 Rozpoznawanie tęczówki oka

Podczas pobierania obrazów tęczówki oka wykorzystaliśmy skaner IriShield. Uchwycenie obrazu jest w większości przypadków dwuetapowe, ponieważ najpierw następuje krótkie rozpoznanie ogólnej geometrii twarzy, tzn. umiejscowienia gałek ocznych, a następnie wykonywane jest zdjęcie tęczówki oka w wysokiej rozdzielczości. Procesy identyfikacji oraz weryfikacji wyglądają analogicznie do tych, które występują podczas badania obrazów daktyloskopijnych oraz rozpoznawania twarzy.



Rys. 5. Identyfikacja tęczówki oka [opracowanie własne]

W przypadku identyfikacji widocznej na grafice powyżej (Rys. 5) mamy analogiczną sytuację do tej występującej podczas rozpoznawania twarzy. W naszej bazie danych mamy zapisane trzy różne wektory cech, należą one jednak do tej samej osoby. Pomimo przymrużonego oka algorytm doskonale rozpoznał, że należy ono do osoby, której cechy zapisane są w bazie.

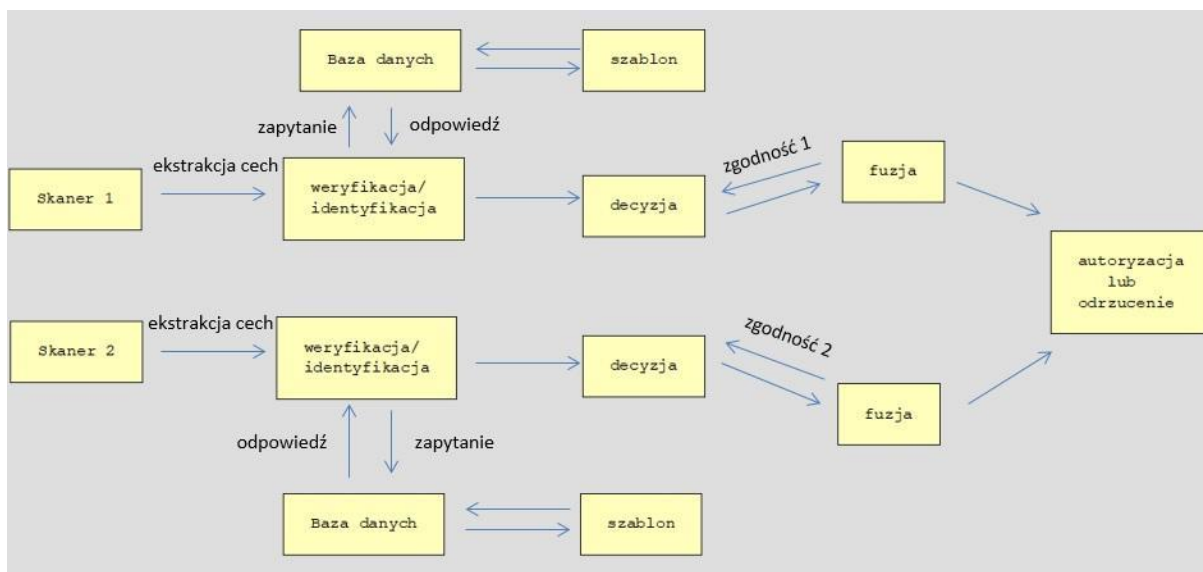


Rys. 6. Weryfikacja tęczówki oka [opracowanie własne]

Algorytm uznał, że tęczówki widoczne na obu obrazach (Rys. 6) nie należą do tej samej osoby. W tym przypadku porównywaliśmy tęczówkę lewego oka użytkownika „AB” z tęczówką prawego oka użytkownika „PŚ”. Nie dziwi więc fakt odrzucenia próby dostępu do systemu.

3.4 Model układu hybrydowego systemu zabezpieczeń biometrycznych

Skanery cech biometrycznych możemy łączyć w grupy, które będziemy nazywać hybrydowymi systemami zabezpieczeń. Stworzyliśmy model oparty o działanie takiego systemu, które można byłoby bardzo łatwo stworzyć za pomocą rozwiązań dostarczanych przez czołowych producentów elektroniki. Działanie takiego układu nie różni się znacząco od tych, które funkcjonują pojedynczo, lecz pod koniec procesu uwierzytelniania użytkownika następuje fuzja cech. Wynik tej operacji pozwala na jeszcze dokładniejsze zweryfikowanie tożsamości użytkownika.



Rys. 7. Hybrydowy system zabezpieczeń [opracowanie własne]

Na podstawie modelu (Rys. 7) możemy wyobrazić sobie zasadę działania takiego układu. Dwa skanery zbierają jednocześnie dane dotyczące dwóch różnych cech biometrycznych. Zebrane dane są przekazywane do wstępnej identyfikacji i weryfikacji, w tym momencie może nastąpić odrzucenie użytkownika, jeśli nie zostanie przekroczony odpowiedni próg pewności podczas porównywania próbek. System wydaje decyzję na podstawie wyniku weryfikacji o przepuszczeniu użytkownika przez pierwszą część zabezpieczeń. Kolejnym procesem jest fuzja cech, która generuje wspólny wektor cech kodowany raz jeszcze i przesyłany do ostatecznej interpretacji przez system, w tym momencie następuje ostateczna decyzja systemu o autoryzacji/odrzuceniu użytkownika. Przypisując odpowiednią wagę do konkretnego wektora cech przed procesem fuzji, możemy dodatkowo określić, która z cech będzie dominującą, a która asystującą.

3.5 Wnioski

Biometria to bez wątpienia interesująca i dynamicznie rozwijająca się gałąź teleinformatyki. Systemy zabezpieczeń oparte na jej działaniu są wydajne i bezpieczne, a rozwój układów hybrydowych pozwoli te cechy znacznie wzmocnić. Przeprowadzone przez nas badania uwypuklają cechy biometrycznych systemów zabezpieczeń, jakimi są bezpieczeństwo, komfort oraz wszechstronność. Zakładając próg ufności oparty na wskaźniku podobieństwa, odpowiednio wysokim lub niskim, możemy zaprojektować systemy oferujące wysoką wydajność oraz bezpieczeństwo. Zdolność rozdzielcza, odporność na warunki zewnętrzne oraz wydajność czynników z pewnością ulegnie znacznej poprawie w przyszłości. Pozwoli to na ograniczenie występowania fałszywych akceptacji czy też fałszywych odrzuceń. Przełoży się to bezpośrednio na poprawę komfortu użytkownika takiego systemu oraz pozwoli na ograniczenie zużywanych zasobów i mocy obliczeniowej sprzętu elektronicznego. W dzisiejszych czasach zdecydowanie łatwiej o złamanie zabezpieczeń bazy danych czy silnika strony internetowej niż zabezpieczeń biometrycznych, które mogą kilkukrotnie szyfrować wektory cech za pomocą bardzo zaawansowanych algorytmów.

Literatura:

- [1] Gomółka Z., Wykorzystanie biblioteki FingerPrint z pakietu MegaMatcher, Uniwersytet Rzeszowski – Katedra Inżynierii Komputerowej, Rzeszów 2016, s. 2-11.
- [2] Gomółka Z., Identyfikacja osób z wykorzystaniem analizy tęczówki oka w pakiecie Iris MegaMatcher, Uniwersytet Rzeszowski – Katedra Inżynierii Komputerowej, Rzeszów 2016, s. 2-39.
- [3] Gomółka Z., Rozpoznawanie i identyfikacja tożsamości z wykorzystaniem pomiaru geometrii twarzy w pakiecie MegaMatcher, Uniwersytet Rzeszowski – Katedra Inżynierii Komputerowej, Rzeszów 2016, s. 3-12.
- [4] Izworski A., Majewski J., Tadeusiewicz R., Biometria, Wydawnictwo AGH, Kraków 1993, s. 7-26.
- [5] Tomaszewska-Michalak M., Prawne i kryminalistyczne aspekty wykorzystania technologii biometrycznej w Polsce, Difin 2015, s. 11-38.
- [6] Marucha-Jaworska M., Podpisy elektroniczne, biometria, identyfikacja elektroniczna, Wolters Kluwer 2015, s. 103-113, 142-156, 168-185.

Źródła Internetowe:

- [1] Biegacz Dariusz, Zabezpieczenie biometryczne [online], 17.01.2006 [dostęp: 26 maja 2018], dostępny w Internecie: https://pl.wikipedia.org/wiki/Zabezpieczenie_biometryczne
- [2] MSWiA, Biometria [online], [dostęp 27 maja 2018], dostępny w Internecie: <http://www.cpd.mswia.gov.pl/technologie/biometria>
- [3] MSWiA, Biometria w dokumentach [online], [dostęp: 27 maja 2018], dostępny w Internecie: http://www.cpd.mswia.gov.pl/technologie/biometria_w_dokumentach
- [4] Pawęda Daria, Biometria – rewolucja czy ewolucja? [online], 14.09.2015 [dostęp: 19 maja 2016], dostępny w Internecie: <http://alebank.pl/bankowosc-biometryczna-biometria-rewolucja-czy-ewolucja>

Biometryczne innowacyjne systemy zabezpieczeń technicznych

Rafał Fuksa⁽¹⁾, Mariusz Działo⁽²⁾, Piotr Prach⁽¹⁾

¹Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

²Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa

Streszczenie

Identyfikacja biometryczna jest dziedziną nauki wykorzystującym szereg elementów biologicznych człowieka. Pozwala na szybkie rozpoznanie tożsamości danej osoby. Identyfikację osób wykorzystuje się w wielu dziedzinach życia człowieka poprzez zastosowanie czytników oraz skanerów biometrycznych jako i programów umożliwiających tą identyfikację. Nasze badania obejmowały zakres innowacyjnych zabezpieczeń wykorzystywanych w inteligentnych budynkach, co ma na celu zapewnienie odpowiedniej ochrony oraz ułatwienie użytkownikowi w korzystaniu z systemów zabezpieczeń. Skupiliśmy się na dwóch podstawowych rodzajach zabezpieczeń biometrycznych, czyli czytniku linii papilarnych oraz skanerze siatkówki oka stosowanych w m.in. bankach, sejfach oraz służach laboratoryjnych lub wojskowych o podwyższonym ryzyku skażenia. Czujniki biometryczne stosowane w wyżej wymienionych miejscach mogą być z powodzeniem zastosowane w inteligentnym budynku, jako jego integralna część spełniająca funkcję zabezpieczenia przed dostępem osób postronnych oraz formą zabezpieczenia przed kradzieżą mienia.

Słowa kluczowe: biometria, systemy zabezpieczeń, minucje

Biometric innovative technical protection systems

Abstract

Biometric identification is a field of science that uses a number of human biological elements. It allows for quick identification of a given person's identity. Identification of people is used in many areas of human life through the use of biometric readers and scanners as well as programs that enable this identification. Our research included a range of innovative security features used in intelligent buildings, which aims to provide adequate protection and facilitate the user in the use of security systems. We focused on two basic types of biometric security: a fingerprint reader and retina scanner used in, e.g. banks, safes and laboratory or military locks with an increased risk of contamination. Biometric sensors used in the above-mentioned places can be successfully used in an intelligent building, as its integral part fulfilling the function of protection against unauthorized access and a form of protection against theft of property.

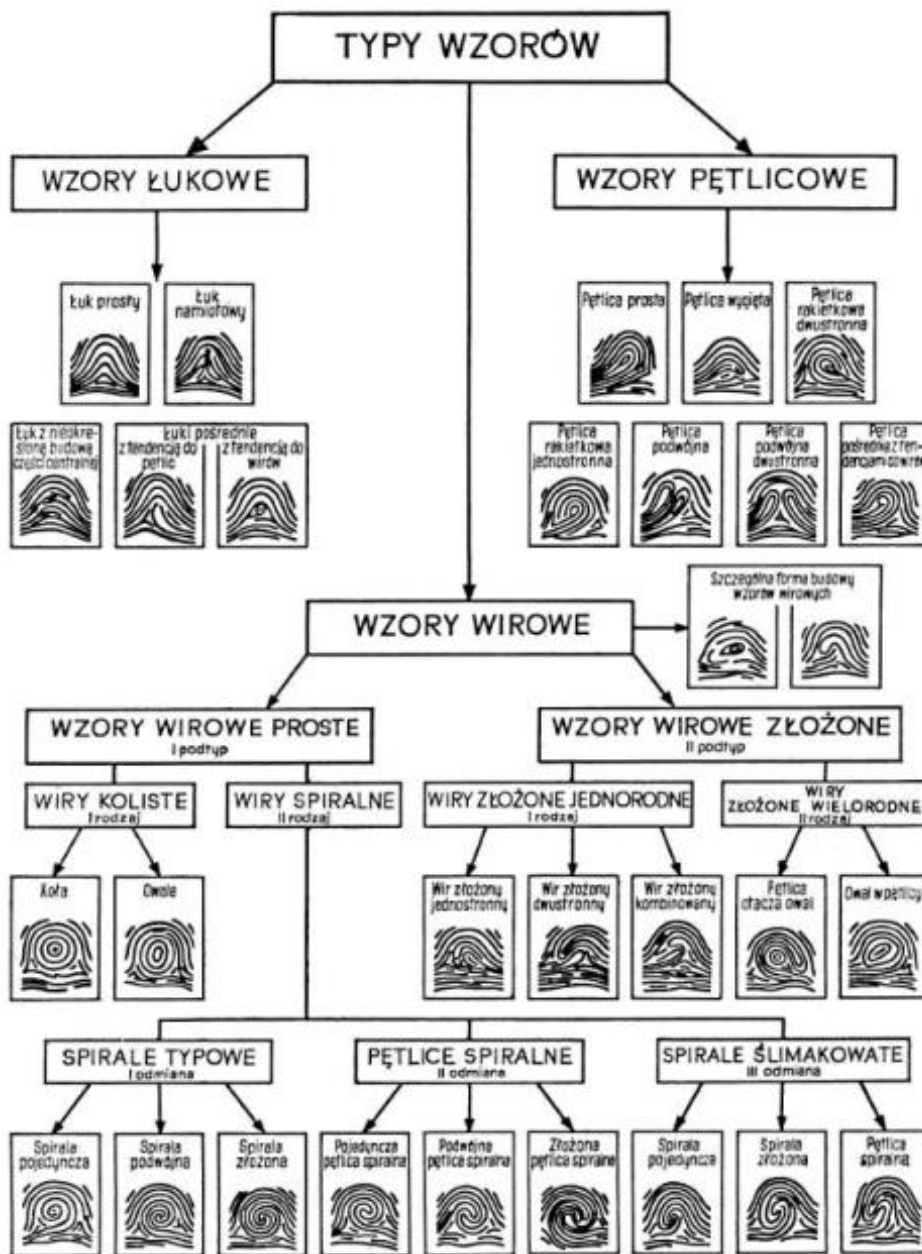
1. Wstęp

Biometryka jest działem nauki, który na dzień dzisiejszy rozwija się bardzo prężnie, ponieważ zapotrzebowanie na czytniki biometryczne z każdym rokiem rośnie. Jest to spowodowane potrzebą człowieka na zautomatyzowanie każdego aspektu jego życia. Czytniki biometryczne są zabezpieczeniami które mają na celu zminimalizowanie fałszerstw oraz są swego rodzaju kodem dostępu. Wyróżnia się następujące rodzaje zabezpieczeń biometrycznych: linii papilarnych palców, geometrii dłoni, unikalnego układu naczyń krwionośnych dłoni, obrazu tęczówki oka, wizerunku twarzy oraz brzmienia głosu (Grabowski 2004). Popularność czytników biometrycznych zyskała na sile dzięki wprowadzeniu czytników papilarnych do smartfonów, a od niedawna można również zauważyć próby wprowadzenia do smartfonów czytników tęczówki oka (Skałba 2016). Czytniki biometryczne już o wiele wcześniej funkcjonowały w życiu człowieka, m. in. w placówkach publicznych podczas wyrabiania paszportów, bankomatach które miały zastąpić wpisywanie PIN-ów czy wejściach do miejsc publicznych np. siłowni, czytniki miały

zastąpić karty identyfikacyjne czy klucze. Pierwsze czytniki biometryczne miały zastosowanie w wojsku, właśnie od nich wywodzi się chęć spersonalizowania dostępu do chronionych danych czy mienia w celu zablokowania ich osobom postronnym lub niechcianym. W artykule skupiliśmy się na dwóch głównych czytnikach biometrycznych: czytnik linii papilarnych oraz czytnik tęczówki oka. W pierwszej kolejności wykonaliśmy badania linii papilarnych przy pomocy skanera Futronic FS80H. Następnie przeszliśmy do badania tęczówki oka przy pomocy skanera VistaFA2 i IRIShield.

2. Klasyfikacja linii papilarnych, minucji i skanerów

Linie papilarne to charakterystyczny układ bruzd na opuszkach palców, które posiada każdy ssak naczelny, za badanie układów linii papilarnych dłoni odpowiada daktyloskopia. U człowieka układ linii papilarnych wytwarza się jeszcze w trakcie życia płodowego, kiedy to gładka skóra na opuszkach palców ulega procesowi przypadkowego kurczenia się, dlatego nawet bliźnięta jednojajowe posiadają różny układ linii papilarnych (Henneberg 1997). Francis Galton oszacował, że prawdopodobieństwo wystąpienia identycznych linii papilarnych dłoni u dwóch przypadkowych osób wynosi 1:64.000.000.000, to znacznie przewyższa liczbę 7,6 miliarda żyjących ludzi na Ziemi. Rozróżnia się trzy główne grupy wzorów linii papilarnych: łukowe, pętlicowe i wirowe. Do każdej z tych grup rozróżnia się podgrupy wymienione na Rys. 1. W zależności od palca, ręki lewej lub prawej czy też płci częstość występowania danego głównego typu wzoru jest zróżnicowana. Duże znaczenie również ma zróżnicowanie międzypopulacyjne, gdyż np. wzory wirowe najrzadziej występują u odmiany czarnej około 20%, a najczęściej u odmiany żółtej, około 50-60%. U odmiany białej najczęściej występują wzory pętlicowe, około 65%.







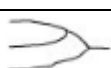







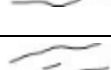

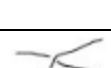






Rys. 1. Typy wzorów linii papilarnych palców

2.1 Klasyfikacja minucji

Minucje to charakterystyczne cechy linii papilarnych takie jak początki, zakończenia, rozwidlenia, haczyki itp., ich wzajemny układ identyfikuje jednoznacznie daną osobę. By kogoś określić wystarczy 12 wspólnych cech, liczbę tą zmniejsza, gdy dana osoba posiada rzadziej występujące minucje lub są to minucje specyficzne dla danej populacji. W zależności od państwa liczba wymaganych minucji do rozpoznania danej osoby przez prawo lub kryminalistyczne procedury może się różnić. W Niemczech liczba wymaganych minucji waha się od 8 do 12, we Francji znacznie więcej, aż 17, zaś w Polsce średnio 12 zaś w wyjątkowych przypadkach tj. posiadania szczególnych minucji ta liczba może się zmniejszyć.

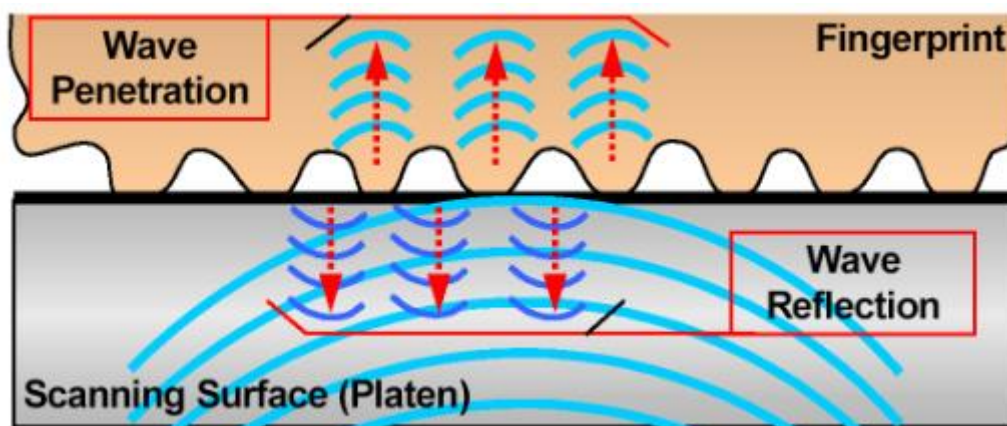
Tab. 1. Klasyfikacja typów minucji według Grzesika

Nazwa polska	Nazwa łacińska	Symbol	Wzór
Początek	Initium	J	
Zakończenie	Terminatio	T	
Rozwidlenie pojedyncze	Bifurcatiosimplex	B ₁	
Rozwidlenie podwójne	Bifurcatio duplex	B ₂	
Rozwidlenie potrójne	Bifurcatiotriplex	B ₃	
Złączenie pojedyncze	Iunctiosimplex	Jn ₁	
Złączenie podwójne	Iunctio duplex	Jn ₂	
Złączenie potrójne	Iunctiotriplex	Jn ₃	
Haczyk	Unculus	U	
Oczko pojedyncze	Ocellussimplex	O ₁	
Oczko podwójne	Ocellus duplex	O ₂	
Mostek pojedynczy	Ponticulussimplex	P ₁	
Mostek bliźniaczy	Ponticulusgemellus	P ₂	
Punkt	Punctum	Pn	
Odcinek	Segmentum	S	
Styk boczny	Juncturalateralis	J	
Linia przechodząca	Linea intermittens	L _i	
Skrzyżowanie	Decussatio	D	
Trójnóg	Tripus	T _r	
Linia szczątkowa	Linea rudimentalis	L _r	
Minucja typu 'M'	Minutia M formis	M	

2.2 Rodzaje i zasada działania czytników linii papilarnych palców

Wyróżniamy kilka następujących typów skanerów linii papilarnych:

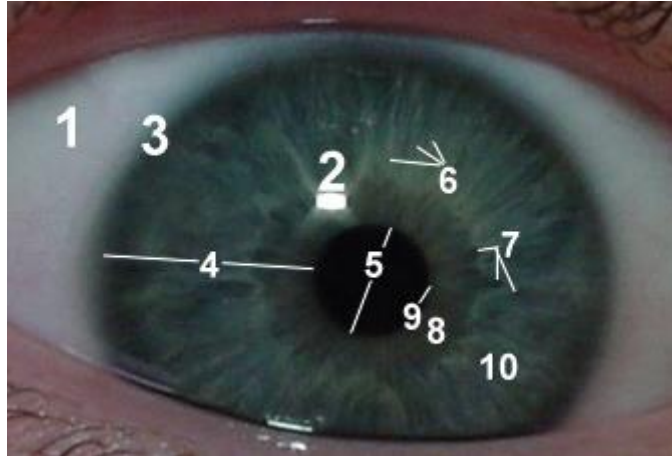
- Skanery optyczne – działają na zasadzie wykorzystania światłoczułego procesu CCD, kiedy to przyłożony palec do szklanej płytki zostaje zeskanowany wiązkami światła, a następnie tak powstały obraz zostaje wysłany do oprogramowania. Ten rodzaj skanerów tworzy jakościowo słabe odbitki odcisków palców, zabrudzenie, zawilgotnienie czy złe przyłożenie palca pogarsza obraz oraz łatwo go oszukać.
- Skanery pojemnościowe – matryce elektrod są pokryte warstwą dielektryka, a po zetknięciu z palcem stają się kondensatorem, odciski są skanowane trójwymiarowo lub elektrycznie. Skanery te tworzą obraz odcisku palca na zasadzie odległości między grzbietami które dotykają powierzchni skaneraa dolinami, czujniki te są wrażliwe na zabrudzenia palców.
- Skanery termiczne – czujniki te działają na zasadzie różnicy temperatur między grzbietami a dolinami. Ich wadą jest zapotrzebowanie energetyczne, gdyż podczas pobierania odcisku powierzchnia skanera musi być wyższa od temperatury palca.
- Skanery ultradźwiękowe – obraz odcisku palca jest tworzony na zasadzie fal dźwiękowych wnikających w głąb skóry. Dużą zaletą tego rodzaju czujnika jest niskie prawdopodobieństwo spreparowania odcisku palca, gdyż skaner rejestruje tylko „żywe” palce, użycie folii czy innego materiału z gotowym obrazem linii papilarnych zakończy się niepowodzeniem (Gomółka).



Rys. 2. Technika ultradźwiękowa stosowana w skanowaniu linii papilarnych
[teleinfo.pb.edu.pl/gilg/przetwarzanie_obrazow/12-przyklady-odciski.ppt z dnia 12.03.2018]

3. Budowa tęczówki, segmentacja obrazu i implementacja porównania tęczówki

Skanery tęczówki oka nie skupiają się na całej gałce ocznej, tylko na jej tęczówce a będąc precyzyjne, na jej charakterystycznych cechach. Rozmieszczenie beleczek, zatoczek czy rozmiary pierścieni tęczówki to tylko kilka cech tęczówki na jakich musi skupić się oprogramowanie przeznaczone do skanowania i badania obrazu tęczówki oka. Patrząc w czyjeś oczy można zauważyć pewien unikalny wzór, który złożony jest z przebarwień, linii oraz fałd. Jest to unikalny układ dla każdego człowieka, nawet obie tęczówki u każdej osoby są różne, podobnie jak to ma miejsce z liniami papilarnymi. Lecz w przeciwieństwie do linii papilarnych, które w czasie mogą ulec pewnym zmianom, tak wzór tęczówki jest niezmienny w czasie.



Rys. 3. Budowa przedniej części gałki ocznej [Ciołkowski 2000]

Gdzie:

- (1) twardówka (sclera)
- (2) rogówka (cornea)
- (3) rąbek rogówki (limbus corneae)
- (4) tęczówka (iris)
- (5) źrenica (pupilla)
- (6) beleczki (trabeculae)
- (7) zatoczki (cryptae)
- (8) mniejszy pierścień tęczówki (anulusiris minor)
- (9) brzeg źreniczny tęczówki (margopupillaris)
- (10) szerszy pierścień tęczówki (anulusiris maior) (Ciołkowski 2000).

3.1 Segmentacja obrazu i metody segmentacji

Segmentacja obrazu to proces dzielenia obrazu na fragmenty, które są homogeniczne czyli jednorodne w odniesieniu do pewnych wybranych własności. Metody segmentacji obrazów ze względu na rodzaj wykorzystywanych informacji możemy podzielić na:

- metody punktowe tj. progowanie, klasteryzacja,
- metody obszarowe tj. rozrost, podział, łączenie obrazów, segmentacja wododziałowa,
- metody krawędziowe z wykorzystaniem algorytmu wykrywania krawędzi,
- metody hybrydowe, łączące kilka z powyższych metod.

3.2 Implementacja porównania tęczówek w programie IRIS MegaMatcher

Rozpoznaniem tęczówki możemy nazwać również porównaniem kodu tęczówki. W bazach danych znajdują się kody wyznaczone do analizowania aktualnie badanego obrazu. Odległość Hamming'a jest miarą odmienności dwóch ciągów będących równej długości, wyraża on liczbę miejsc na których te dwa ciągi się różnią. Rozpoznanie tęczówki polega na porównaniu dwóch binarnych kodów tęczówki. Wzór na odległość Hamming'a:

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j (XOR) y_j$$

(1)

gdzie:

- HD – suma niezgadzących się bitów na kodach x_j oraz y_j ,
- N – ilość bitów.

By móc w programie wykorzystać porównanie kodów tęczówek wzór na odległość Hamming'a został odpowiednio zmodyfikowany:

$$HD = \frac{1}{N - \sum_{i=1}^N Xn_k(OR)Yn_k} \sum_{j=1}^N X_j(XOR)Y_j(AND)Xn'_j(AND)Yn'_j \quad (2)$$

gdzie:

- X_j i Y_j – kod tęczówek,
- Xn_j i Yn_j – maski zakłóceń kodów,
- N – liczba reprezentująca ilość bitów tęczówki.

Wynik porównania dwóch kodów w tej samej tęczówce teoretycznie powinna wynosić zero wartości odległości Hamming'a, lecz w praktyce wygląda to zupełnie inaczej i nie jest możliwe uzyskanie pełnej zgodności akwizycji. Jednym z powodów dlaczego tak się dzieje jest m.in. ciągłe zwężanie i rozszerzanie źrenicy czy drobne przechylenia głowy podczas wykonywania obrazu. By wyeliminować błędy związane z obrotem tęczówki w trakcie robienia zdjęcia stosuje się odpowiadające różnym rotacją, przesunięcia bitowe kodu tęczówki w prawo oraz w lewo. Na końcu jest wybierane przesunięcie, które posiada najmniejszą wartość odległości Hamming'a.

Rozróżnia się dwa współczynniki błędów przeprowadzonej analizy:

- FAR (ang. FalseAcceptanceRate) – współczynnik błędnej akceptacji, określa on procentową liczbę błędów występowania zgodności pomiędzy próbką, a klasą do której należy w rzeczywistości
- FRR (ang. FalseRejectionRate) – współczynnik błędnego odrzucenia, określający liczbę błędów omyłkowego stwierdzenia niezgodności badanej próbki, a klasą do której należy w rzeczywistości

Czasami jest określany trzeci parametr EER (ang. Equal Error Rate) jest to wartość zrównanych współczynników FRR oraz FAR, a im wartość tego parametru jest mniejsza tym lepszy jest system biometryczny.

4. Zastosowanie czytników biometrycznych w inteligentnych budynkach

W dzisiejszych czasach kiedy obecnie nam dostępną technologie wdraża się w każdą dziedzinę nauki i w celu sprawienia oraz ułatwienia nam życia codziennego. Z pewnością czujniki biometryczne stosowane w laboratoriach, bazach wojskowych czy bankach można wdrożyć do inteligentnych budynków w celu uprawnienia dostępu dla użytkowników co dodatkowo zwiększa nam bezpieczeństwo oraz zwiększa poziom trudności zabezpieczeń zastosowanych w budynku a ponadto jest bardziej higieniczne dla ludzi ze względu na mniejszy kontakt np. z kluczami w stosunku do czujników biometrycznych. W budynkach zastosowane mogą mieć głównie czujniki linii papilarnych oraz skanery tęczówki oka możliwe jest też zastosowanie czujników skanujących głos i rozpoznających użytkowników lecz ze względu na działanie czynników zewnętrznych na skaner nie zaleca się stosowanie go na zewnątrz. Koszt przykładowego klamki wraz z zamkiem do drzwi to koszt w granicach od 500zł do nawet 2000zł. Znacznie droższe są systemy z skanerem tęczówki oka ze względu na mniejszą powszechność oraz małą konkurencję na rynku.



Rys. 4. Skaner ADEL 3398 [Firma ADEL]

5. Część badawcza

5.1 Badanie odcisków linii papilarnych

Badanie miało na celu dokonania analizy pobranych odcisków linii papilarnych, sprawdzenia ich zgodności oraz liczby cech podobieństwa między nimi. Do pomiarów został wykorzystany skaner Futronic FS80H, jest to skaner optyczny więc by wyniki były jak najbardziej wiarygodne zostały podjęte kroki zaradcze: po każdorazowym pomiarze wyczyszczenie chusteczką higieniczną szkiełka, umycie rąk oraz poprawne ustawienie palca na skanerze. Został użyty program MegaMatcher połączony z komputerem za pomocą kabla USB 2.0.



Rys. 5. Skaner Futronic FS80H

Specyfikacja skanera Futronic FS80H:

- rozmiar okna skanowania linii papilarnych 16x24mm
- rozdzielczość obrazu 320 x 480 pikseli, 500 DPI
- format obrazu 8 bitów 256 odcieni szarości
- rozmiar pliku obrazu odcisku palca 150 KB
- funkcja Live Finger Detection (LFD)
- interfejs zgodny z USB 2.0, urządzenie Plug and Play.
- standardowy kabel USB 2M
- rozmiar, 64 x 48 x 27 mm
- waga, 120 gram
- temperatura pracy: od -10 do +55 stopni Celsjusza

Parametry elektryczne:

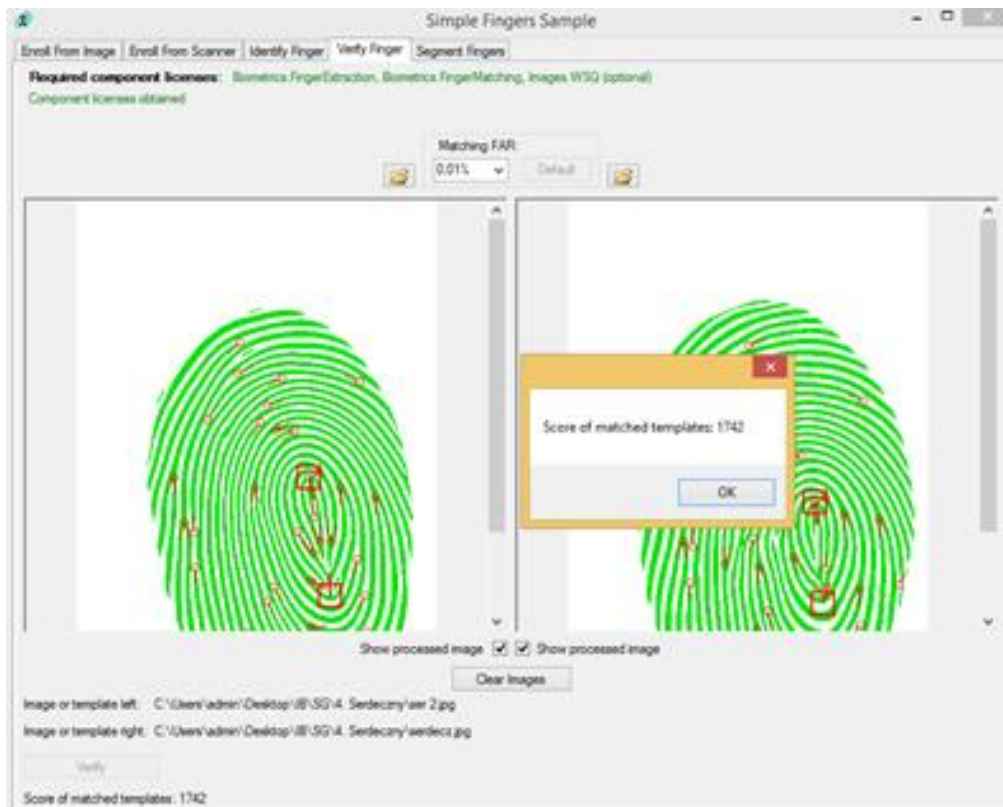
- źródło światła: dioda podczerwieni
- napięcie zasilania: 4,5-5.5 V DC za pośrednictwem portu USB
- pobór energii:
 - aktywne <700mW
 - tryb gotowości <200 mW
 - tryb uśpienia <2,5 mW
- kontakt ESD - 8KV i wylot powietrza - 16KV

Najpierw do bazy zostały wprowadzone pierwsze szablony odcisków, ponieważ przy następnym skanowaniu program musi posiadać odniesienie do danego obrazu linii papilarnych. Program miał za zadanie wyłapywać najmniejsze podobieństwa by z jak największą dokładnością i wiarygodnością potwierdzić zgodność danej osoby.



Rys. 6. Próba identyfikacji odcisków linii papilarnych u danej osoby [opracowanie własne]

W powyższym przypadku program znalazł 2387 cech podobieństwa, jest to wysoki wynik więc z całą pewnością można stwierdzić, że odciski należą do tej samej osoby. Dodatkowo można stwierdzić, że ta osoba posiada typ pętlicowy linii papilarnych.



Rys. 7. Próba identyfikacji odcisków linii papilarnych u następnej osoby [opracowanie własne]

W kolejnym przypadku program znalazł 1742 cech podobieństwa, jest to niższy wynik od poprzedniego ale wciąż można stwierdzić, że odciski należą do tej samej osoby. Niższy wynik mógł być spowodowany niedokładnym ustawieniem palca. Ta osoba również posiada wzór pętlicowy linii papilarnych.

5.2 Badanie obrazów tęczówki oka

Druga część badania miała na celu dokonania analizy wykonanych obrazów tęczówki, sprawdzenia ich zgodności oraz liczby cech podobieństwa między nimi. Do badania obrazów tęczówki oka zostało wykorzystane oprogramowanie MegaMatcher SDK oraz skaner VistaFA2. Podczas wykonywania tego badania w szczególności należało uważać na ruch oka, by odczyt był poprawny należało umieścić tęczówkę w okręgu widocznym na czytniku skanera, tak aby było wyśrodkowane.

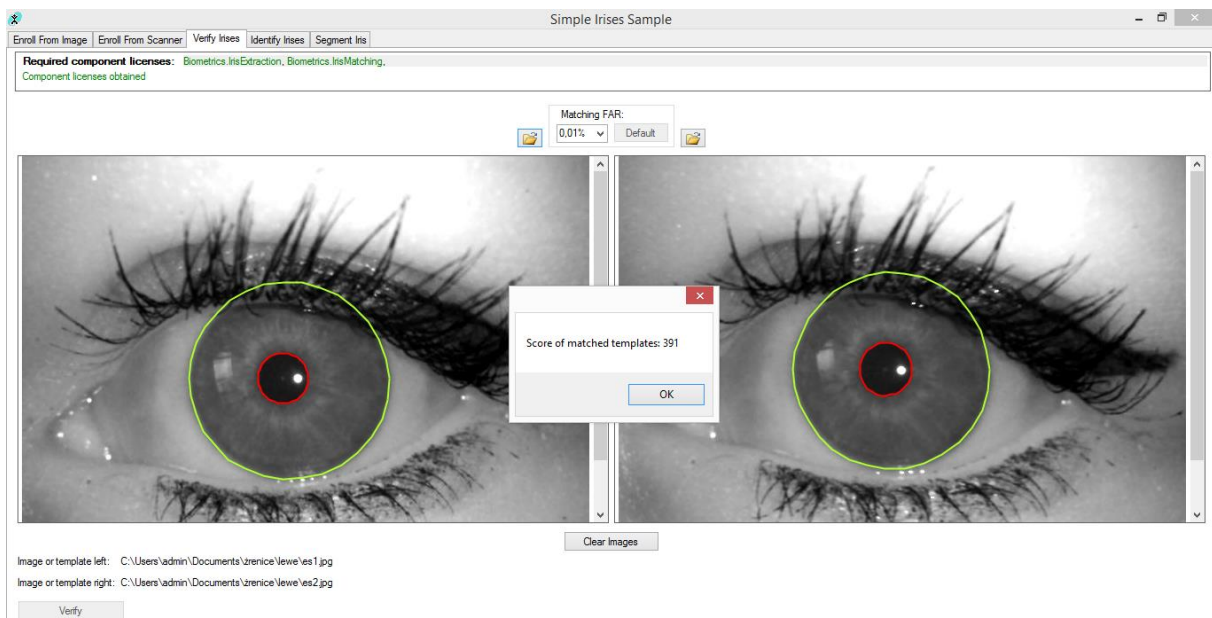


Rys. 8. Kamera VistaFA2 [<http://www.neurotechnology.com/eye-iris-scanner-vistafa2.html> z dnia 12.03.2018]

Specyfikacja kamery VistaFA2:

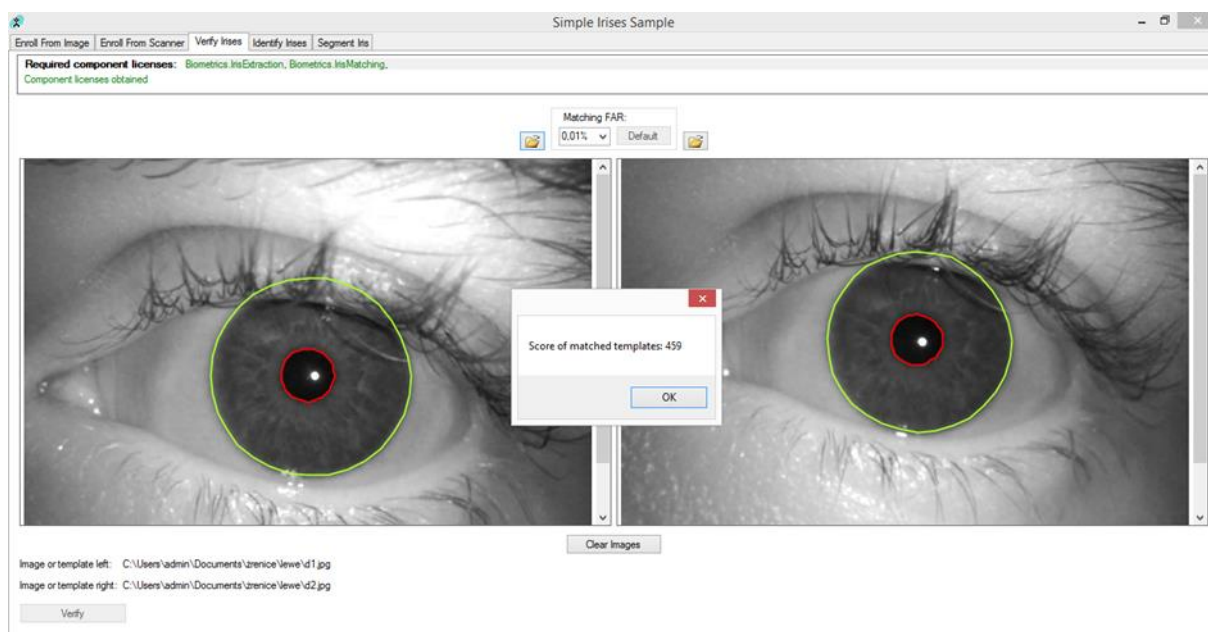
- połączenie USB 2.0
- obsługiwany system operacyjny Microsoft Windows (32-bitowy i 64-bitowy)
- wielkość obrazu tęczówki 640 x 480 pikseli
- oświetlenie oczu Podczerwień o wielu długościach fal
- rozmiar urządzenia 94 x 94 x 54 mm
- waga urządzenia 180 gramów

Do bazy w pierwszej kolejności zostały wprowadzone obrazy tęczówek do których program miał się w późniejszym czasie odnieść jako do szablonu. Następnie przystąpiono do prób zidentyfikowania danych osób.



Rys. 9. Próba identyfikacji danej osoby na podstawie obrazu tęczówek [opracowanie własne]

Program starał się wykrywać najmniejsze podobieństwa w celu identyfikacji osoby, udało mu się znaleźć 391 podobnych cech. W przypadku badania tęczówek jest to wystarczająco dobry wynik by móc ocenić, że oba obrazy należą do jednej osoby.



Rys. 10. Próba identyfikacji następnej osoby na podstawie obrazu tęczówek [opracowanie własne]

Przy kolejnej próbie identyfikacji program również starał się znaleźć jak najwięcej cech wspólnych, w tym przypadku udało mu się znaleźć 459 wspólnych cech. Jest to wynik większy od poprzedniego, więc z całkowitą pewnością można stwierdzić, posiadaczem obu skanów jest jeden właściciel. Wyższy wynik mógł być spowodowany tym, że w poprzednim przypadku powieka zasłaniała większą część tęczówki niż to było w drugim przypadku.

6. Podsumowanie

Prawdopodobieństwo określenia tożsamości danej osoby przy pomocy czytników biometrycznych jest mocno uzależniona od wielu czynników. Głównym czynnikiem jest rodzaj i jakość czytnika z którego skorzystano. W przeprowadzonym badaniu optyczny skaner linii papilarnych poradził sobie dobrze, dlatego że badanie zostało przeprowadzone w optymalnych warunkach. Gdyby skaner miał pracować w warunkach publicznych lub domowych najlepszym rozwiązaniem byłby skaner ultradźwiękowy. Badanie nad czujnikiem tęczówki pokazało, że jest to technologia już znacznie rozwinięta, lecz niedopracowana. Aktualnie podczas wykonywania obrazu wystarczy niewielki ruch okiem, a program nie będzie w stanie określić tożsamości. By identyfikacja danej osoby przebiegła pomyślnie muszą zostać spełnione rygorystyczne warunki, choć czytniki te posiadają kilka wad należą do najbezpieczniejszych. Obecnie czujniki linii papilarnych są bardzo rzadko stosowane w budynkach cywilnych ze względu na znaczne koszty takich systemów jak i małe zainteresowanie ze względu na niską świadomość projektantów. Skanery siatkówki oka są bardzo ciężko dostępne i ich ceny są wysokie jednakże w przyszłości kiedy ich ceny ulegną obniżeniu staną się bardziej dostępne. Czytniki biometryczne są znacznie bardziej praktyczniejsze od tradycyjnych zabezpieczeń, ponieważ klucz możemy zgubić, a PIN zapomnieć w przeciwieństwie do naszych palców czy oczu. Dział czujników biometrycznych z całą pewnością dynamicznie się rozwinię, więc komfort jak i jakość użytkowania tych czujników się polepszy.

Literatura

- [1] Bieliński T., Mały słownik antropologiczny, WP, Warszawa 1976
- [2] Ciołkowski M., Narząd wzroku, Zakład Anatomii Prawidłowej, Centrum Biostruktury AM Warszawa 2000
- [3] Gomółka Z., Identyfikacja osób z wykorzystaniem analizy tęczówki oka w pakiecie IRIS MegaMatcher, Uniwersytet Rzeszowski
- [4] Gomółka Z., Wykorzystanie biblioteki FingerPrint z pakietu MegaMatcher, Uniwersytet Rzeszowski
- [5] Gońda S., Juszcak D., Identyfikacja osób poprzez ich odciski palców, Wrocław 2009
- [6] Grabowski T., Na oko bezpiecznie – artykuł na temat problemów z systemami biometrycznymi, 2004
- [7] Grzesik Cz., Kryminalistyczne badanie śladów linii papilarnych, Legionowo, Wydawnictwo Centrum Szkolenia Policji 1993
- [8] Henneberg M. i inni., Fingerprint Homoplasy: Koalas and Humans, Natural science 1997
- [10] Moszyński J., Standardy Identyfikacji daktyloskopijnej, Problemy kryminalistyki 261, 2008
- [11] Skałba Ł., Poznaj swojego smartfona: czytnik linii papilarnych, WP 2016
- [12] Skałba Ł., Poznaj swojego smartfona: skaner tęczówki, WP 2016
- [13] Tadiusiewicz R., Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997

Charakteryzacja struktur tlenku tytanu i tlenku miedzi za pomocą metody Scratch-test

A. Gluszek⁽¹⁾, M. Kiszka⁽²⁾, P. Sawicka-Chudy⁽³⁾, S. Adamiak⁽⁴⁾

⁽¹⁾Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

⁽²⁾Uniwersytet Rzeszowski, Koło Naukowe Mechatron, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

⁽³⁾Uniwersytet Rzeszowski, Katedra Biofizyki, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

⁽⁴⁾Uniwersytet Rzeszowski, Katedra Fizyki Doświadczalnej, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

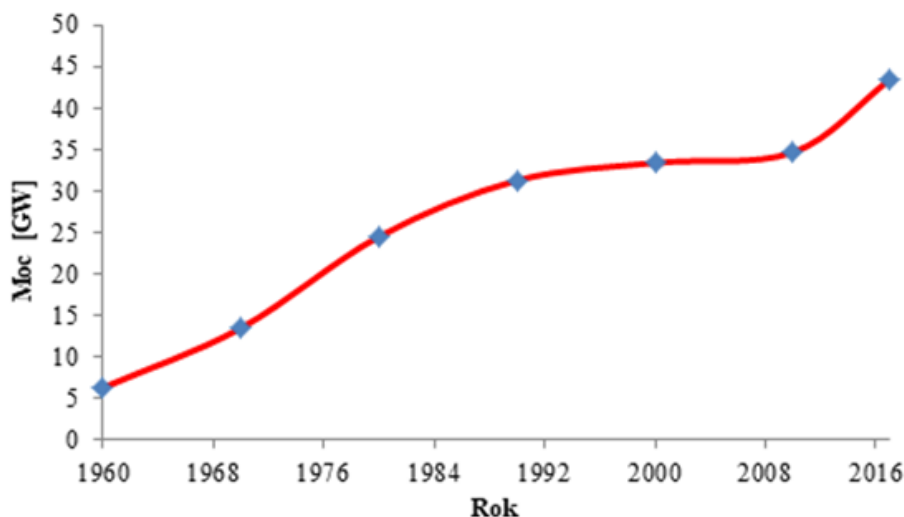
Słowa kluczowe: Scratch-test, tlenek tytanu, tlenek miedzi, PVD, adhezja

Streszczenie

Celem badania było zbadanie adhezji warstwy $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ do podłoża (szkła z ITO i krzemu). Struktury fotowoltaiczne zostały wytworzone metodą reaktywnego rozpylenia magnetronowego tarcz miedzi i tytanu z wykorzystaniem modularnej platformy PVD. W ramach badań wykonano 3 rysy na każdej z próbek $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ metodą Scratch-test przy pomocy urządzenia Mikro-Combi Tester firmy CSM Instruments z diamentowym wgłębnikiem Rockwella. W trakcie badania została zmierzona emisja akustyczna jak również siła tarcia w funkcji siły obciążającej. Otrzymane wyniki zostały porównane z wykresami utworzonymi w teście zarysowania. Na mikroskopie optycznym zostały wyznaczone długości rys a na ich podstawie wyznaczono obciążenia krytyczne L_{c1} (kohezji), L_{c2} (adhezji), L_{c3} (delaminacji). Badanie wykazało, dobrą adhezję i kohezję warstwy na szkłe pokrytej ITO wynoszącą 1730 mN i 1893 mN.

1. Wstęp

W ostatniej dekadzie znacznie wzrosło zapotrzebowanie na energię elektryczną, a jednocześnie zmniejszyły się zasoby konwencjonalnych źródeł energii. Ponadto, Unia Europejska nakłada na kraje członkowskie konieczność przestrzegania Dyrektyw. Polska jest zobowiązana do osiągnięcia w 2020 roku 15% udziału źródeł odnawialnych w produkcji energii końcowej, a do 2030 roku 20% udziału. Dlatego znaczenia nabierają odnawialne źródła energii. Na rysunku 1 przedstawiono wzrost mocy zainstalowanej w Polsce od 1960 r.



Rys. 1. Wzrost mocy zainstalowanej w Polsce od 1960 r. Opracowanie własne na podstawie [1].

W latach 1960-2017 zainstalowana moc wzrosła około siedmiokrotnie. Najwięcej, bo około 20 GW zainstalowanej mocy posiadają elektrownie zawodowe oparte na węglu kamiennym. Od 2007 roku rośnie udział wykorzystania odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej. Zainstalowana moc z niekonwencjonalnych źródeł w 2017 roku wyniosła ponad 6 GW. Przyrządy do konwersji energii Słońca mają szansę stać się dominującymi, jeżeli rozwojowi technologii będzie towarzyszył spadek cen. Na świecie obserwuje się coraz większy wzrost zainteresowania ogniwami fotowoltaicznymi. Jest to spowodowane tym, że przetwarzają promieniowanie słoneczne bezpośrednio na energię elektryczną bez hałasu i zanieczyszczeń.

W pracy autorzy przedstawiają badania nad heterozłączowym ogniwem $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$. Stanowi ono obiecujące rozwiązanie technologiczne dla tanich i konkurencyjnych przyrządów fotowoltaicznych (PV). Autorzy wykonują szereg badań na tych strukturach w celu opracowania skutecznej i łatwej technologii, zapewniającej jednocześnie stosunkowo wysoką jakość i niską cenę wytwarzanych ogniw. W tej pracy autorzy przedstawiają wyniki adhezji powłoki $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ za pomocą metody Scratch-test, która naniesiona została na dwa podłoża (krzem i szkło). Celem badania było zbadanie adhezji warstwy $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ do podłoża (szkła z ITO i krzemu).

2. Przegląd literatury

Metoda Scratch-test była przedmiotem wcześniejszych prac eksperymentalnych wielu autorów. K. Zhang i in. [2] wykonali badanie adhezyjne metodą rysy powłoki TiAlN nałożonej na podłożu węglowym. Badania wykazały wzrost współczynnika tarcia oraz sygnału akustycznego. Jaume Pujante i in. [3] w swojej pracy przeprowadzili Scratch-test do mechanicznej charakterystyki twardych powłok PVC w wysokiej temperaturze. Test został użyty do oceny wpływu temperatury do 500°C na powłokę PVC AlCrN osadzoną na stali narzędziowej podlegającej różnym obróbkom powierzchniowym. Wyniki pokazują gwałtowne zmiany w obciążeniu krytycznym wraz ze wzrostem temperatury. M. Urgen i in. [4] w swojej pracy przeprowadzili badania twardości, grubości i struktury krystalograficznej powłoki z azotku molibdenu osadzonej na podłożach ze stali szybko tnącej. Rysy zostały zbadane za pomocą mikroskopii optycznej i skorelowane z obciążeniami krytycznymi określonymi na podstawie analizy sygnałów. A.E. A. Gilewicz i in. [5] w swojej pracy badali powłoki Mo-N, które zostały osadzone przy różnych ciśnieniach azotu: oraz różnych napięciach polaryzacji podłoża. Przyczepność powłoki do podłoża badano metodą Scratch-test. Badania wykazały, że w zależności od napięcia polaryzacji podłoża współczynnik L_c dla powłoki diametralnie się różnił, co mogło być spowodowane zmianami w fazie struktur powłok. M. Anand i in. [6] w swojej pracy wykorzystali także metodę scratch-test do scharakteryzowania właściwości tribologicznych miękkich metalicznych powłok wielowarstwowych na bazie cyny w warunkach liniowego zużycia ślizgowego. Wyniki pokazały korzystny wpływ międzymetalicznej warstwy pośredniej w 3-warstwowych i 5-warstwowych strukturach powłokowych Sn. Na poprawę właściwości ślizgowych miała wpływ wydajność, która była wyższa przy większej grubości warstw w strukturze 5-warstwowej.

3. Przygotowanie próbek

Ze względu na układ szerokości przerw energetycznych tlenek tytanu i tlenek miedzi mogą być nawzajem warstwą okienną i absorberem (heterozłącze). Poza tym, obie warstwy mogą być wytwarzane zbliżonymi technikami i mają małą różnicę parametrów termicznych i mechanicznych. Cienkowarstwowe ogniwo słoneczne $n\text{-TiO}_2/p\text{-Cu}_2\text{O}$ wytworzono w dwuetapowym procesie za pomocą metody reaktywnego rozpylania magnetronowego tarcz tytanu i miedzi z wykorzystaniem modularnej platformy PVD, która znajduje się w Pracowni Technologii Pokryć Ochronnych Uniwersytetu Rzeszowskiego. Warstwy TiO_2 osadzano na komercyjnie dostępnym podłożu szklanym pokrytym warstwą ITO. Następnie warstwa Cu_2O została osadzona na TiO_2 . W procesach wykorzystano tarczę Cu (99,995% Cu, średnica 253 mm) oraz Ti (99,995%, Ti średnica 253 mm). Warstwy zostały wytworzone w atmosferze argonu Ar (99,99%) i tlenu O_2 (99,99%). W tabeli 1 zostały przedstawione parametry procesu.

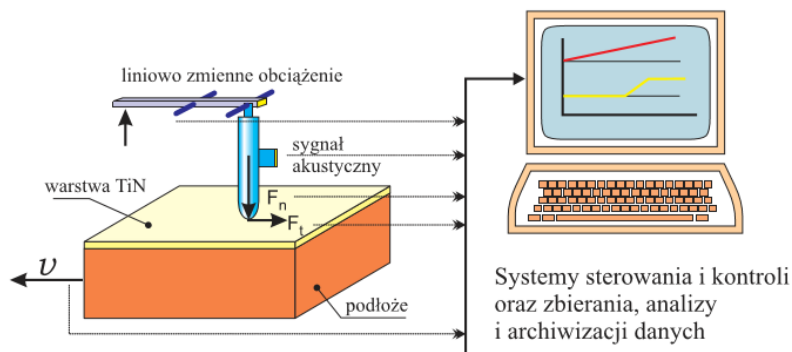
Tabela 1. Parametry procesu wytwarzania warstw.

Parameter	TiO ₂	Cu ₂ O
Podłoże	Krzem, szkło z ITO	
Grubość warstwy [μm]	0.3	0.6
Odległość między źródłem a podłożem [mm]	53	58
Ciśnienie [mbar]	$2,58 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Moc[W]	120	~70
Czasopzylania [min]	30	60
Przepływ tlenu [cm ³ /s]	1.5	8
Przepływ argonu [cm ³ /s]	4	2
Temperaturapodłoża [K]	423	473

4. Opis metody badawczej

Adhezja jest to stan, w którym dwie powierzchnie przylegają do siebie wskutek połączeń mechanicznych albo oddziaływań walencyjnych. Zjawisko adhezji jest zależne od czystości oraz powierzchni podłoża [7,8].

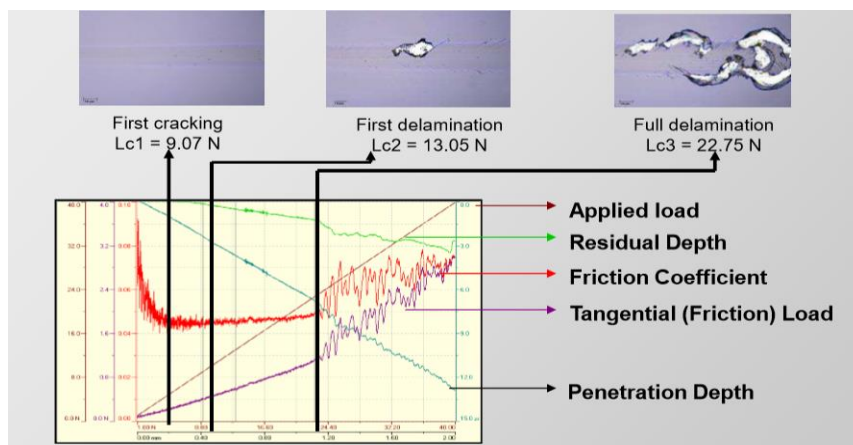
Najbardziej popularną i powszechną techniką stosowaną do szybkich i skutecznych metod uzyskania krytycznych obciążeń związanych z adhezyjnymi właściwościami powłok jest Scratch-test. Schemat układu został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat układu do pomiaru adhezji warstwy TiN metodą rysy [9].

Metoda ta polega na tym, że metalowy wgłębnik przemieszcza się po powierzchni próbki z wzrastającą siłą obciążenia z zadaną prędkością. Znajdujące się tam czujniki mają za zadanie mierzyć wartość siły obciążenia F_0 jak również siły tarcia powstające podczas przemieszczania się wgłębnika po badanej powłoce. Sygnał akustyczny rejestrowany jest przez oddzielny detektor, natomiast obserwację powstałego śladu ruchu wgłębnika na próbce czyli rysy umożliwia nam mikroskop metalograficzny. Obciążenie krytyczne zależy m.in. od wytrzymałości mechanicznej jak również od własności układu podłoże-powłoka takich jak: chropowatość, twardość, naprężenia występujące w powłoce oraz współczynnik tarcia. W tej metodzie istotną rolę pełnią też takie parametry jak szybkość przyrostu obciążenia oraz przesuwu wgłębnika, a także promień końcówki wgłębnika [10,11].

W trakcie badania została zmierzona emisja akustyczna jak również siła tarcia w funkcji siły obciążającej. Emisja akustyczna jak i siła tarcia są wskaźnikami, których zmiany określają uszkodzenie powłoki. Wartości obciążenia zwane obciążeniami krytycznymi L_c oznaczają pojawienie się pierwszych uszkodzeń oraz odpowiadają gwałtownemu przyrostowi sygnału emisji akustycznej [12,13].



Rys.3. Typowe wyniki zarysowania metodą Scratchtest [2]

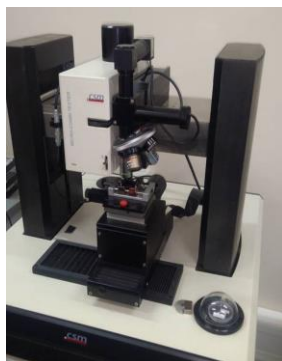
Obciążenie krytyczne, które możemy odczytać z wykresu to L_{c1} , L_{c2} oraz L_{c3} , które można zaobserwować na rysunku 3. Siła L_{c1} oznacza obciążenie po którym została pokonana spajająca powłokę siła (kohezja), oraz gdzie pojawiły się pierwsze pęknięcia powłoki. Z kolei L_{c2} określa obciążenie po którym powłoka odwarstwia się od substratu (adhezja powłoki). Natomiast siła L_{c3} oznacza obciążenie po którym powłoka odwarstwia się na całej powierzchni rysy od substratu (delaminacja powłoki).

5. Pomiar adhezji powłok

Pomiar adhezji powłok metodą rysy został przeprowadzony przy wykorzystaniu urządzenia Micro-Combi Tester firmy CSM Instruments z obiektywem Nikon E Plan 5x i 20x oraz wgłębnikiem diamentowym Rockwella (rysunek 4). Diamentowy wgłębnik przemieszczał się po powierzchni badanej próbki ze stałą prędkością przy ciągle wzrastającym obciążeniu. Urządzenie jest wyposażone w dodatkowy mikroskop metalograficzny z odpowiednim programem komputerowym, który umożliwia obserwacje i zapis danych powstałych podczas tworzenia się rysy.

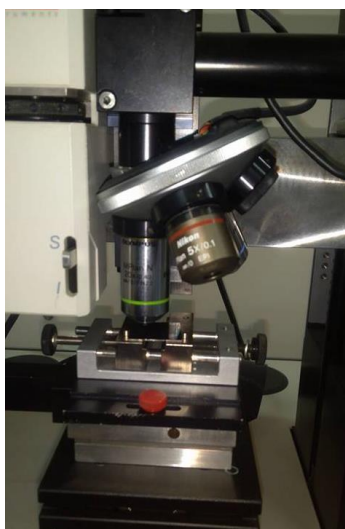
Stosowano następujące parametry pomiaru:

- obciążenie początkowe $F_0 = 30$ [mN],
- obciążenie końcowe (maksymalne) $F_{\max} = 10\,000$ [mN],
- prędkość zarysowania powłoki $v = 5\,000$ [mN/s],
- długość zarysowania = 3 [mm].



Rys. 4. Urządzenie Mikro-Combi Tester firmy CSM Instruments

Przed rozpoczęciem badania adhezji metodą Scratch-test próbka została umieszczona na stoliku pomiarowym, który umożliwia przemieszczanie się próbki pod wgłębnikiem (rysunek 5). Badano adhezję powłok na próbkach. Na każdej próbce wykonano 3 rysy. Na podstawie wykresów siły tarcia, siły nacisku, sygnału akustycznego wyznaczono krytyczne Lc_1, Lc_2 i Lc_3 .



Rys. 5. Próbką umieszczona na stoliku pomiarowym pod wgłębnikiem diamentowym

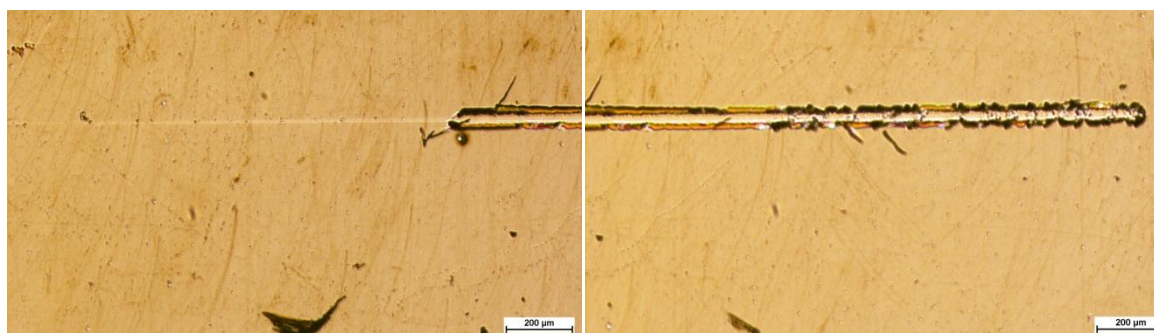
Podczas pomiaru adhezji mierzono następujące parametry:

- siła obciążenia F_n [mN],
- siła tarcia F_t [mN],
- amplitudę tarcia
- emisje akustyczną,
- profil zarysowania,
- głębokość zarysowania.

6. Wyniki

Uzyskane w trakcie badania pomiarów rysy obserwowano za pomocą mikroskopu optycznego Eclipse MA 200 Nikon z oprogramowaniem NIS-Elements. Wyznaczono odległości od początku rysy odpowiadające obciążeniu krytycznym L_{c1} (kohezji), L_{c2} (adhezji), L_{c3} (delaminacji). Otrzymane wyniki zostały porównane z wykresami utworzonymi w teście zarysowania. Ocena własności obciążenia krytycznego L_c na podstawie obserwacji mikroskopowej nie zawsze odpowiada wartości krytycznej L_c wyznaczonej na podstawie zmian sygnału emisji akustycznej.

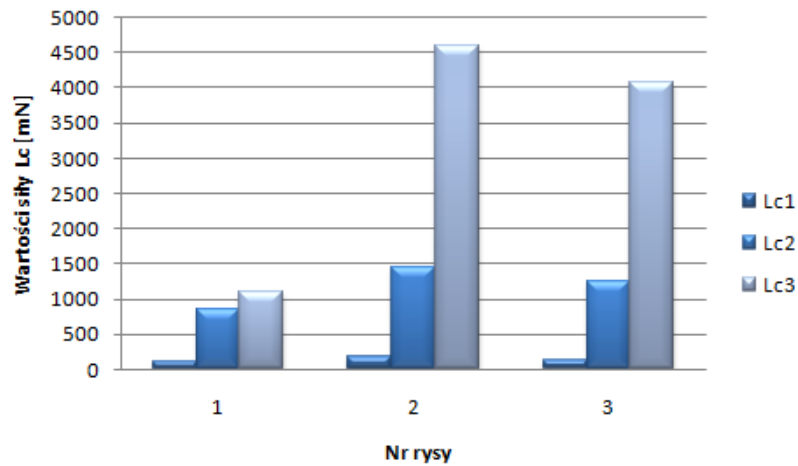
TiO₂Cu₂O na krzemie



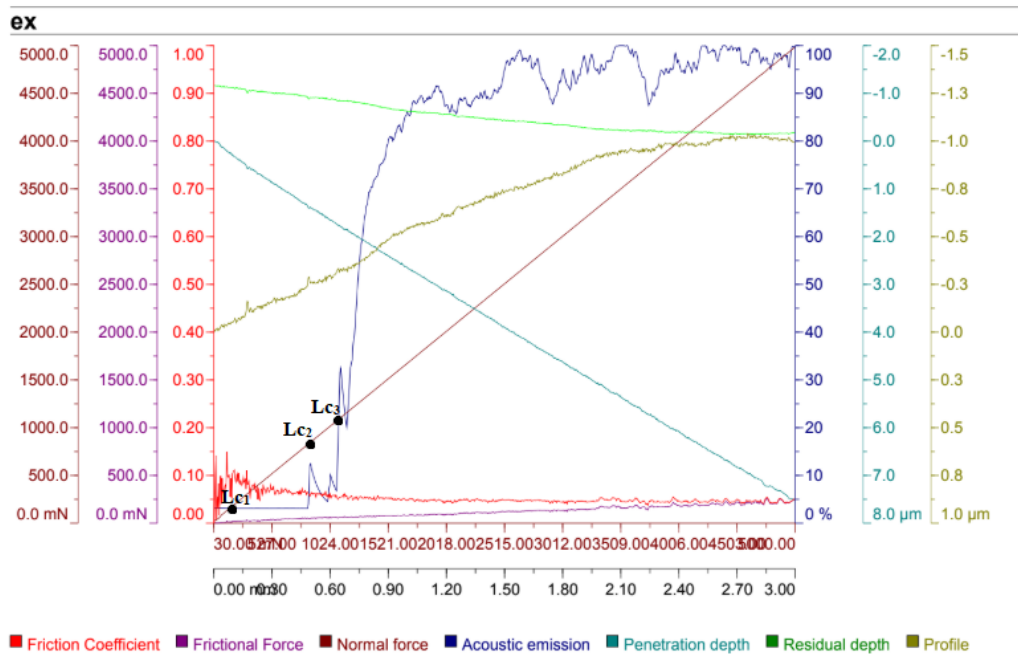
Rys. 6. Obraz z mikroskopu optycznego rysy 1 próbki TiO₂Cu₂O na krzemie przy powiększeniu 50x

Na rysunku 8,10 przedstawiono wykresy zależności współczynnika tarcia oraz siły normalnej i sygnału akustycznego funkcji długości rysy 1, 2, 3 na próbce TiO₂Cu₂O nałożonej na podłoże krzemowe. Na wykresach zostały zaznaczone obciążenia krytyczne L_{c1} , L_{c2} , L_{c3} . Obciążenia krytyczne L_{c1} dla wszystkich rys są zbliżone i wynoszą od 113 do 174 mN.

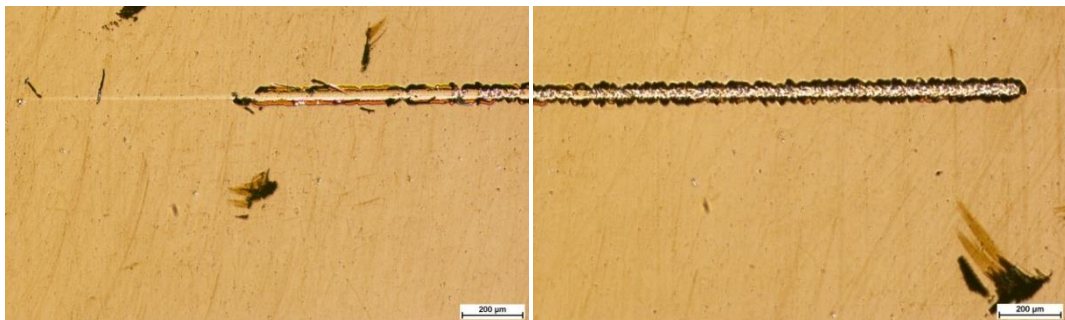
Rysunki 6, 9 przedstawiają mikrostruktury rys powstałych na powłoce TiO₂Cu₂O. W tabeli 2-3 zostały przedstawione wyniki pomiarów dla powłok TiO₂Cu₂O wytworzonej na krzemie i na szkle, m.in.: długości L_1, L_2, L_3 , obciążenia krytyczne L_{c1}, L_{c2}, L_{c3} , współczynnik tarcia, sygnał akustyczny, długość rysy, przyłożony zakres obciążenia oraz prędkość przemieszczenia się wgłębnika. Obciążenia krytyczne L_{c1}, L_{c2}, L_{c3} 3 rys przedstawiono na wykresie słupkowym (rys. 7).



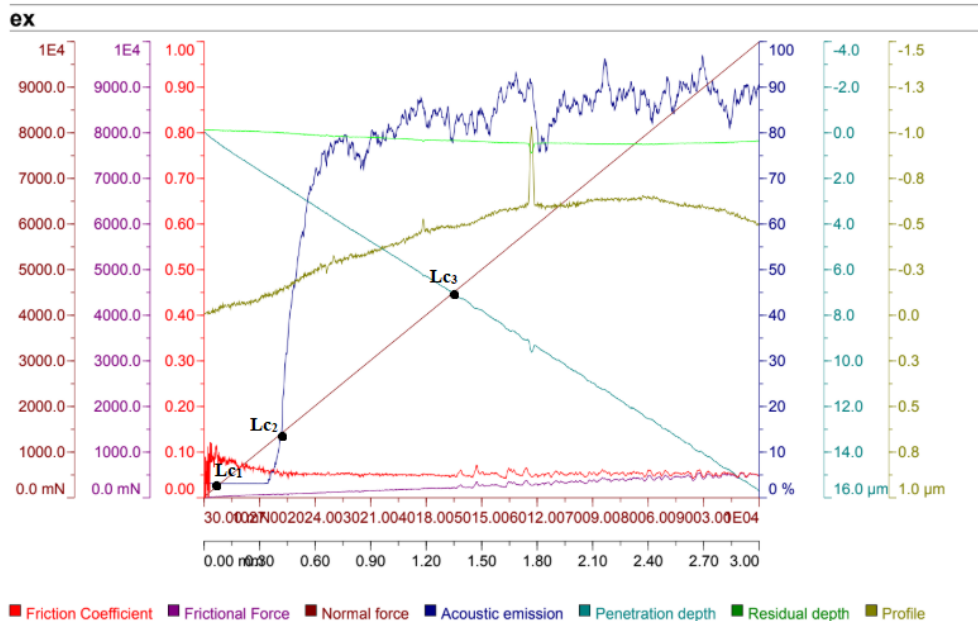
Rys. 7. Porównanie współczynników obciążeń krytycznych L_{c1}, L_{c2}, L_{c3} wyznaczone dla rys powłoki TiO_2Cu_2O na krzemie



Rys. 8. Zależność współczynnika tarcia, siły tarcia oraz normalnej siły od długości rysy nr 1 próbki TiO_2Cu_2O na krzemie



Rys. 9. Obraz z mikroskopu optycznego rysy 2 próbki TiO_2Cu_2O na krzemie przy powiększeniu 50x



Rys. 10. Zależność współczynnika tarcia, siły tarcia oraz normalnej siły od długości rysy nr 2 próbki $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ na krzemie

Tabela 2. Zestawienie wyników dla próbki $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ na krzemie

Nazwa próbki	Nr rys	Par a- met ry	L [μm]	Lc [mN]	μ [-]	Ft [mN]	AE [-]	l [mm]	Obciążenie max [mN]	v [mN/s]
$\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ na krzemie	1	Lc ₁	60	113	0,077	9	3	3	5000	5000
		Lc ₂	500	845	0,058	49	12	3	5000	5000
		Lc ₃	650	1094	0,054	59	27	3	5000	5000
	2	Lc ₁	50	175	0,087	15	3	3	10000	5000
		Lc ₂	430	1451	0,054	78	24	3	10000	5000
		Lc ₃	1380	4600	0,055	254	83	3	10000	5000
	3	Lc ₁	35	123	0,068	8	3	3	10000	5000
		Lc ₂	370	1244	0,060	75	13	3	10000	5000
		Lc ₃	1220	4076	0,053	216	83	3	10000	5000

L – odległość od początku rysy

Lc- obciążenie krytyczne

μ - współczynnik tarcia

Ft-Siła tarcia

AE- wartość emisji akustycznej

l- długość j rysy

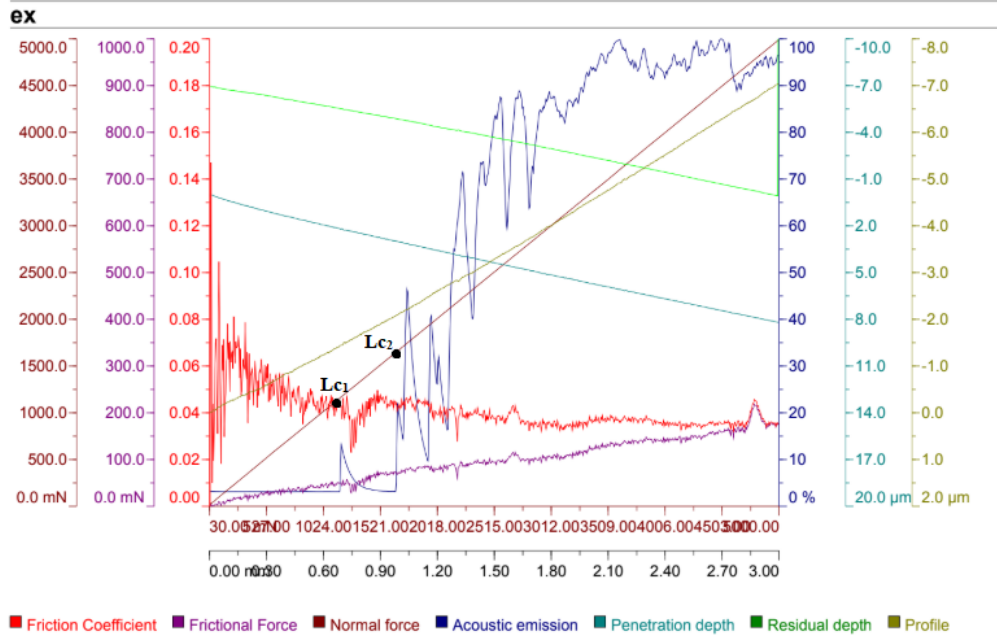
v- prędkość zarysowania

TiO₂Cu₂O na szkle



Rys. 11. Obraz z mikroskopu optycznego rysy 1 próbki TiO₂Cu₂O na szkle przy powiększeniu 50x

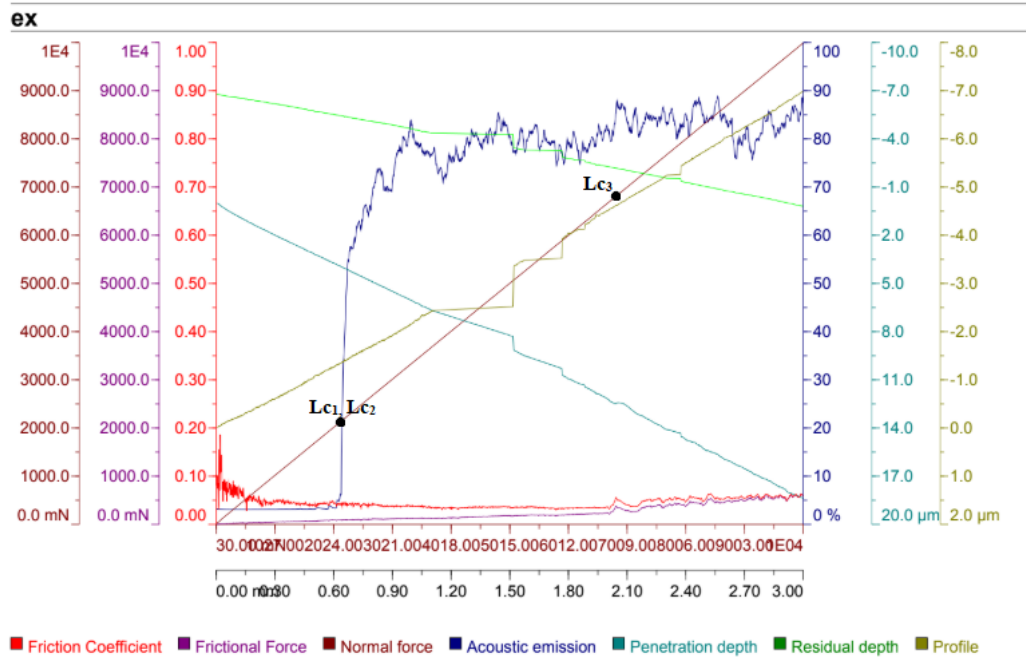
Rysunek 11,13 przedstawia mikrostrukturę rys powstałych na powłoce TiO₂Cu₂O na szkle. Na rysunku 12,14 przedstawiono wykresy współczynnika tarcia, normalnej siły, sygnału akustycznego otrzymane podczas tworzenia rys 1-3 na powłoce TiO₂Cu₂O na szkle. Na wykresach zostały zaznaczone punkty odpowiadające obciążeniu krytycznym Lc₁,Lc₂,Lc₃, każdej z rys. Na powłoce TiO₂Cu₂O na szkle dla rysy 1 nie wyznaczono obciążenia krytycznego Lc₃, ponieważ nie zaobserwowano odspojenia powłoki. Na rysunku 15 przedstawiono wykres słupkowy obciążeń krytycznych Lc₁,Lc₂,Lc₃ wyznaczonych dla rys powłoki TiO₂Cu₂O na szkle.



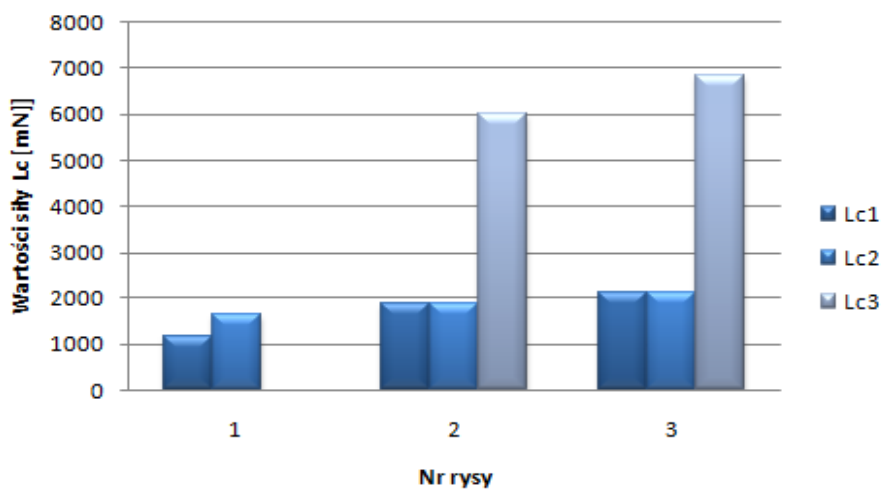
Rys. 12. Zależność współczynnika tarcia, siły tarcia oraz normalnej siły od długości rysy nr 1 próbki $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ na szkłe



Rys. 13. Obraz z mikroskopu optycznego rysy 3 próbki $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ na szkłe przy powiększeniu 50x



Rys. 14. Zależność współczynnika tarcia, siły tarcia oraz normalnej siły od długości rysy nr 3 próbki $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ na szkłe



Rys. 15. Porównanie obciążeń krytycznych L_{c1}, L_{c2}, L_{c3} wyznaczone dla rysy próbki $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ na szkłe

Tabela 3. Zestawienie wyników dla próbki $\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$ na szkle

Nazwa próbki	Nr rys	Parametry	L [μm]	Lc [mN]	μ [-]	Ft [mN]	AE [-]	L [mm]	Obciążenie max [mN]	v [mN/s]
$\text{TiO}_2\text{Cu}_2\text{O}$	1	Lc ₁	690	1172	0,041	48	13	3	5000	5000
		Lc ₂	990	1661	0,042	69	20	3	5000	5000
		Lc ₃	-	-	-	-	-	3	5000	5000
	2	Lc ₁	560	1881	0,038	72	15	3	10000	5000
		Lc ₂	560	1881	0,038	72	15	3	10000	5000
		Lc ₃	1800	5996	0,055	330	89	3	10000	5000
	3	Lc ₁	640	2139	0,040	86	6	3	10000	5000
		Lc ₂	640	2139	0,040	86	6	3	10000	5000
		Lc ₃	2050	6824	0,053	361	87	3	10000	5000

L – odległość od początku rysy

Lc- obciążenie krytyczne

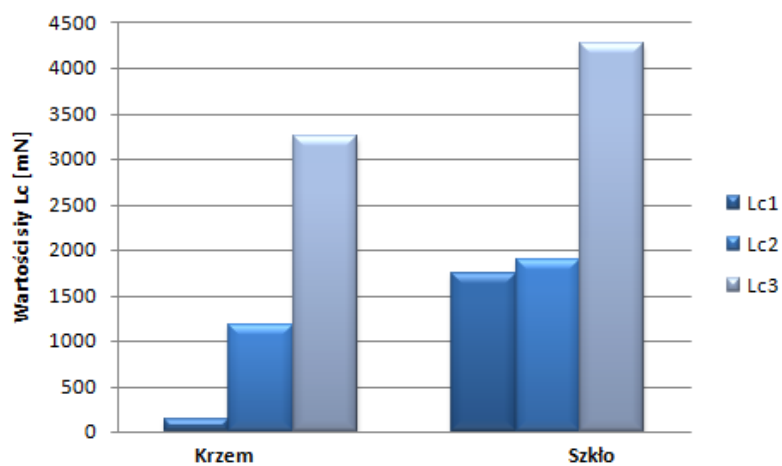
μ - współczynnik tarcia

Ft-Siła tarcia

AE- wartość emisji akustycznej

l- długość j rysy

v- prędkość zarysowania



Rys.16 porównanie obciążeń krytycznych Lc₁, Lc₂, Lc₃ dla ogniw nałożonych na szkło i krzem

Tabela 4. Zestawienie wyników dla wszystkich próbek

Podłoże	Nr rysy	Lc ₁ [mN]	Lc ₂ [mN]	Lc ₃ [mN]
Krzem	1	113	845	1094
	2	175	1451	4600
	3	123	1244	4076
Szkło	1	1172	1661	-
	2	1881	1881	5996
	3	2139	2139	6824

7. Podsumowanie

Struktury fotowoltaiczne zostały wytworzone metodą reaktywnego rozpylania magnetronowego tarcz miedzi i tytanu z wykorzystaniem modularnej platformy PVD. W ramach badań wykonano 3 rysy na każdej z próbek TiO₂Cu₂O metodą Scratch-test przy pomocy urządzenia Mikro-Combi Tester. W trakcie badania została zmierzona emisja akustyczna jak również siła tarcia w funkcji siły obciążającej. Na mikroskopie optycznym zostały wyznaczone długości rys a na ich podstawie wyznaczono obciążenia krytyczne Lc₁ (kohezji), Lc₂ (adhezji), Lc₃ (delaminacji).

Na podstawie pomiarów przyczepności powłoki metodą Scratch-test można stwierdzić, że lepszą kohezję i adhezję posiada powłoka TiO₂Cu₂O na szkłe. Średnia wartość obciążenia krytycznego Lc₁ i Lc₂ wyznaczona podczas badań wynosiła 1730 mN i 1893 mN i była większa od powłoki wytworzonej na krzemie odpowiednio o 1593 mN i o 713 mN.

Stosując maksymalne obciążenie 5000 mN nie wyznaczono obciążenia krytycznego Lc₃ na powłoce TiO₂Cu₂O na szkłe, natomiast na powłoce na krzemie wyznaczono obciążenie krytyczne Lc₃, które wynosiło 1094 mN. Świadczy to o tym, że powłoka na podłożu wykonanym ze szkła charakteryzuje się lepszą przyczepnością powłoki do substratu.

Literatura

- [1] K. Zhang, J. Deng, X. Guo, L. Sun, S. Lei: Study on the adhesion and tribological behavior of PVD TiAlN coatings with a Multi- scale textured substrate surface. *Refractory Metals& Hard Materials* 72 (2018) 292-305
- [2] JaumePujante ,Montserrat Vilaseca a, Daniel Casellas , Maria DolorsRiera: High temperature scratch testing of hard PVD coatings deposited on surface treated tool steel. Pages 254 (2014) 352-357
- [3] M. Urgen, O. L. Eryilmaz, A. F. Cakir, E. S. Kayali, B. Nilufer, Y. Isik:Charackterization of molybdenum nitride coatings produced by arc-PVD technique.*Surface and CoatillgsTrchnology* 9-1-95 (1997) 501-506.
- [4] A. Gilewicz, B. Warcholiński, D. Murzyński:The properties of molybdenum nitride coatings obtained by cathodic arc evaporation.*Surface & Coatings Technology* 236 (2013) 149–158.
- [5] M.Anand, G.Burmistroviene, I.Tudela, R.Verbickas, G.Lowman, Y.Zhang:Tribological evaluation of soft metallic multilayer coatings for wear applications based on a multiple pass scratch test method,*Volumes* 388–389, 15 October 2017, Pages 39-46
- [6] J. Staśkiewicz: Warstwy azotku tytanu- TiN- początek ery twardych pokryć. http://www2.tu.koszalin.pl/technologiehybrydowe/dokumenty/opracowania/warstwy_azotku_tytanu.pdf
- [7] M. Blicharski: Inżynieria powierzchni. Wydawnictwo WNT, Warszawa 2009, 2012
- [8] E.M Petrie: Handbook of Adhesives and Soalants, The McGrow- Hill Comanies, USA 2000.
- [9] A. Rudowska: Wybrane zagadnienia konstytuowania połączeń adhezyjnych. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2013
- [10] J. Krawczyk-Kłys, I. Jaruga: Adhesive properties of the surface.*Technologia i Jakość Wytobów* 59, 2014
- [11] T.Burakowski, T. Wierzchoń: Inżynieria powierzchni metali. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995
- [12] L.A Dobrzański: Podstawy nauki o materiałach.WydawnictwoNaukowo-Techniczne

Ekologiczna lodówka zasilana panelem fotowoltaicznym

Bartosz Zdeb⁽¹⁾, Łukasz Stępień⁽¹⁾

¹Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski
Bartosz Zdeb: bartosz.zdeb@urz.pl

Streszczenie

Celem niniejszej pracy badawczej jest stworzenie prototypu lodówki zasilanej panelem fotowoltaicznym w instalacji off-grid. Oznacza to, że w dni słoneczne będzie można schłodzić dowolną rzecz (np. napój, kanapkę) bez użycia zasilania zewnętrznego. W tym celu skorzystano z dwóch głównych podzespołów: modułu Peltiera, które posłuży do chłodzenia wnętrza lodówki oraz modułu PV, które będzie źródłem zasilania dla całego urządzenia. Do odprowadzania ciepła, użyto dwóch radiatorów umiejscowionych po obu stronach ogniwa Peltiera. Radiator zamontowany wewnątrz prototypu odbiera ciepło, natomiast radiator zamontowany na zewnątrz, oddaje ciepło do otoczenia. Dodatkowo dla wyższej sprawności odprowadzania ciepła użyto wentylatorów. Eko-lodówka została zbudowana z tanich materiałów termoizolacyjnych, łatwo dostępnych. W ostatnim etapie przedstawiono wyniki pomiarowe możliwości prototypowej lodówki ekologicznej.

Słowa kluczowe: fotoogniwo, zjawisko Peltiera, ekologiczna lodówka

Ecological refrigerator powered by a photovoltaic panel

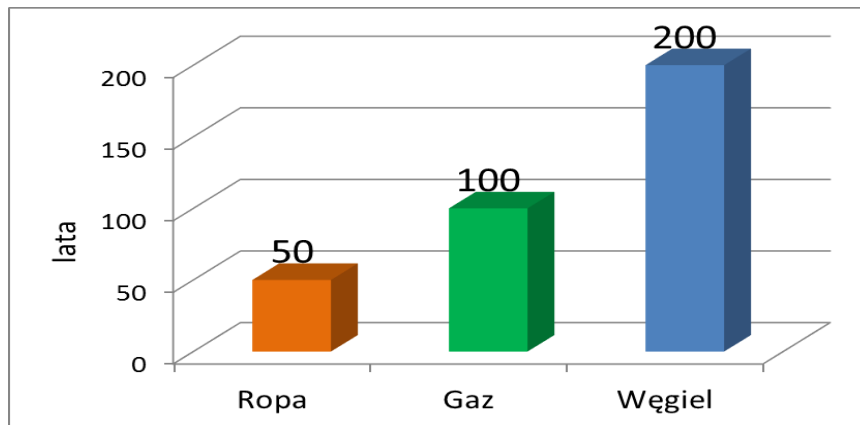
Summary

The purpose of this research work is to create a prototype of a refrigerator powered by photovoltaic panel in an off-grid installation. This means that on sunny days you will be able to cool anything (eg. drink, sandwich) without using an external power. For this purpose, two main units were used: the Peltier module, which will be used to cool the interior of the refrigerator, and the PV module, which will be the source of power for the whole device. For heat dissipation two heat sinks located on both sides of the Peltier cell were used. The heat sink mounted inside the prototype receives heat, while the heat sink mounted outside exposes heat to the environment. In addition, for higher efficiency of heat removal fans were used. The eco-fridge was built from cheap, thermo-insulating, easily accessible materials. The last stage of this work presents the measurement results of the prototype ecological refrigerator.

Key words: photovoltaic cell, Peltier phenomenon, ecological refrigerator

1. Wstęp

Ciągły rozwój cywilizacji wiąże się ze wzrostem zużycia energii na jednostkę społeczeństwa i czasu. Bardzo ważne jest więc ciągłe doskonalenie metod konwersji energii (najlepiej odnawialnych) na energię elektryczną. Od kilkuset lat do masowej produkcji energii ludzkość stosowała głównie metody konwencjonalne, korzystając z paliw stałych (np. węgiel kamienny, brunatny, torf), paliw płynnych (np. ropa naftowa, olej Diesla, benzyna) oraz paliw gazowych (np. gaz ziemny). Metody te mają swoje zalety, do których należy niski koszt, dostępność, duża energia skumulowana w jednostce masy. Z przewidywań specjalistów wynika, że konwencjonalne źródła energii wyczerpią się w ciągu najbliższych kilkuset lat. Szacunkowo określa się, że zasoby węgla zostaną wyczerpane ok. 2200 roku, gazu ziemnego ok. 2120 roku, a ropy naftowej ok. 2070 roku (rys. 1). W tym celu wielu krajach wprowadzono programy oszczędnościowe wykorzystywania paliw naturalnych (Jastrzębska 2009).



Rys. 1. Światowe zasoby energii (opracowanie własne na podstawie Lewandowski 2017)

Obecnie przewiduje się, że w okresie najbliższych stu lat nastąpi wzrost zużycia energii o nawet 300%. W związku z tym, już teraz kraje dobrze rozwinięte prowadzą prace nad wdrożeniem systemów pozyskiwania energii z odnawialnych źródeł energii. Do odnawialnych źródeł energii należą: promieniowanie słoneczne, wiatr, wewnętrzne ciepło Ziemi, przepływ wody, biomasa, które mogą zostać wykorzystane do produkcji energii elektrycznej, ale również ciepła oraz magazynowania energii (Lewandowski i in. 2017).

Potencjał zawarty w odnawialnych źródłach energii zapewnia wielokrotnie wyższe zasoby niż wynosi obecne całkowite zużycie. Biorąc pod uwagę samą energię słońca docierającą do powierzchni Ziemi, przekracza ona 15 tys. razy ilość energii obecnie produkowanej z konwencjonalnych źródeł energii. Szacuje się, że za kilkadziesiąt najbliższych lat połowa energii będzie pochodzić z odnawialnych źródeł energii (Jastrzębska 2009).

Niniejsza praca jest przykładem zastosowania odnawialnych źródeł energii (promieniowania słonecznego) w urządzeniu codziennego użytku, czyli ekologicznej lodówce. Zbudowana jest ona z materiałów termoizolacyjnych, a czynnikiem chłodniczym jest moduł Peltiera. Źródłem zasilania jest panel fotowoltaiczny o mocy szczytowej 10 W.

2. Moduły fotowoltaiczne oraz efekt Peltiera

W ogniwach fotowoltaicznych energia promieniowania słonecznego jest zamieniana w energię elektryczną. Proces tej zamiany nazywamy mianem konwersji fotowoltaicznej. Pojedyncze ogniwo składa się z płytki krzemowej, która posiada barierę potencjału (pole elektryczne), w postaci złącza p-n (positive-negative). W momencie, kiedy na fotoogniwo pada promieniowanie słoneczne, ze struktury półprzewodnika zostają wybite elektrony, które tworzą pary nośników o ładunkach przeciwnych (ładunkiem ujemnym jest elektron, natomiast dodatnim „dziura” powstała po jego wybiciu). Pole elektryczne, istniejące na złączu p-n rozdziela te ładunki i sprawia, że na wyjściu ogniwa pojawia się napięcie. Kiedy podłączymy do ogniwa urządzenia, które pobiera energię, następuje przepływ prądu elektrycznego. Wykonując ogniwa fotowoltaiczne najczęściej używa się krzemu, który jest drugim po tlenie najbardziej powszechnym pierwiastkiem na Ziemi, występującym m. in. w piasku (Klugmann-Radziemska 2010).

Technologie fotowoltaiczne obecnie dzielimy na trzy grupy:

- pierwszej generacji,
- drugiej generacji,
- trzeciej generacji.

Technologie pierwszej generacji - ogniwa wykonane z krzemu krystalicznego. Krzem jest najczęściej stosowanym materiałem do wyrobu ogniw PV (90% produkcji światowej wykorzystuje krzem do budowy ogniw fotowoltaicznych). Jest on dostępny w bardzo dużych ilościach, ponieważ jest drugim, co do powszechności występowania pierwiastkiem na Ziemi. Występuje zarówno w związkach chemicznych jak i w czystej postaci. Produkując ogniwa PV w technologii pierwszej generacji wykorzystuje się krzem krystaliczny (monokrystaliczny, polikrystaliczny lub multikrystaliczny) oraz złącze p-n. Redukując krzemionkę (SiO_2) węglem, otrzymuje się czysty krzem metalurgiczny (98-99% czystości). W wyniku tej reakcji powstaje również dwutlenek węgla (CO_2). Krzem metalurgiczny oczyszcza się dodatkowo w procesie Siemens'a. Dopiero krzem w tak czystej postaci, może zostać wykorzystany do produkcji modułów fotowoltaicznych. Technologie generacji pierwszej obejmują obecnie 89% światowego rynku (Lewandowski 2017).

Ogniwa na bazie krystalicznego krzemu klasyfikowane są w trzech grupach:

- monokrystaliczne (Sc-Si); do wytwarzania krzemu monokrystalicznego stosuje się metodę Czochralskiego lub proces topnienia strefowego,
- polikrystaliczne (pc-Si) lub multikrystaliczne (mc-SI),
- folie i taśmy krzemowe, które otrzymuje się metodą EFG (polega ona na wyciąganiu taśmy z roztopionego krzemu).

Technologie drugiej generacji - aby zredukować zużycie drogich materiałów i poprawić stosunek ceny ogniwa do jego mocy zaczęto stosować cienkowarstwowe ogniwa słoneczne. Rozwój technologii spowodował ich wytwarzanie na coraz większą skalę. Teoretycznie mogą one zapewnić niższe koszty pozyskiwania energii elektrycznej w porównaniu z ogniwami na bazie krystalicznego krzemu. Ogniwa cienkowarstwowe zbudowane są z cienkich warstw o grubości 1-4 μm , które osadza się na ogólnie dostępnym, tanim podłożu, jakim jest szkło, metal albo polimer. Rezultatem jest znacznie mniejsza ilość materiału półprzewodnikowego do zamiany energii słonecznej w energię elektryczną przy tym samym nasłonecznieniu. W porównaniu do krystalicznych ogniw słonecznych jest to nawet 99% mniej zużytych drogich materiałów półprzewodnikowych. Drugą zaletą jest możliwość produkowania lekkich, elastycznych konstrukcji, które wykorzystuje się jako elementy budowlane tzw. BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*).

Obecnie stosuje się trzy główne typy ogniw cienkowarstwowych:

- ogniwa z krzemu amorficznego (a-Si),
- ogniwa z tellurku kadmu (CdTe),
- ogniwa z selenku miedziowo-indowego (CuInSe_2 , CIS) oraz selenku miedziowo-indowo-galowego (CuInGaSe_2 , CIGS).

Technologie trzeciej generacji ogniw fotowoltaicznych obejmuje następujące technologie:

- Concentrated Photovoltaics (CPV) – W tej technologii wykorzystuje się koncentratory promieniowania (soczewki i zwierciadła), które skupiają promienie słoneczne na ogniwie fotowoltaicznym. Dzięki temu uzyskuje się koncentrację nawet 1000 razy większą niż w normalnych ogniwach.
- Ogniwa fotowoltaiczne Grätzela (*Dye-sensitized Solar Cells*) – Są to tanie, lecz mało efektywne ogniwa. Nazwane zostały ogniwami fotoelektrochemicznymi, ponieważ konwersja energii następuje w nich podobnie jak w roślinach i algach.
- Organiczne ogniwa słoneczne (*Organic Photovoltaics*) – Zbudowane z materiałów organicznych.

• Nowe koncepcje, które potrzebują czasu, aby się rozwinąć (Lewandowski 2017).
 Porównanie sprawności ogniw fotowoltaicznych wykonanych w różnych technologiach przedstawiono w tab. 1.

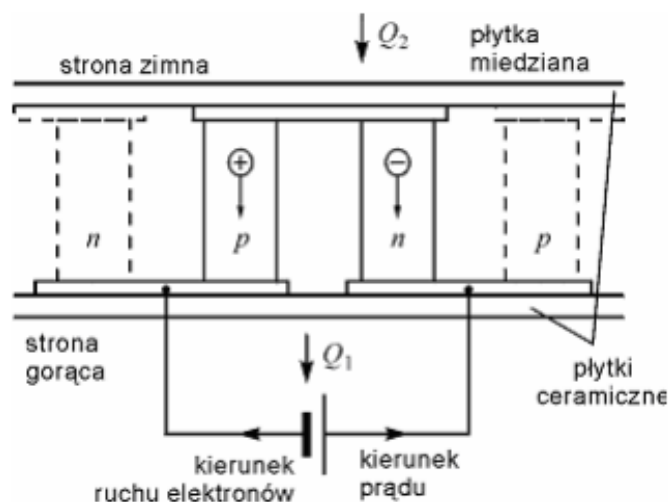
Tabela 1. Sprawność ogniw fotowoltaicznych poszczególnych technologii (opracowanie własne na podstawie Jastrzębska, 2009), gdzie: STC (Standard Test Conditions): natężenie promieniowania słonecznego wynosi 1000 W/m², masa powietrza AM 1,5, a temperatura ogniowa 25°C.

Technologia	I Generacja		II Generacja			III Generacja		
	sc-Si	mc-Si pc-Si	a-Si	CIS/CIGS	CdTe	CPV	DSSC	Organiczne
Sprawność STC [%]	20-24	14-18	6-8	10-12	8-10	36-41	8,8	8,3

Technologie fotowoltaiczne bazujące na krystalicznym krzemie utrzymują ciągle swą wiodącą pozycję na światowym rynku. Niemniej jednak w przyszłości możemy się spodziewać rosnącej ekspansji technologii drugiej generacji. Również nowe koncepcje, będące obecnie w etapie rozwoju, mogą w przyszłości stać się wiodącymi (Lewandowski 2017).

Zastosowanie efektu Peltiera:

Ogniwa Peltiera, od wielu lat są obiektem zainteresowań elektroników na całym świecie. Jeszcze do niedawna zainteresowanie to było czysto teoretyczne, ze względu na ograniczony dostęp do tego rodzaju urządzeń. Obecnie na rynku istnieje wiele ogniw dostępnych w przyzwoitych cenach, co umożliwia wykorzystanie oraz przetestowanie ogniwa do własnych potrzeb. Kiedy włączymy je w obwód elektryczny, występuje grzanie lub chłodzenie (w zależności od kierunku przepływającego prądu). Moduł Peltiera, wykorzystuje efekt Peltiera, który jest zjawiskiem termoelektrycznym występującym w ciałach stałych. Polega on na pochłanianiu, względnie wydzielaniu energii pod wpływem przepływu prądu elektrycznego przez złącze. Aby na jednym złączu wydzielona została energia (w postaci np. ciepła) musi ona zostać pobrana z drugiego złącza. Tak właśnie powstaje różnica temperatur pomiędzy złączami. Efekt Peltiera powstaje na granicy dwóch różnych półprzewodników – typu „p” oraz typu „n” połączonych dwoma złączami. Gdy do modułu zostanie dostarczony prąd elektryczny jedno ze złącz nagrzewa się, drugie zaś ochładza. Złącze, w którym elektrony przechodzą z przewodnika o niższym poziomie Fermiego do przewodnika o poziomie wyższym ulega ochłodzeniu. Zjawisko ulegnie odwróceniu, kiedy zmienimy kierunek przepływu prądu na przeciwny. Dzieje się tak, ponieważ istnieje symetria złącz. Zjawisko to jest odwrotne do efektu Seebecka, który polega na powstawaniu siły elektromotorycznej w obwodzie składającym się z dwóch półprzewodników, podczas gdy znajdują się one w różnych temperaturach. Ogniwo Peltiera jest, więc elementem półprzewodnikowym składającym się z dwóch cienkich płytek (ceramicznych). Pomiędzy tymi płytkami szeregowo ułożone są półprzewodniki, naprzemiennie typ „n” i „p”. Półprzewodniki te są połączone miedzianymi ścieżkami znajdującymi się na wewnętrznych powierzchniach płytek obudowy ceramicznej, tak jak na rysunku 2 (Pniewski 2016).



Rys. 2. Budowa modułu Peltiera (Górecki 1996)

Istotnymi cechami modułów Peltiera są:

- wysoka wytrzymałość mechaniczna,
- brak ruchomych elementów (sztywna konstrukcja),
- możliwość pracy w każdej pozycji położenia,
- wysoka żywotność (do 200 tys. godzin),
- możliwość stosowania w strefach zagrożonych wybuchem,
- dzięki płytkom ceramicznym, są odizolowane elektrycznie,
- brak czynnika chłodzącego,
- małe rozmiary, ułatwiające transport i przechowywanie,
- możliwość łączenia pojedynczych modułów w celu zwiększenia ogólnej wydajności (Pniewski 2016).

3. Budowa ekologicznej lodówki

W niniejszym projekcie głównym założeniem jest, aby prototypowe urządzenie było samowystarczalne pod względem energetycznym. W takim przypadku najważniejszym elementem i sercem ekologicznej lodówki jest panel fotowoltaiczny, który w słoneczny dzień będzie w stanie dostarczać niezbędnej mocy do poszczególnych modułów urządzenia. Odpowiednim rozwiązaniem okazał się panel MWG 10 o mocy 10 W i napięciu 12 V. Zbudowany jest on z trzydziestu sześciu ogniw wykonanych z wysokiej jakości krzemu (polikrystalicznego) o sprawności 13,7%, które zostały umieszczone na lekkim i sztywnym podłożu kompozytowym. Ich powierzchnia zabezpieczona jest twardym, ultra przeźroczystym szkłem antyrefleksyjnym przed uszkodzeniami mechanicznymi. Kontakty są wyprowadzone w formie wodoodpornej puszkii znajdującej się z tyłu panelu. Moduł został zamontowany do górnej powierzchni kolumny (za pomocą zawiasów) w taki sposób, aby była możliwość zmiany kąta od 0 do 90°.

Tabela 2. Specyfikacja panelu fotowoltaicznego (opracowanie własne)

Producent	MW GREEN POWER
Typ elementu fotowoltaicznego	Fotoogniwo
Masa	1,5 kg
Materiał	Krzem polikrystaliczny
Wymiary zewnętrzne	290 x 330 x 25 mm
Napięcie przy mocy maksymalnej	17,49 V
Prąd przy mocy maksymalnej	0,58 A
Prąd zwarcia	0,61 A
Moc maksymalna	10 W
Zakres temperatury pracy	Od -40 do 85 °C

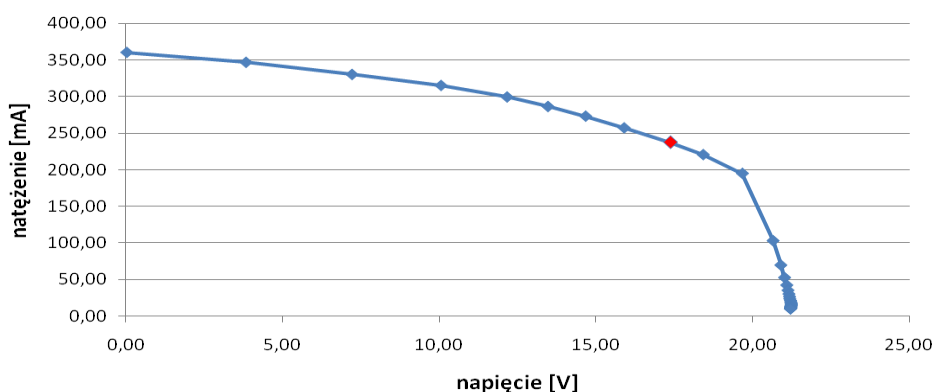
Drugim ważnym elementem konstrukcji jest obudowa, w której zamontowane zostały wszystkie podzespoły urządzenia. Powinna ona być odpowiednio sztywna, szczelna i wytrzymała. Obudowa ekologicznej lodówki została zbudowana ze sklejki wodoodpornej o grubości 13 mm. Ściany obudowy są połączone wkrętami oraz klejem. Dodatkowo zabezpieczono je materiałami termoizolacyjnymi. Jej wymiary – 330x290x200 mm zostały tak dobrane, aby górna powierzchnia lodówki była tej samej wielkości jak panel fotowoltaiczny. Na każdej ze ścian obudowy zostały umieszczone różne komponenty lodówki. Masa całego zestawu wynosi ok. 7 kg (rys. 3). W projekcie wykorzystano jeden moduł Peltiera, który został zamontowany do górnej powierzchni obudowy. Po obu stronach modułu przyklejono radiatory za pomocą kleju termoprzewodzącego. Dodatkowo dla lepszej wymiany ciepła do radiatorów zamontowano wentylatory.



Rys. 3. Ekologiczna lodówka (opracowanie własne)

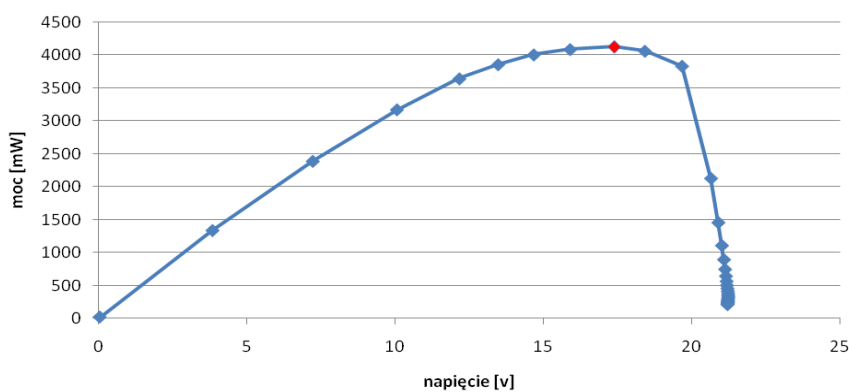
4. Badania pomiarowe

Panel fotowoltaiczny został poddany badaniom w celu sprawdzenia, czy jest w stanie wygenerować odpowiednią ilość prądu potrzebną do zasilania ekologicznej łódki. Badania przeprowadzono w styczniu (w miejscowości Rzeszów, współrzędne geograficzne: 22°01'E 50°03'N), kiedy ilość energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi jest najmniejsza. Dzięki pomiarom napięcia i natężenia prądu, przy różnej rezystancji odbiornika powstała charakterystyka prądowo-napięciowa fotoogniwa (rys. 4). Pomiary zostały wykonane w słoneczny dzień, przy oświetleniu (15000 lx).



Rys. 4. Charakterystyka prądowo-napięciowa panelu fotowoltaicznego (opracowanie własne)

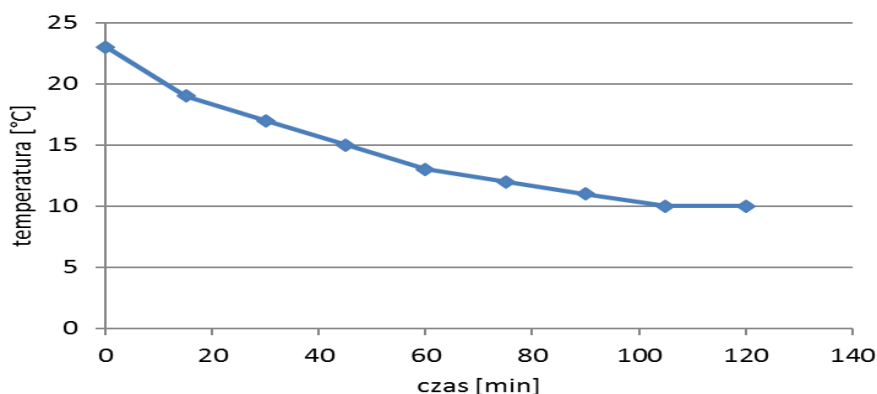
Na podstawie przeprowadzonych badań dla natężenia promieniowania światła 15000 lx ekologiczna łódka w pełni spełniała swoje funkcje. Na wykresach kolorem czerwonym zaznaczono punkt mocy maksymalnej.



Rys. 5. Stosunek mocy do napięcia ogniwa (opracowanie własne)

Moc maksymalna panelu fotowoltaicznego w warunkach natężenia promieniowania w zimie wyniosła nieco ponad 4 W. Jest to wystarczająca moc do zasilania urządzenia.

Na rys. 6 zostały przedstawione wyniki spadku temperatury we wnętrzu łódki w funkcji czasu.

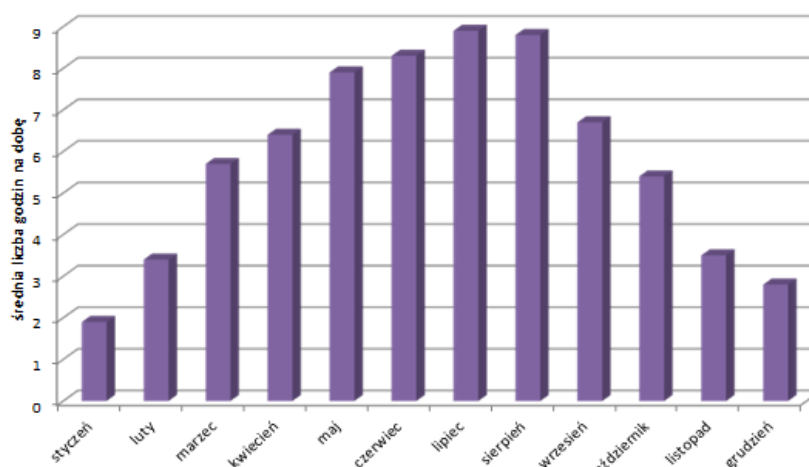


Rys. 6. Spadek temperatury wewnątrz lodówki (opracowanie własne)

Początkowo wewnątrz urządzenia temperatura wynosiła 23°C. Po włączeniu zasilania, w odstępach, co 15 minut sprawdzano temperaturę. Po niecałych dwóch godzinach udało się uzyskać 10°C. Dzięki zastosowaniu materiałów termoizolacyjnych ta temperatura utrzymywała się przez następne 15 minut po wyłączeniu zasilania.

5. Podsumowanie i wnioski

Na rys. 7 przedstawiono średnią ilość godzin słonecznych w ciągu doby w mieście Rzeszów w okresie od stycznia 2010 roku do grudnia 2015 roku. Dane pochodzą ze strony internetowej www.weatheronline.pl.



Rys. 7. Średnia liczba godzin słonecznych na dobę w ciągu roku (opracowanie własne na podstawie www.weatheronline.pl)

Ze względu, że ekologiczna lodówka działa tylko w czasie, gdy świeci słońce (rys. 7), zastosowanie jest mocno ograniczone, natomiast brak konieczności zasilania sieciowego oraz brak negatywnych oddziaływań dla środowiska znacznie przewyższa jej wadę. Najmniej godzin słonecznych w ciągu dnia przypada w zimie, a najwięcej w lecie. Średnia ilość godzin słonecznych na dobę w ciągu roku pozwalająca na korzystanie z ekologicznej lodówki wynosi 5,8 godz.

Praca przedstawia najważniejsze informacje na temat budowy ekologicznej lodówki w instalacji off-grid. Odpowiedni dobór komponentów ekologicznej lodówki: fotoogniwa, modułu Peltiera oraz obudowy pozwolił osiągnąć główny cel pracy, czyli samowystarczalność urządzenia pod względem energetycznym. Do zasilania ekologicznej lodówki wykorzystany został panel fotowoltaiczny, który przetwarza energię promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Celem urządzenia jest chłodzenie napojów i żywności w dowolnym miejscu w dni słoneczne. Panel fotowoltaiczny przetestowany został pod względem pracy w warunkach natężenia oświetlenia w pełnym słońcu (15000 lx).

Zrealizowany projekt podyktowany był coraz większą popularnością odnawialnych źródeł energii, a zwłaszcza paneli fotowoltaicznych, które w przyszłości ograniczą negatywny wpływ na środowisko obecnych form przetwarzania energii. Wykorzystanie modułu PV ukazuje nowe perspektywy ich zastosowania w przyszłości.

Literatura

- [1] Bogdanienko J., 1989. Odnawialne źródła energii. Wydawnictwo Naukowe PWN, s. 59
- [2] Górecki P., 1996. Ogniwa Peltiera. Elektronika Praktyczna, nr 1/96 s. 64, nr 2/96 s. 77 i nr 3/96 s. 65
- [3] Hawlader M. N., Brinkworth B. J., 1981. Solar Energy. Vol. 27, s. 195
- [4] Jastrzębska G., 2009. Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, s. 31, 34
- [5] Klugmann-Radziemska E., 2010. Fotowoltaika w teorii i praktyce. Wydawnictwo BTC, s. 44-47
- [6] Lewandowski W. M., Klugmann-Radziemska E., 2017. Proekologiczne Odnawialne Źródła Energii. Wydawnictwo Naukowe PWN, s. 129
- [7] Pniewski R., 2016. Wykorzystanie ogniwa Peltiera w układach chłodzących pojazdów autobusowych. Instytut Naukowo-Wydawniczy "SPATIUM", s. 1-6
- [8] Waclawek M., Rodziewicz T., 2014. Ogniwa słoneczne – wpływ środowiska naturalnego na ich pracę. Wydawnictwo WNT, s. 37

Jednoosiowy Robot Rozpoznawczy

**Krzysztof Grzelak⁽¹⁾, Jakub Hawliczek⁽¹⁾, Janusz Kluczyński⁽¹⁾, Mariusz Kuszta⁽¹⁾,
Jakub Łuszczek⁽¹⁾, Damian Malcharek⁽¹⁾, Cezary Małko⁽¹⁾, Michał Nowosadzki⁽¹⁾,
Cezary Rudzki⁽¹⁾, Rafał Szymaniuk⁽¹⁾, Jakub Wąsik⁽¹⁾**

¹Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy Maszyn, Koło Naukowe Zmęczenia Konstrukcji i Komputerowego Wspomagania Projektowania

Streszczenie

Artykuł przedstawia zasadnicze aspekty realizacji projektu wraz z wytworzeniem prototypu jednoosiowego robota rozpoznawczego. Na przestrzeni trzech lat projektowania oraz prototypowania przy pomocy różnych technik wytwarzania (głównie technik przyrostowych – tzw. druku 3d) udało stworzyć się wersję użytkową robota o wadze do 10kg i jednoosiowym układzie napędowym. Robot skonstruowany został w taki sposób, aby zapewnić modułową budowę, dzięki której możliwe będzie zainstalowanie układu gaśnicowego oraz układu wyskoku, które są w fazie projektu. Kolejnym etapem prac było udoskonalanie dotychczas stworzonej konstrukcji oraz stworzenie jak najbardziej niezawodnego układu elektroniki zasilającego silniki jak i układ sterowania. Obecnie zespół pracuje nad kalibracją prędkości obrotowej kół jezdnych, systemem zdalnego sterowania oraz systemem sensorów monitorujących stan otoczenia.

Słowa kluczowe: jednoosiowy, robot, rozpoznawczy.

Single – Axis Research Robot

Abstract

The paper describes the main goals of single – axis research robot design, prototyping and manufacturing. During three years of designing and prototyping (mainly using Rapid Prototyping systems) there was possible to manufacture usable version of single – axis, unmanned vehicle where its weight is lower than 10kgs. The robot has also modular construction to assure mounting peripheral devices as tracked drive system or jump system. Both of mentioned system are in “design level”. The next step of the project was construction, motor power supply and control systems improvement . Now the design team working on wheels rotation speed calibration, radio control and sensors system for robot environment monitoring.

Keywords: uniaxial, robot, reconnaissance.

1. Wstęp

Pomysł powstania robota zrodził się w 2013r. kiedy został stworzony zespół Koła Naukowego Zmęczenia Konstrukcji i Komputerowego Wspomagania Projektowania. Po ponad roku pracy nad rozwojem pomysłu oraz tworzeniu koncepcji części powstał wstępny projekt robota stworzony w programie SolidWorks.

Koncepcja początkowa jako główny cel stawiała wykonanie robota jednoosiowego, co miało w znacznym stopniu zwiększyć jego mobilność poprzez np. umożliwienie zmiany kierunku jazdy „w miejscu” poprzez zróżnicowanie kierunku i prędkości obrotu kół. Zmiana taka miała być realizowana poprzez zastosowanie oddzielnych silników dla każdego z kół. Podstawowym układem jezdny miał być układ kołowy. W koncepcji mieścił się także układ wspomagający jazdę w trudnym terenie. Tę rolę miał pełnić układ gąsienicowy na stałe zamontowany w powstającym robocie, miałby być wykorzystywany w przypadku pokonywania progów, schodów czy na terenach gruzowisk. Trzecią opcją przemieszczania robota miała być możliwość wykonywania skoków. Opcja ta miała być wykorzystywana przy pokonywaniu dużych przeszkód terenowych (jak rowy, urwiska itp.) czy też sztucznych (płoty, mury). Według założeń robot miał być także wyposażony w układ wizyjny oraz sterowanie bezprzewodowe. Miało to umożliwić wykorzystywanie go w terenach niebezpiecznych dla człowieka, a tym samym zmniejszyć zagrożenie na jakie narażony mógł być operator.

Po stworzeniu pierwszego prototypu w 2015 roku (rys.1) prace nad rozwojem konstrukcji zostały wstrzymane z powodu zbyt dużych gabarytów, zbyt dużego hałasu, problemami z układem sterowania oraz niezadowolającymi walorami estetycznymi konstrukcji.



Rys. 1. Pierwszy prototyp robota jednoosiowego [Kluczyński i in. 2015]

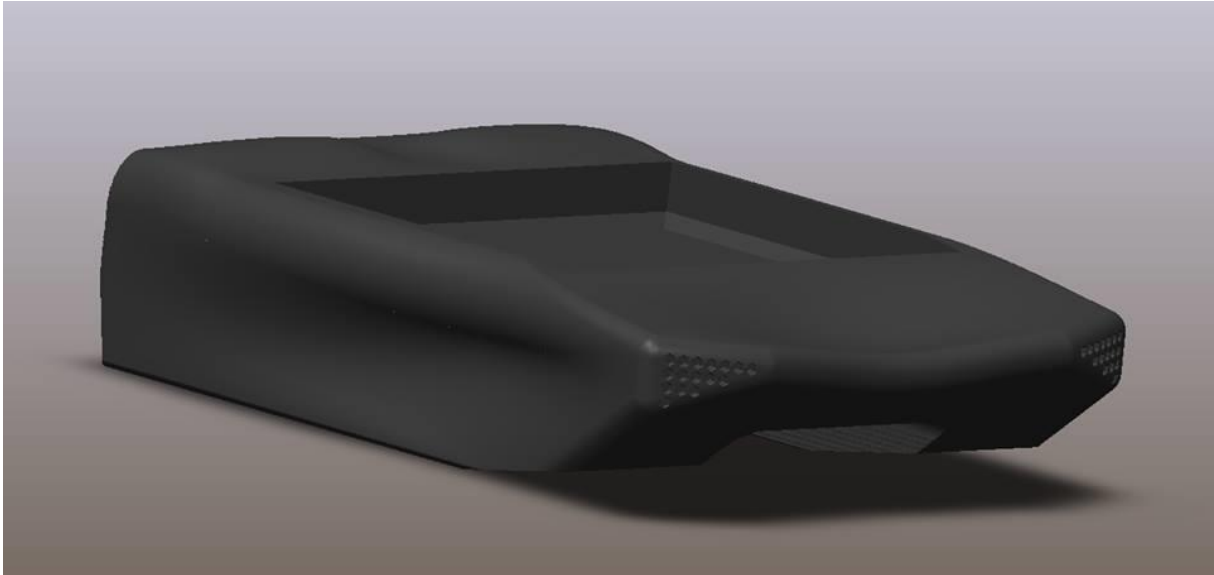
W 2016 roku, rozpoczęły się prace projektowe nad wersją 2.0, gdzie głównym priorytetem było uzyskanie jak najmniejszych gabarytów robota, jak najmniejszej masy oraz możliwie jak najniżej położonego środka ciężkości platformy. W oparciu o te założenia powstał pierwszy projekt nowej wersji robota, bazując na możliwości wytworzenia całej konstrukcji przy użyciu technologii przyrostowych, a także dzięki zwiększonemu potencjałowi zespołu konstrukcyjnego, który został powiększony z czterech do dziesięciu osób. Wizualizację projektu przedstawiono na rys.2.



Rys. 2. Wizualizacja robota w środowisku SolidWorks [opracowanie własne]

Wizualnie robot wyróżnia się kształtem obudowy oraz rodzajem zastosowanych kół jezdnych. Obudowa, która została w pełni zaprojektowana przez członków koła naukowego będzie posiadać zgłoszony wzór przemysłowy jak również koła oraz elementy wlotu powietrza

w obudowie. Koła pełnią również rolę tłumika drgań z uwagi na specjalnie zaprojektowaną geometrię, która wpływa na zwiększenie ich podatności. Robot posiada także możliwość poruszania się po środowisku wodnym, dzięki dodatkowemu modułowi pływającemu, który jest osobną platformą i może poruszać się niezależnie (rys.3).



Rys. 3. Model 3D niezależnie sterowanej bezzałogowej platformy do poruszania się w środowisku wodnym
[opracowanie własne]

Wsparcie z powietrza zapewnia dron, który został konstruowany przez jednego z członków zespołu naukowego (rys. 4).



Rys. 4. Jednoosiowy robot rozpoznawczy wraz z bezzałogową platformą wsparcia z powietrza
[opracowanie własne]

W przyszłości zespół będzie starać się ulepszyć konstrukcję, aby robot posiadał jak największe możliwości poruszania się w terenie o różnym stopniu nośności gruntu, a także mógł pokonywać trudne przeszkody. Po osiągnięciu zadowalających efektów prac nad układami przeniesienia napędu i sterowania, w dalszym ciągu będzie rozwijany układ gąsienicowy i wyskoku, które są w fazie projektu.

2. Układ napędowy

W poprzedniej wersji robota zostały zastosowane przekładnie cykloidalne, których główną zaletą jest duże przełożenie przy niewielkich rozmiarach. W związku z tak nietypową konstrukcją pojawiło się kilka problemów. Pierwszy to zaprojektowanie odpowiedniego zarysu. Najbardziej pomocną rzeczą okazał się specjalny kalkulator, dzięki któremu możliwe było opisywanie zarysu cykloidy za pomocą równań parametrycznych. Następnym problemem już po wytworzeniu koła metodą druku 3D (rys. 5) były opory tarcia poliamidu o poliamid (ponadto powierzchnie były chropowate ze względu na charakter wytwarzania – spiekanie proszku) – niektóre elementy pomimo smarowania miejscami zgrzewały się oraz odkształcały w wyniku dużych prędkości obrotowych silnika.



Rys. 5. Koło cykloidalne przekładni wytworzone przy użyciu techniki przyrostowej SLS [opracowanie własne]

Wspomniane problemy występowały w każdym etapie konstruowania przekładni, co powodowało przeciążanie układu zasilania i uszkodzenia poszczególnych elementów sterowania. Wobec tego przekładnie cykloidalne zostały tymczasowo zastąpione gotowymi już przekładniami planetarnymi.

Przekładnie te rozwiązały wyżej wymienione problemy z przekładnią cykloidalną. Zastosowane zostały dwurzędowe, reduktory, o przełożeniu 40:1. Nie występuje problem ze smarowaniem, ponieważ koła zębate są wykonane ze stali oraz z poliamidu, której powierzchnia jest dobrze wykończona (nie występują duże chropowatości oraz nie ma tarcia poliamidu o polamid). Jednakże reduktory planetarne są nieco cięższe oraz nieco dłuższe od cykloidalnych. Dlatego równolegle z badaniami robota modyfikowany jest projekt bardziej niekonwencjonalnych przekładni cykloidalnych. W oparciu o dotychczasowe doświadczenie podjęte zostały działania mające za zadanie wyeliminowanie większości problemów związanych z przekładnią cykloidalną, m. in. zastosowane zostaną dwa sposoby wytwarzania – druk 3D oraz obróbkę CNC.

Montaż przekładni planetarnych do obudowy możliwy był dzięki odpowiednio opracowanym adapterom, które zostały wytworzone metodą druku 3D, a dokładniej technologią FFF (FusedFilamentFabrication). Materiał z jakiego zostały wytworzone to PETG charakteryzujący się m. in. dużą udarnością oraz małym skurczem. Do adapterów są przytwierdzone silniki. Daje to możliwość zdemontowania całego układu napędowego – silników wraz z przekładnią i piastą. Dzięki temu nie ma potrzeby rozkręcania innych części robota takich jak pokrywa, co daje pragmatyczne podejście do obsługi technicznej robota.



Rys. 3. Zespół przekładni planetarnej zamontowany w adapterze [opracowanie własne]

3. Wygląd wizualny

Obudowa robota została zaprojektowana przez jeden z zespołów Koła Naukowego. W jej konstrukcji uwzględnione zostało miejsce na umieszczenie głównego elementu elektronicznego, czyli baterii oraz oddzielne komory na silniki szczotkowe. Odpowiednie chłodzenie jest możliwe, dzięki zastosowaniu wlotów powietrza w przedniej części robota. Konstrukcja ta będzie w niedalekiej przyszłości posiadać zgłoszone wzory przemysłowe, dzięki czemu ich projekt zostanie na stałe przypisany członkom naszego koła. Z uwagi na jednoosiowość robota, środek ciężkości musiał znaleźć się jak najniżej, aby pozbyć się nadmiernego wychylania robota przy ruszaniu z miejsca jak i hamowaniu. Kształt obudowy zapewnia również pochylenie, które w znaczący sposób wpływa na obniżenie środka ciężkości poprawienie stabilności. Zastosowany układ elektroniki zostanie zwiększony w wyniku zastosowania dodatkowych czujników oraz elementów odpowiedzialnych za przesyłanie sygnału sterującego oraz obrazu. W związku z tym zmieniona zostanie górna część obudowy robota, aby możliwe było swobodne rozmieszczenie dodatkowych elementów.

Kolejnym elementem wyróżniającym konstrukcję są koła, które mają kształt ściętego stożka (rys.4) z uwagi na ich pochylenie.



Rys.4. Koło jezdne robota [opracowanie własne]

W pełni zintegrowana obudowa z odpowiednią geometrią kół znacznie wpływa na poprawę wyżej omawianej stabilności. Materiał, z którego wykonane są koła (jak i również obudowa) jest po poliamid z domieszką cząstek aluminium.

Konstrukcja środkowej części kół w kształcie litery "z" pozwala na odkształcanie się w zakresie sprężystym całej konstrukcji podczas działania obciążenia. Część stykająca się z podłożem pokryta została gumą o grubości trzech milimetrów, która dodatkowo pozwala na lepsze kopiowanie nierówności terenu. Koła mocowane są do piasty przy pomocy śrub M8 na takiej samej zasadzie jak odbywa się to w innych pojazdach, w wyniku czego w łatwy sposób można je zdemontować.

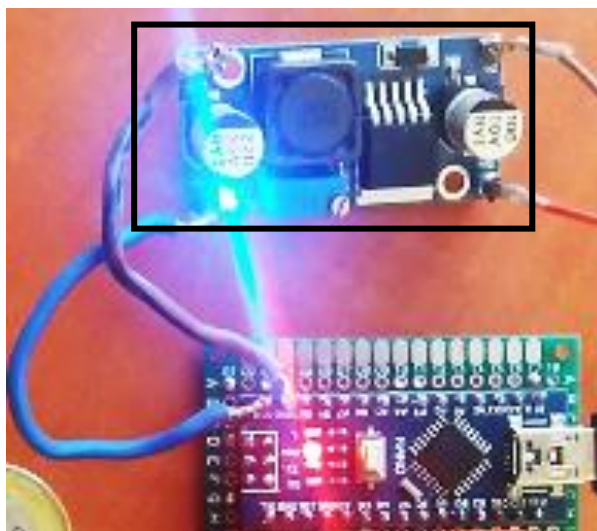
4. Układ zasilania i sterowania

Do sterowania układami elektroniki w konstrukcji wykorzystany został mikrokontroler ATmega328P. Zastosowany sterownik (rys. 5) pozwala na wykonywanie poleceń zawartych w kodzie napisanym w języku C. W porównaniu do wcześniejszego rozwiązania, gdzie wykorzystano sterowanie robotem w czasie rzeczywistym – zastosowano system zadawania określonego toru jazdy poprzez formułowanie określonego kodu. To rozwiązanie pozwala na stałą, bezawaryjną pracę, a także możliwość monitorowania określonego terenu.



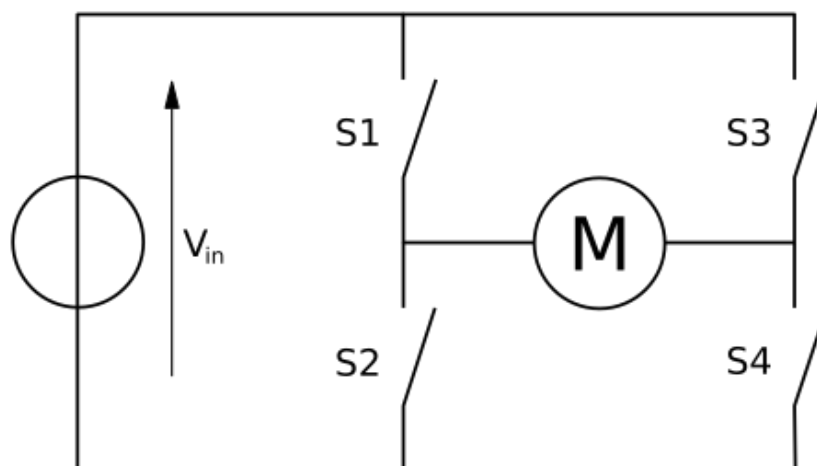
Rys. 5. Układ sterowania ATmega238P na płycie Arduino Nano (zaznaczony czarną obwiednią) [opracowanie własne]

Konfiguracja, w której wykorzystuje się zadawany kod jest wynikiem zainteresowania wielu firm ochroniarskich, które podczas różnego rodzaju targów i wystaw wykazywały potencjalne zainteresowanie zakupem tego typu konstrukcji, która umożliwiałaby monitorowanie określonego obszaru po odpowiednio zadanym torze. Zastosowany w konstrukcji akumulator litowo - polimerowy charakteryzuje się bardzo dużym prądem rozładowywania dochodzącym nawet do 320A przez 15 sekund wzmożonej pracy oraz do 240A w warunkach normalnych, dzięki czemu czas ciągłej pracy robota wynosi od 2 do nawet 4 godzin (w zależności od warunków otoczenia i środowiska pracy). Akumulator ten jest odpowiedzialny za zasilanie układu jezdnego (silników szczotkowych) oraz układu wizji. Drugi, mniejszy akumulator litowo-polimerowy o napięciu 7,4V i pojemności 900mAh został wykorzystany do zasilania części logicznej robota na stałym, pozbawionym zakłóceń ze strony silników poziomie. Możliwe to było dzięki wykorzystaniu przetwornicy (rys. 6) step – down, która redukuje napięcie z 7,4 V do 5V, a także jest wyposażona w stabilizatory napięcia i bezpieczniki.



Rys. 6. Układ sterowania wraz z przetwornicą step – down (zaznaczonej czarną obwiednią) [opracowanie własne]

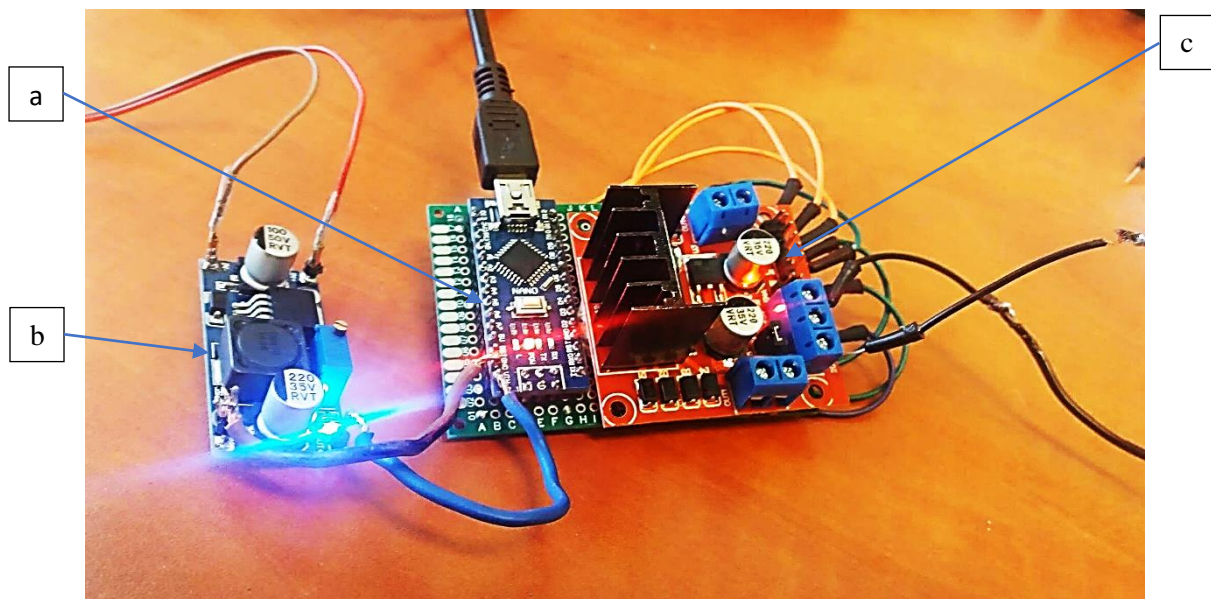
W konstrukcji układu napędowego zastosowane dwa silniki szczotkowe, które w porównaniu do wykorzystywanych wcześniej silników bezszczotkowych umożliwiają stałą i płynną regulację pracy już od najmniejszych prędkości obrotowych. Pomędzy mikrokontrolerem, a silnikami, umieszczony jest sterownik silników szczotkowych wyposażony w dwukanałowe tranzystory MOSFET – tzw. mostek H. Sposób działania tego rodzaju sterownika przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Schemat mostka H[Szczurko 2010]

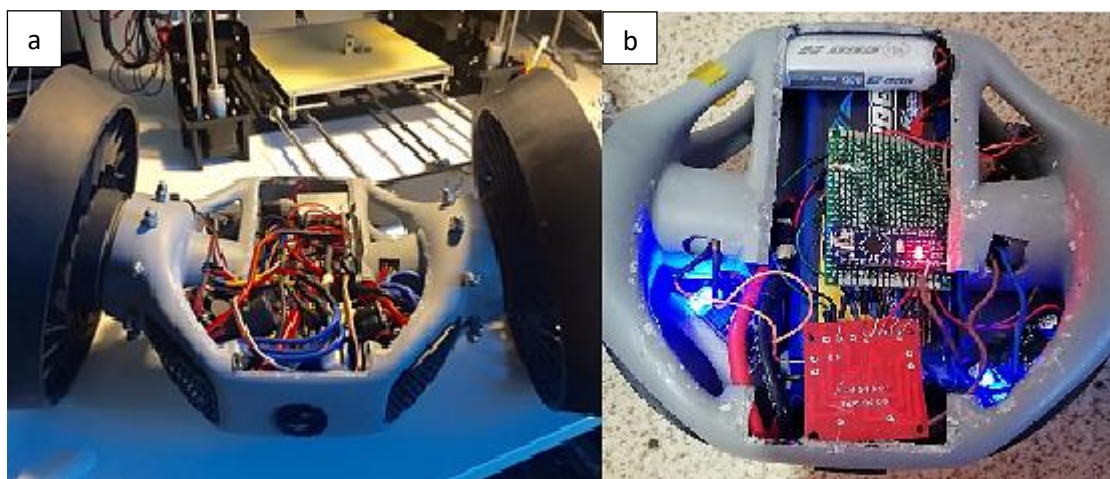
W celu zapewnienia stałej i niezawodnej komunikacji z mikrokontrolerem wykorzystuje sygnał PWM (PulseWidthModulation), który pozwala płynnie kontrolować prędkość obrotową silników.

Ponadto wykorzystano po dwa kanały cyfrowe sterownika dzięki którym możliwa jest zmiana kierunku obrotów silnika.



Rys. 8. Układ sterowania: mikrokontroler (a), przetwornica step – down (b) oraz sterownik silnika (c)
[opracowanie własne]

Wykorzystany układ cechuje się wysoką niezawodnością, a także zajmuje znacznie mniej miejsca niż poprzednie rozwiązanie. Widoczne jest to na porównaniu na rys. 9 gdzie porównano aktualny poprzedni układ.



Rys. 9. Porównanie gabarytów poprzedniego układu sterowania (a), z aktualnym (b) [opracowanie własne]

Uniemożliwienie stałej kontroli poprzez sterowanie przy użyciu joysticka nie zostało wyeliminowane na stałe. Wprowadzenie poruszania się po określonym torze jest odpowiedzią na zapotrzebowanie potencjalnych odbiorców tej konstrukcji, co umożliwi w dalszej perspektywie zastrzeżenie wzoru użytkowego robota.

Ograniczone do minimum gabaryty układu elektroniki pozwoliły na oszczędność miejsca, a ponadto umożliwienie wyposażenia robota w dodatkowy osprzęt. W niedalekiej przyszłości robot zostanie wyposażony w zespół czujników, które będą podłączone do niezależnego mikrokontrolera. Dzięki temu praca robota nie będzie wpływała na odczyt stanu otoczenia, a także wykorzystane czujniki w żaden sposób nie będą wpływały na pracę robota. Platforma zostanie wyposażona w wymienioną poniżej aparaturę:

- czujnik płomieni,
- czujnik temperatury i wilgotności,
- czujnik ciśnienia,
- czujnik mierzący czystość powietrza na podstawie zawartości formaldehydu,
- czujnik dźwięku,
- detektor ruchu,
- czujniki gazów – metanu, alkoholu i tlenku węgla.

Ponadto, układ sterowania będzie wyposażony w czujniki odległości, dzięki czemu robot na podstawie odczytów z mierników odległości będzie zmieniał tor jazdy na podstawie odpowiedniego algorytmu zawartego w kodzie sterującym. System sterowania w trybie rzeczywistym (przy użyciu joysticka) będzie rozwijany równoległe z układem poruszania się po zadawanym torze. System ten jednak będzie tworzony od podstaw, ponieważ będzie uwzględniał niedokładności układu jezdny i różnice prędkości. Powodem tworzenia całego układu od podstaw jest konieczność stałej kontroli robota oraz uniknięcie problemów, które występowały we wcześniejszych rozwiązaniach i koncepcjach.

Literatura

- [1] Kluczyński J., Puton D., Wieczorek R., Grzelak K. Remotely Controlled Single- Axle Robot For Research Actions. SolidWorks Model. XXXIII Seminarium Kół Naukowych Wydziału Mechanicznego, Warszawa, WAT, 2014
- [2] Kluczyński J., Puton D., Wieczorek R., Grzelak K.. Remotely Controlled Single- Axle Robot For Research Actions. Design and Construction, XXXIV Seminarium Kół Naukowych Wydziału Mechanicznego, Warszawa, WAT, 2015
- [3] Kluczyński J., Puton D., Wieczorek R., Grzelec M., Sienkiewicz P.: Jednoosiowy robot zwiadowczy – koncepcja i wykonanie, Konferencja wiWAT Wiedza i Innowacje, 01-03.12.2015r.; Warszawa, Polska
- [4] Kluczyński J., Puton D., Wieczorek R., Grzelec M., Sienkiewicz P., Grzelak K.: Jednoosiowy Robot Rozpoznawczy- Wersja 1.0, XXXV Seminarium Kół Naukowych Wydziału Mechanicznego, Warszawa, WAT, 2016
- [5] Szczurko J. Podstawy elektrotechniki : prąd stały, Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna 2010

Linia technologiczna w pełni zautomatyzowana – projekt i wykonanie.

Marcin Majczak⁽¹⁾, Wojciech Słysz⁽¹⁾, Grzegorz Pado⁽¹⁾,

¹Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

Streszczenie

Makieta w pełni zautomatyzowanej, zrobotyzowanej linii została zbudowana z wykorzystaniem robota dydaktycznego, który jest własnością uczelni. Zawiera szereg elementów autorskich – specjalnie zaprojektowany, wydrukowany: magazyn opadowy, taśmociąg modułowy, sterowanie (płytki PCB). Celem projektu było w pełni zaprezentowanie funkcjonalności naszego autorskiego algorytmu na przykładzie zrobotyzowanej linii, która w skali przedstawia jedno z gniazd roboczych. Elementy te są wdrażane w coraz większym stopniu w małych i średnich fabrykach. Ideą naszej pracy jest również zobrazowanie wpływu automatyzacji poszczególnych operacji procesu technologicznego. Większość elementów zaprojektowaliśmy w całości z wykorzystaniem programów typu 'CAD' Inventor, SolidWorks. Komponenty zostały wytworzone w technologii druku 3D z wykorzystaniem naszej drukarki. Układ sterowania został wykonany w celu zapewnienia pełnej synchronizacji pracy urządzeń – manipulatora dydaktycznego, czujników oraz elementów linii technologicznej. Moduły: sterujący z procesorem, zasilania, sterowania taśmociągu, magazynku zostały wykonane w programie Eagle.

Słowa kluczowe: linia technologiczna, zautomatyzowana, projekt

Technological line fully automated- design and implementation.

Abstract

The mock-up of a fully automated, robotic line was built using a didactic robot, which is owned by the University. It contains a number of authoring elements – a specially designed, printed: magazine, modular conveyor belt, control system (Printed Circuit Board). The aim of the project was to fully present the functionality of our proprietary algorithm based on the example of a robotic line, which represents one of the work sockets in scale. These elements are increasingly implemented in small and medium-sized factories. The idea of our work is also to illustrate the impact of automation of individual operations of the technological process. Most of the elements were redesigned by us in the following program type 'Computer Aided Design': Inventor, SolidWorks. The components were made in 3D printing technology using our printer. The control system was made in purpose to fully synchronize the operation of devices – the didactic manipulator, sensors and elements of technological line. Modules: control system with processor, power supply, conveyor control, magazine were made in the Eagle program.

Keywords: technological line, automated, project

1. Wstęp.

Dzisiejsze realia zmuszają przedsiębiorstwa do automatyzacji procesu tworzenia. Głównym celem jest uzyskanie większej efektywności, dokładności pracy przy zachowaniu odpowiednio względnych kosztów produkcji. Podczas niektórych operacji nie jest możliwe zastąpienie człowieka. Robotyzacja poszczególnych etapów np. pakowania sortowania elementów dosyć skutecznie obniża koszty produkcji. Do każdego rodzaju wyrobu – należy podchodzić indywidualnie poprzez zastosowanie odpowiednich automatów.

Dziś w najniebezpieczniejszych pracach, oraz w operacjach takich jak sortowanie, pakowanie pracę ludzi wykonują roboty. Dzięki prostocie, istnieje możliwość łatwego

zaimplementowania nowych zadań procesu technologicznego. W programowaniu tzw. Offline istnieje możliwość zaprogramowania nowej linii produkcyjnej, bez zatrzymania aktualnej.

Coraz częściej możemy zauważyć ścisłą współpracę robotów z ludźmi. Manipulatory te nazywamy „kobotami”, uzbrojone są w dodatkowe elementy sygnalizujące pracę takie jak czujniki i aktuatory. Dzięki takiemu rozwiązaniu istnieje możliwość natychmiastowego przerwania pracy robota w chwili zagrożenia. Modułarna budowa robotów sprzyja konkretnemu zastosowaniu w procesach obróbczych. Zaletą jest również wykorzystanie specjalnych głowic dzięki którym narzędzie można zmienić się bezwiednie, tak jak wymaga tego proces produkcyjny (bez pomocy operatora).

Wyróżniamy linie: wytwórcze, gdzie poszczególne komponenty są produkowane, oraz montażowe, gdzie są wykonywane operacje składające w całość. Wszystkie te technologie wykorzystują specjalne gniazda zarówno produkujące jak i składające. Bardzo ważne są również elementy : kontroli (czujniki), taśmociągi (przenoszenie komponentów), chwytaki (umieszczenie w odpowiedniej pozycji)

W specjalnych gniazdach robotycznych ważną rolę spełniają obrabiarki sterowane numerycznie. Maszyna za pomocą specjalnie napisanego kodu programu wykonuje szereg operacji, dobierając sobie przy tym odpowiednie narzędzia. W dawnych czasach procesy obróbki wykonywane były na obrabiarkach konwencjonalnych, gdzie operator sam dobierał parametry.

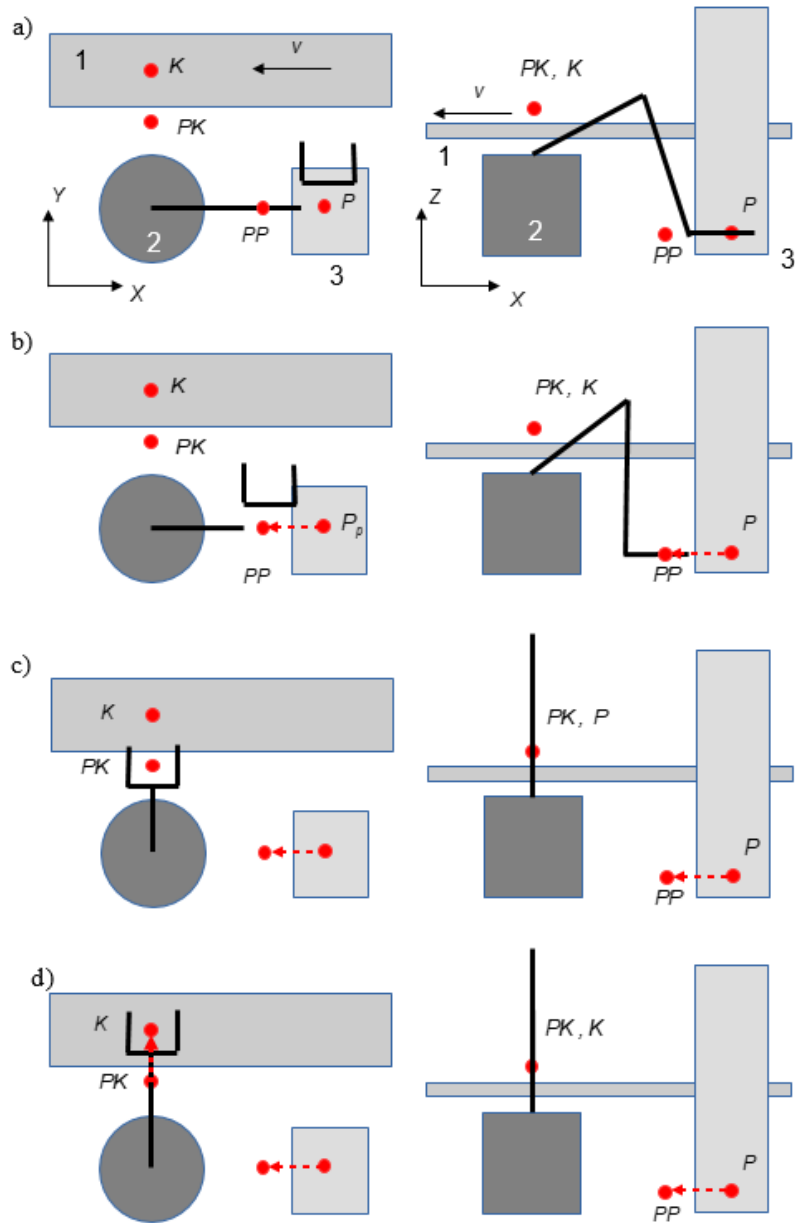
Nowoczesne fabryki do procesów takich jak przenoszenie komponentów, paletyzacja, sortowanie wykorzystują roboty. Dzięki temu zastosowaniu zwiększa się efektywność procesu produkcyjnego. Człowiek jedynie wykorzystywany jest do sterowania pracą maszyn. Do przenoszenia ciężkich elementów są używane suwnice które wykonują ruch w jednej płaszczyźnie.

2. Zautomatyzowana linia.

Celem naszej pracy było wykorzystanie manipulatora czteroosiowego (robot dydaktyczny) będący na wyposażeniu naszego koła. Całość ma przypominać rzeczywiste gniazda robocze występujące w najnowocześniejszych fabrykach. Linia składa się z zaprojektowanego, oraz wytworzonego taśmociągu modułowego, magazynku opadowego, oraz elementów sterujących pracą. Manipulator ma za zadanie zabierać komponenty z magazynku, oraz następnie kierować je na taśmociąg. To rozwiązanie w którym robot przenosi, sortuje elementy jest znane w

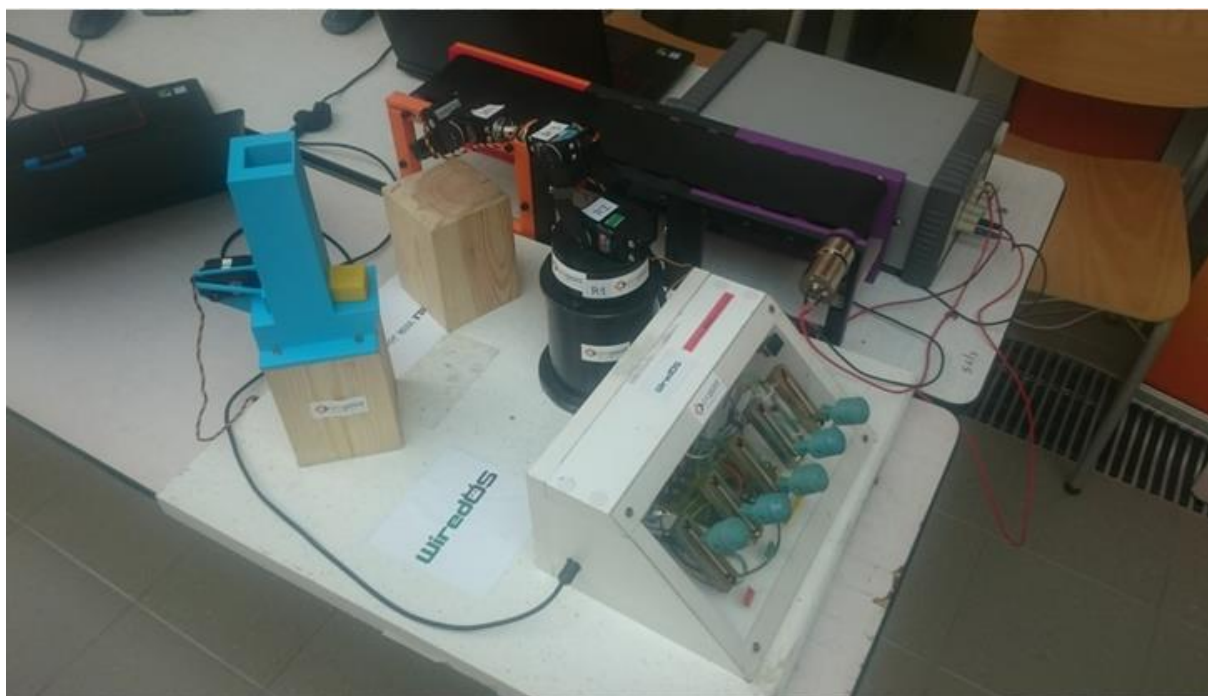
dzisiejszym przemyśle. W magazynku znajduje się dodatkowo płytka PCB z czujnikiem, który dokonuje wyboru danych elementów poprzez selektor koloru.

Usytuowanie wszystkich elementów gniazda roboczego możemy zauważyć na rysunku nr.1.



Rys.1 Zrobotyzowana linia (1-Manipulator dydaktyczny, 2-taśmociąg modułowy, 3-magazynek) a) uchwycenie elementu z magazynku b) pozycjonowanie w miejscu PP c) usytuowanie PK d) upuszczenie komponentu na transporter [1].

Na początku narzędzie manipulatora z zaimplementowanym położeniem w odniesieniu do płaszczyzny XV osiąga pierwsze miejsce – oznaczone literką P. Kolejno robot transportuje element do miejsca PP (podejście do stanu początkowego). Przenoszenie następuje po torze liniowym, zachowując zależność w której to narzędzie można zabrać z specjalnego okienka z magazynu bez zderzenia się elementów. Transmisja pomiędzy PP a PK może odbywać się za pomocą dowolnego rodzaju ruchu. Natomiast z miejsca PK do K (koniec) ruch musi być liniowy, zachowując 0 pozycję chwytaka, by nie zaszła kolizja. Na samym końcu zostają rozwarte szczęki, podczas tej operacji element zostaje upuszczony na taśmociąg modułowy którego prędkość możemy regulować. Komponent zostaje przeniesiony do opakowania. Następnie z K (punkt końcowy) do PK wycofujemy urządzenie. Cykl się zapętla. Specjalny układ płytki PCB z czujnikiem ma za zadanie selekcję elementów, czy obiekt jeden przenieść na taśmociąg czy przenieść w inne miejsce. Cały model zaprezentowany został na rysunku 2.



Rys.2 Zmontowana linia zrobotyzowana.

3. Manipulator dydaktyczny AL5A firmy Lynxmotion.

Sercem całego przedsięwzięcia jest robot czteroosiowy, zaprezentowany na rysunku numer 4. Posiada budowę typu 3R : można dokonywać obrotu podstawą, oraz kolejnymi serwomechanizmami oznaczającymi R2-ramię, R3- kiść . Cały model usytuowany jest na specjalnie wykonanej do tego celu podstawie. Napęd poszczególnych członów jest możliwy dzięki zastosowaniu serwomechanizmów.



Rys. 3 Dydaktyczny manipulator AL5A.

Cechy naszego robota:

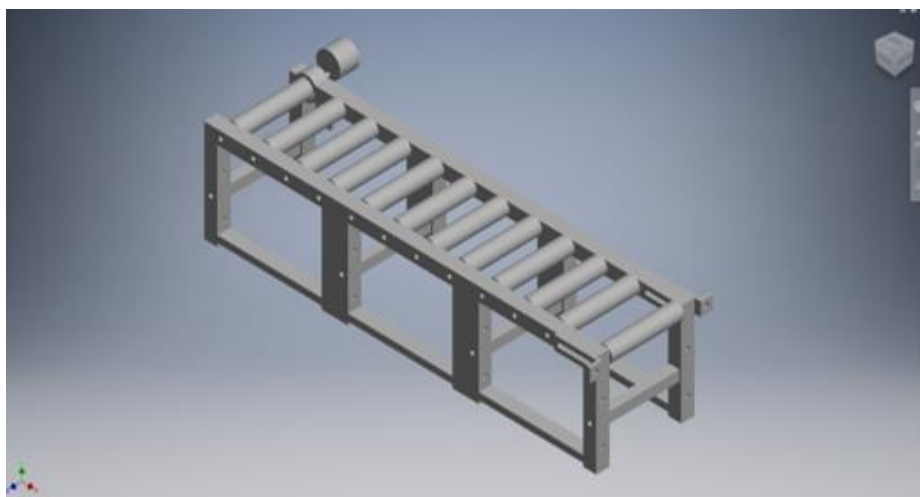
- 4 stopnie swobody
- Chwytnak dwupalcowy równoległy
- Ograniczona przestrzeń robocza (gdzie są zlokalizowane kolejne urządzenia)
- Możliwy ruch obrotowy, prostoliniowy za pomocą zespołu serwomechanizmów

4. Taśmociąg

Taśmociąg to element modułowy pełniący funkcję transportera. Projekt został wykonany w programie Autodesk Inventor. W środowisku tym możemy: modelować bryły, tworzyć następnie skomplikowane złożenia w których możemy zauważyć w przestrzeni stworzone podzespoły, tworzyć dokumentację elementów wykonawczych (rzuty, przekroje, szczegóły). Następnie istnieje możliwość wygenerowania pliku wykonawczego (druk na specjalnej drukarce).

Nasz model transportera składa się z trzech podmodułów: moduł napinający. Moduł uniwersalny, który możemy dowolnie zwielokrotnić na potrzebę produkcji, oraz ostatniego

komponentu – napinacza – utrzymujący odpowiednie napięcie taśmy (mechanizm regulacyjny – do tego jest dołączona śruba, za pomocą obrotów możemy sterować wychylenie taśmy). Do projektu użyliśmy profesjonalnej taśmy używanej w transporterach przemysłowych. Ruch odbywa się za pomocą specjalnie dobranej silnika DC. Model został wydrukowany na naszej drukarce w technologii druku 3D z materiału PLA.



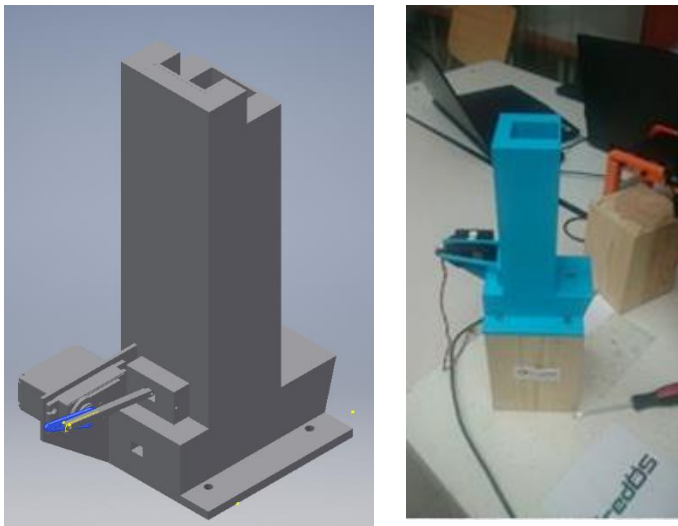
Rys.5 Złożony transporter w Inventorze.



Rys.6 Wydrukowany taśmociąg, z założoną taśmą.

5. Magazynek, zawierający specjalny system wysuwu elementów.

Podobnie jak transporter, magazynek jest to nasza autorska konstrukcja. Element został zamodelowany w programie Autodesk Inventor, pełni funkcję przechowywania elementów- w naszym przypadku klocków w orientacji pionowym. Całość została wydrukowana na drukarce 3D z materiału PLA. W ścianie bocznej jest umieszczony specjalny układ PCB, dzięki czujnikowi możliwa jest selekcja klocków o danym kolorze. Dodatkowo w magazynku zaimplementowaliśmy specjalny system wysuwu klocków, na który składa się serwomechanizm z układem korbowym. Serwomechanizm wykonujący ruch w jednej płaszczyźnie wysuwa klocki, następnie robot może uchwycić klocek o danym kolorze i umieścić go na taśmociągu.

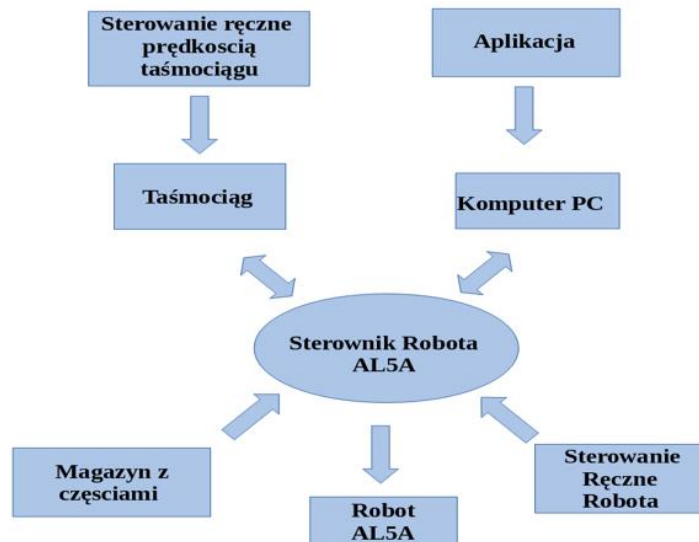


Rys.7 Model magazynku w programie 3D z autorskim mechanizmem wysuwu klocków.

Obok wydrukowany element.

6. Układ sterowania całej zrobotyzowanej linii.

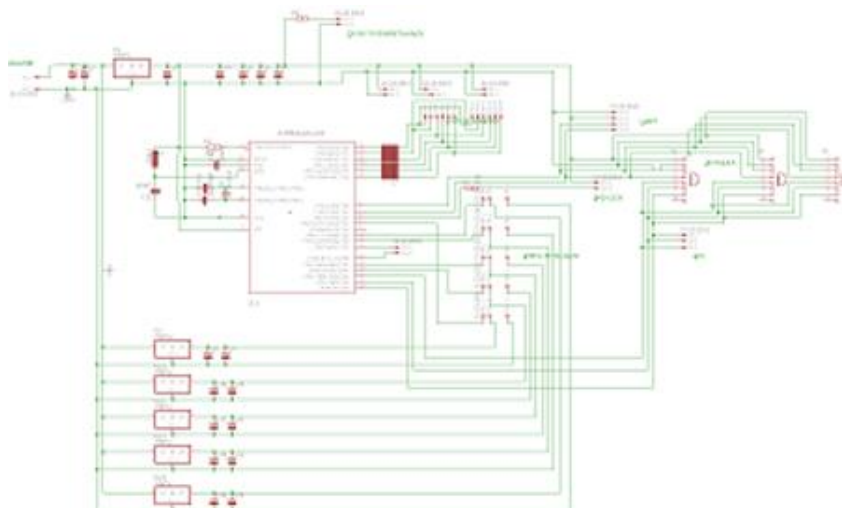
Sterowanie wymaga pełnego zsynchronizowania poszczególnych komponentów. Nie jest możliwe uzyskanie pełnej kompatybilności wykorzystując jedynie fabryczne oprogramowanie. Do całego projektu musieliśmy zaprojektować, zaimplementować własne oprogramowanie wraz ze sterownikami. Głównym zadaniem było odpowiednie zaprogramowanie manipulatora metodą uczenia, kolejnym celem było odpowiednie połączenie informacji zebranych z czujników, dostosowując pracę urządzeń pod zadane parametry. Sterowanie zostało zamodelowane w programie Eagle, wykonanie nastąpiło metodą frezowania na uczelnianej frezarce do płytek PCB.



Rys.8 Schemat sterowania, przepływ informacji.

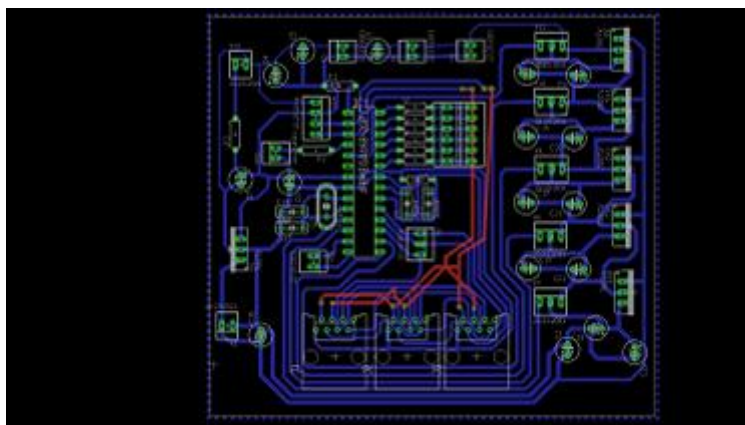
6.1 Sterownik robota-Atmega323

Sercem układu sterującego jest mikroprocesor ATmega 328 . Jest to procesor 8-bitowy. Zawiera przetwornik Analogowo-Cyfrowy. Posiada 6 wyjść PWM. Dodatkowym atutem zastosowanego elementu jest interfejs szeregowy (I2C, UART) wraz z zewnętrznym taktowaniem, 14 portów typu Input/Output. Głównym atutem tego mikroprocesora są wejścia analogowe, 32kB pamięci typu Flash, gdzie jest zapamiętywany algorytm sterujący.



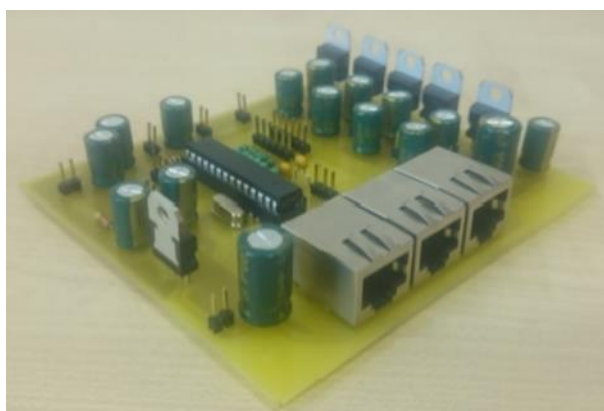
Rys.9 Schemat sterowania manipulatora wykonany w programie AutodeskEagle.

Kolejnym etapem pracy było wykonanie obwodu drukowanego (zawierający połączone poszczególne ścieżki)- całość została wygenerowana w podprogramie PCB Eagle . Element został wytworzony poprzez zaimplementowanie kodu do frezarki szkolnej PCB LPKF s63.



Rys.10 Model połączonych ścieżek w programie Eagle PCB.

Następnie po wydruku, zostały zlutowane wszystkie elementy, dzięki czemu po podłączeniu i sprawdzeniu poprawności możemy sterować poszczególnymi serwomechanizmami manipulatora. Fabryczne sterowanie nie było przystosowane do zbierania informacji z magazynku oraz z transportera.



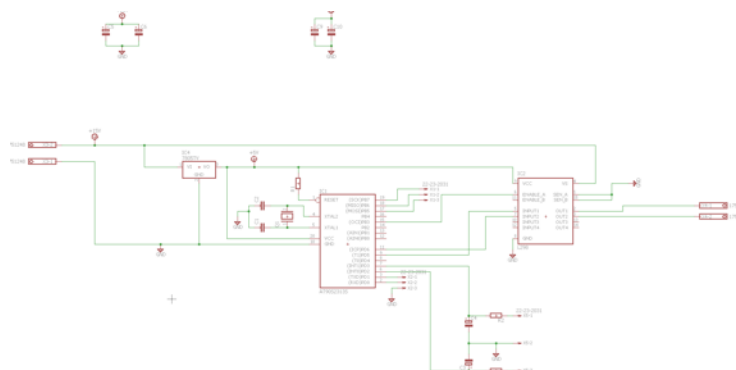
Rys.11 Sterownik robota – autorski projekt wykonany.

6.2 Projekt sterowania taśmociągu.

Do sterownia taśmociągiem, oraz naszego magazynku wraz z układem korbowym został użyty mikrokontroler AVR w obudowie SMD. Wybraliśmy model Attiny2313A-SU. Element ten charakteryzuje się następującymi parametrami: jeden 8-bitowy, oraz 16-bitowy licznik. W porównaniu do Atmegi32 posiada 18 portów typu Input/Output. Posiada natomiast mniej pamięci typu flash : 2KB. Zawiera 4 kanały PWM, oraz interfejsy USART, SPI.

Element został wybrany ponieważ wykorzystujemy wiele portów Input/Output, ten zawiera aż 18 tychże portów, oraz posiada prostą uniwersalną budowę. Komponent ten ma za zadanie odpowiednie wysterowanie prędkości przesuwu taśmy- a dokładniej mówiąc pracą silnika DC.

W przypadku magazynku układ ten zbiera informacje z czujnika o danym rodzaju koloru, następnie informacja ta trafia do układu głównego sterowania.



Rys.12 Układ do odpowiedniegoysterowania taśmociągu modułowego .

W projekcie został zawarty wcześniej wspomniany mikrokontroler, wraz z mostkiem H. Specjalnie zastosowany enkoder pełni funkcję stabilizatora obrotów. Skutkuje to możliwością nastawy przesuwu taśmy przez osobę bez zmiany obciążenia.

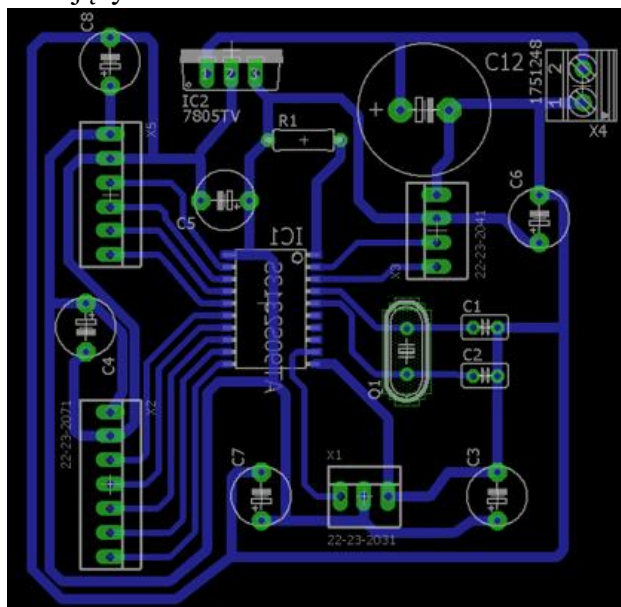
Płytką PCB wytworzona na frezarce PCB LPKF s63. Do druku wykorzystaliśmy laminat jednowarstwowy.



Rys. 13 Układ umożliwiający sterowanie taśmociągiem (prędkości obrotowej taśmy).

6.3 Układ sterujący magazynkiem.

Tak jak zostało wspomniane wcześniej, układ ten jest oparty podobnie jak taśmociąg z wykorzystaniem mikrokontrolera Attiny2313A-SU. W układzie tym zastosowaliśmy specjalny element filtrujący.



Rys. 14. Płytką wykonana w programie AutodeskEagle do sterowania magazynkiem.

Tutaj również zastosowaliśmy laminat jednostronny. Wydruk nastąpił na frezarce uczelnianej LPKF s63. Lutowanie elementów z wykorzystaniem sprzętu dostępnego w pracowni.



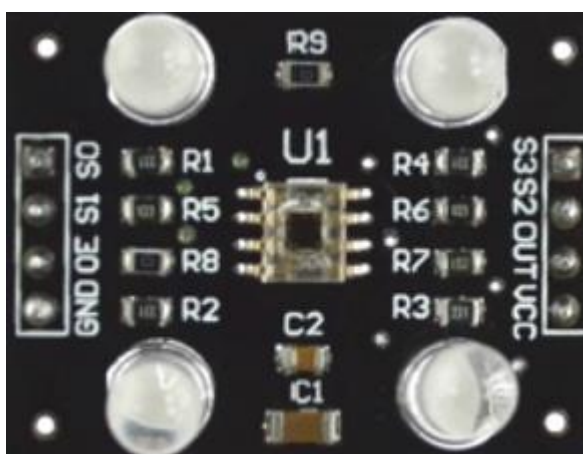
Rys.15 Wyjściowy układ sterujący magazynkiem.

6.4 Element odpowiadający za selekcję koloru wmontowany w autorski magazynek.

W projekcie został wykorzystany specjalny czujnik TCS3200D który zapewnia pomiar wszystkich składowych RGB koloru. Posiada następujące parametry : zasilany jest napięciem około 2.7V. Posiada programowalny wybór rodzaju koloru. W zależności od zakresu częstotliwości zostaje wybrane odpowiednie widmo pasmo. Możliwość wyboru odpowiedniego rodzaju fotodiody. Błąd pomiaru – nieliniowości na poziomie 0.2%.

Element sprawdza również poziom zapełnienia - dostarcza informacje do mikrokontrolera, wtedy gdy nie będzie przez jakiś większy czas komponentu- klocuszka w zasobniku.

Bardzo ważnym czynnikiem w reakcji czujnika jest poziom natężenia światła, dlatego muszą być zapewnione idealne warunki tak aby sygnał nie był rozpraszany



Rys. 16 Sensor barw RGB

Literatura:

- [1] Hołota B., *Materiały do wykładu z programowania robotów*, Rzeszów 2017, KMIA, Uniwersytet Rzeszowski.
- [2] https://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_produkcyjna 20.06.2018
- [3] yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1...0782.../profaska_SWwIP_2014_2.pdf 20.06.2018
- [4] <http://www.kmnipe.pwr.edu.pl/files/prv/id35/wyd/pn/sim34/sim34-art17.pdf> 15.06.2018

Plan i realizacja układu do nadawania ruchu posuwowego w prototypowym urządzeniu do pneumokulkowania

Miłosz Linek⁽¹⁾, Magdalena Kopciuch⁽²⁾

¹Uniwersytet Rzeszowski

²Politechnika Rzeszowska

Streszczenie

Celem badawczym jest utworzenie projektu i utworzenie układu do nadawania ruchu posuwowego w prototypowym urządzeniu do pneumokulkowania. W pracy znajdują się informacje dotyczące procesu obróbki nagniataniem, jej podziału oraz zalet, a także wad. Polega na ulepszeniu prototypowego urządzenia do pneumokulkowania. Przedstawienie przebiegu pracy rozpoczyna się od opracowania założeń, przez dobranie materiałów oraz przeprowadzenie procesu wykonania i montażu. W końcowym etapie przedstawiona została instrukcja obsługi.

Słowa kluczowe: pneumokulkowanie ruch posuwowy układ prototypowe

Plan and realization of feed drive system in a prototype device for pneumatic ball peening

Summary

The research aim is to create a plan and realization of feed drive system in a prototype device for pneumatic ball peening. The thesis contains information about the burnishing process, the division of this treatment as well as its advantages and disadvantages. It is based on the improvement of the prototype pneumococcal device. The work procedure is presented starting from the development of assumptions, through the selection of materials, creation of technical documentation as well as the implementation and assembly process. In the final stage, the device control system and the user manual is presented.

Keywords: pneumatic ball peening feed driver system prototype

1. Wstęp

Do ważnych, a nawet do jednych z najważniejszych problemów techniki XXI wieku zalicza się koszt wytworzenia, jakość, a także wytrzymałość produktów. Techniczny świat rozwija się w zawrotnym tempie, a co się z tym wiąże pojawiają się coraz to większe potrzeby na bardziej dobre, bardziej trwałe i tańsze części konstrukcyjne maszyn, urządzeń technicznych. Dobrym przykładem może być komunikacja, a konkretniej samochody, samoloty, a także kolej. Wszystkie te rodzaje środków transportu osiągają coraz lepsze możliwości, ogromne prędkości, o których kilkanaście lat wstecz nikt nawet nie myślał, a nawet nie śnił. Podstawowym bodźcem rozwoju techniki była I wojna światowa, kiedy to ruszył wyścig o coraz lepsze, nowocześniejsze czołgi, broń i wiele innych rzeczy, które mogły być używane podczas wojny.

Jedną z właściwości przy otrzymaniu takich osiągnięć jest właśnie wytrzymały materiał, który musi charakteryzować się określonymi, dobrymi parametrami wytrzymałościowymi. Właśnie taki materiał można uzyskać poprzez utwardzanie, czyli podwyższanie trwałości części urządzeń i narzędzi. Dokładność wytworzenia, zależy od wielu czynników, m.in. rodzaju, toku obróbki wykańczającej, wtedy właśnie uzyskuje się pożądane parametry przedmiotu obrabianego. Różnorodność metod obróbki jest zależna od wymagań technologicznych, można je posegregować na obróbkę kształtującą, zgrubną i wykańczającą. Zgrubna to proces opierający się na niszczeniu zewnętrznej skorupy materiału z przedmiotu obrabianego. Za sprawą tego element przybiera początkowy zarys, który następnie można

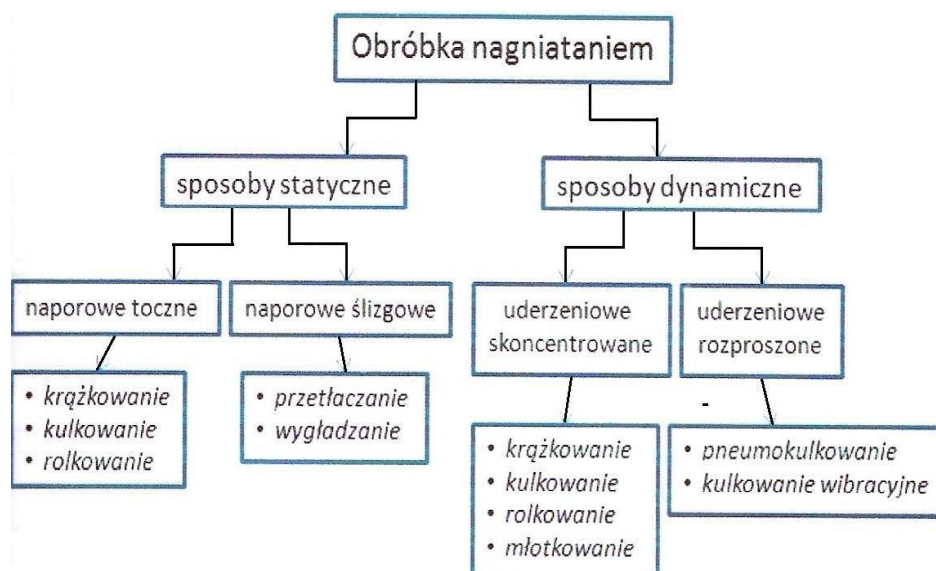
dopracować i ustalić w dalszych etapach, starając się usuwać po równo rozłożony nadmiar materiału. W tym celu wykorzystuje się obróbkę kształtującą, której zadaniem jest przybliżenie kształtu przedmiotu w dużej mierze do tego, jaki ma przybrać finalnie. Stadium to określa się też obróbką półwykańczającą, a następnie w kolejności znajduje się obróbka wykańczająca, czyli szlifowanie, precyzyjne wytaczanie, frezowanie i obróbka nagniataniem. Bardzo dobra dokładność tego procesu jest przyczyną otrzymania oczekiwanych skutków i wyników.

2. Materiały i metody

2.1. Obróbka nagniataniem

Obróbka ta opiera się na wykorzystaniu punktowego plastycznego odkształcenia warstwy zewnętrznej obrabianego materiału, które powstało na skutek zewnętrznych sił, które są większe niż granica plastyczności materiału. Należy ona do metod obróbki wykańczającej. Proces wspomnianej obróbki w głównej mierze prowadzony jest „na zimno”.

Procesy te zaczęto wykorzystywać w pierwszej połowie XX w. Narzędzia, z których korzystano odznaczały się dużą sztywnością, a także były proste, co było konieczne aby otrzymać sporą siłę nacisku. Z biegiem czasu proces ten jest cały czas ulepszany i jest wykorzystywany w różnorodnych dziedzinach. Stosując metodę nagniatania, podstawowymi założeniami, których trzymają się technicy jest umocnienie powierzchni obrabianego materiału, zmniejszenie jej chropowatości, a także poprawa własności fizycznych. Podział obróbki nagniataniem można pokazać ze względu na różne aspekty, np. ukazany na rys.2. 1.1.



Rys. 2.1.1. Podział obróbki nagniataniem

Najważniejszą klasyfikacją jest jednak podział we względu na charakter działania sił podczas nagniatania. Pod tym względem obróbka ta podzielona została na dynamiczną oraz statyczną.

- Dynamiczna – zmieniające się w równych odstępach siły nagniatania, działają one w sposób dynamiczny na przedmiot, który jest obrabiany, narzędzie nie styka się przez cały czas z powierzchnią przedmiotu.
- Statyczna – siły nagniatania mają taką samą wartość, a w związku z tym oddziałują statycznie na przedmiot obróbki, a narzędzie cały czas styka się z powierzchnią przedmiotu.
Można podzielić także ze względu na:
 - własności konstrukcyjne układu obróbkowego.
 - sposób działania sił nagniatania na przedmiot obrabiany,
 - rodzaj kontaktu elementu nagniatającego z powierzchnią obrabianą przedmiotu,
 - sposób współpracy narzędzia z przedmiotem,
 - liczba i kształt elementów nagniatających w przedmiocie,

2.2. Zalety i wady obróbki nagniataniem

Jak każda inna obróbka, nagniatanie posiada sporo zalet, jak też wad. Tych pierwszych jest zdecydowanie więcej. Do tej grupy można zaliczyć:

a) zalety odnoszące się do jakości obrabianego elementu:

- mała chropowatość powierzchni,
- duża obciążalność powierzchni,
- powierzchnia poddana obróbce nie posiada ziarn ścierniwa (duża twardość),
- dobra odporność na korozję powierzchniową oraz ścieranie,

b) zalety odnośnie technologii nagniatania:

- wydajność metody,
- duża trwałość narzędzi stosowanych do obróbki nagniataniem,
 - mała ilość (a nawet brak) odpadów po procesie, ze względu na małą moc.

Efektywność obróbki nagniataniem jest zaniżona ze względu na istniejące wady:

- zaleca się aby materiał poddawany obróbce miał określoną twardość,
- ciężko dobrać parametry obróbki,
- konieczność dokładnego wykonywania procesów poprzedzających, mających znaczenie w efekcie końcowym,
- uciążliwość obróbki przy wybranych elementach

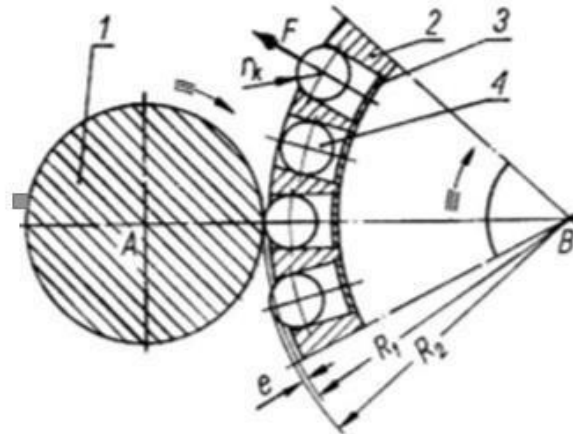
2.3. Statyczne metody obróbki nagniataniem

Podczas obróbki korzysta się z elementów obrotowych o różnorodnych kształtach. Dobór ten zależy od stosowanej metody. Można wyróżnić rolki, kulki albo krążki. Niektóre metody nie są łatwe do realizacji, w porównaniu z innymi. Wpływa na to rodzaj obrabiarek z których się korzysta, czyli stopień zaawansowania specyfikacji maszyn. W procesie nagniatania można korzystać z różnorodnych narzędzi. Nagniatanie można połączyć ze skrawaniem. Do najciekawszych metod można zaliczyć nagniatanie naporowe oscylacyjne. Element nagniatający porusza się ruchem oscylacyjnym na płaszczyźnie posuwu wzdłużnego. W wyniku tego procesu powstają sinusoidalne kształty na powierzchni przedmiotu, który jest obrabiany. Zakres nagnieceń można zmieniać, zmieniając parametry obróbki.

2.4. Dynamiczne metody obróbki nagniataniem

Nagniatanie dynamiczne i statyczne w dużym stopniu różnią się od siebie. To, czym się różnią, jest przede wszystkim zmieniająca się siła docisku, a także zmieniający się w czasie, przerywany kontakt elementów nagniatających z powierzchnią obrabianego przedmiotu.

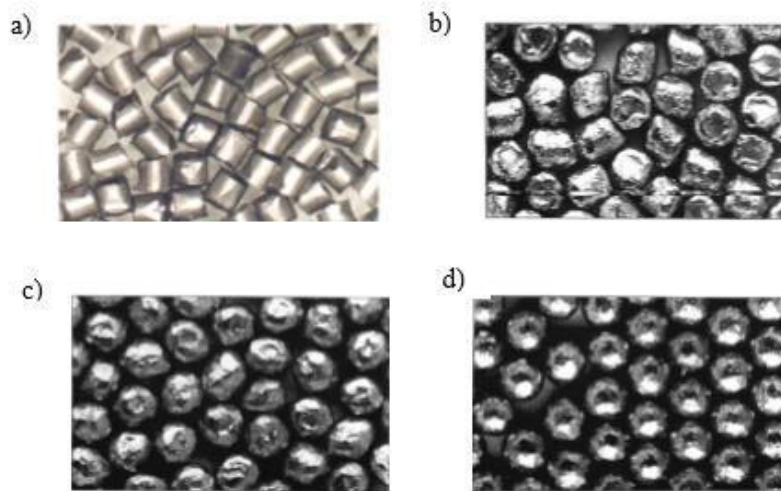
Przykładowe metody dynamiczne zostały przedstawione na rys.1.2



Rys. 2.4.1. Schemat odśrodkowego kulkowania dynamicznego: 1 – przedmiot, 2 – głowica nagnia-tająca, 3 – wkładka amortyzująca, 4 – kulka nagniatająca. [PDF 2]

Nagniatanie odśrodkowe uruchamia działanie sił odśrodkowych wirujących elementów nagniatających, które są swobodnie umiejscowione w obrotowych narzędziach. Do metod dynamicznych można zaliczyć kulkowanie wibracyjne. Rozproszone kule- każda w innym kierunku- uderzają równocześnie o powierzchnię obrabianego przedmiotu. Wibracyjny ruch kul powstaje w pojemnikach układów obróbkowych, a dzięki temu generowane są uderzenia.

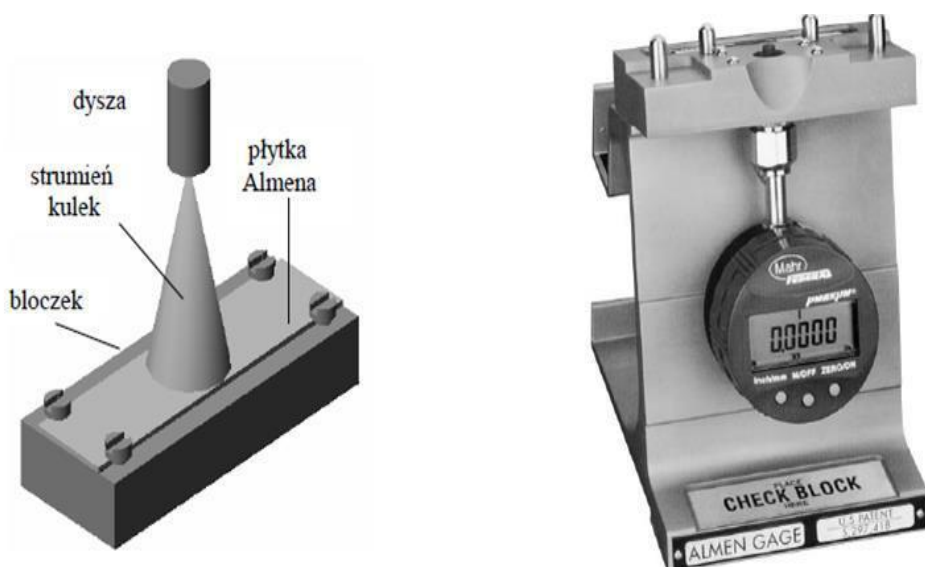
Ważnym wymogiem, aby narzędzie wykorzystywane podczas obróbki spełniało swoją rolę jest fakt, że musi być wykonane z konkretnego, dobranego materiału. Śrut ceramiczny, plastikowy i szklany znajdują zastosowanie w oczyszczaniu i wygładzaniu powierzchni. Jest także odpowiednie w walce z korozją. Śrut stalowy stosuje się do umocnienia powierzchni obrabianej elementów stalowych. Posiada większy stopień umocnienia niż śrut szklany.



Rys. 2.4.2 Niektóre rodzaje śrutu a) cięty z drutu, b) cięty z drutu bez ostrych krawędzi, c) o kształcie owalnym, d) kulisty [1]

2.5. Proces pneumokulkowania

Proces pneumokulkowania wymaga stałej kontroli. Największa uwaga zwracana jest na śrut, czyli narzędzie, którego zadaniem jest obrabianie części maszyn. Na jakość procesu wpływa stopień pokrycia powierzchni śladami kulek oraz intensywność kulkowania. Na kontrolę jakości śrutu składają następujące czynności: kontrola granulometryczna, rodzaju materiału, twardości, kontrolna obecność zanieczyszczeń. Kontrola opierająca się na sprawdzeniu odpowiednich rozmiarów śrutu polega na przesianiu minimum 100 g śrutu przez sito o określonej wielkości oczka. Podczas procesu przesiewania ilość śrutu, która przejdzie przez sito nie powinna przekroczyć 10% objętości próby. Pozostałe na sitku kulki przechodzą kontrolę z pozytywnym wynikiem. Kolejnym etapem jest kontrola intensywności kulkowania. Przebiega z wykorzystaniem testowej płytki Almena'a.



Rys.2.5.1. Schemat przebiegu procesu pneumokulkowania na przykładzie płytki Almena (po lewej) oraz aparat do pomiaru intensywności kulkowania (po prawej) [2]

Dzięki powstaniu w płytce dużych naprężeń ściskających podczas obróbki, płytka zostaje wygięta. Wartość tego ugięcia mierzy się korzystając ze specjalnych przyrządów.

Kontrola intensywności kulkowania z wykorzystaniem płytek Almena zalicza się do kontroli pośrednich. Przebiega w łatwy sposób. Sporządza się makietę, która ma za zadanie odwzorować obrabiany materiał. W wybranych miejscach umieszcza się płytki. W następnym kroku wykonuje się próby. Parametry są odpowiednio dobierane na podstawie krzywej nasycenia. Kontrolowanie stopnia pokrycia powierzchni obrabianego przedmiotu jest bardzo ważne, ma bowiem istotny wpływ na ostateczne własności mechaniczne obrabianego przedmiotu. Jej wynik przedstawia się w procentach. Stopień pokrycia jest różny i zależy od wykorzystanych części obrabianych. Stopień pokrycia rośnie wraz ze wzrostem ciężkości warunków pracy. Wpływają na niego takie czynniki jak całkowity czas trwania procesu obróbki. Na efekty obróbki decydujący wpływ ma twardość. Jest tak dlatego, iż twarde materiały trudniej pokrywają się śladami. Kulkowaniu może zostać poddany dowolny element. Jego wielkość i kształt nie są w tym temacie istotne.

2.6. Dobór materiałów

Można powiedzieć, że zastosowanie silnika krokowego jest niewątpliwie najważniejszym elementem w prototypowym urządzeniu do pneumokulkowania. Zastosowano silnik krokowy 57STH76-3004AF, który zasilany jest impulsowym prądem elektrycznym. Wirnik wykonuje określony ruch o określonym kącie, ze względu na wykorzystanie tego prądu. Parametry silnika to:

- Moment trzymający 1.89 Nm
- Prąd 3.0 A
- Napięcie 2.7 V
- Ilość kroków/obrót 200 / 1.8 °
- Indukcyjność 3.4 mH
- Długość osi 19 mm
- Wymiary 56.4 x 56.4 x 76 mm
- Ilość przewodów 4
- Rezystancja 0,9 Ohm

Do sterowania silnikiem wykorzystano sterownik do silników krokowych oparty o układ TB6560 wraz z radiatorem zasilany od 10 do 24 v. Wymiary sterownika to 75 x 50 x 35 mm, a wydajność prądowa mieści się w przedziale 3 - 3,5A. W sterowniku istnieje możliwość ustawiania kroku na pełny, 1/2, 1/8, 1/16.

Do zasilania układu wykorzystano zasilacz MODECOM 400W. Posiada on wymiary 150 mm x 140 mm x 86 mm. Zasilacz współpracuje z urządzeniami pracującymi w napięciu 12 V, zatem jest kompatybilny z naszym układem sterowania. Posiada on także zabezpieczenie prądowe OPP/OLP.

Następnym elementem, który wykorzystano była Krańcówka MSW-12-29mm. Krańcówkę trzeba zamontować na uchwycie korpusu, w celu zaznaczenia zakresu pracy ruchu posuwisto zwrotnego. Krańcówka odznacza się długą żywotnością- 100000 cykli. Zakres temperatury pracy przedstawia się następująco: -25C - +80C. Dzięki temu urządzenie może pracować swobodnie.

Do przenoszenia obrotów wykorzystano łożysko: kulkowe zwykłe 628 2 Z, o średnicy wewnętrznej 8 mm, a zewnętrznej 24 mm. Wysokość i szerokość łożyska mierzy 8 mm. Kul-kowe wahlwe o numerze katalogowym 1203 wykonane zgodnie z normą PN-79/M-86130. Średnica zewnętrzna 40 mm i wewnętrzna 17 mm, szerokość zaś wynosi 12 mm. Dzięki tak dobranemu łożysku, wałek może pracować swobodnie.

Do zabezpieczenia łożyska wahlwego skorzystano z: pierścienia osadczgo we-wnętrznego w40 DIN 472 / PN 85111, który umożliwił zabezpieczenie przed zmianą położenia osiowego elementów maszyn. Pierścień sporządzony jest ze stali o średnicy nominalnej 40 mm. Simering o wymiarach 17 x 40 x 7 zgodny z normą PN-66/M-73100 i odpowiadający za uszczelnianie komponentów maszyn pracujących ze środkami smarującymi takimi jak smar, olej itp. Zrobiony został z kauczuku akrylonitrylo-butadienowego.

Na utworzenie mechanizmu posuwisto zwrotnego użyto:

Śrubę trapezową nierdzewna PN-ISO 965-1 o średnicy 12 mm i skoku 3 mm. Ma ona gwint trapezowy metryczny umożliwiający przenoszenie dużych obciążeń. Rdzeń śruby utwozony jest na średnicę 8 mm, a długość kupionego produktu wynosi 1000 mm.

Pręt ze stali łożyskowej PN: ŁH15 na wykonanie zabieraka i wałka, jest to typ stali wy-sokiej jakości, której charakterystyczną cechą jest połysk. Nakazuje się stosowanie materiału w miejscach chronionych przed warunkami, w których materiał łatwo koroduje.

Pręt z brązu Fi 25 mm PN B101 na wykonanie tulei charakteryzuje się właściwościami samosmarującymi, co umożliwia płynny ruch urządzenia.

Obręcz, uchwyt mocujący mechanizm oraz płaskowniki do mocowania szyb wykonano ze stali niestopowej jakościowej C45 PN-EN 10088:2005. Kupiono dwa pręty walcowane, jeden o średnicy 16 mm, a drugi o średnicy 58 mm. Do mocowania szyb użyto płaskownik o szerokości 15 mm i długości 1100 mm. Właściwości tego materiału to łatwość obróbki i trudność spawalna.

Szyby, które pozwalają na widoczność w środku urządzenia wykonano z poliwęglanu litego PN-EN ISO 11963:2013-05 to materiał mający bardzo dużą odporność na uderzenia i wysoką przezroczystość. Jest to świetny zamiennik szkła, materiał ten jest prawie niezniszczalny, a jego główny atut to bardzo mała ścieralność. Materiał jest bardzo odporny na uderzenia. Wymiary wykorzystanej płyty to 310 x 180 mm.

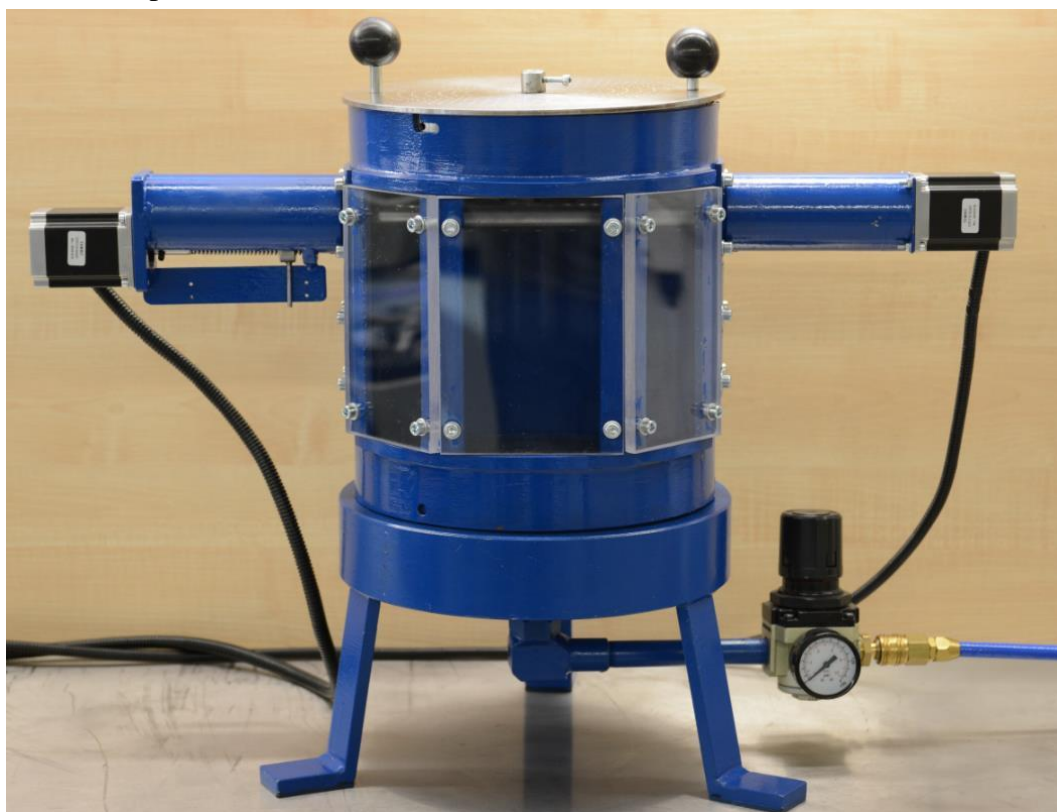
Do przymocowania elementów odpowiadających za wysokość wałka wykorzystano 16 śrub imbusowych ocynkowanych M6 o długości 12 mm. Do przymocowania szyb z poliwęglanu użyto 12 śrub imbusowych ocynkowanych M6 o długości 16mm. Montaż silnika wykonano za pomocą 8 sztuk śrub imbusowych ocynkowanych M5 o długości 10 mm. Norma śruby to PN-EN ISO 4762.

Do śrub M6 dołączono podkładki ocynkowane DIN 125 PN 82005 o wymiarach: średnica wewnętrzna 6,4 mm i zewnętrzna 12 mm oraz grubości 1,6 mm. Dla śrub M5 zakupiono pod-kładki o średnicy wewnętrznej 5,3 mm i zewnętrznej 10 mm oraz grubości 1 mm.

Zdecydowano zakupić 4 sztuki nakrętek sześciokątnych ocynkowanych DIN 934 pod gwint M5. Nakrętki wyprodukowano zgodnie z PN 82144 a wymiary to 4 mm grubości i 8 mm średnica zewnętrzna.

3. Wyniki

Na początku sporządzone urządzenie do pneumokulkowania miało służyć do utwardzania metalowych płytek, o wymiarach maksymalnych 100 mm długości i kilkumilimetrowej szerokości i grubości. Proces odbywający się w urządzeniu opiera się na uderzaniu metalowymi kulkami w powierzchnię płytki. Płytką tą jest przymocowana do wałka, który z kolei umiejscowiony jest w środku korpusu. Sprężone powietrze wprawia kulki w ruch. Powietrze doprowadzane jest do podstawy kulownicy, gdzie zamocowana jest dysza, którą można wymieniać. Urządzenie nie było dostatecznie dobre, ponieważ tylko punktowo ulepszało powierzchnię materiału. Korpus urządzenia był w całości zrobiony ze stali, przez co obserwacja procesu była niemożliwa. Aby to zmienić, w korpusie urządzenia zaplanowano sporządzenie otworów, umożliwiających zamontowanie szyb z poliwęglanu, o wysokim współczynniku przepuszczalności światła. Podczas opracowywania założeń postanowiono, że urządzenie będzie ulepszone dostępnymi i w miarę możliwości tanimi częściami. Najważniejszą wadą maszyny była obróbka punktowa, dlatego powzięto założenie montażu i wykonania mechanizmu umożliwiającego wprowadzenie płytki w ruch posuwisto – zwrotny. W tym procesie postanowiono skorzystać z takich elementów jak uchwyt, w którym należy zamocować cały mechanizm, a w nim umiejscowić śrubę trapezową pociągową, zabierak, tuleję samosmarowną, a także łożysko. Do napędu mechanizmu niezbędny jest silnik krokowy razem ze sterownikiem. W następnym etapie postanowiono zamontować mechanizm regulujący wysokość wałka w urządzeniu. Założono zrobienie otworu, który dzięki zamianie blaszek umożliwi ustawienie wałka w trzech pozycjach. Początkowo sporządzony wałek w urządzeniu był zbyt krótki, ponieważ blokował przyłączenie mechanizmu do nadawania ruchu posuwisto zwrotnego, a otwory do zamocowania próbki nie pozwalały na zamontowanie próbki almena. Założono więc zrobienie nowego wałka, który będzie miał wymiary: na długości- 100 mm, 17 mm średnicy, następnie na długości- 205 mm, średnice 28 mm, na pozostałej długości- 105 mm, średnice 17 mm. Postanowiono sfrezować wałek na długości 205 mm w trzech płaszczyznach, które umożliwią łatwy montaż próbki. Przyjęto wycięcie siedmiu otworów oddalonych od siebie o 27,5 mm. Po wykonaniu wymienionych czynności założono ulepszenie wyglądu urządzenia poprzez zmniejszenie nierówności oraz pomalowanie.



Rys.3.1. Gotowe, złożone prototypowe urządzenie do pneumokulkowania

Proces pneumokulkowania umożliwia zmianę właściwości warstw wierzchnich materiałów. Opiera się on na:

1. Ściągnięciu pokrywy i zamocowaniu wybranego elementu metalowego o wybranej powierzchni: do wyboru płaska lub walcowa, o długości nie przekraczającej 159 mm do wałka znajdującego się w korpusie urządzenia. Przymocujemy go wykorzystując śrubki M6, wkręcając je w odpowiednie otwory w wałku. Cały proces opiera się na uderzaniu w zamocowany element przez stalowe kulki.
2. W następnym kroku odbywa się zamknięcie pokrywy górnej. Robi się to po to, aby zabezpieczyć urządzenie przed wypadnięciem kulek. W urządzenie istnieje możliwość zmiany wysokości wałka. Proces zmiany wysokości opiera się na zamianie zaślepek zamocowanych po przeciwległych stronach korpusu.
3. W kolejnym kroku włączany jest kompresor, który doprowadza sprężone powietrze do dyszy znajdującej się w dolnej części urządzenia. Przepływ powietrza sterowany jest za pomocą elektrozaworu. Umożliwia to wprawienie kulek w ruch.
4. W końcowym etapie uruchomiany jest program, który kieruje procesem. Umożliwia on dobór parametrów procesu pneumokulkowania, na przykład: czas trwania operacji, szybkość ruchu posuwisto zwrotnego oraz sterowanie prędkością obrotową wałka.
5. Po skończeniu procesu, należy odłączyć urządzenie od prądu, co zapobiega porażeniu prądem elektryczny.

Literatura

[1] Żarski T.: *Wpływ kulkowania na wybrane właściwości elementów konstrukcyjnych ze stali GA8*, POLITECHNIKA RZESZOWSKA im. Ignacego Łukasiewicza.

[2] Przybylski W.: *Obróbka nagniataniem technologia i oprzyrządowanie*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1979

[3] Czarnecki H., Targowski M. *Symulacja procesu nagniatania dynamicznego koła zębatego*. Mechanik Miesięcznik Naukowo Techniczny, nr 7/2012.

[4] Linek M.: *Projekt i wykonanie układu do nadawania ruchu posuwowego w prototypowym urządzeniu do pneumokulkowania*. Uniwersytet Rzeszowski.

Źródła internetowe

[1] http://allegro.pl/1-89-nm-3-a-57sth76-3004af-silnik-krokowy-i6950794164.html?reco_id=7a6dfbfa-a3ac-11e7-9fdd-ecf4bbd61b40 (z dnia 5.07.2018)

[2] <http://www.stalnierzewna.com/bazawiedzy/nagniatanie/> (z dnia 5.07.2018)

Projektowanie - komputerowe wspomaganie w cyfrowej wersji

Jarosław Mikoś⁽¹⁾, Dominik Potyrała⁽¹⁾, Ryszard Ruchaj⁽¹⁾, Karolina Leszczak⁽¹⁾

¹Koło Naukowe Mechatron – SEP, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski

Streszczenie:

W tym artykule zostaną przedstawione zagadnienia związane z projektowaniem. Będzie krótko na temat przejścia z tradycyjnego projektowania przez inżynierów na to wspomaganie komputerowo. Zostaną opisane wszystkie rodzaje oprogramowania do projektowania, jak one działają i czym się różnią od siebie. Przedstawimy wiodące firmy i ich oprogramowania, które są najpopularniejsze i najchętniej wybierane przez użytkowników.

Słowa kluczowe: projektowanie wspomaganie komputerowo, rynek, historia rozwoju

Design - computer support in the digital version

Abstract:

This article will cover issues related to design. It will be brief about the transition from a traditional design by engineers to computer-aided ones. All types of design software will be described, how they work and what is their differences from each other. We will introduce leading companies and their software, which are the most popular and most frequently chosen by users.

Keywords: computer-aided design, market, development history

Wstęp:

Projektowanie - jest to stworzenie dokumentu, który będzie zawierał rysunki konceptu, obliczenia, wymiary, metodę i materiały potrzebne do wykonania konkretnego obiektu.

Każdy projekt miał swój początek w głowie twórcy, a sposobem na wizualizację było przeniesienie idei na kartę papieru, gdzie twórcy było łatwiej dostrzec niedoskonałości swojej idei lub przedstawienie go szerszemu gronu. Przez wiele lat właśnie tylko papier był jednym fizycznym nośnikiem naszych pomysłów. Zaczęło się to zmieniać wraz z rozwojem osobistych komputerów, które miało miejsce w latach 80, za sprawą firm takich jak Microsoft i Apple. Jako że człowiek dąży do ułatwiania sobie życia poprzez wykorzystywanie nowych technologii, grupa zaprzyjaźnionych informatyków i inżynierów postanowiła wdrożyć w życie swój pomysł stworzenia programu do komputerowego wspomaganie rysowania. Z tej idei stworzyło się kilka tego typu programów, lecz tylko MicroCAD wyróżniał się na tle pozostałych i właśnie ten program uważa się za ojca AutoCADa.

Rozwinięcie:

1. Wyróżniamy głównie trzy systemy inżynierskiego wspomaganie:

- CAD (Computer Aided Design) jest to projektowanie wspomaganie komputerowo.

Swoje zastosowanie ma zarówno w : inżynierii elektrycznej, mechanicznej jak i budowlanej. Charakterystyczne dla CAD jest tworzenie cyfrowych modeli geometrycznych celem stworzenia zapisu konstrukcji wyrobu. konkretnego obiektu technicznego lub całego układu. Dokumentację konstrukcyjną CAD tworzą cechy geometryczne, dynamiczne, materiałowe.

W możliwości CADa zaliczamy:

- Komputerowe odwzorowanie konstrukcji, czyli modelowanie cyfrowe, tworzenie dokumentacji rysunku modelu cyfrowego, kreślenie,
- Tworzenie i korzystanie z baz danych,
- Symulowanie, wizualizowanie, animowanie modeli,
- Inżynieria odwrotna (ang. Reverse Engineering, RE) – skanowanie kształtów oraz struktury wewnętrznej obiektów oraz obróbka uzyskanych w ten sposób modeli cyfrowych,
- Sieci neuronowe (algorytmy sztucznej inteligencji, w tym m.in. systemy ekspertowe – systemy doradcze wspomagające podejmowanie decyzji),
- Różnego rodzaju analizy konstrukcji i procesów,
- Stworzone rysunków części do wykonania na obrabiarkach CNC,
- Tworzenie instrukcji montażu,

- CAM (Computer Aided Manufacturing) komputerowe wspomaganie wytwarzania. Jest to system łączący fazę projektowania i wytwarzania. System CAM na obiektach 3D lub 2D tworzy ścieżki narzędzia, czyli ruch narzędzia względem obrabianego obiektu. Dzięki systemowi CAM czas programowania maszyn CNC jest krótszy, eliminujemy również ryzyko kolizji, jak i obniżamy koszty. Różnicą między CAM a CAD jest to, że w systemie wytwarzania został zastąpiony rozbudowany moduł modelowania modułem procesów. Bazując na opisie tego procesu, możemy stwierdzić że do pełnej pracy systemu CAM potrzebujemy trzech rzeczy:

- Oprogramowania, które mówi maszynie jak stworzyć produkt poprzez generowanie ścieżki narzędzia.
- Aparatury, która będzie potrafiła zamieć surowy materiał w gotowy produkt,
- Przetwarzanie końcowe, które zamienia ścieżkę narzędzia wygenerowaną przez oprogramowanie na język, który maszyna zrozumie.

Oprogramowanie komputerowego wspomaganie wytwarzania przygotowuje model dla maszyny poprzez kilka działań, do których zaliczamy:

- Sprawdzenie czy model ma jakieś geometryczne błędy, który wpłynie na proces wytwarzania,
- Stworzenie ścieżki narzędzia dla modelu, który składa się z koordynatów, po których maszyna będzie poruszać podczas procesu,
- Ustawienie wszystkich potrzebnych ustawień tj. prędkość cięcia, napięcie, wysokość cięcia/przewiercenia, itp,

W końcu, gdy model jest przygotowany do rozpoczęcia obróbki przez maszynę, wszystkie informacje zostają do niej wysłane w postaci kodu, który nazywamy G-code.

Przykładowy wygląd G-code'u: G01 X1 Y1 F20 T01 S500

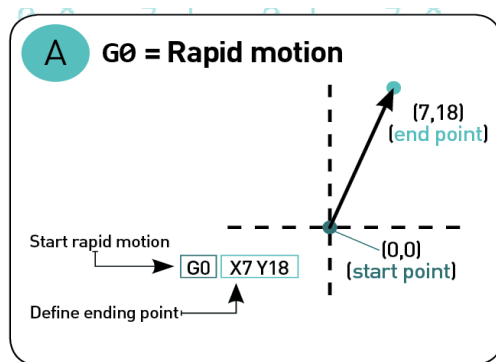
Możemy go rozszyfrować w ten sposób:

G01 oznacza ruch liniowy oparty na koordynatach X1 Y1

F20 ustawia prędkość posuwu, czyli odległość, jaką maszyna przebywa podczas jednego obrotu wrzeciona.

T01 mówi maszynie “Użyj narzędzia 1”,

S500 ustawia prędkość wrzeciona,



Rys. 1 przedstawiający działanie komendy G0

-CAE (Computer Aided Engineering) komputerowe wspomaganie prac inżynierskich.

Jest to oprogramowanie wspomagające w obliczeniach wytrzymałości MES, dynamice płynów, kinematyce, analizy naprężeń analiz elementów skończonych itp. Dzięki temu oprogramowaniu jesteśmy w stanie przeprowadzić testy i symulacje fizycznych właściwości produktu bez konieczności stosowania fizycznych prototypów. Wykorzystując zalety inżynierskich symulacji jesteśmy w stanie zmniejszyć koszty i całkowity czas procesu projektowania. Wyniki symulacji są oceniane i sprawdzane z oczekiwanymi wynikami, które ma spełnić dany element, jeśli ich nie spełnia wdraża się poprawki względem projektu i powtarza się cały proces symulacji, aż do osiągnięcia wymaganych właściwości produktu. Proces ten wspiera szybszy rozwój projektu, ponieważ nie ma potrzeby budowania fizycznych prototypów, których budowa może zająć kilka dni lub nawet tygodni, gdzie czas trwania symulacji potrwa najwyżej kilka godzin. Branże, które wykorzystują komputerowe wspomaganie prac inżynierskich to między innymi: przemysł motoryzacyjny, lotniczy, inżynierski, elektroniczny, energetyczny. Produkty, które finalnie mają być stworzone i chcemy przeprowadzić na nich symulację mogą być bardzo małe, lub nawet bardzo duże i złożone konstrukcyjnie, takie jak mosty, samochody wyścigowe i elektrownie.

Jak widać, zakres zastosowania tego typu oprogramowania jest nieograniczony i bardzo pomocny w wielu branżach i przy wielu różnych projektach potrafi produkować lepiej i szybciej.

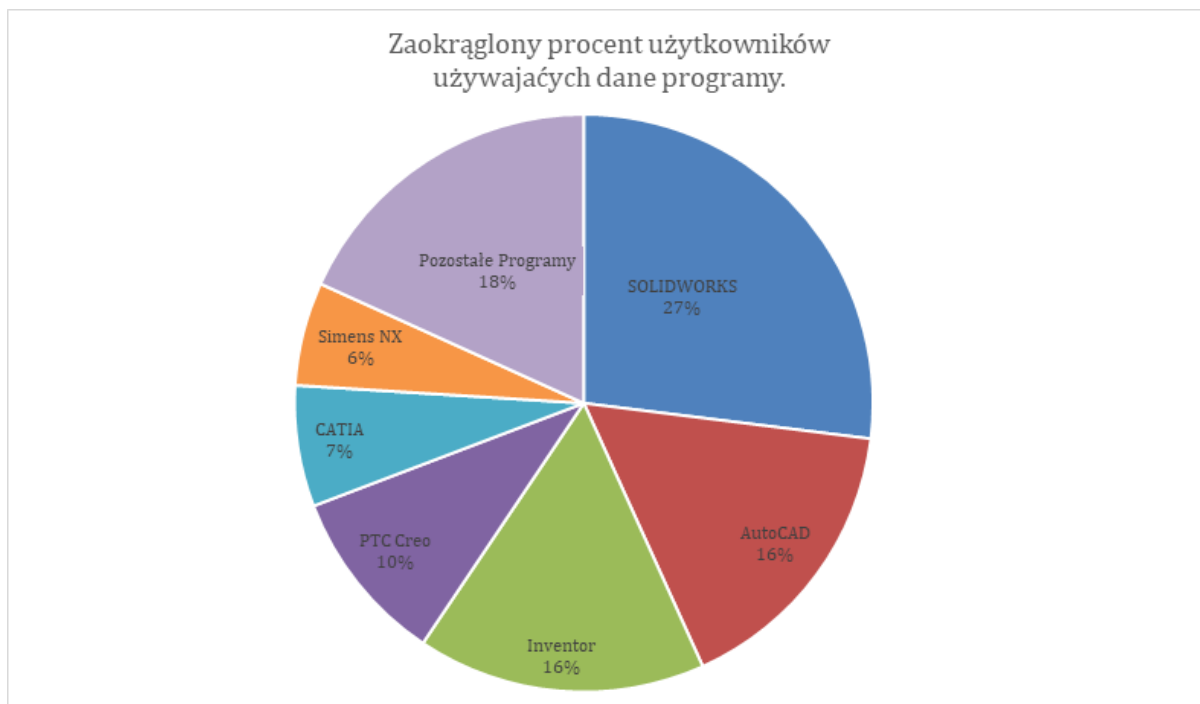
2. Wiodące programy do projektowania inżynierskiego na rynku.

Na rynku mamy naprawdę ogromny wybór programów za pomocą, których możemy projektować. Większość programów jest płatna i niestety nie są to małe sumy, które musimy zapłacić za dostęp do takowych programów, lecz jako uczeń czy student w niektórych programach możemy się ubiegać o darmową licencję na czas naszych studiów czy szkoły. Oczywiście na rynku jest też sporo darmowych programów do projektowania, które możemy użytkować całkowicie bez ograniczeń na przykład takie jak: IronCAD Draft, ZW3D, LibereCAD, DraftSight, FreeCAD. My zajmiemy się opisem tych najbardziej popularnych i użytecznych, ale co za tym idzie również płatnych, lecz z licencją dla studentów. Witryna reddit.com na bieżąco prowadzi zestawienie najbardziej popularnych programów projektowych:

Nazwa Programu	Procent grupy użytkowników, który go używa
SOLIDWORKS	26.90%
AutoCAD	15.64%
Inventor	15.50%
PTC Creo	9.43%
CATIA	6.51%
Simens NX	5.56%
Civil3D	3.00%
Microstation	2.56%
Revit	2.41%
Rhino	2.05%
SolidEdge	1.39%
Fusion 360	1.24%
Sketchup	1.17%
Alias	0.88%
Vectorworks	0.80%
OpenSCAD	0.80%

FreeCAD	0.58%
DraftSight	0.44%
Spaceclaim	0.44%
Tekla	0.37%

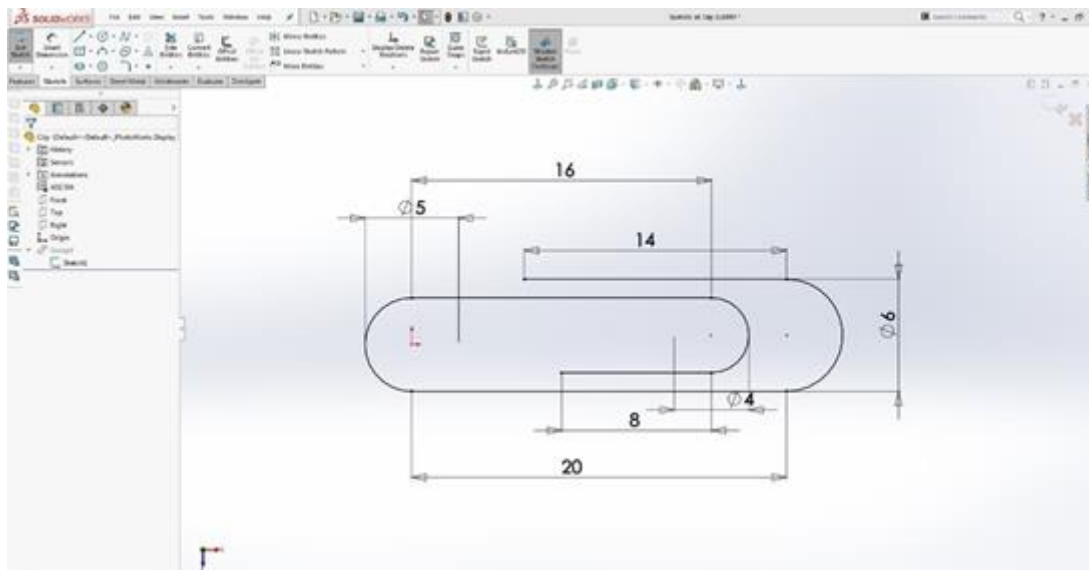
Tab. 1 przedstawiająca ilość użytkowników danych programów źródło reddit.com



Rys. 2. Wykres przedstawiający procentowo ilość użytkowników danych programów

SOLIDWORKS jest najbardziej popularnym programem projektowym, używa go ponad 3 200 000 użytkowników na całym świecie, z czego aż 2 500 000 to studenci oraz uczniowie, którzy mają dostęp do SOLIDWORKSA w ponad 28 000 szkołach i uniwersytetach. Jako iż jest najbardziej znanym programem na świecie to gwarantuje nam łatwiejszą międzynarodową współpracę, ponieważ program ten dostępny jest aż w 80 krajach.

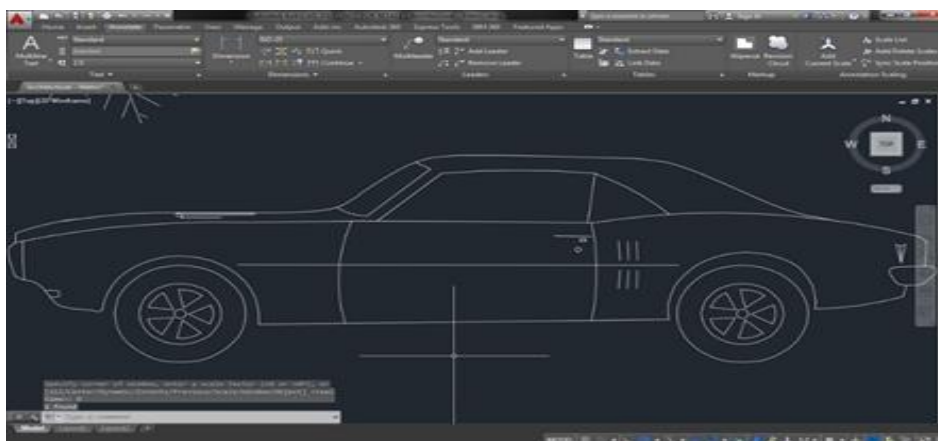
SOLIDWORKS pozwala nam parametrycznie modelować w trójwymiarze (CAD 3D). Możemy w nim zaprojektować konstrukcje spawane, wszelkie formy, modele powierzchniowe, modele bryłowe a także arkusze blach.



Rys. 3. Screenshot z programu SOLIDWORKS przedstawiający szkic agrafki

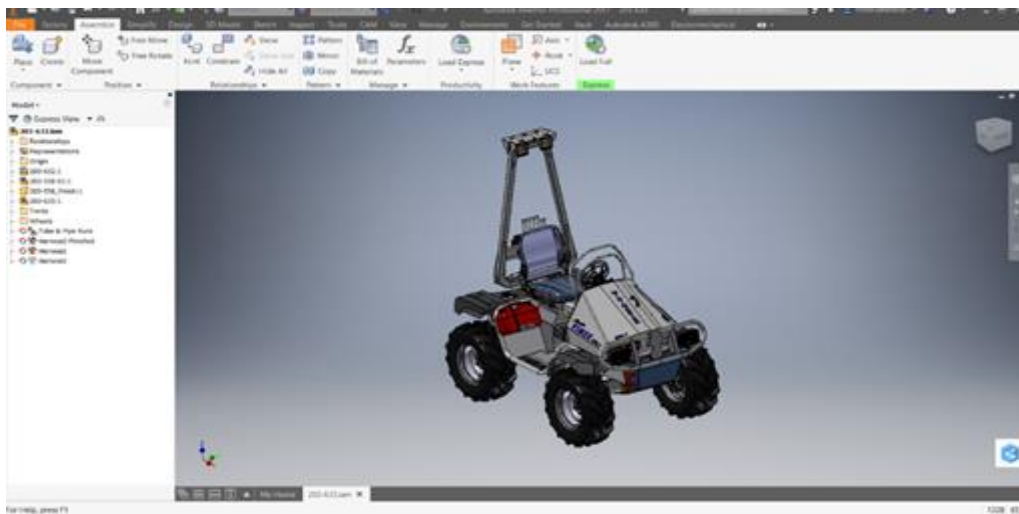
Oprogramowanie SOLIDWORKS to idealny program do wizualizacji swoich projektów, dzięki czemu jesteśmy w stanie zobaczyć jak będzie działał nasz element jeszcze przed jego wyprodukowaniem. Program ten również umożliwi złożenie wszystkich elementów w jeden projekt oraz przygotowanie dokumentacji produkcyjnej.

AutoCAD to komercyjne oprogramowanie wspomagające projektowanie CAD i program kreślarski. Opracowany i wprowadzony na rynek przez Autodesk, AutoCAD został wydany po raz pierwszy w grudniu 1982 roku, jako aplikacja komputerowa działająca na mikrokomputerach z wewnętrznymi kontrolerami graficznymi. Przed wprowadzeniem programu AutoCAD większość komercyjnych programów CAD działała na komputerach typu mainframe lub minikomputerach, przy czym każdy operator CAD (użytkownik) pracował na oddzielnym terminalu graficznym. Od 2010 roku AutoCAD został wydany, jako aplikacja mobilna i internetowa, sprzedawana, jako AutoCAD 360. Program ten jest używany w wielu branżach, przez architektów, kierowników projektów, inżynierów, grafików, urbanistów i wielu innych profesjonalistów. Cena za roczną licencję AutoCAD to kwota między 1700 a 2100 złotych, w zależności, jaki pakiet wybierzemy.



Rys. 4. Screenshot z programu AutoCad przedstawiający szkic samochodu

Autodesk Inventor to oprogramowanie do projektowania mechanicznych brył 3D opracowane przez Autodesk do tworzenia cyfrowych prototypów. Służy do projektowania mechanicznego, komunikacji projektowej, tworzenia narzędzi i symulacji produktu. To oprogramowanie umożliwia użytkownikom tworzenie dokładnych modeli 3D, aby pomóc w projektowaniu, wizualizacji i symulowaniu produktów przed ich zbudowaniem. To oprogramowanie zawiera zintegrowaną symulację ruchu i analizę naprężeń zespołów, dzięki której użytkownicy otrzymują opcje wprowadzania obciążeń napędowych, elementów dynamicznych, obciążeń tarcia i dalszej symulacji dynamicznej, aby sprawdzić, jak produkt będzie działał w rzeczywistym świecie. Te narzędzia symulacyjne umożliwiają użytkownikom projektowanie samochodów lub części samochodowych na przykład w celu zoptymalizowania siły i masy produktu, identyfikacji obszarów o dużym obciążeniu, identyfikacji i ograniczenia niepożądanych wibracji, a nawet wielkości silników w celu zmniejszenia całkowitego zużycia energii. Cena za miesięczną licencję Inventor professional to kwota około 1500 złotych, licencja na rok to wydatek rzędu 11 200 złotych.



Rys. 5. Screenshot z programu Inventor przedstawiający model quada

3. Sposoby uczenia się obsługi tych programów.
4. Jakie możliwości daje nam znajomość tych programów
5. Jak stoi na rynku pracy ten zawód (zarobki itp.)

Wnioski:

Wszystko z biegiem czasu rozwija się, często też niektóre procesy analogiczne zostają zastąpione procesami cyfrowymi. Tak właśnie stało się z projektowaniem, wersja cyfrowa jest efektywniejsza, oszczędza czas pracy przy projektowaniu inżynierom. Możemy przeprowadzić symulacje fizyczne bez tworzenia prototypów, których tworzenie mogłoby zabrać nawet do paru tygodni pracy w zależności od skomplikowania danej konstrukcji. Jako że na naturalną sprawą jest konkurencja, dlatego na rynku programów sprawa wygląda podobnie. Istnieje wiele oprogramowań, pomiędzy, których może zwykły użytkownik wybierać ten, który najbardziej odpowiada jego preferencjom. Mimo, że firm tworzących swoje programy jest wiele, to każdy z tych programów ma swój własny styl. Firmy by zachęcić użytkowników do korzystania właśnie z ich programów dają darmową licencję studentom by Ci mogli się ich nauczyć, co w przyszłości może się przełożyć, że właśnie wybiorą ten program i wykupią pełną licencję.

Literatura:

[1] https://pl.wikipedia.org/wiki/Projektowanie_wspomagane_komputerowo

[2] <http://cadportal.pl/historia-projektowania-cad-na-przestrzeni-lat/>

[3] Przegląd systemów wspomagania procesów konstruowania, i wytwarzania Dymitry Capanidis, Piotr Kowalewski

[4] <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-beginners/>

[5] <https://makezine.com/2016/10/24/get-to-know-your-cnc-how-to-read-g-code/>

Samochody elektryczne – elektryzująca przyszłość

Karolina Leszczak⁽¹⁾, Ryszard Ruchaj⁽²⁾, Dominik Potyrała⁽²⁾, Jarosław Mikoś⁽²⁾

¹Koło Naukowe Mechatron – SEP, Wydział Pedagogiczny, Uniwersytet Rzeszowski

²Koło Naukowe Mechatron – SEP, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski

Streszczenie:

W artykule przedstawiono zagadnienia elektrycznych pojazdów. Jak są zbudowane i czy ich budowa podzespołów jest różna od konkurencyjnych pojazdów spalinowych czy ich wygląd zewnętrzny jest inny. Jakie korzyści płyną z używania elektrycznych samochodów i czy aby na pewno wpływają na poprawę środowiska. Zostaną przedstawione wiodące marki produkujące tego typu pojazdy. Za ile możemy taki samochód kupić i czy jest to opłacalne na daną chwilę.

Słowa kluczowe: samochody elektryczne, budowa, działanie, wpływ na środowisko, ceny rynkowe

Electric cars - an electrifying future

Abstract:

The article presents the issues of electric vehicles. How they are built and whether their construction of components is different from competing for internal combustion vehicles or their external appearance is different. What are the benefits of using electric cars and whether they certainly affect the improvement of the environment? We will show you leading brands that produce such vehicles. For how much we can buy such a car and whether it is profitable at a given moment.

Keywords: electric cars, building, mechanism, impact on the environment, market prices

1. Wstęp:

Kto by pomyślał, że jeszcze kilkanaście lat temu samochody elektryczne staną się tak bardzo dostępne, popularne i ich produkcja ruszy na tak ogromną skalę. Pierwsze samochody elektryczne pojawiły się końcem XIX wieku w angielskich miastach i rozwijały prędkość 14 km/h, a ich zasięg nie przekraczał 48 km. W tamtych czasach wykorzystywano je, jako taksówki w europejskich stolicach. Rozwój technologiczny w tamtym okresie nie był na tyle rozwinięty, co uniemożliwiało konkurowanie z innymi pojazdami zasilanymi silnikami spalinowymi. Diametralnie sytuacja zmieniła się początkiem XXI wieku, gdzie wzrost stężenia spalin w powietrzu zmusił inżynierów do rozwiązania tego problem. Dzięki rozwojowi technologii zdołali ulepszyć technikę tworzenia samochodów elektrycznych, by te były w stanie konkurować z samochodami spalinowymi, czyli mieć takie same osiągi prędkości, zasięgu na jednym baku/ładowaniu i przy okazji będą korzystniejsze dla naszego środowiska. W obecnych czasach za pioniera rozwoju rynku samochodów elektrycznych uważa się Elona Reeve Musk'a - południowoafrykańskiego przedsiębiorcę i filantropa, założyciela oraz dyrektora generalnego, Tesla Inc. firmy, która przyczyniła się do popularyzacji oraz rozwoju samochodów elektrycznych w Polsce, Europie i na całym świecie. To dzięki presji, którą wywiera firma Tesla ulepszając i wprowadzając innowacje na rynek owych pojazdów inne firmy, widząc rosnącą popularność kupna samochodów elektrycznych względem spalinowych w ostatnich latach, również usiłują tworzyć swoje własne produkty w gamie aut elektrycznych. Takimi producentami są BMW, Nissan, Renault, Smart, Hyundai itd.

2. Samochody wpływają na ekologię

Częstym aspektem poruszonym w temacie samochodów elektrycznych jest ekologia i szkody, które są tworzone przez eksploatację samochodów spalinowych i przemysł wydobywczy surowców, które zasilają standardowe pojazdy. Ministerstwo Energii poinformowało na jednym ze swoich portali społecznościowych, że przyjęta przez Radę Ministrów ustawa może wejść w życie jeszcze w tym roku, ustawa o elektromobilności zawiera szereg udogodnień oraz zachęt dla codziennych użytkowników aut elektrycznych. W taki sposób rząd chce walczyć o czyste powietrze. Udogodnienia, które państwo chce zaproponować nam, jako użytkownikom to między innymi ulgi na nowe samochody z napędem elektrycznym, możliwość korzystania z buspasów, darmowe parkowanie w płatnych strefach etc.

Bardzo duża presja wywiera na nas Unia Europejska, która naciska na wdrożenie takich regulacji dotyczących ekomobilności. Presja również odczuwają producenci samochodów na prąd by przyspieszyć produkcję i prace nad nowymi modelami.

Samochody elektryczne mogą mieć wiele korzyści dla środowiska w stosunku do konwencjonalnych silników spalinowych takich jak:

- Poprawa jakości powietrza, to może wydawać się oczywiste, ale samochody elektryczne nie wydzielają szkodliwych emisji z rury wydechowej do powietrza którym oddychamy więc znacznie redukują szkodliwe zanieczyszczenia takie jak:
 - cząstki stałe,
 - lotne organiczne,
 - węglowodory,
 - tlenek węgla,
 - ozon, ołów i różne tlenki azotu.

Pomaga to utrzymać powietrze w dobrym stanie, szczególnie w obszarach miejskich i na drogach, gdzie, jakość powietrza może być gorsza. Czyste powietrze jest jednym z podstawowych wymogów zdrowego środowiska, w którym żyjemy, pracujemy i wychowujemy nasze dzieci. Według badań przeprowadzonych przez Public Health England, jakość powietrza jest największym zagrożeniem dla zdrowia publicznego, więc kupno samochodu elektrycznego oznacza udział w oczyszczaniu powietrza, którym oddychamy my i nasi najbliżsi.

- Zredukowanie zmian klimatycznych, transport odpowiada za około 25% emisji węgla, co jest kluczowym czynnikiem przyczyniającym się do zmian klimatu. Pojazdy elektryczne nie generują emisji gazów cieplarnianych podczas jazdy. Zmiana samochodu na elektryczny ułatwia kierowcom zmniejszenie śladu węglowego i odgrywa dużą rolę w ochronie przyszłości naszej planety.
- Jak naprawdę ekologiczne są samochody napędzane prądem?
Większość ludzi zgadza się, że czyste samochody elektryczne mogą radykalnie zmniejszyć zanieczyszczenie powietrza. Ale czy mogą one również zmniejszyć ogólną emisję CO₂, gdy prąd elektryczny jest tworzony przy pomocy paliw kopalnych. Krótka odpowiedź brzmi: tak. Nawet w przypadku prądu przy wysokim zużyciu węgla energia elektryczna w Europie emituje mniej gazów cieplarnianych niż pojazdy konwencjonalne.

3. Budowa samochodów elektrycznych

Można powiedzieć, że samochody elektryczne z zewnątrz nie różnią się niczym od normalnego, spalinowego auta, to prawda. Gdybyśmy postawili obok siebie te dwa samochody, to nie zauważymy, żadnej różnicy w wyglądach karoserii.



Rys. 1. Samochód elektryczny marki Tesla

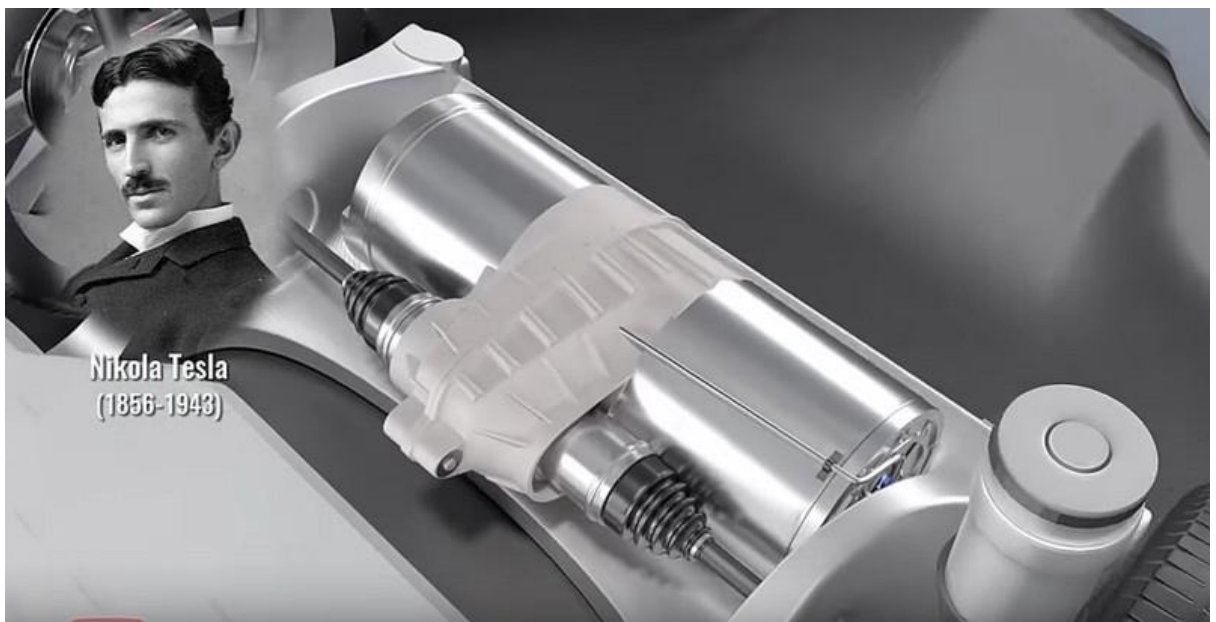


Rys. 2. Samochód spalinowy marki Mercedes

Jak widzimy obydwie samochody, są bardzo podobnych gabarytów, lecz gdy zajrzemy głębiej zaczniemy zauważać znaczne różnice. Jedną z pierwszych różnic, jaką możemy wymienić to sposób napędu tych samochodów, czyli silnik elektryczny i spalinowy.

Budowa silnika elektrycznego

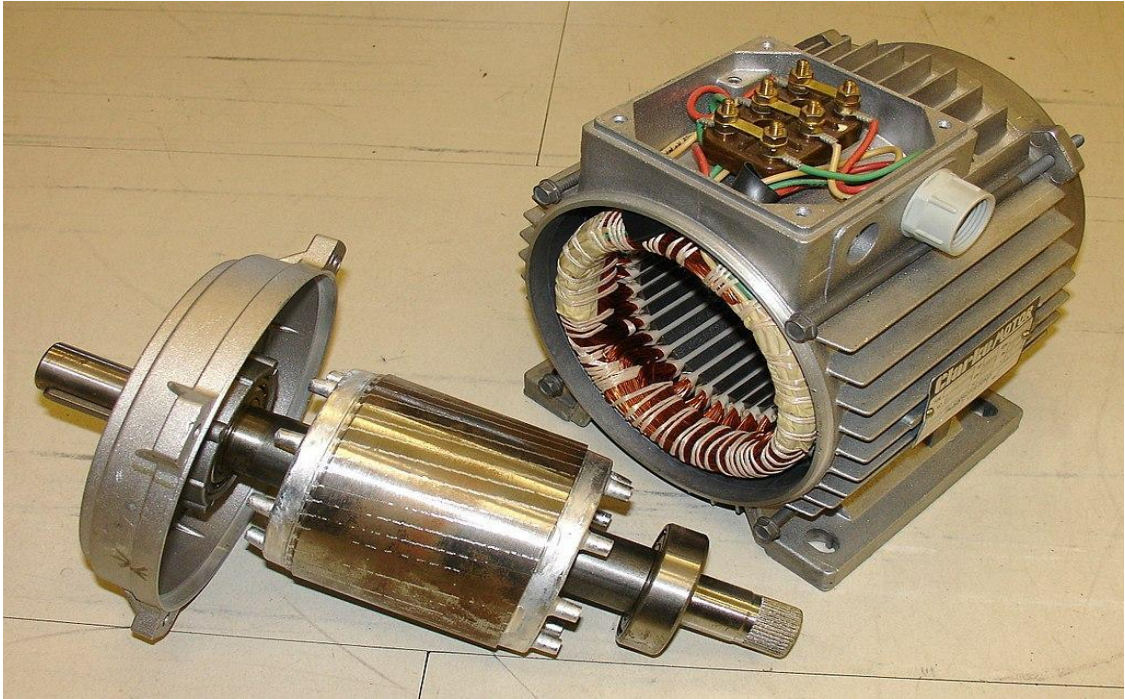
Owy silnik jest znany ludzkości od ponad 100 lat, stworzony przez wynalazcę Nikoła Teslę. Zaletą tego silnika nad spalinowym jest jego prostota w budowie i łatwość manipulowaniem ilością obrotów na minutę, co przekłada się na prędkość osiąganą przez samochód, wystarczy zmieniać napięcie, jakie jest dostarczane do silnika, im wyższe napięcie tym większa liczba obrotów. Lecz przyjrzyjmy się, na jakiej zasadzie działają takowe silniki.



Rys. 3. Silnik Nikolasa Tesli z falownikiem

Silnik elektryczny ma dwie główne części Stojan i Wirnik.

- Stojan wykonany jest z ferromagnetycznej blachy elektrotechnicznej ze żłobkami na cewki uzwojenia
- Wirnik ruchoma część również wykonana z blach ze żłobkami na uzwojenia

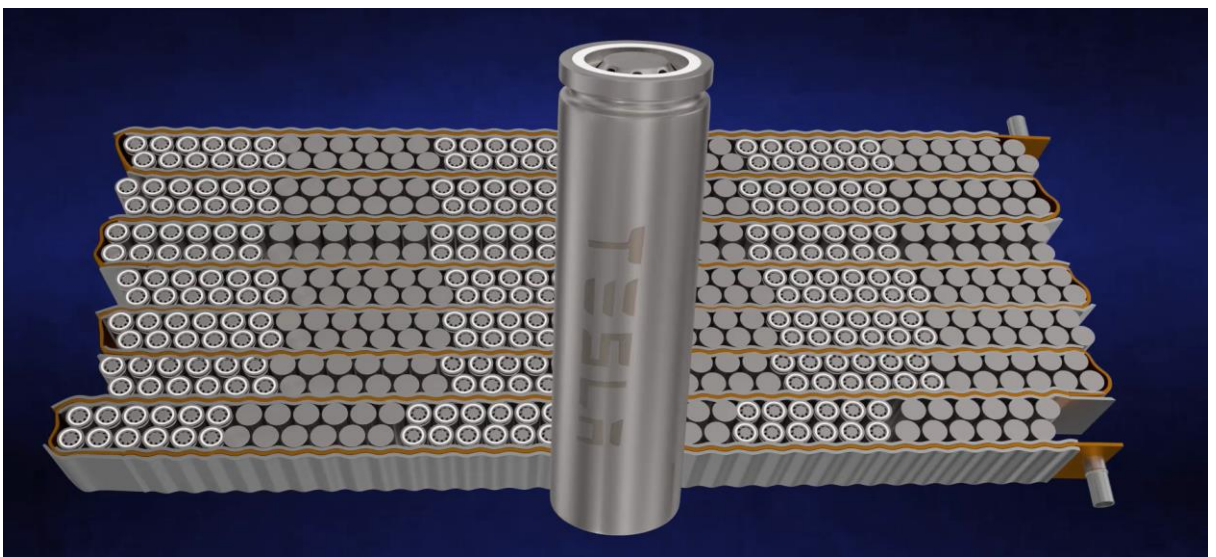


Rys. 4. Silnik elektryczny

Przebiegienny prąd przepływający przez uzwojenie stojana wytwarza w nim wirujące pole magnetyczne.

Bateria

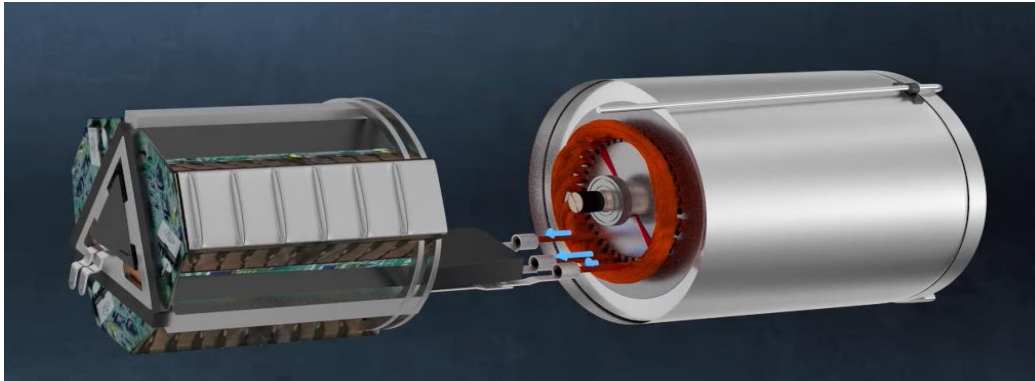
Najcześnieza część każdego samochodu elektrycznego to właśnie bateria, z której jest zasilany silnik pojazdu. Bateria składa się z pojedynczych ogniw Li-onowych połączonych ze sobą równoległe, dlatego postawiono na małe pojedyncze akumulatory, niż na jeden wielki? To proste, chłodzenie wielu małych akumulatorów niż kilku dużych jest o wiele bardziej efektywne. Efektywne chłodzenie baterii prowadzi do nie przegrzewania się jej, co wydłuża jej żywotność.



Rys. 5. Ułożenie małych baterii by tworzyły jedną wielką

Falownik

Jako, że prąd wychodzący z baterii samochodu jest stały, a silnik elektryczny potrzebuje zasilania prądem zmiennym, była potrzeba wstawienia do układu falownika, który zamienia prąd stały na przemienny. Jako, że możemy regulować natężenie prądu wypływające z falownika, sprawia to że staje się “mózgiem” samochodu elektrycznego



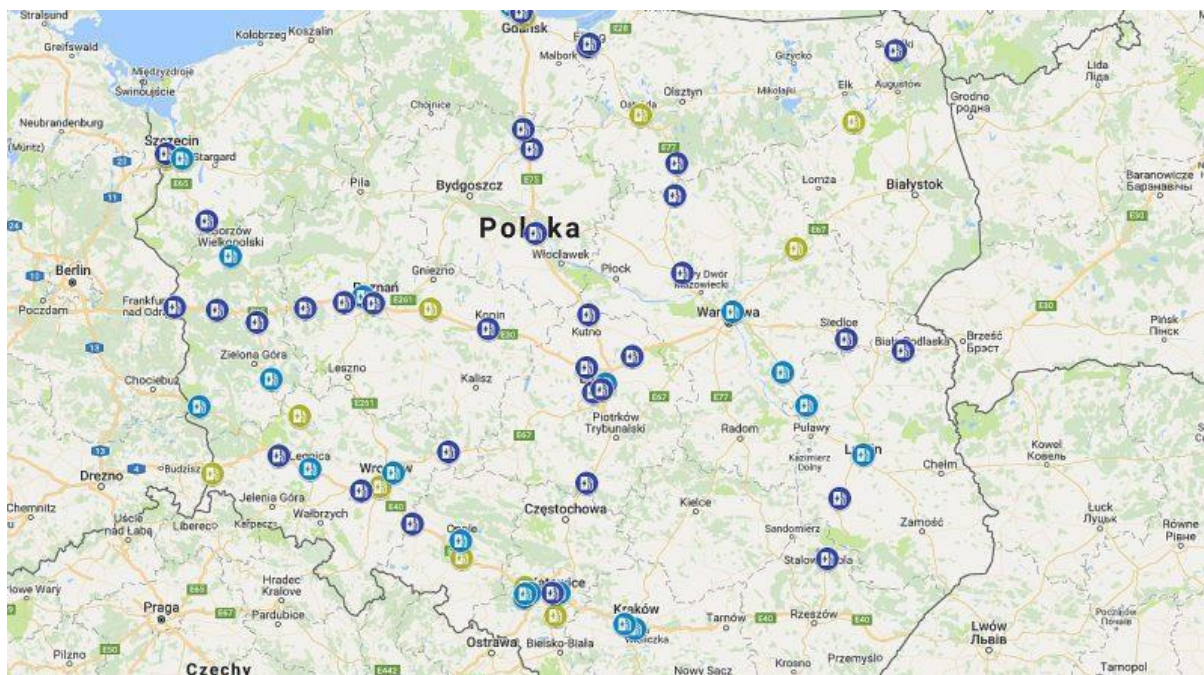
Rys. 6. Po lewej falownik, po prawej silnik elektryczny

Hamowanie regeneracyjne

Tak naprawdę pojazd elektryczny może być prowadzony używając głównie jednego pedału (pedał gazu). Jest to możliwe dzięki właśnie hamowaniu regeneracyjnym. Gdy kierowca spuści nogę z gazu, falownik zmniejszy napięcie wysyłane do silnika, co zwolni jego obroty, energia kinetyczna wytwarzana podczas tego procesu jest przetwarzana na elektryczną i umieszczona z powrotem w baterii.

3. Samochód elektryczny czy spalinowy

Co tak naprawdę jest bardziej opłacalne, i czy aby na pewno korzystanie w aut z napędem elektrycznym jest bezproblemowe? Załóżmy, że standardowe auto z silnikiem diesla do przejechania 100 kilometrów potrzebuje 7 litrów paliwa, przy obecnych cenach paliw całkowity koszt przejechania tego dystansu to około 35 złotych. Dla porównania przykładowe auto z napędem elektrycznym potrzebujące do przejechania 100 kilometrów 15 kWh, przy cenie prądu na poziomie 0,6 zł/kWh uszczupli portfel użytkownika o jedyne 9 złotych. Jest to prawie czterokrotnie mniejsza kwota niż przy użytkowaniu pojazdu z silnikiem diesla, ale warto wiedzieć, że w Europie istnieją też punkty, w których za darmo możemy naładować swój pojazd. A co z kosztami eksploacyjnymi? Średnia żywotność baterii w aucie elektrycznym to około 8 lat, lecz auto to w zasadzie nie potrzebuje serwisowania w porównaniu do aut standardowych. Niestety olbrzymim minusem aut na prąd jest ich niezbyt duży zasięg, pojazdy obecnie produkowane przez inne koncerny niż Tesla nie pokonają trasy mającej ponad 160 kilometrów na jednym naładowaniu. Istnieje też wiele czynników, które wpływają na pogorszenie się wydajności baterii pojazdu, jest to na przykład częste lub niedokończone ładowanie, niska temperatura powietrza a także agresywny styl jazdy. Użytkownicy aut spalinowych w Polsce zachwalają sobie bardzo dużą dostępność stacji benzynowych, na których już właściciele aut elektrycznych nie naładują swoich pojazdów. Miejsc, w których można naładować takowy pojazd jest u nas naprawdę mało, przykładowa w samej stolicy Polski jest ich około 20. Często są one płatne więc wizja darmowego ładowania jest na dzień dzisiejszy odległa a wszystko to przez małą dostępność bezpłatnych punktów.

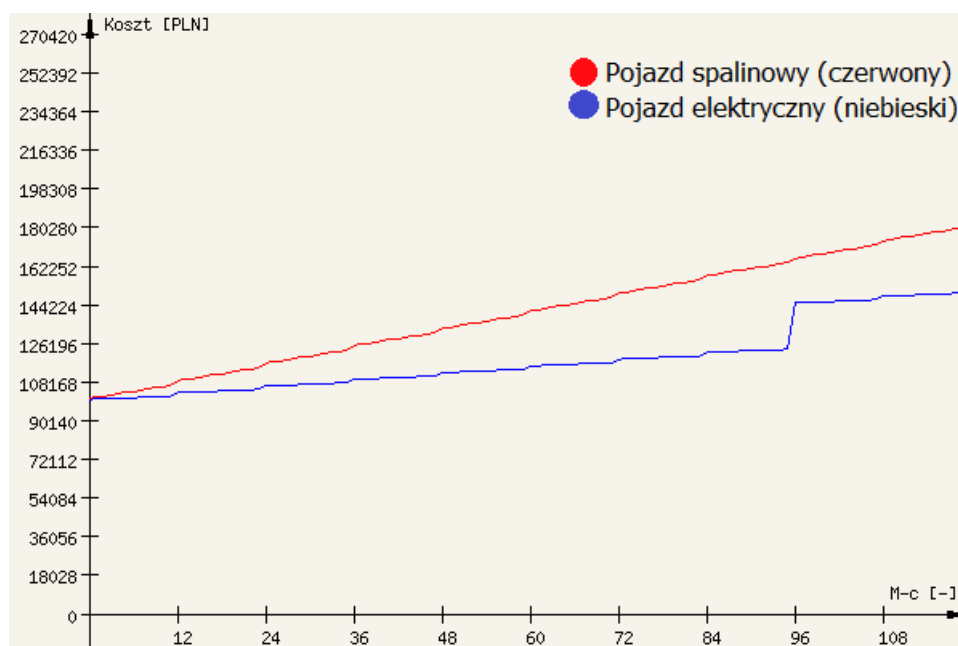


Rys. 7. Mapa Polski z zaznaczonymi stacjami ładującymi. (opracowanie własne)

Trzeba pamiętać o tym, że „tankowanie” auta elektrycznego nie jest tak banalne jak w przypadku spalinowego. Abyśmy mogli przejechać 10 do 15 kilometrów potrzebujemy aż jednej godziny ładowania baterii. Całonocne ładowanie przekłada się na maksymalny zasięg 200 kilometrów, uniemożliwia nam to wyruszenie w dłuższą trasę. Dlatego wizja aut ciężarowych z silnikami elektrycznymi wydaje się niemal niedostępna, sytuacja mogłaby się zmienić gdyby powstała duża liczba punktów i kiedy czas ładowania diametralnie by się skrócił. W krajach europejskich jest prowadzona polityka wyeliminowania aut spalinowych, we Francji przy zakupie pojazdu elektrycznego można uzyskać zwrot 20 % podatku, a użytkownicy pojazdów elektrycznych w Niemczech zwolnieni są opłat drogowych. W Polsce w 2013 roku zarejestrowano tylko 32 pojazdy elektryczne za to we Francji było to aż ponad 14 000. Przyjmijmy, że mamy możliwość zakupu samochodu elektrycznego lub spalinowego. Budżet, którym dysponujemy na zakup samochodu to 100 000 złotych. Przyjmijmy, że dystans, który miesięcznie pokonamy będzie równy 1500 kilometrów. Roczny koszt serwisowania samochodu elektrycznego to około 1500 złotych zaś samochodu standardowego to około 2500 złotych, lecz musimy uwzględnić konieczność wymiany akumulatorów w aucie z napędem elektrycznym, a wymiana taka musi odbywać się, co 8 lat i będzie ona kosztowała około 20 000 złotych. Przyjmujemy, że elektryk zużyje średnio 15 kWh na pokonanie 100 kilometrów, koszt za 1 kWh to około 60 groszy. Samochód spalinowy, aby pokonać drogę 100 kilometrową potrzebuje około 7 litrów paliwa gdzie 1 liter kosztuje 5,3 złotego.

Tab. 1 porównanie dwóch typów samochodów

	Samochód Elektryczny [zł]	Samochód Spalinowy [zł]
Koszt zakupu	100 000	100 000
Koszty coroczne	1500	2500
Koszt nowych akumulatorów	20 000	---
Cena przejechania 100 km	9	37,1



Rys. 8. Wykres zależności kosztów eksploatacyjnych na przełomie miesięcy (opracowanie własne)

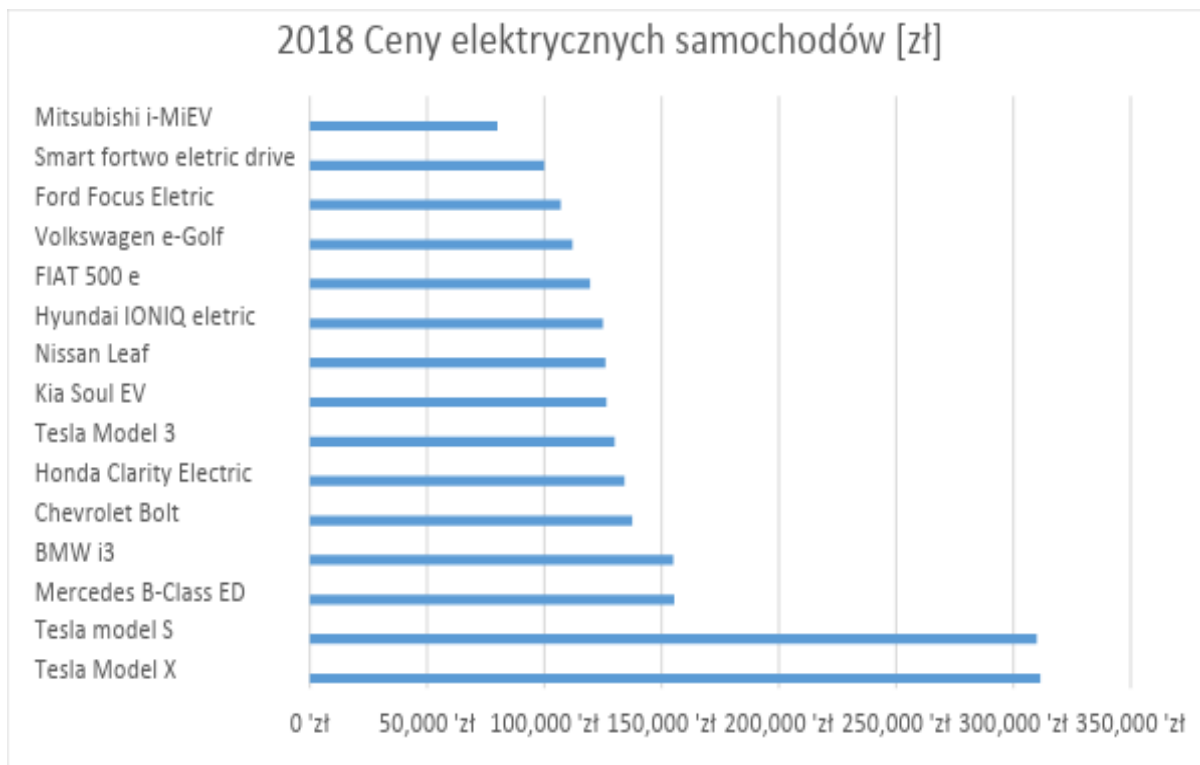
4. Prównanie dostępnych samochodów elektrycznych na rynku

W 2018 roku pojazdy elektryczne jeszcze bardziej zyskują na popularności jak nigdy dotąd. Znacznie poprawia się dostępność stacji do ładowania, wybór pojazdów elektrycznych jest coraz większy, a zasięg pojazdów szybko się poprawia. Wszystko idzie w dobrym kierunku. Jednakże, kiedy rozmawia się z kimś spoza branży, jedno z pierwszych pytań, które zadają, brzmi: „ale czy na pewno bateria wystarczy nam, aby, na co dzień jeździć tym samochodem?” Wszyscy wiemy, że jest to obszar niepokoju. Problem w tym, że ludzie myślą, że jeżdżą dużo więcej niż w rzeczywistości. Według badania przeprowadzonego przez MIT, 87% podróży w samochodach spalinowych mogłoby zostać obsłużonych przez samochody elektryczne. Wraz ze wzrostem zasięgu z następnymi modelami i poprawą dostępności stacji do ładowania, jest tylko kwestią czasu, zanim zniknie niepokój. Niestety w Polsce nie mamy ogromnego wyboru pojazdów z napędem elektrycznym, z roku na rok koncerny samochodowe i rządy twierdzą, że pojazdy z takim silnikiem to przyszłość, ale z drugiej strony nie ma zauważalnych kroków oraz inwestycji. Polsce jest dostępnych kilka dobrych samochodów elektrycznych:

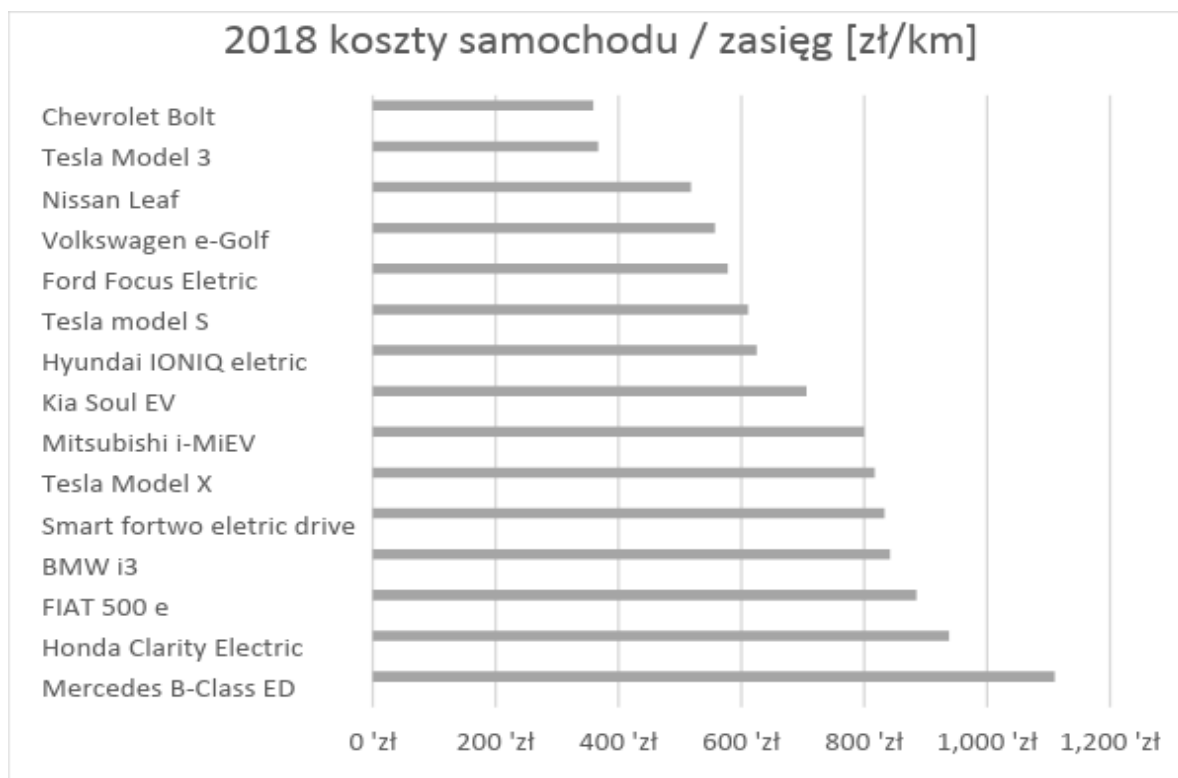
Tab. 2 Dane o dostępnych samochodach elektrycznych na rynku

Model	Cena [zł]	Szacowany zasięg na jednym ładowaniu [km]	Złotówki / Kilometry [zł]
Tesla Model X	311 500	381	817
Tesla model S	310 000	507	611
Mercedes B-Class ED	155 400	140	1110
BMW i3	155 000	184	842
Chevrolet Bolt	137 500	383	359
Honda Clarity Electric	134 200	143	938
Tesla Model 3	130 000	354	367
Kia Soul EV	126 500	179	706
Nissan Leaf	126 080	243	518
Hyundai IONIQ electric	125 000	200	625
FIAT 500 e	119 500	135	885

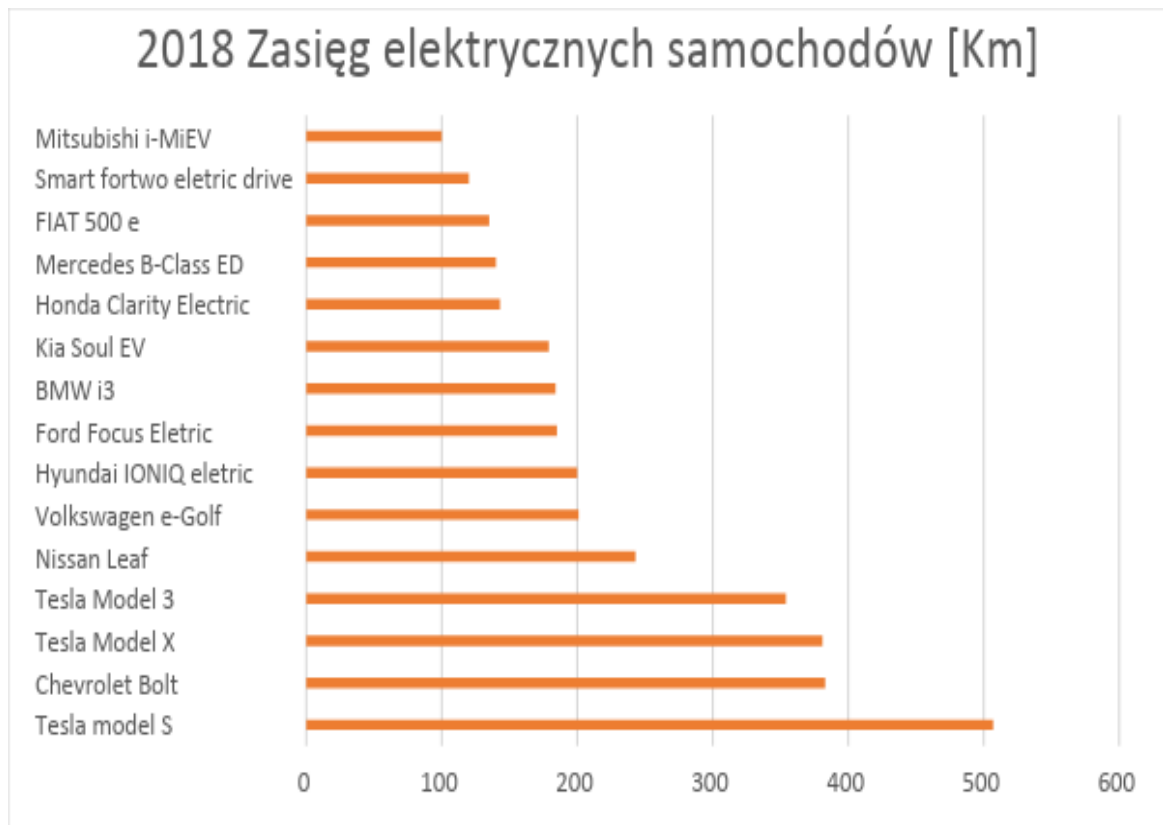
Volkswagen e-Golf	112 000	201	557
Ford Focus Eletric	107 000	185	578
Smart fortwo eletric drive	100 000	120	833
Mitsubishi i-MiEV	80 000	100	800



Rys. 9. Wykres poszczególnych cen samochodów elektrycznych (opracowanie własne)



Rys. 10. Wykres stosunku kosztu samochodu do jego zasięgu (opracowanie własne)



Rys. 11. Wykres zasięgu poszczególnych samochodów (opracowanie własne)

Wnioski:

Samochody elektryczne są już normalnością na światowych drogach, a coraz większa liczba modeli elektrycznych dostępna jest już teraz w Polsce. Efekt elektryczny udziela się większości firm, a marki o dużej reputacji proponują coraz większą gamę samochodów elektrycznych. Ceny spadają, modele różnicują się i wszystko idzie w parze ze zwiększeniem inwestycji i rozwojem sieci do ładowania takich samochodów.

Literatura:

- [1] Biernat K., Nita K., Wójtowicz S.: Architektura mikrosieci do inteligentnego ładowania pojazdów elektrycznych. Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 260, 2012 r., s.171-183
- [2] Guziński J., Adamowicz M., Kamiński J.: Infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych.
- [3] Murawski J., Szczepański E.: Perspektywy dla rozwoju elektromobilności w Polsce.
- [4] Muszyńska M.: Charles Proteus Steinmetz. Elektro.info 6/2013
- [5] Mikrosieci niskiego napięcia. Praca zbiorowa pod red. M. Parola. OWPW 2013
- [6] Portużak R.: Opportunities of electric vehicles as a part of smart solutions. 38

Źródła internetowe:

- [1] <http://www.caranddriver.com/best-hybrid-electric-cars>
- [2] <http://www.plugincars.com/cars>
- [3] <https://cars.usnews.com/cars-trucks/rankings/hybrid-cars>
- [4] <https://www.edmunds.com/electric-car/>
- [5] <https://www.money.pl/galerie/arttykul/sprawdzamy-oplalnosc-zakupu-auta-na-prad,230,0,1693414.html>
- [6] <http://elektrowoz.pl/ladowarki/stacje-ladowania-samochodowelektrycznychgreenway-plany-2018-spis/>

[7] http://samochodyelektryczne.org/kalkulatory/oplalnosc_samochodow_elektrycznyh

Właściwości wytrzymałościowe i mikrostruktura ostrzy stalowych azotowanych gazowo

Grzegorz Wójcik⁽¹⁾

¹Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Procesowej i Technologii Materiałów, Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono badania wytrzymałościowe oraz mikrostrukturalne ostrzy stożkowych wykonanych ze stali C20 po azotowaniu gazowym. Badaniu poddano stożki o kątach wierzchołkowych 60°, 90°, 120°, 140° i 170°. Celem pracy była ocena wytworzonej warstwy azotków oraz jej wytrzymałości na statyczne wciskanie. W pracy oceniono grubość warstwy azotków na poszczególnych ostrzach stożkowych oraz przedstawiono powstałe zniszczenia po próbie ściskania. Wykazano, że największe zniszczenia zaobserwowano w przypadku stożka o kącie wierzchołkowym 60°.

Słowa kluczowe: ostrza stalowe, azotowane gazowo, właściwości wytrzymałościowe

Strength properties and microstructure of gas nitrided steel blades

Abstract

This paper presents strength and microstructural tests of conical blades made of C20 steel after gas nitriding. Cones with 60°, 90°, 120°, 140° and 170° apical angles were tested. The aim of the work was to evaluate the nitride layer produced and its resistance to static pressing. The work assessed the thickness of the nitrides layer on individual conical blades and presented the resulting damage after the compression test. It was shown that the greatest damage was observed in the case of a cone with an apex angle of 60°.

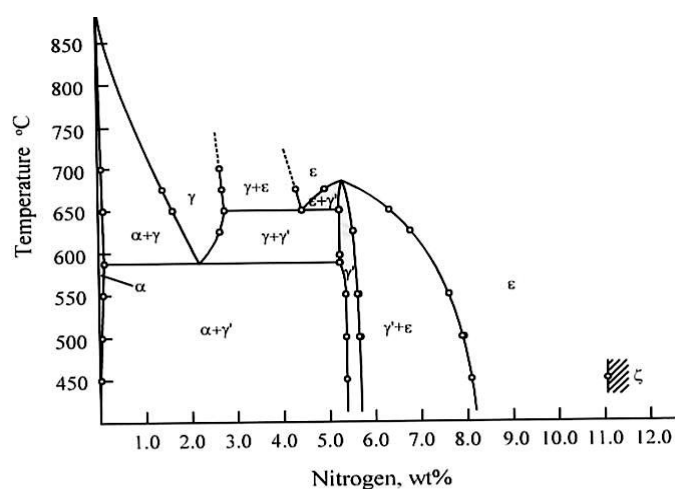
Keywords: steel blades, nitrided gas, strength properties

1. Wstęp

Azotowanie, jako obróbka cieplna polegająca na dyfuzyjnym nasyceniu warstwy wierzchniej stali azotem, jest obok nawęglania podstawowym zabiegiem powierzchniowego utwardzania stali (do 1500HV). Zwiększenie twardości powierzchni powoduje zwiększenie jej odporności na zużycie, dlatego azotowaniu poddaje się detale szczególnie narażone na zwiększone tarcie, np. koła zębate, wały korbowe, prowadnice i narzędzia skrawające [1,2,3,4]

Podstawą fizyczną zabiegu azotowania jest wprowadzenie do warstwy przypowierzchniowej stali azotu atomowego. W wyniku, konstytuuje się warstwa o różnym składzie fazowym na swej grubości, stosownie do nasycenia/stężenia azotu w stali, dając w efekcie warstwę o budowie strefowej [5]. Poszczególne fazy w warstwie, dla przypadku azotowania żelaza Armco i stali niestopowych, odpowiadają przedstawionym w diagramie fazowym Fe-N na rysunku 1. Zgodnie z diagramem w strefie zewnętrznej warstwy tworzą się fazy wysokoazotowe - azotki typu ϵ -Fe₂₋₃N (ok. 8-11 % mas.) o strukturze heksagonalnej, w tym azotek określany jako ζ -Fe₂N. Następną strefę tworzy w warstwie mieszanina azotków ϵ i γ' .

Azotki γ' o strukturze regularnej wykazują stechiometrię typu Fe_4N . Azotki te posiadają mniejszą twardość i lepsze właściwości plastyczne w stosunku do azotków ϵ , tym samym ogólna trwałość mechaniczna warstwy zbudowanej z mieszaniny obu azotków jest lepsza [4]. Powyższe obie strefy określone są jako warstwa biała, ze względu na kolor, w jakim są widoczne na przekrojach poprzecznych warstw w trakcie obserwacji z użyciem mikroskopów świetlnych. Granicą warstwy białej i stref położonych głębiej od powierzchni stali jest cienka strefa azotków γ' . Głębsze strefy w warstwie azotowanej zbudowane są przy współwystępowaniu faz materiału rodzimego (żelaza lub stali), są to tzw. strefy azotowania wewnętrznego, z których w pierwszej występują dodatkowo wydzielenia azotków γ' ($\alpha(\text{N})+\gamma'$), a w drugiej tylko żelazo nasycone azotem (roztwór stały) - $\alpha(\text{N})$ [4, 5,6]

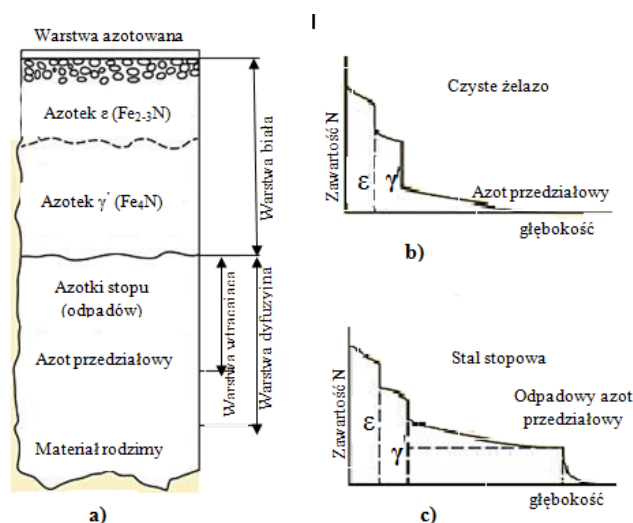


Rys 1. Układ równowagi fazowej Fe-N [3]

W przypadku azotowania stali stopowych, szczególnie zawierających dodatki takie jak chrom i aluminium, oprócz azotków żelaza tworzą się również azotki oraz węglikoazotki innych pierwiastków (np. CrN , $\text{Cr}(\text{N},\text{C})$, AlN). W takich stalach strefa azotowania wewnętrznego bywa bardziej nasycona azotem i grubsza w stosunku do tej w stali niestopowej (Rys.2) [4, 7].

Od grubości i struktury wytworzonej warstwy azotków zależy trwałość eksploatacyjna azotowanego detalu. Przykładowo, występowanie strefy azotków ϵ sprzyja odporności na ścieranie, przy ograniczeniu odporności na obciążenia dynamiczne. Z kolei detale z powierzchniową strefą mieszaniny azotków ($\alpha(\text{N})+\gamma'$), jest bardziej ciągliwa i korzystna z punktu widzenia odporności na korozję [4,8,9]. Cechy budowy warstwy zależą od parametrów zabiegu i metody azotowania, które determinują podaż azotu do obrabianego materiału [10]. Obecnie najczęściej stosowane zabiegi azotowania stali to azotowanie gazowe i jarzeniowe. Azotowaniu gazowemu, w temperaturze z zakresu 480-600°C, poddaje się stale z grupy konstrukcyjnych niskostopowych i stopowych [8-10]. Azotowanie jarzeniowe stosuje się dla

różnych stali w tym stali nierdzewnych, austenitycznych kwasoodpornych a także dla metali nieżelaznych - tytanu i aluminium [11]. Atmosfery azotujące skomponowane są z amoniaku NH_3 i azotu atomowego N_2 [4].



Rys 2. Schemat budowy warstwy przypowierzchniowej azotowanej stali z punktu widzenia a) rodzaju faz i b), c) rodzaju azotowanej stali

W zakresie azotowania gazowego wyróżnia się ponadto, regulowane azotowanie metodą Nitreg oraz metodą „Zero flow”, a od kilkunastu lat również azotowanie w warunkach obniżonego ciśnienia (LPN). Azotowanie metodą Nitreg zostało opracowane w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie i jest obecnie stosowane w wielu zakładach przemysłowych w kraju i na świecie. W tej technologii azotowanie przebiega dwuetapowo przy różnych potencjałach azotowania [12-14].

Ważną zaletą azotowania jest wzrost twardości warstwy wierzchniej przy zachowaniu plastycznego rdzenia a ponadto zwiększanie grubości warstwy azotków nie powoduje zmian w chropowatości powierzchni stalowych detali. W praktyce przemysłowej zastosowanie znalazły dwie odmiany azotowania gazowego krótkookresowe oraz długookresowe [15].

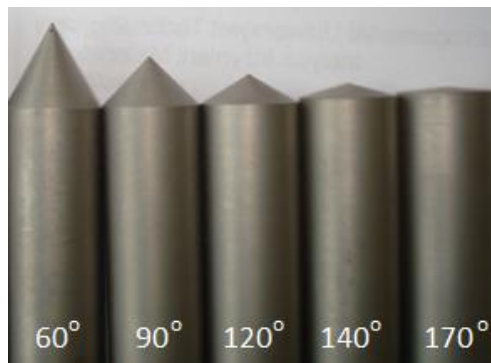
Materiał i metodyka badań

Materiałem wyjściowym do wykonania próbek do badań był pręt stalowy o średnicy 10 mm wykonany z stali niestopowej C20. Skład chemiczny stali podano w tabeli 1.

Tab 1. Skład chemiczny stali niestopowej C20 wg PN-EN 10083-1:2008

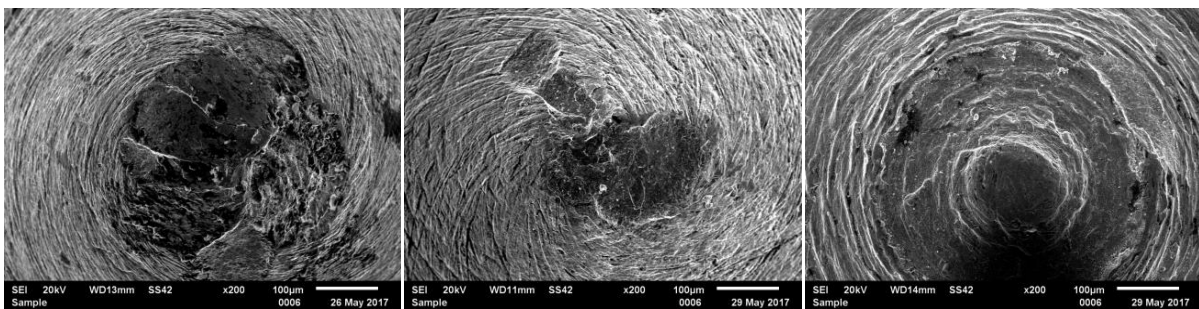
Stal	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
C20	0,17÷0,24	0,35÷0,65	0,15÷0,40	<0,040			<0,3		<0,01

Obróbką mechaniczną konwencjonalnego toczenia wykonano z pręta stożki o kątach wierzchołkowych 60°, 90°, 120°, 140° i 170°. Przygotowane ostrza stożkowe poddano obróbce cieplno-chemicznej, azotowaniu gazowemu w temperaturze 540°C w czasie 4 godzin. Wytworzone warstwy azotków zbadano pod względem mikrostruktury, oceniając grubość powstałej warstwy azotków, oraz pod względem właściwości wytrzymałościowych. Wygląd wykonanych ostrzy przedstawiono na rys. 3.



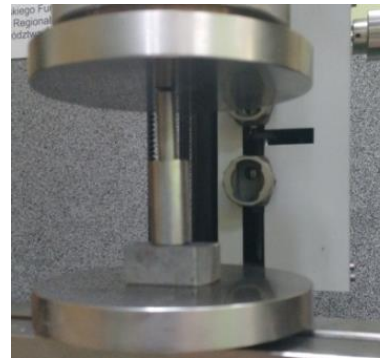
Rys.1 Widok ogólny ostrzy stożkowych przygotowanych do badań

Jakość wykonanych zaostżeń stożków oceniono przy pomocy elektronowego mikroskopu skaningowego (Jeol JSM-6610LV) przy powiększeniu 200x. Przykładowe średnice wierzchołków spłaszczeń ostrzy przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Widok wierzchołków ostrzy o kątach wierzchołkowych 60, 90, 120 stopni

Ostrza stożkowe poddano prostopadłemu, statycznemu ścisnaniu w zahartowaną stal C20. Do badania wykorzystano maszynę wytrzymałościową (Zwick Roell Z100). Badaniu poddano ostrza o wysokości 20 mm, które ścisniano do momentu uzyskania przemieszczenia trawersy maszyny wytrzymałościowej o 1,5 mm (rys.3).



Rys. 3. Schemat próby ściskania ostrzy stalowych

Po przeprowadzonej próbie ściskania, zobrazowano i zmierzono średnice ostrzy stożkowych po próbie. Ponadto w celu oceny wpływu ściskania na warstwę azotków wykonano osiowe zglądy metalograficzne stożków w celu zidentyfikowania występujących spękań warstwy wierzchniej przy użyciu mikroskopu optycznego Axiovert 25

Wyniki badań

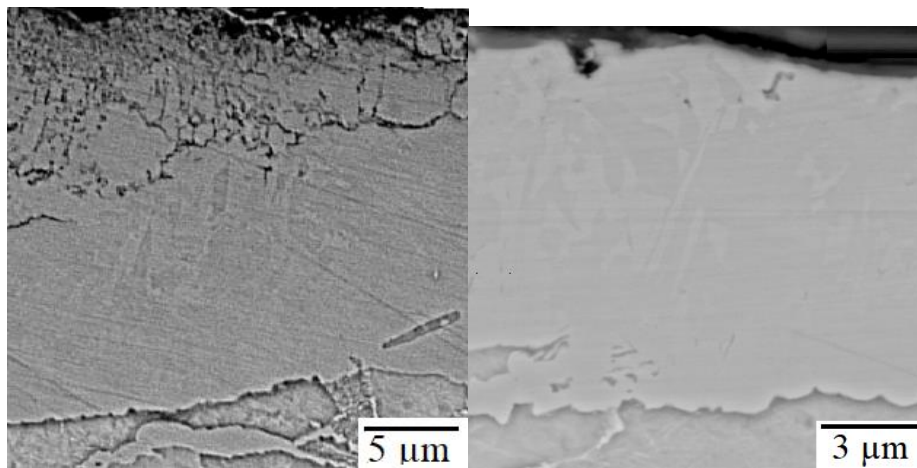
Ocenę zaostżeń ostrzy przeprowadzono wykorzystując skaningowy mikroskop elektronowy, co pozwoliło ocenić średnice spłaszczeń wierzchołów stożków o kątach 60° , 90° , 120° , 140° , oraz 170° , które przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Średnice spłaszczeń stożków

Kąt ostrza [°]	60	90	120	140	170
Średnica wierzchołka [μm]	220	60	160	140	320

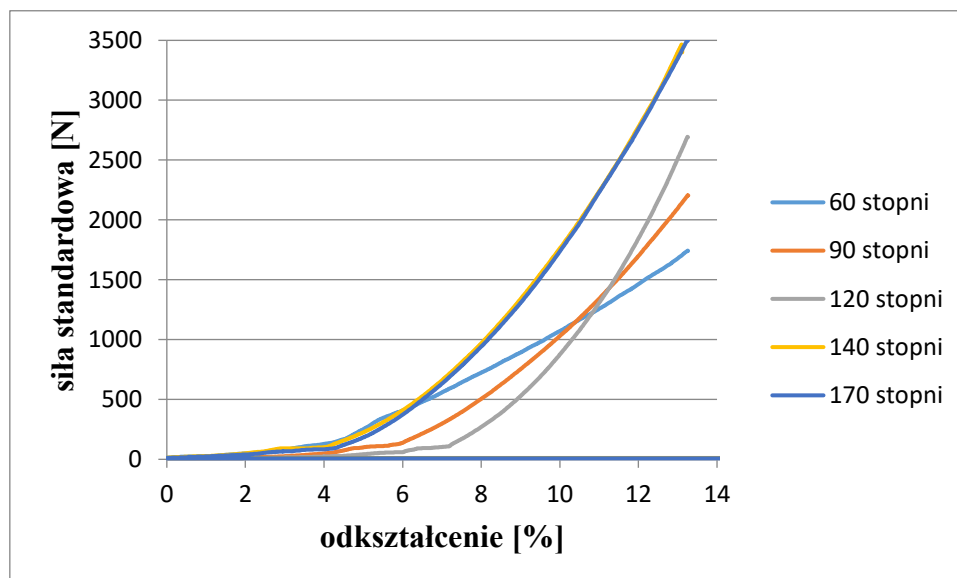
Najmniejszą średnicą zaostżenia cechowała się próbka o kącie wierzchołkowym 90° , zaś największym o kącie wierzchołkowym 170° . Wynika z tego, że próbki do badań wykonane w małym przedsiębiorstwie zajmującym się toczeniem w metalu nie posiadały idealnych zaostżeń wierzchołków.

Ocenę powstałych warstw azotków oraz określenie jej grubości wykonano na podstawie badania mikrostruktury przekrojów osiowych stożków po azotowaniu (rys 4) . Powstała warstwa azotków cechowała się budową dwustrefową - porowatą warstwą zewnętrzną oraz zwartą warstwą wewnętrzną. Badanie warstwy azotków wykonano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego PhenomWorld. Dodatkową zaletą tego badania była możliwość badania próbek zainkludowanych w żywicy nieprzewodzącej. Pomiarów przeprowadzono dla próbek 60° i 90°. Grubość wytworzonej warstwy azotków na ostrzu o kącie wierzchołkowym 60° wynosiła około 20 μm, a w przypadku 90° około 10 μm.



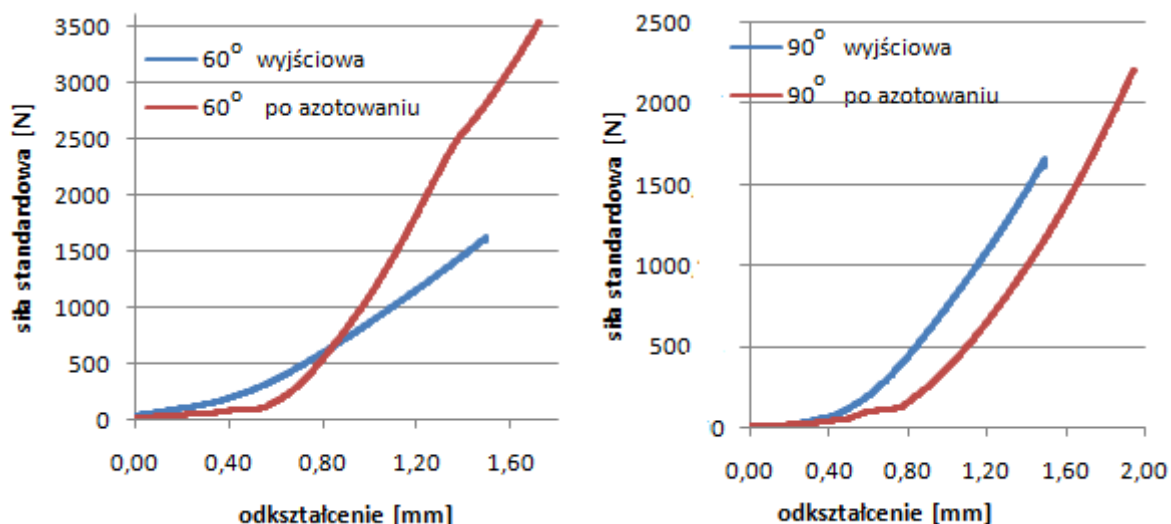
Rys. 4 Przykładowe warstwy azotków obserwowane na przekrojach osiowych stożków

Statyczną próbę ściskania ostrzy w zahartowaną stal C20 wykonano z użyciem maszyny wytrzymałościowej a wyniki zapisu krzywych obciążenia (zależności siły od odkształcenia) przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5 Krzywe odkształcenia ostrzy azotowanych o różnych kątach wierzchołkowych podczas wciskania w zahartowaną stal C20

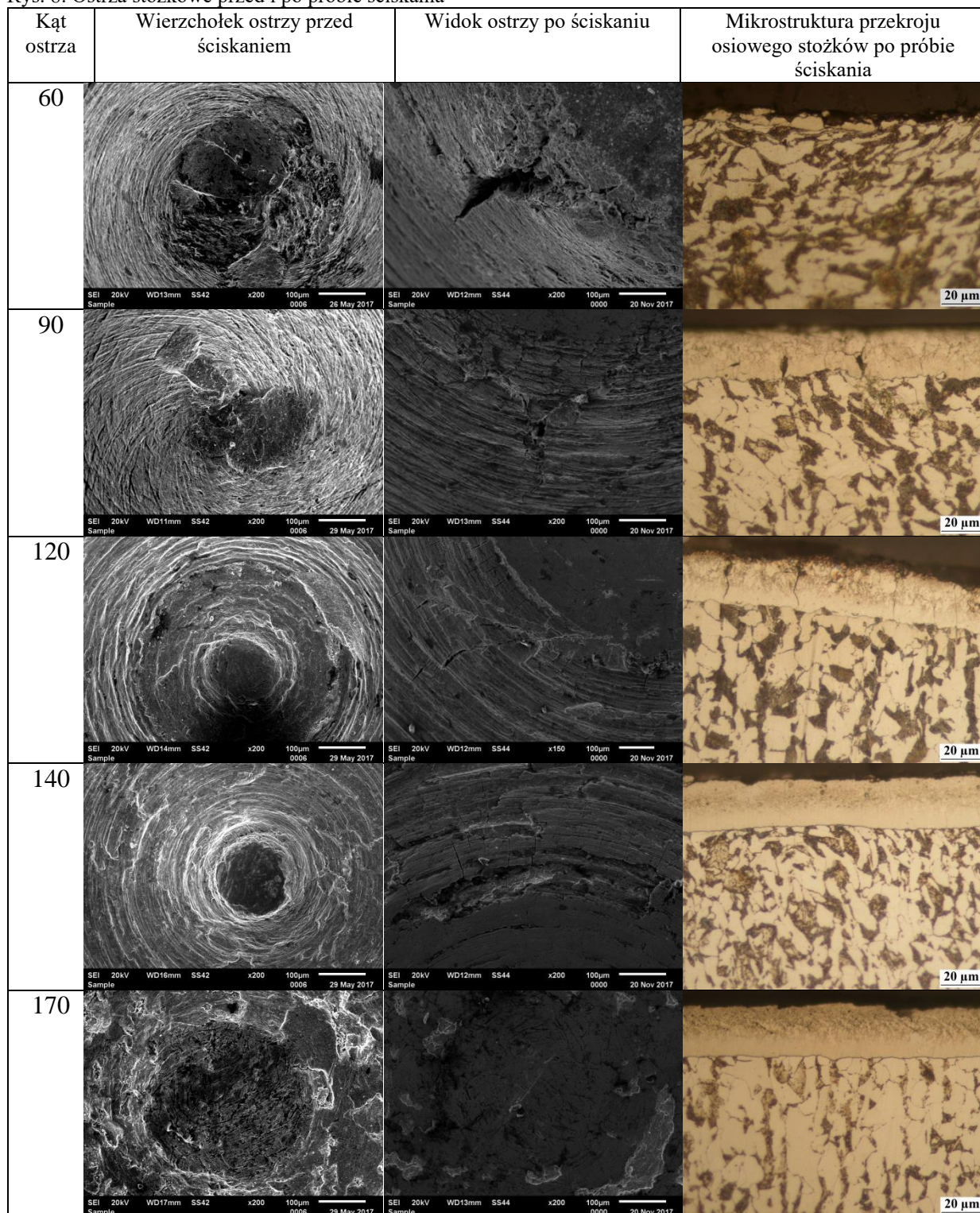
Ocenę wpływu azotowania na wzrost wytrzymałości na ściskanie oceniono dzięki porównaniu z wytrzymałością ostrzy nie poddanych azotowaniu. Do porównania wytypowano ostrza o kątach 60° i 90° , które wciskano w ten sam materiał - zahartowaną stal C20. Z porównania uzyskanych krzywych obciążenia wynika, że wytrzymałość ostrza 60° po azotowaniu w stosunku do ostrza 60° bez tej obróbki cechuje się dwukrotnie większą wytrzymałością na działanie siły osiowej, w przypadku ostrza 90° wzrost ten wynosi około 30% (rys. 7.).



Rys. 7. Krzywe odkształcenia ostrzy podczas wciskania w zahartowaną stal C20

Wygląd ostrzy przed i po próbie ściskania przedstawiono na rysunku 8. Zauważono, że wraz ze zwiększaniem kąta rozwarcia stożka, zniszczenia próbek były mniejsze. Największe zniszczenia zaobserwowano w przypadku ostrza o kącie wierzchołkowym 60° . Z kolei na obrazach ze skaningowego mikroskopu elektronowego, jak i przekrojach ostrzy 140° i 170° obserwowanych z użyciem mikroskopu świetlnego nie stwierdzono pęknięć ani ubytków warstwy azotków.

Rys. 8. Ostrza stożkowe przed i po próbie ściskania



Zmianę średnic zaostżeń stożków po ściskaniu przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Średnica spłaszczenia wierzchołka stożka przed i po próbie ściskania

Średnica wierzchołka przed wciskaniem [μm]	Kąt ostrza [$^{\circ}$]	Średnica wierzchołka po wciskaniu [μm]
220	60	1416
60	90	1000
160	120	1125
140	140	468
320	170	755

Wnioski

Wykonane badania potwierdziły, że na ostrzach ze stali C 20 wytworzyła się warstwa azotków o grubości w zakresie 10-20 μm o dwustrefowej budowie. Strefa zewnętrzna była porowata, zaś strefa wewnętrzna miała zwartą budowę. Ze względu na wysoką twardość warstwy azotkowe cechują się kruchością. Na wierzchołku stożka o kacie wierzchołkowym 60° warstwa azotków uległa uszkodzeniom i odprysnięciu. Wraz ze zwiększeniem kąta rozwarcia stożka uszkodzenia warstwy azotków były mniejsze i miały charakter prostopadłych pęknięć. W przypadku ostrzy o kątach wierzchołkowych 140° i 170° próba ściskania nie spowodowała żadnych uszkodzeń warstw azotków.

Literatura

- [1] Kula P., Surface layer engineering, Lodz Technikal University, Lodz, 2000
- [2] Dobrzański L.A.: Kształtowanie struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych, Prace Inst. Mater. Inży. i Biomedycznych Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009
- [3] Haś Z. Podwyższanie trwałości wiertel krętych poprzez azotowanie metodą "Nitrovac", Inżynieria Materiałowa Vol. 26, nr 5 (2005), s.486-488
- [4] Głowacki S., Majchrzak A., Majchrzak W., Wpływ proporcji składników atmosfery azotującej na strukturę warstwy azotowanej jonowo, Obróbka Plastyczna Metali 2 (2005) s. 15-22
- [5] Frączek T., Niekonwencjonalne niskotemperaturowe azotowanie jarzeniowe materiałów metalicznych, Monografia, Wyd. WIPMiFS Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011
- [6] Marchlewski P., Wach P., Szczeblewski M., Badania mikrostrukturalne warstw wierzchnich po procesach azotowania, Inżynieria Powierzchni, 2 (2016), s. 60-64
- [7] Wolarek Z., Wnikanie, transport i absorpcja wodoru przez azotowane żelazo, Praca doktorska, Warszawa, 2007
- [8] Wach P., Michalski J., Tacikowski J., Kowalski S., Betiuk M., Gazowe azotowanie i jego odmiany w przemysłowych zastosowaniach, Inżynieria Materiałowa 6 (166) (2008), 808-811
- [9] Michalski J. Tacikowski J., Wach P., Kowalski S., Obuchowicz Z., Współczesne zastosowania azotowania i jego odmian w przemyśle, Inżynieria Powierzchni 3 (2007), s.38-43
- [10] Ratajski J., Oelik R., Development of nitrided layer during nitriding of sreel, Adv. mater. Res. 83-86 (2010) 1025-1034
- [11] Dulęba A., Azotowanie: metoda wytwarzania warstw powierzchniowych. Stal, Metalu & Nowe Technologie, 7-8 (2016), s. 24-28
- [12] J.Michalski H.Fuks, S.M.Kaczmarek, G.Leniec, B.Kucharska, P.Wach, The magnetic properties of steel after the gas nitriding process, Inż.Materiałowa Materials Engineering 4 (2017), 170-176
- [13] J.Michalski, E.Wołowicz-Korecka, J.Ratajski, P.Wach, B.Kucharska, P.Kula, R.Olik, Wybrane aspekty regulowanego azotowania gazowego (RAG) oraz azotowania w obniżonym ciśnieniu (LPN), Inż.Materiałowa Vol.36, 6(208) (2015) s.444-448
- [14] Marchlewski P., Wach P., Szczeblewski M., Badania mikrostrukturalne warstw wierzchnich po procesach azotowania, Inżynieria Powierzchni, 2 (2016), s. 60-64
- [15] Michalski J., D.C. Glow Discharge in gas under lowered pressure in ion nitriding of Armco iron, J. Mater. Sci. Lett. 19 (2000) 1411-1414
- [16] Tacikowski J., Wach P., Michalski J., Betiuk M., Łataś Z., Zmiany chropowatości powierzchni stali 41CrAlMo7 w procesach regulowanego azotowania gazowego, Inżynieria Materiałowa, 5 (2014), 416-419
- [17] Nakonieczny A., Janowski S., Senatorski J., Podwyższanie wytrzymałości zmęczeniowej i właściwości tribologicznych stali przez azotowanie. Inżynieria Powierzchni 2 (2004), s. 30-36

Zastosowanie metody rysy w inżynierii materiałowej do uzyskania krytycznych obciążeń związanych z adhezyjnymi właściwościami powłok

A. Gluszek⁽¹⁾, M. Kiszka⁽¹⁾, P. Prach⁽¹⁾, D. Zaborniak⁽¹⁾, M. Turzyniecki⁽¹⁾

⁽¹⁾Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

Słowa kluczowe: Scratch-test, azotek tytanu i aluminium, PVD, adhezja

Streszczenie:

Ważnym parametrem określającym trwałość powłok nakładanych na powierzchnie, a co za tym idzie wpływającym na właściwości mechaniczne i fizyczne materiału jest adhezja, czyli zjawisko trwałego łączenia się warstw powierzchniowych dwóch różnych ciał. Celem publikacji było przedstawienie zastosowania metody Scratch-test w Inżynierii materiałowej na przykładzie wykonanego badania przyczepności powłok TiAlN o grubości 1 μm nałożonych metodą PVD na stal szybko tnącą. Przeprowadzono poprzez wykonanie 3 rys na jednej z próbek metodą Scratch-testu. Na mikroskopie optycznym zostały wyznaczone długości L_1 , L_2 , L_3 , na ich podstawie wyznaczono siły L_{c1} , L_{c2} , L_{c3} .

Abstract:

An important parameter determining the durability of coatings applied to surfaces, and thus influencing the mechanical and physical properties of the material, is adhesion, or the phenomenon of permanent joining of surface layers of two different bodies. The aim of the publication was to present the application of the Scratch-test method in Materials Engineering on the example of the adhesion test of TiAlN coatings with a thickness of 1 μm applied by PVD to high-speed steel. It was carried out by making 3 scratches on one of the scratch test samples. L_1 , L_2 , L_3 lengths were determined on the optical microscope. L_{c1} , L_{c2} , L_{c3} forces were determined on their basis.

Wstęp:

M. Varga i inni [2] użyli metodę Scratch-test do zbadania zjawiska zużycia występującego podczas kontaktu ściernego w wysokich temperaturach. Aby zbadać wpływ temperatury i obciążenia na zarysowanie, zastosowali nowy test zarysowania, pozwalający na badania zarysowań do temperatury 1000 °C. Junhai Chen i inni [3] wprowadzili nową technikę w oparciu o korelację energii właściwej mierzonej od testów zarysowania i testów mikro-wiercenia z bitami PDC. Technika ta może zapewnić ciągły i wysokiej rozdzielczości pomiar oraz może uchwycić wpływ nieodłącznej niejednorodności skały na zdolność do zdzieralności. Autorzy publikacji [4] oszacowali nowe wyniki dotyczące odporności na zarysowanie warstwy niklowo-borkowej na nadstopie Inconel 718. Testy zarysowania wykonano na powierzchniach układu warstwa-podłoże z borku i niklu za pomocą węgelnika diamentowego Rockwell-C z rosnącą w sposób ciągły siłą normalną od 1 do 80 N. Mayur Shukla wraz z Sumana Ghosh [5] wykonali testy na zarysowanie na powierzchniach przekroju stawów z tlenku glinu (wytwarzanych metodami lutowania konwencjonalnego i wspomaganymi mikrofalami) pod stałym wzrostem normalnych obciążeń do 140 N. Zadrapania wykonano za pomocą rysika testowego Rockwella C o promieniu 200 μm . Zaobserwowano, że złącze lutowane mikrofalowo ma lepszą wytrzymałość połączenia międzyfazowego w porównaniu do konwencjonalnie lutowanego złącza. B. D. Beake i inni [6] przeprowadzili testy mikro-zarysowania z przesunięciem obciążenia i powtarzalne testy mikro-zarysowania w 25 i 500 °C na komercyjnych powłokach monowarstwowych (AlCrN, TiAlN i AlTiN) osadzonych na wkładkach narzędzi skrawających z węgla spiekane. Powłoka TiAlN została poddana badaniu Scratch-test także podczas naszych badań. Metoda Scratch-test znalazła zastosowanie nie tylko w Inżynierii materiałowej ale także w medycynie. Amrita Kataruka wraz ze

współautorami [7] przedstawiła nowatorskie metody pomiaru właściwości złamania kości w skali mikroskopowej za pomocą testów na zarysowanie. Opracowana przez nich metodologia otwiera drzwi do oceny pęknięć na wielu poziomach strukturalnych, w skali mikroskopowej i potencjalnie nanometrowej, ze względu na skalowalność testów zarysowania.

Przygotowanie próbek

1. Opis metody

Badaniu Scratch-test została poddana powłoka TiAlN nałożona na stal szybko tnącą metodą PVD. Physical Vapour Deposition jest to fizyczne osadzanie z fazy gazowej, które obejmuje osadzanie powłok z fazy gazowej przy użyciu ciśnienia zawsze niższego od atmosferycznego oraz przy wykorzystaniu wielu procesów fizycznych, w celu uzyskania par osadzonych. Fizyczne osadzanie cienkich warstw z fazy gazowej wykorzystuje różne procesy fizyczne, ale posiada wspólną cechę, którą jest krystalizacja powłoki uzyskanej przeważnie z plazmy.

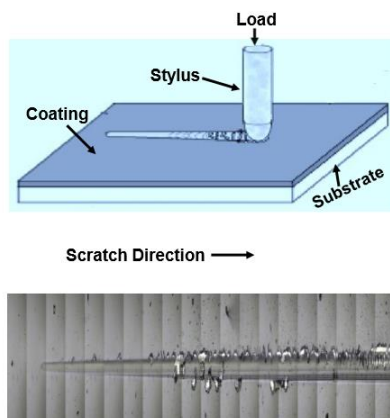
Na zimnym albo podgrzanym do 200-500°C podłożu (często metalowym), ułożone są pary metali, dzięki czemu mogą być pokrywane podłoża zahartowane, a także odpuszczone. Prowadzi to do osadzania powłok nawet bardzo cienkich i nie skutkuje to spadkiem twardości. Naniesiona warstwa o grubości około 3÷5 µm ma bardzo dużą twardość w granicach 200÷300 HV, co wpływa na zwiększenie odporności ostrzy narzędzi na zużycie ściernie. Między podłożem a powłoką tworzy się warstwa przejściowa, która ma charakter adhezyjny (czasem adhezyjno-dyfuzyjnym, w podwyższonych temperaturach osadzania), a połączenie warstw jest tym słabsze, im mniej czysta jest pokrywana powierzchnia.

Szybki rozwój procesów PVD, spowodował wykorzystanie szczególnych własności powłok na skalę przemysłową, nie tylko do pokrywania materiałów narzędziowych, ale także do poprawy własności i funkcjonalności różnych materiałów użytkowych. Powłoki typu TiAlN używane np. na stalowe narzędzia do obróbki drewna umożliwiły uzyskanie ważnego wzrostu twardości owych narzędzi. Trwałość powłok typu TiAlN, stosowanych głównie na narzędzia do obróbki metali, przeważnie w warunkach wysokich szybkości skrawania, powiązana jest z ich strukturą, a także mechanizmami utleniania w podwyższonej temperaturze pracy. Dodanie glinu do tradycyjnego materiału używanego na powłoki przeciw zużyciowej, którym jest azotek tytanu, prowadzi do rozdrobnienia struktury powłoki.

Wprowadzenie atomów aluminium do fazy TiN powoduje zmniejszenie parametru sieci, a także powstanie naprężeń. Efektem tego zjawiska jest wzrost twardości powłoki TiAlN w porównaniu do powłoki TiN

Bardzo ważnym elementem w przeprowadzaniu metody Scratch-test jest adhezja między powłoką, a podłożem. Adhezja jest to zjawisko trwałego i silnego łączenia się warstw powierzchniowych dwóch różnych ciał doprowadzonych do zetknięcia. Inaczej jest to stan, w którym dwie powierzchnie przylegają do siebie wskutek połączeń mechanicznych albo oddziaływań walencyjnych. Szczególnym przypadkiem adhezji jest kohezja, występująca wtedy, gdy stykają się ciała jednakowe. Adhezja może być następstwem absorpcji. Zjawisko adhezji jest zależne od czystości oraz specjalnego przygotowanie powierzchni podłoża przed rozpoczęciem mechanizmu nakładania powłok

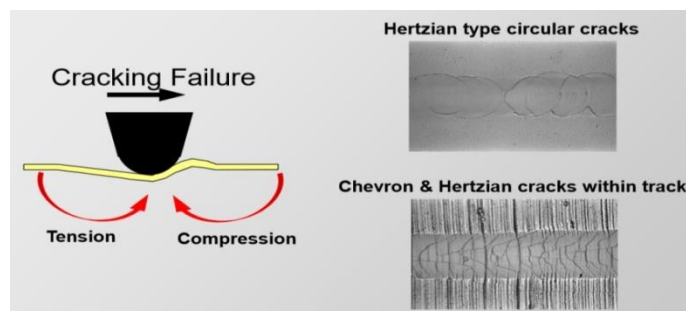
Najpopularniejszą metodą badania wytrzymałości połączenia powłoki z podłożem jest test zarysowania. Badanie odporności na zarysowanie pozwala sprawdzić czy powłoki naniesione na podłoże są na nim dostatecznie silnie zaczepione.



Rys. 1. Schemat układu do pomiaru adhezji warstwy TiAlN metodą rysy [8]

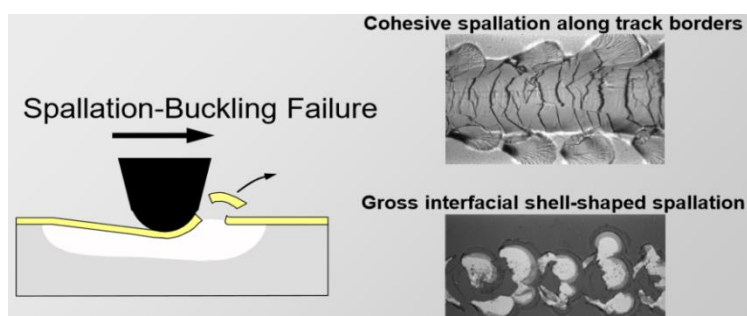
Na adhezję powłok do podłoża, duży wpływ mają mikrostruktura materiału, obciążenia zewnętrzne, a także aspekty środowiska. Metoda Scratch-test sprawdza wytrzymałość mechaniczno-adhezyjną i kohezyjną twardych powłok. W tej metodzie diamentowy wgłębnik Rockwella przemieszcza się po powierzchni badanej próbki ze stałą prędkością przy ciągle wzrastającym obciążeniu. Diamentowy wgłębnik podczas zarysowania wykonuje pracę tarcia. Podczas badania jest rejestrowane obciążenie krytyczne, które nie zależy wyłącznie od wytrzymałości mechanicznej układu powłok-podłoże, lecz także od wielu innych parametrów m.in. : twardość, chropowatość powłoki, współczynnik tarcia między wgłębnikiem a powłoką, grubość powłoki, naprężenia wewnętrzne występujące w powłoce, a także od parametrów próby: szybkości przesuwu wgłębnika, szybkości przyrostu obciążenia, promienia końcówki wgłębnika oraz jego zużycia. Bardzo ważne jest miejsce styku powłoki z podłożem. Podstawowymi wymaganiami stawianymi powłokom jest ich dobra przyczepność. Wykruszenie, złuszczenie, a zwłaszcza całkowite oddzielenie powłoki od podłoża (delaminacja) decydują o uszkodzeniu całego elementu, którego trwałość eksploatacji, która jest tak bardzo ważna w Inżynierii materiałowej zależy zatem głównie od przyczepności powłoki. W trakcie badania przyczepności powłok poprzez zarysowanie rejestrowana jest także emisja akustyczna i siła tarcia w funkcji siły obciążającej. Zmiany tych wartości są wskaźnikami, które umożliwiają określenie uszkodzenia powłoki. Wartość obciążenia, przy którym zauważamy pierwsze uszkodzenia, nazywamy obciążeniem krytycznym L_{c1} , który odpowiada gwałtownemu przyrostowi natężenia emisji akustycznej. Siły L_{c1} , L_{c2} , L_{c3} można także wyznaczyć przy pomocy mikroskopu optycznego, tak jak zostało to zrobione w publikacji.

L_1 jest odległość po której została pokonana siła spajająca powłokę. Na powierzchni pojawiają się pierwsze odpryski. L_2 jest to odległość po której powłoka odskakuje od substratu. L_3 jest to odległość po której powłoka odchodzi od substratu na całej powierzchni rysy.



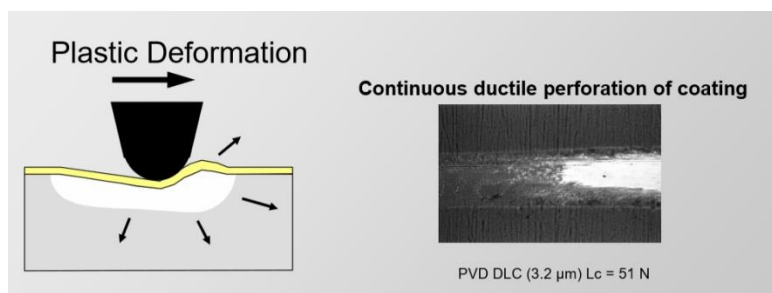
Rys. 2. Pęknięcia powstałe w wyniku przekroczenia granicy wytrzymałości [8]

Na rysunku 2 przedstawiono powstawanie pęknięcia powstałe w wyniku przekroczenia granicy wytrzymałości, spowodowane działaniem dwóch rodzajów naprężeń: rozciągających powstałych bezpośrednio za wgłębniakiem oraz ściskających zlokalizowanych bezpośrednio przed wgłębniakiem. Podczas tego procesu mamy do czynienia tylko z zjawiskiem kohezji, ponieważ powłoka nie została odspojona od powierzchni.



Rys. 3. Oderwanie powłoki w wyniku wybożenia przed wgłębniakiem [8]

Zjawisko wybożenia może występować na granicach rysy (rysunek 3) zdjęcie nr 1 oraz w środku rysy zdjęcie nr 2. Rysunek 4 przedstawia zniszczenie powłok w wyniku deformacji plastycznej.



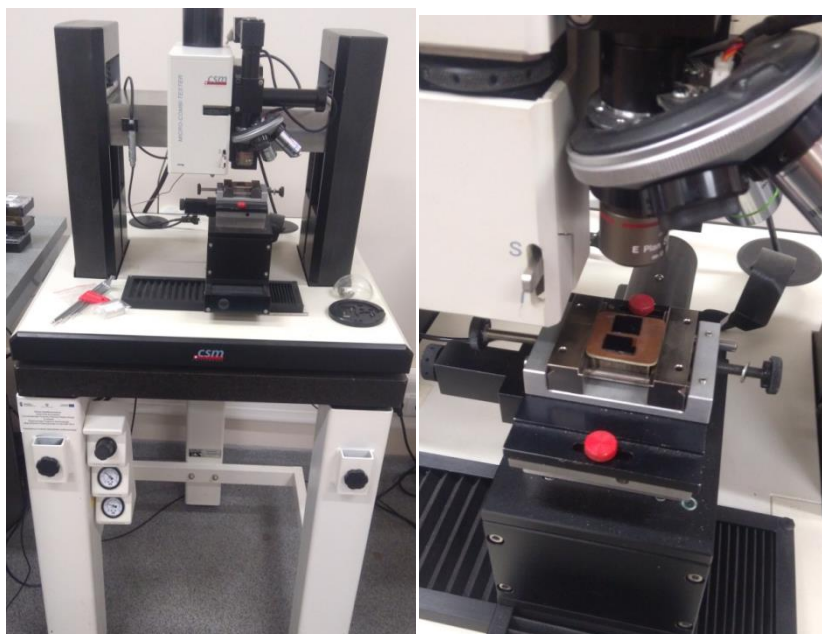
Rys. 4. Zniszczenie powłoki w wyniku deformacji plastycznej materiału podłoża i powłoki pod wgłębniakiem [8]

Pomiar adhezji powłok

Adhezja powłoki TiAlN nałożonej na stal szybko tnącą została zbadana metodą Scratch-test przeprowadzoną przy wykorzystaniu urządzenia Micro – Combi Tester firmy CSM Instruments z obiektywem Nikon E Plan 5x i 20x oraz wgłębniakiem diamentowym Rockwella (rys. 5).

Stosowano następujące parametry pomiaru:

- Obciążenie początkowe $F_0 = 30$ [mN]
- Obciążenie końcowe (maksymalne) $F_{\max} = 10\,000$ [mN]
- Prędkość zarysowania powłoki $v = 5\,000$ [mN/s]
- Długość zarysowania = 3 [mm]



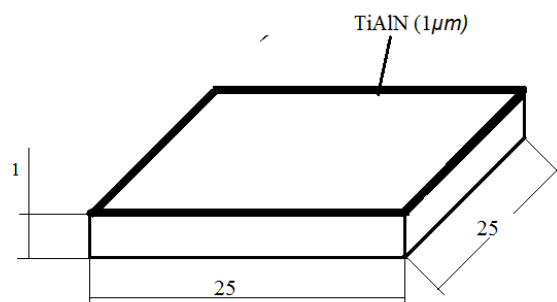
Rys. 5. Urządzenie Mikro-Combi Tester firmy CSM Instruments

Material do badań:

W tabeli 1 zamieszczono parametry procesu PVD wytwarzania powłok TiAlN. Na rysunku 4 przedstawiono schemat próbki użytej do badań.

Tabela 1. Warunki osadzania powłoki TiAlN

Lp.	Nazwa	Ar [sccm]	N [sccm]
1	3B1Al	3	6
Ciśnienie wstępne: 10^{-8} Pa			
Ciśnienie robocze: 10^{-1} Pa			
Odległość podłoża od target: 70 mm			



Rys. 6. Schemat próbki do badań

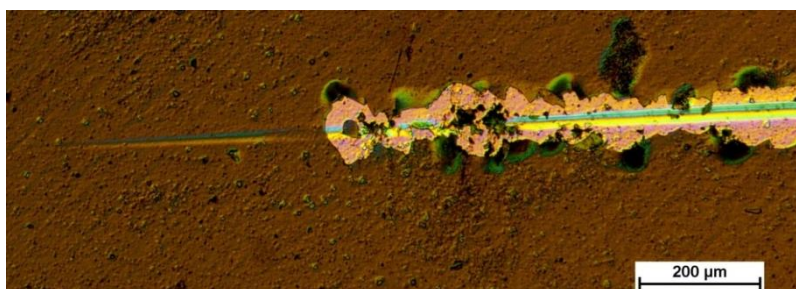
Wyniki badań i ich analiza:

Badanie przyczepności powłok wykonano metodą Scratch- testu wykonując 1 rysę na próbce 3B1. Zarejestrowano siły L_{c1} , L_{c2} , L_{c3} . Długości L_1, L_2, L_3 wyznaczono na mikroskopie optycznym, na ich podstawie wyznaczono siły L_{c1} , L_{c2} , L_{c3} . Ocena wartości siły L_c na podstawie obserwacji mikroskopowej nie zawsze odpowiadała wartości siły L_c wyznaczonej na podstawie zmian sygnału emisji akustycznej.

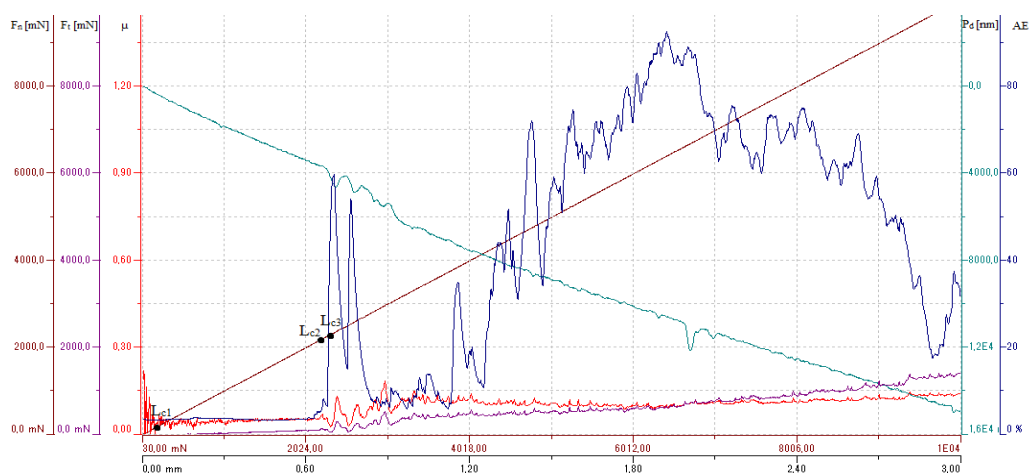
Próbka 3B1Al

Na rysunku 8 przedstawiono wykresy zależności współczynnika tarcia oraz normalnej siły i sygnału akustycznego od długości dla rysy 1,2,3 na próbce 3B1Al. Na wykresach zostały zaznaczone siły L_{c1} , L_{c2} , L_{c3} .

Rysunek 7 przedstawia obraz SEM rysy 1 utworzonej na próbce 3B1Al, widać na nim całkowite odejście powłoki od powierzchni, odpowiadające wartości siły L_{c3} . W tabeli 2 zostały przedstawione wyniki pomiarów próbki 3B1Alm.in.: długości L_1, L_2, L_3 dla utworzonej rysy, siły L_{c1} , L_{c2} , L_{c3} , współczynnik tarcia, sygnał akustyczny, długość rysy, przyłożony zakres obciążenia oraz prędkość przemieszczenia się wglębnika.



Rys.7. Obraz SEM 3B1Al rysy 1 przy powiększeniu 50x



Rys. 8. Zależność współczynnika tarcia, siły tarcia oraz normalnej siły od długości rysy nr 1 na próbce 3B1Al

Tabela 2. Zestawienie wyników dla próbki 3B1Al

Nazwa próbki	Nr rysy		L ₁ , L ₂ , L ₃ [μm]	Fn [mN]	μ [-]	Ft [mN]	AE [-]	l [mm]	Zakres obciążenie [mN]	v [mN/s]
3B1Al	1	L ₁	30	123,62	0,016	1,99	3,56	3	30-10000	5000
		L ₂	660	2228,83	0,057	127,36	8,39	3	30-10000	5000
		L ₃	680	2303,58	0,037	85,09	38,53	3	30-10000	5000

Wnioski:

Połączenia adhezyjne znalazły bardzo duże zastosowanie w Inżynierii materiałowej, ale także w innych dziedzinach, są stosowane w budowie, naprawie i regeneracji części nowoczesnych maszyn i pojazdów samochodowych, maszyn lotniczych, narzędzi wykonanych ze stali, drewna itd., a także są stosowane w medycynie. Jednak, podczas ich tworzenia zdarzają się błędy technologiczne, które mają duży wpływ na ich jakość i trwałość połączeń. Adhezja jest silnie związana z czystością i odpowiednim przygotowaniem materiału podłoża przed procesem PVD. Metoda Scratch-test umożliwia sprawdzenie wytrzymałości mechaniczno-adhezyjnej i kohezyjnej trwałych powłok. Dzięki zastosowaniu urządzeń typu Micro-Combi Tester do tego typu badań, możliwe są pomiary parametrów zarysowania, analiza mikroskopowa rysy, a także analiza akustyczna. Zastosowanie metody Scratch-test: przyczepność powłoki, zachowanie wiskoelastyczne, odporność na zarysowania, twardość, odporność na pęknięcia oraz ocena tribologiczna.

Literatura:

- [1] A. Głuszek „, Badanie adhezji powłok wybranych azotków metali”
- [2] M. Varga, S. Leroch, H. Rojacz, M. Rodríguez z Ripoll „,Study of wear mechanisms at high temperature scratch testing” *Wear*, Volumes 388–389.
- [3] J. Chen, Y. Feng, Yijin Zeng, Yannong Han, Yi Wang, Chengcheng Niu: Continuous rock drillability measurements using scratch tests, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 159,
- [4] Campos-Silva, A. D. Contla-Pacheco, A. Ruiz-Rios, J. Martínez-Trinidad, G. Rodríguez-Castro, A. Meneses-Amador, W. D. Wong-Angel: Effects of scratch tests on the adhesive and cohesive properties of borided Inconel 718 superalloy, *Surface and Coatings Technology*, Volume 349
- [5] M. Shukla, S. Ghosh: Analysis of interfacial joint strength of microwave and conventionally brazed alumina ceramic joints using scratch test method, *Materialstoday: Proceedings*, Volume 5.
- [6] B. D. Beake, J. L. Endrino, C. Kimpton, G. S. Fox-Rabinovich, S. C. Veldhuis: Elevated temperature repetitive micro-scratch testing of AlCrN, TiAlN and AlTiN PVD coatings, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Volume 69
- [7] A. Kataruka, K. Mendu, O. Okeoghene, J. Puthuvelil, A. T. Akono: Microscopic assessment of bone toughness using scratch tests, *Bone Reports*, Volume 6
- [8] K. Zhang, J. Deng, X. Guo, L. Sun, S. Lei: Study on the adhesion and tribological behavior of PVD TiAlN coatings with a Multi- scale textured substrate surface. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 72 (2018) 292-305

Zastosowanie mikroskopii elektronowej w dziedzinie inżynierii materiałowej do badań składu chemicznego oraz właściwości strukturalnych wybranych metali i ich stopów

M. Kiszka⁽¹⁾, A. Gluszek⁽¹⁾, P. Prach⁽¹⁾, D. Zaborniak⁽¹⁾, M. Turzyniecki⁽¹⁾

⁽¹⁾Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

Słowa kluczowe: skaningowa mikroskopia elektronowa, EDS, mikroskop elektronowy, miedź, aluminium

Streszczenie:

W pracy przedstawiono zastosowanie mikroskopii elektronowej w dziedzinie inżynierii materiałowej na przykładzie badań składu chemicznego powierzchni stopów miedzi i aluminium. Próbkę o wymiarach 20x40x1mm³ zostały przebadane na powierzchni utlenionej oraz po mechanicznym usunięciu tlenków z powierzchni. Badania zostały przeprowadzone przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego SEM z analizatorem EDS przy powiększeniu 100x i napięciu 30kV. Zarówno dla każdej próbki oraz powierzchni utlenionej jak i nieutlenionej zarejestrowano wyniki w postaci widm. Na podstawie analizy ZAF wyznaczono zawartość pierwiastków w badanych materiałach.

Abstract:

The paper presents the application of electron microscopy in the field of materials engineering on the example of chemical composition of the surface of copper and aluminum alloys. Samples measuring 20x40x1mm³ were tested on the oxidized surface and after the mechanical removal of oxides from the surface. The tests were carried out using a scanning electron microscope SEM with an EDS analyzer at 100x magnification and 30kV. The results in the form of spectra were recorded for each sample as well as the oxidized and non-oxidized surfaces. On the basis of ZAF analysis, the content of elements in the tested materials was determined.

1. Przegląd literatury

S.P. Rodrigues, b i in.[2] opisali zwilżalność stopu (Al6016-T4), który jest szeroko stosowany w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym. Stop Al6016-T4 został poddany również analizie spektroskopowej z dyspersją energii EDS przeprowadzony przy napięciu 5kV. Stop ten wcześniej był poddany obróbce cieplnej i naturalnie starzony do stanu stabilnego. Próbka do badań miała wymiary 0,2x2x2cm². Stop Al6016-T4, wykazuje następujące stężenie wagowe pierwiastków Al-98,0% wag., Si-1,1% wag., Mg-0,9% wag. Wenbin Lei i in.[3] przedstawili badania podeutektycznego stopu Al-7Si bez i z dodatkiem Li. W publikacji zbadano wpływ Li o różnej zawartości na mikrostrukturę i właściwości podeutektycznych stopu Al-7Si. Do przeprowadzenia badań mikrostruktury wykorzystano skaningową mikroskopię elektronową (SEM) z analizatorem (EDS). Przeprowadzono również badania twardości i wytrzymałości na rozciąganie w celu określenia właściwości mechanicznych stopów ze zmiennymi domieszkami Li. Badania wykazały że dodatek litu może zwiększyć wytrzymałość stopu. Zhang-Zhi i in. [4] zamieścili badania na temat trójskładnikowego stopu Zn-Mn-Cu. Są to stopy odlewnicze bardzo kruche. Nowa faza trójskładnikowa jest scharakteryzowana i określona jako MnCuZn18 w stopie MnZn13, co daje gruboziarnisty, dendrytyczny związek MnZn13-MnCuZn18 w stopie Zn-0,75 Mn-0,40Cu. Taka gruboziarnista struktura jest szkodliwa dla właściwości stopu kutego. Wstępne badania wskazują, że stop Zn-Mn-Cu jest obiecującym kandydatem do potencjalnych zastosowań w układach sercowo-naczyniowych. Mikrostrukturę stopu obserwowano za pomocą mikroskopu optycznego oraz za pomocą FESEM/EDS. Mahesh K. i in.[5] zamieścili badania na temat stopu na bazie niobu C-103 pokrytego Fe-Cr-Si. W publikacji przebadano mikrostrukturę oraz powierzchnię pęknięcia stopu na bazie niobu C-103 pokrytego Fe-Cr-Si. Badania wykonano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego firmy Zeiss Supra-55 (SEM) z detektorem dyspersji rentgenowskiej energii (EDXS). Galwaniczną warstwę Ni nałożono przed cięciem i zamocowaniem próbki, aby zapobiec uszkodzeniu powłoki. Do przygotowania przekrojów powłok zastosowano standardowe techniki polerowania metalograficznego.

2. Skaningowa mikroskopia elektronowa

Mikroskopia elektronowa jest to technika służąca do charakterystyki powierzchni, obszarów przypowierzchniowych, składu chemicznego oraz struktur materiałów o budowie nanostrukturalnej. Wyróżnić można kilka jej rodzajów [8,9].;

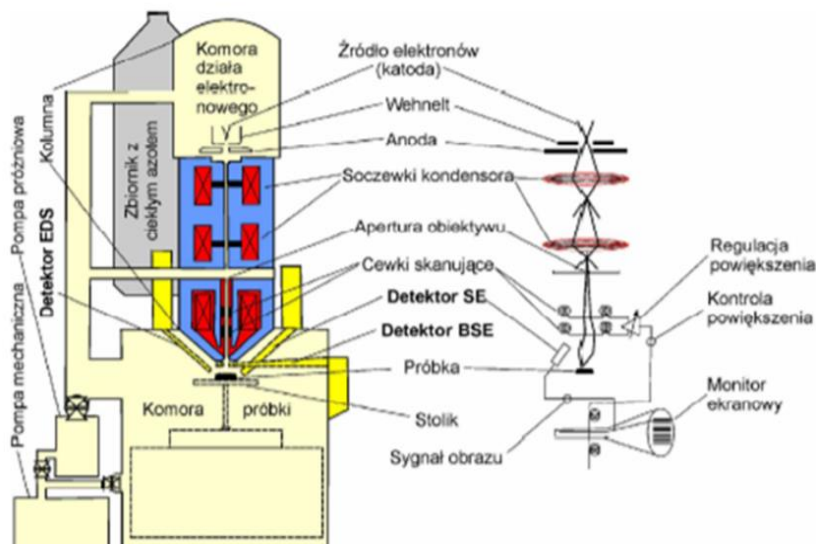
- transmisyjna mikroskopia elektronowa - TEM (ang. Transmission Electron Microscopy),
- skaningowa mikroskopia elektronowa - SEM (ang. Scanning Electron Microscopy),
- skaningowa transmisyjna mikroskopia elektronowa - STEM (ang. Scanning Transmission Electron Microscopy)

W pracy wykorzystano skaningową mikroskopię elektronową SEM z mikroanalizatorem EDS która opiera się na skanowaniu powierzchni próbki nanometrową wiązką elektronów ukształtowaną przez układ elektrooptyczny mikroskopu. Wiązka taka zostaje uformowana przez układ soczewek elektronowych. Próbkę zostają przeskanowane wiązką elektronów odchylną przez cewki. Odchylenie wiązki, która tworzy obraz na monitorze jest zsynchronizowane z odchyleniem wiązki skanującej próbkę. Następnie sygnał z powierzchni próbki dociera do detektora, kolejno energia elektronów wtórnych zamienia się w impulsy świetlne wzmacniane przez fotopowielacz, które zachodzi dzięki zjawisku scyntytacji. Elektrony, padające na próbkę, oddziałują z elektronami atomów próbki i powodują m.in. emisję: elektronów wtórnych, elektronów wstecznie rozproszonych, elektronów Augera, promieniowania rentgenowskiego, promieniowania fluorescencyjnego. [6,8,9].

W mikroanalizie rentgenowskiej z analizatorem EDS/EDX wykorzystywany jest skaningowy mikroskop elektronowy (SEM-ang. Scanning Electron Microscope), którego schemat mamy przedstawiony na rysunku 1. Jest to urządzenie za pomocą którego możemy badać topografię powierzchni danego materiału od nanometrycznej skali do mikrometrycznej.

Skaningowy mikroskop elektronowy jest zbudowany z:

- działa elektronowego, które jest źródłem emisji elektronów pierwotnych,
- kolumny mikroskopu gdzie dochodzi do przyśpieszenia i ogniskowania wiązki elektronów,
- komory próżniowej, gdzie elektrony wiązki zaczynają oddziaływać z próbką,
- zestawu detektorów skupiających sygnały wyemitowane przez próbkę,
- systemu, który umożliwia zmianę sygnału na obraz.



Rys.1 Schemat budowy skaningowego mikroskopu elektronowego [1]

Standardowy detektor półprzewodnikowy w EDS to najczęściej monokryształ krzemu lub germanu, gdzie ich budowa krystaliczna i stopień czystości mają wpływ na ich przewodnictwo. Im kryształ jest czystszy to jego przewodnictwo prądu jest słabsze, dlatego obecność defektów, zanieczyszczeń lub celowe wprowadzanie domieszek ma służyć temu, że w materiale powstają wolne elektrony bądź dziury, które dostarczają prąd elektryczny. Jest to główną przyczyną tego, że przy budowie detektorów EDS dobiera się takie monokryształy które posiadają stosunkowo niewielkie przewodnictwo.

W metodzie EDS wykorzystuje się zjawisko oddziaływania między fotonami promieniowania a elektronami atomów krzemu. Polega to na tym, że do detektora dociera foton, który może ulec absorpcji i oddziaływać z elektronem atomu krzemu. Wtedy w monokryształe krzemu powstaje wiele par elektron-dziura, gdzie do utworzenia jednej takiej pary potrzebujemy 3,8 eV. Tworzenia się takich par umożliwia przepływ prądu który przechodzi przez detektor i następnie tworzy nam się impuls napięciowy obrazujący energię fotonu. Detekcja promieniowania w tej metodzie wiąże się z pomiarem ilości nośników prądu elektrycznego, czyli naszych par elektron - dziura.

Impulsy wychodzące z detektora zostają zapisane w pamięci cyfrowej oraz klasyfikowane w zależności od energii, która znajduje się wielokanałowym analizatorze. Każdy jeden sygnał, który tworzy się podczas tej detekcji promieniowania jest zapisywany jako pojedynczy impuls w odpowiednim kanale energetycznym w analizatorze. Piki, które pojawiają się w spektrum są liczbą fotonów o odpowiedniej energii, które zostają zarejestrowane podczas pomiaru [1,6,8].

Widmo inaczej spektrum tworzą linie promieniowania tworzące się poprzez charakterystyczne promieniowanie rentgenowskie ale też za pomocą tła, które zostaje utworzone poprzez ciągłe promieniowanie rentgenowskie. Na osi odciętych są przedstawione elektronowolty (keV), natomiast na osi rzędnych liczba impulsów zarejestrowanych w danym pomiarze. Piki które pojawiają się w widmie są to tzw. charakterystyczne linie promieniowania rentgenowskiego ich wielkość zależy m.in. od średniej atomowej liczby próbki jak i od atomowej liczby atomu, który posiada zdolność do emitowania promieniowania oraz fluorescencji wtórnej, która jest wynikiem pochłaniania promieniowania przez próbkę. Fluorescencja która tworzy się w towarzystwie innych pierwiastków ma wpływ na wielkość pików, co jest uzależnione od efektu osnowy i jest zawarta w korekcji ZAF [10].

W mikroanalizie jakościowej często zdarza się tak, że powstałe piki nie są do końca wyraźne, co utrudnia nam jego interpretacje oraz ma wpływ na zidentyfikowanie pierwiastka obecnego w materiale. W widmie dodatkowo pojawiają się piki sumy energii, jak i piki ucieczki. Piki sumy powstają gdy dwa kwanty promieniowania rentgenowskiego są rejestrowane w detektorze w tym samym czasie, następnie są sumowane i tworzą jeden kwant o podwójnej energii. Natomiast piki ucieczki powstają w skutek wzbudzenia promieniowania Si $K\alpha$ w detektorze o energii E-1,74 keV [6,11]. W widmie dochodzi do oddziaływania elektronów z wcześniej wzbudzonym promieniowaniem co ma wpływ na wysokość pików oraz powstawanie nowych. Dlatego dochodzi często do poszerzenia pików poprzez nakładanie się ich na siebie. O przeliczeniu na stężenie pików pierwiastków może decydować obecność dodatkowych pików, rozpoznanie pierwiastków i przyporządkowanie ich do odpowiednich pików, zlikwidowanie powstałego tła oraz uwzględnienie korekcji efektów różnicy liczb atomowych, fluorescencji oraz absorpcji promieniowania co nazywane jest w skrócie ZAF.

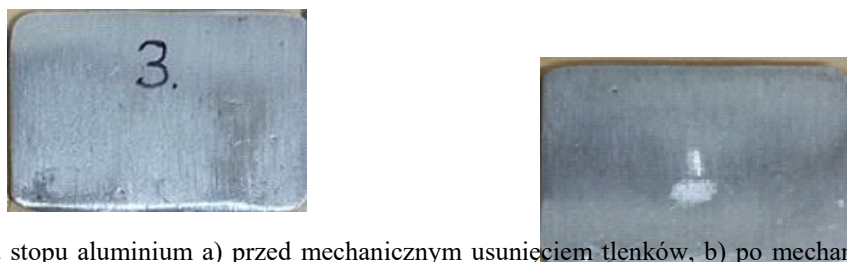
Systemy EDS a także też WDS są wspomagane komputerowo co pozwala nam uzyskać wyniki ilościowe pierwiastków jak również widmo w przeciągu kilkadziesiąt sekund. Za pomocą kalibracji detektora oraz odpowiednich założeń możemy generować dane wzorcowe w mikroanalizie korekcyjnej ZAF. Korekcję ZAF możemy podzielić ze względu na Z co oznacza wpływ atomowej liczby na efektywność wzbudzonego promieniowania rentgenowskiego, rozmiar fluorescencji jak i skuteczność detektora. Korekcja A ma na względzie to, że próbka może pochłoniąć promieniowanie rentgenowskie, co spowoduje mniejszą ilość impulsów dochodzących do detektora. Natomiast korekcja F umożliwia zarejestrowanie większej ilości impulsów dzięki pomocniczej emisji promieniowania, które jest emitowane przez ciągłe i charakterystyczne promieniowanie. Korekcje ZAF uzależnione są od kąta odbieranego promieniowania o wartości 35-45° [1,9,11]

3. Przygotowanie próbek

Materiałem do badań były dwie próbki wykonane ze stopów miedzi oraz aluminium. Próbki do badań posiadały wymiary 40x20x1mm³. Dla każdej próbki badania wykonano na powierzchni utlenionej oraz jednocześnie na powierzchni po mechanicznym usunięciu tlenków. Pomiar wykonano przy powiększeniu 100 x, stosując napięcie 30 kV. Na rysunkach 2 i 3 pokazano próbki przed i po usunięciu tlenków.



Rys 2. Próbkę stopu miedzi a) przed mechanicznym usunięciem tlenków, b) po mechanicznym usunięciu tlenków



Rys 3. Próbkę stopu aluminium a) przed mechanicznym usunięciem tlenków, b) po mechanicznym usunięciu tlenków

4. Metodyka Badań

Badania zostały wykonywane na skaningowym mikroskopie elektronowym SEM/FIB Quanta 3D 200i (FEI). Jest to mikroskop służący głównie do badań cienkich foli z dowolnego miejsca próbki z precyzją do kilku μm . Posiada on dwa działa elektronowe, i jonowe. Jednym z nich jest włókno wolframowe a drugim jonowe (Ga^+). Pracę na tym modelu możemy przeprowadzać przy napięciu przyspieszającym, które wynosi od 500V do 30kV. Maksymalna wartość prądu jonowej wiązki jaką możemy uzyskać na tym mikroskopie równa się 65 nA. Skaningowy mikroskop elektronowy wraz z detektorem EDAX, który znajdują się w pracowni przedstawiono na rysunku 4 oraz 5.

Do pomiaru analizy jakościowej został użyty mikroanalizator EDS typu SDD, którego powierzchnia wynosi 10mm^2 i z rozdzielczością 132eV . Przy analizie składu chemicznego napięcie przyspieszające, przy którym wykonano pomiary wyniosło $U=30\text{kV}$.

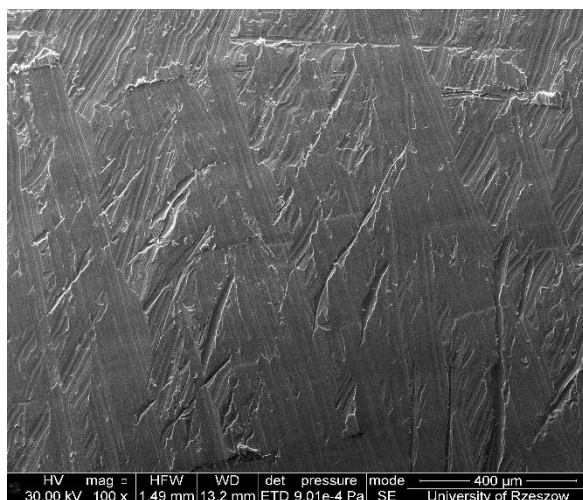


Rys.5. Detektor EDAX skaningowego mikroskopu elektronowego

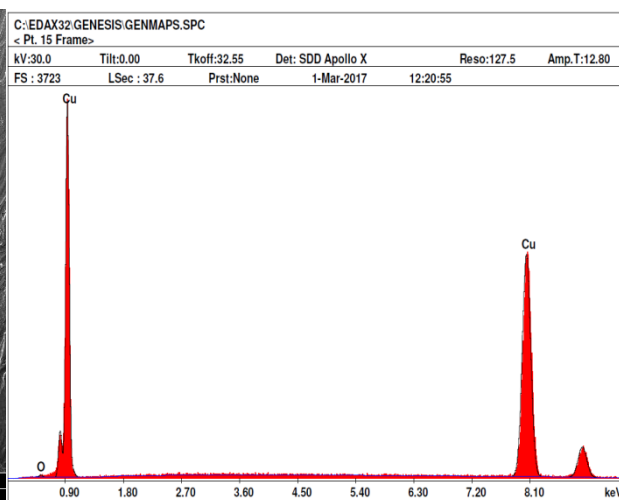
5. Wyniki

Na zamieszczonych rysunkach 6,7 i 8 zostały przedstawione zdjęcia SEM powierzchni oraz ich spektrogramy EDX. Analizę składu chemicznego przeprowadzono na całej prezentowanej powierzchni.

a)

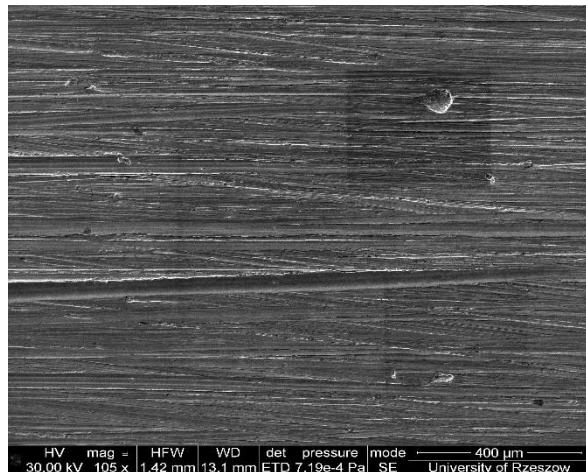


b)

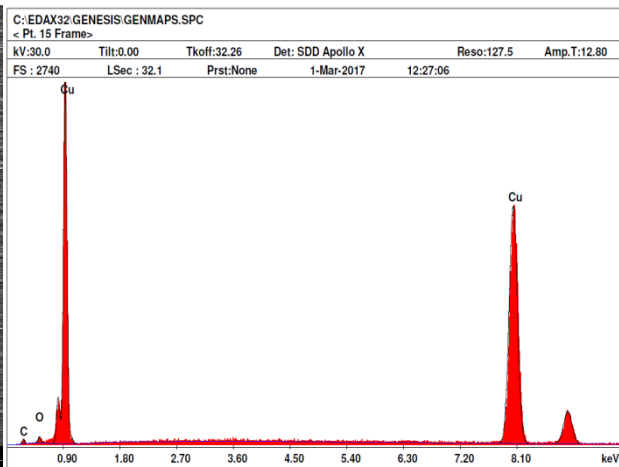


Rys. 6. a) Zdjęcie powierzchni nieutlenionej stopu miedzi przy powiększeniu 100x,
b) Widmo EDS dla próbki nieutlenionej

a)



b)

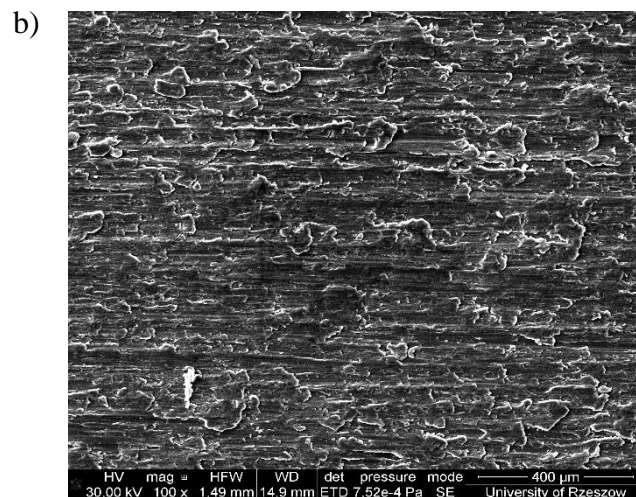
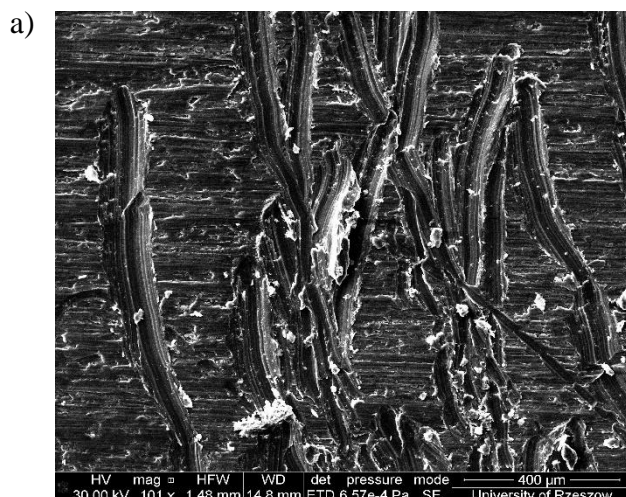


Rys.7.a) Zdjęcie powierzchni utlenionej stopu miedzi przy powiększeniu 105x,
b) Widmo EDS dla powierzchni utlenionej

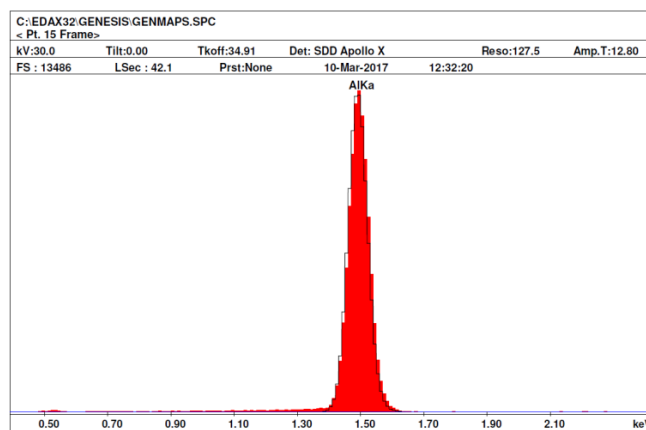
Tabela 1. przedstawia zawartość %wag. i %at. pierwiastków dla stopu miedzi, uwzględniając przy tym zarówno powierzchnię utlenioną jak i nieutlenioną. Analizę (ZAF) wykonano przy użyciu standardowego oprogramowania – GENESIS firmy EDAX.

Tabela 1. Skład chemiczny i jego zawartość %wag. i %at. dla stopu miedzi

Nr. Próbki 1.	Rodzaj powierzchni	Zawartość procentowa pierwiastków					
		O		Cu		C	
	Powierzchnia nieutleniona	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %
		0,76	2,97	99,24	97,03	-	-
	Powierzchnia utleniona	2,02	6,19	92,52	71,47	5,47	22,34



c)



Rys.8. a) Zdjęcie powierzchni utlenionej stopu aluminium zrobione przy powiększeniu 100x b) Zdjęcie powierzchni nieutlenionej stopu aluminium zrobione przy powiększeniu 101x, c) Widmo EDS jednakowe dla obu powierzchni

6. Wnioski

Mikroskopia elektronowa to przydatna i coraz bardziej powszechna technika służąca do charakterystyki powierzchni, badań jakości powłok ochronnych, badań uszkodzeń warstwy wierzchniej różnych elementów, do diagnozowania zniszczeń korozyjnych, ogniska i produkty korozji, obszarów przypowierzchniowych, oraz badań struktury czyli budowy wewnętrznej tworzyw, określenie mikrostruktury stopów, badań jakości warstwy nawęglonej czy naazotowanej, składu chemicznego oraz struktur materiałów o budowie nanostrukturalnej co ma duży wpływ na jej zastosowanie w dziedzinie Inżynierii materiałowej ale również też w innych dziedzinach przemysłu czy medycyny. Badania obejmowały analizę powierzchni oraz pomiar składu chemicznego stopu miedzi oraz stopu aluminium. Z zamieszczonych w pracy badań wynika, że napięcie między anodą i katodą ustawiane podczas obserwacji w mikroskopii SEM powinno mieć minimum dwa razy większą wartość od napięcia równoważnego energii charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego pierwiastków badanego materiału. Z przedstawionych wyników można zauważyć że w obu przypadkach mechaniczne usunięcie tlenków doprowadziło do wzrostu chropowatości powierzchni zmiany struktury. W przypadku stopu miedzi na wynik pomiaru wpłynął sposób przygotowania powierzchni, obecność tlenków na powierzchni wpływa na zawartość tlenu zmierzoną metodą EDX. Badanie powierzchni nieutlenionej w przypadku stopu miedzi wykazało obecność węgla w stopie. Natomiast analiza stopów aluminium zarówno na powierzchni utlenionej jak i po usunięciu tlenków daje jednakowe wyniki – nie zarejestrowano pików pochodzących od tlenu. W przypadku pierwiastków lekkich (tlen, azot) występujących równocześnie z pierwiastkami ciężkimi (metali) analiza ZAF pozwala określić skład chemiczny z dokładnością około 1,5%.

Literatura

- [1] M. Kiszka: „Badania składu chemicznego stopów metali Cu, Al, Fe, Cr”. Uniwersytet Rzeszowski. Rzeszów 2018.
- [2] S.P. Rodriguesa,b, C.F. Almeida Alvesb, A. Cavaleiroa, S. Carvalhoa,b; Water and oil wettability of anodized 6016 aluminum alloy surface, *Applied Surface Science*, 422 (2017) 430-442.
- [3] Wenbin Lei, Xiaotao Liu , Weiming Wang, Qing Sun, Yuzhao Xu Jianzhong Cui. On the influences of Li on the microstructure and properties of hypoeutectic Al-7Si alloy; *Journal of Alloys and Compounds*; 729 (2017) 703-709.
- [4] Zhang-Zhi Shi, Jing Yu, Xue-Feng Liu, Lu-Ning Wang; Fabrication and characterization of novel biodegradable Zn-Mn-Cu alloys; *Journal of Materials Science & Technology*; (2017) 1-8.
- [5] Mahesh K. Kumawat, Md. Zafir Alam, Dipak K. Das. Effect of cyclic oxidation on the tensile behavior of a Fe-Cr-Si coated Nb base alloy; *Corrosion Science*; 131 (2018) 174-186.
- [6] Pod redakcją A. Barbackiego: „Mikroskopia elektronowa” Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2007
- [7] L.A Dobrzański, E. Hajduczek: „Mikroskopia świetlna i elektronowa”. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1987.
- [8] J. Sokołowski, B. Pluta, M. Nosła: „Elektronowy Mikroskop Skaningowy, Zasada działania i zastosowani”. Gliwice 1979, Politechnika śląska im.W. Pstrowskiego.
- [9] J.I. Goldstein, D.E. Newbury, P. Echlin, D.C. Joy, Ch.E. Lyman, E. Lifshin, L. Sawyer, J.R. Michael: „Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis” Boston, MA : Springer US 2003.
- [10] Pod redakcją J.Ryczkowskiego: Adsorbenty i katalizatory: Wybrane technologie a środowisko, Rzeszów 2012.
- [11] I.Jendrzewska: Charakterystyka promieniowania molibdenowej lampy rentgenowskiej.