



Wydział
Mechaniczny



Instytut Informatyki
i Zarządzania Produkcją
ul. Szafrana 4
65-246 Zielona Góra

tel. (0-68) 328-22-73
Sekretariat@iizp.uz.zgora.pl

INŻYNIERIA

PRODUKCJI

*Procesy
Modele
Scenariusze*

Pod redakcją:
Juliana Jakubowskiego
Justyny Patalas-Maliszewskiej

IZiP

14

ISBN 978-83-65200-10-5

Uniwersytet Zielonogórski
Zielona Góra 2018

INŻYNIERIA PRODUKCJI

*Procesy
Modele
Scenariusze*

Pod redakcją:
Juliana Jakubowskiego
Justyny Patalas-Maliszewskiej

Zielona Góra 2018

UNIwersYTET ZIELONOGÓRSKI
Rada Wydawnicza Zeszytu Naukowego Inżynieria Produkcji
Julian Jakubowski, Sławomir Kłos,
Justyna-Patalas-Maliszewska, Michał Sąsiadek, Roman Stryjski, Waldemar Woźniak



Autorzy rozdziałów:

Rozdział 1: Natalia Ferenc, Sławomir Kłos
Rozdział 2: Julian Jakubowski, Bartosz Musioł
Rozdział 3: Waldemar Woźniak
Rozdział 4: Małgorzata Skrzyszewska
Rozdział 5: Tadeusz Szmigielski, Klaudia Słowiecka
Rozdział 6: Karol Dąbrowski, Kamil Leksycki
Rozdział 7: Mateusz Głowicki Michał Sąsiadek

Redakcja naukowa:
Julian Jakubowski
Justyna Patalas-Maliszewska

Recenzenci:
prof. **Irene Krebs**, prof. **Josef Basl**

© Copyright by Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją
Zielona Góra 2018

ISBN: 978-83-65200-10-5

Spis treści

Przedmowa	5
Rozdział 1	
Analiza jakości wyrobów drukowanych w technologii 3D	7
<i>Natalia Ferenc, Sławomir Kłos</i>	
Rozdział 2	
Charakterystyka wybranych problemów rekonstrukcji powierzchni w technice RE	23
<i>Julian Jakubowski, Bartosz Musioł</i>	
Rozdział 3	
Analiza funkcjonalna wybranych giełd transportowych i platform przetargowych w logistyce dystrybucji	39
<i>Waldemar Woźniak</i>	
Rozdział 4	
Modelowanie procesów w dziale utrzymana ruchu dla potrzeb wdrożenia systemu MES	49
<i>Małgorzata Skrzyszewska</i>	
Rozdział 5	
Ocena jakościowa próbných złączy teowych spawanych metodą TIG na podstawie badań wizualnych	57
<i>Tadeusz Szmigielski, Klaudia Słowiecka</i>	
Rozdział 6	
Metoda servqual jako narzędzie do oceny jakości usług kurierskich	75
<i>Karol Dąbrowski, Kamil Leksycki</i>	
Rozdział 7	
Zmniejszenie złożoności konstrukcji wyrobu z uwzględnieniem zasad DFA	83
<i>Mateusz Głowicki, Michał Sasiadek</i>	
Bibliografia	97
Autorzy	101

PRZEDMOWA

Szanowni Państwo,

Inżyniera Produkcji jako dyscyplina naukowa w dziedzinie nauk technicznych obejmuje wiele aspektów działalności przedsiębiorstw, m.in.: zagadnienia planowania, organizowania i wdrażania rozwiązań usprawniających działanie zarówno procesów produkcyjnych jak i logistycznych. Kadra zarządzająca przedsiębiorstw dąży do rozwoju firmy w kontekście Industry (Przemysł) 4.0. Przemysł 4.0 oznacza integrację inteligentnych maszyn, systemów oraz wprowadzanie zmian w procesach produkcyjnych mających na celu zwiększanie wydajności wytwarzania. W książce zostały zaprezentowane wybrane metody i techniki, których zastosowanie prowadzi do polepszenia jakości procesów produkcyjnych oraz/lub logistycznych w przedsiębiorstwie.

Rozdział pierwszy prezentuje analizę jakości wyrobów drukowanych w technologii 3D. Obejmuje charakterystykę Rapid prototyping oraz wyniki kontroli jakości 8 próbek wydrukowanych w technologii 3D. Próbkę zostały wydrukowane z materiału PLA na drukarce DEXER MULTI XL dostępnej na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Zielonogórskiego. Następnie dokonano analizy ich jakości pod kątem wysokości warstwy, prędkości drukowania i grubości ścianki.

W rozdziale drugim dokonano charakterystyki wybranych problemów rekonstrukcji powierzchni w technice RE. Omówiono proces pozyskiwania informacji na temat fizycznego obiektu oraz proces modelowania chmury punktów. Scharakteryzowano technologię Rapid Prototyping, a następnie przedstawiono system CATIA V5 wspomagający prace inżynierskie związane z modelowaniem przestrzennym w środowisku CAE. W części praktycznej przedstawiono zastosowanie inżynierii odwrotnej skanując grupę detali za pomocą skanera optycznego i dokonano edycji oraz filtracji otrzymanej chmury punktów. Następnie wytworzono przykładowe modele technologią druku 3D oraz opisano problemy występujące podczas poszczególnych procesów.

Rozdział trzeci obejmuje analizę porównawczą wybranych giełd transportowych i platform przetargowych w logistyce dystrybucji. Wyniki analizy porównawczej wskazują na brak możliwości zaspokojenia potrzeb rynku TSL przez jednego dostawcę elektronicznej giełdy transportowej i/lub platformy przetargowej. Wynika to z ilości i różnorodności potrzeb przedsiębiorstw poszukujących narzędzi usprawniających logistykę dystrybucji. Giełdy transportowe i platformy przetargowe pomagają w optymalizowaniu procesów logistycznych redukując czas przemieszczania towarów, poprawiając bezpieczeństwo transportu i minimalizując puste przebiegi środków transportowych oraz zrzeszając ze sobą wiele firm spedycyjnych, transportowych i produkcyjnych. Stosowanie nowoczesnych narzędzi informatycznych zwiększa konkurencyjność, a ich odpowiednie wykorzystanie może przynieść duże zyski finansowe przedsiębiorstwom sektora transportowego.

W rozdziale czwartym przedstawiono modele procesów w dziale utrzymania ruchu opracowane dla potrzeb wdrożenia systemu MES (Manufacturing Executive Systems) w notacji BPMN. Stworzono cztery procesy dotyczące służb utrzymania, następnie przedstawiono je w formie graficznej przy użyciu notacji BPMN (Business Proces Modeling).

Rozdział piąty prezentuje ponownie aspekty oceny jakościowej wybranych produktów. Przykład obejmuje wyniki oceny wizualnej próbnych złączy spawanych metodą TIG, przy różnych parametrach spawania. Złącza wykonane z blachy stalowej o strukturze austenityczno-ferrytyczne stosowanej między innymi na narzędzia chirurgiczne. Wyniki badań wykazały znaczący wpływ na jakość spoin; natężenia prądu, średnic elektrody i materiału dodatkowego oraz umiejętności spawacza. Do najczęściej występujących niezgodności zaliczono nieregularność szerokości spoin, nierówność powierzchni lica oraz podtopienia.

Rozdział szósty jest w tematyce procesów logistycznych w inżynierii produkcji. Scharakteryzowano branżę Kuriersko – Ekspresowo – Paczkową (KEP) oraz wskazano jej istotne znaczenie w światowym rynku usług logistycznych. Następnie opisano problemy związane z jakością usług kurierskich występujących w branży, a także scharakteryzowano kluczowe elementy dotyczące jakości świadczonych usług i spełniania oczekiwań klientów. Przedstawiono znaczenie systemów zarządzania jakością jako narzędzi do ciągłego udoskonalania i rozwijania usług oraz podkreślono ich znaczenie w kwestii zadowolenia klienta. Następnie ukazano metodę Servqual umożliwiającą ocenę jakości usług kurierskich przez konsumenta oraz przez przedstawicieli przedsiębiorstwa. Zaprezentowane narzędzie daje sposobność do sprawnej identyfikacji odstępstw w procesie, jakim są usługi kurierskie.

W rozdziale siódmym zaprezentowano możliwości zmniejszenia złożoności konstrukcji wyrobu z uwzględnieniem zasad dfa. Scharakteryzowano propozycję analizy złożoności konstrukcji wyrobów z uwzględnieniem metodologii projektowania dla montażu. Celem tej analizy jest uproszczenie konstrukcji i dostosowanie jej do efektywnego, tj. łatwego, taniego i szybkiego procesu montażu. Na przykładzie palnika gazowego przedstawiono zastosowanie analizy złożoności, a następnie zaproponowano usprawnienia w konstrukcji palnika gazowego i omówiono korzyści wynikające z przeprowadzonej analizy.

Przykłady zawarte w książce pokazują rozwiązania usprawniające pracę przedsiębiorstw zarówno produkcyjnych, jak u usługowych. Warto podkreślić, iż wykonane analizy i studia przypadków zostały przygotowane przez studentów kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji na trzech stopniach kształcenia (studiów inżynierskich, magisterskich i doktoranckich) przy pomocy i wsparciu pracowników Instytutu Informatyki i Zarządzania Produkcją Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Życzymy Państwu przyjemnej lektury.

Redaktorzy

ANALIZA JAKOŚCI WYROBÓW DRUKOWANYCH W TECHNOLOGII 3D

1. WPROWADZENIE

Zakup profesjonalnej drukarki 3D to koszt ok. 50 000 zł. Zakup bardziej amatorskiego sprzętu oscyluje w granicach kilku tysięcy złotych. Niska cena zachęca do kupna drukarki i do samodzielnego przetestowania jej możliwości. Aktualnie drukarki 3D najczęściej można spotkać w prywatnych firmach, firmach produkcyjnych oraz na uniwersytetach. Z każdym rokiem ceny drukarek 3D spadają, a ich dokładność drukowania rośnie. Jednak czy należy kupować profesjonalny sprzęt za kilkadziesiąt tysięcy złotych, aby jakość drukowania była najlepsza? Nieraz wystarczy zrobić test jakości, czyli wydrukować element kilka razy, na różnych parametrach i sprawdzić, które ustawienie parametrów dało najlepszą jakość.

Celem artykułu jest analiza wymiarów elementu zaprojektowanego w programie Inventor, który został wydrukowany 8 razy na drukarce 3D. Za każdym razem element był drukowany przy różnych parametrach. Parametry zostały tak dobrane, aby zbadać jak wysokość warstwy, prędkość drukowania i grubość ścianki wpływa na ostateczną jakość wydrukowanego elementu oraz na szybkość wydruku. Próbkę została podzielona na 4 grupy. W każdej grupie został zmieniony tylko jeden parametr, aby zbadać, jak jego zmiana wpłynęła na odwzorowanie prawidłowych wymiarów. Drukowanie zostało przeprowadzone na drukarce DEXER MULTI XL udostępnionej przez Uniwersytet Zielonogórski.

2. RAPID PROTOTYPING

Rapid Prototyping (RP), czyli szybkie prototypowanie, jest to budowa fizycznych obiektów (prototypów) w oparciu o modele komputerowe. Odbywa się przeważnie poprzez stopniowe nakładanie na siebie i jednoczesne łączenie wielu warstw materiału.

Potoczną nazwą Rapid Prototyping jest druk 3D i jest to określenie używane dla wszystkich jego technologii. Druk 3D ma nieograniczony potencjał, dlatego jest technologia szczególnie obiecująca dla przyszłości nauki, edukacji i rozwoju. Drukowanie na drukarkach 3D jest na świecie wciąż w fazie początkowej. Początki eksperymentów datuje na lata 70 XX wieku, ale tak naprawdę druk 3D rozwinął się dopiero pod koniec lat 80 XX wieku, po wygaśnięciu pierwszych patentów do druku FDM (Fused Deposition Modeling) [1]. Oficjalnie druk 3D wymyślił Charles Hull, który stworzył pierwszą

oficjalną metodę drukowania przestrzennego, czyli Stereolitografię. Założył on pierwszą firmę produkującą drukarki 3D „3D Systems”[2].

Szybkie prototypowanie pozwala na sprawne wykonanie kontroli projektu oraz wykonanie testów dopasowania do innych elementów. Umożliwia odtworzenie skomplikowanych, uszkodzonych elementów. Pozwala na stworzenie modeli przedmiotów o bardzo złożonych kształtach, których wykonanie byłoby kłopotliwe, mało optymalne lub zbyt kosztowne tradycyjnymi metodami. Szybkie prototypowanie redukuje koszty oprzyrządowania technologicznego dla produkcji małych serii produktu. Redukuje czas procesu produkcji, ponieważ z konstrukcji 3D-CAD przechodzi się od razu stworzenia fizycznego modelu. Wydrukowane modele można w krótkim czasie można przedstawić klientowi.

Technologie Rapid Prototyping

Wszystkie technologie Rapid Prototyping (RP) są addytywne. Polegają na dodawaniu materiału w trakcie budowy modelu. W technologii RP nie ma efektów ubocznych czyli odpadków. Wśród technologii szybkiego prototypowania można wyróżnić [3]:

- osadzanie topionego materiału (ang. Fused Deposition Modeling, FDM) – nanoszenie kolejnych warstw materiału termoplastycznego, do momentu stworzenia pełnego modelu,
- stereolitografia (ang. Stereolithography, SL lub SLA) - utwardzanie fotopolimeru za pomocą lasera UV, znane również jako drukowanie żywicą,
- selektywne spiekanie laserowe (ang. Selective Laser Sintering, SLS) - spiekanie za pomocą lasera cząstek plastiku, szkła, metalu lub ceramiki,
- topienie metalu za pomocą wiązki elektronów (ang. Electron Beam Melting, EMB) - stapianie kolejnych warstw sproszkowanego metalu w komorze próżniowej za pomocą wiązki elektronowej,
- druk przestrzenny (Three Dimensional Printing, 3DP) – sklejanie materiału proszkowanego za pomocą nanoszonego lepiszcza,
- wytwarzanie obiektów laminowanych z warstw papieru (ang. Laminated Object Manufacturing, LOM) – wycinanie laserem kolejnych warstw arkuszy samoprzylepnego papieru, plastiku lub papieru a następnie sklejanie ich ze sobą,
- drukowanie atramentowe (ang. Ink Jet Printing, IJP) – warstwowe nanoszenie płynnego materiału w postaci kropeł, a następnie utwardzanie ich poprzez gwałtowne schładzanie.

3. DRUKOWANIE

Wydruk próbek został przeprowadzony w dniach 17.10.2017r, 24.10.2017r. i 8.11.2017r. na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Zielonogórskiego. Pomieszczenie przeznaczone do wydruku miało zamknięte okna i drzwi, aby nie wytwarzać przeciągów, które mogą obniżać temperaturę stołu i filamentu. Stół drukarki oraz drukarka miały specjalne podkładki, które minimalizowały drgania. Platforma została oczyszczona z kurzu i przemyta ciepłą wodą, gdyż drukarka nie była w użyciu przez dłuższy okres czasu.

3.1. Opis stanowiska

Do wydruku koła zębatego została użyta drukarka DEXER 3D MULTI XL. Działa w oparciu na technologię FDM (ang. Fused Deposition Modeling). Wyposażona jest w podgrzewany stół, który umożliwia druk z tworzywa PLA, ABS, Nylon oraz Laywood. Drukarka została wykonana ze sztywnej aluminiowo-kompozytowej konstrukcji, na której został umieszczony ekran LCD. Może pracować jedynie poprzez bezpośrednią komunikację z komputerem, gdyż nie posiada portu na karty SD. Objętość robocza drukarki to 20,5x20,5x20[mm]. Ze względu na pracę w temperaturze 50-100 stopni, aluminiowy stół może zmieniać swoją pozycję z osi Z o około 1 [mm] w dół lub górę. Należy na bieżąco kontrolować jego poziom oraz odległość głowicy od stołu, która powinna wynosić grubość kartki papieru. Stół do druku musi być czysty oraz posmarowany klejem albo innym specjalnym środkiem typu Dimafix. Drukarka posiada opcję zmiennej prędkości druku. Drukarka może być obsługiwana przez systemy operacyjne Win XP i nowsze oraz Max OS X. Typy plików, które obsługuje to .stl, .obj, i .dxf. W celu przeprowadzenia wydruku należy zainstalować [5]:

- Cura DEXER (program do przygotowania i konwersji pliku),
- Repetier Host (program do sterowania drukarką),
- sterownik (dzięki któremu powstanie port Virtual Communication Port COM3).



Rys.1. Drukarka DEXER MULTI dostępna na Uniwersytecie Zielonogórskim.

3.2. Problemy z ustawieniem i konfiguracją stanowiska

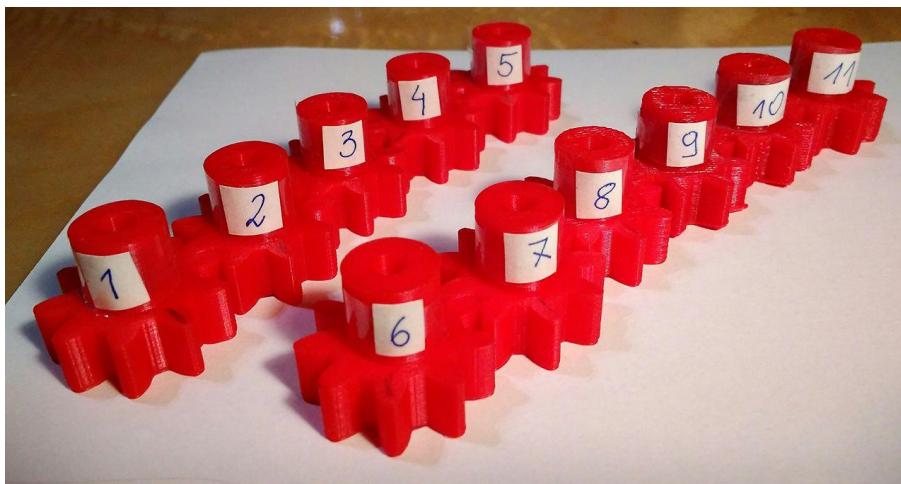
Pierwszym z problemów przed drukowaniem okazał się brak łączności drukarki z komputerem. Program do sterowania drukarką „Repetier Host” nie mógł rozpocząć drukowania. Nie pojawiała się opcja „Drukuj”. Rozwiązaniem problemu okazało się przepięcie kabla USB łączącego drukarkę z komputerem z portu USB 2.0 na USB 3.0. Port 2.0 był zbyt wolny do płynnej pracy drukarki.

Drugim z problemów był nie działający program do przygotowania i konwersji pliku „Cura”. Program został napisany w języku programowania Python. Dopiero zainstalowanie wersji Python’a 2.7.14 pozwoliło uruchomić program.

Trzecim z problemem był brak przyczepności filamentu do podgrzewanego stołu podczas drukowania próbki testowej. Ośmiokrotne próby wykonywane przez 4h doprowadzały wyłącznie do chwilowego przyklejenie filamentu do stołu. Filament po chwili odklejał się i przesuwiał się po całej platformie tworząc nieokreślone kształty. Parametry wydruku próbki testowej zostały domyślnie nastawione przez program „Cura” jako optymalne dla PLA. Przed każdą próbą druku zostały nakładane na stół różne preparaty proponowane w instrukcji obsługi drukarki DEXER w różnych kombinacjach. Dopiero umycie stołu, przetarcie go acetonem i posmarowanie klejem szkolnym doprowadziło do wydrukowania próbki testowej, która tylko w małym stopniu odczepiła się od stołu. Do wydrukowania następnej próbki testowej został użyty aceton oraz bardzo gruba, widoczna warstwa kleju. Dopiero w tej kombinacji próbka idealnie trzymała się stołu. Po odebraniu powstał wyraźny ślad, który oznaczał mocne przyleganie próbki testowej do stołu.

W trakcie wydruku próbek testowych zostały zaobserwowane wahania temperatury stołu i filamentu. Temperatura stołu ustawiona na 55°C podwyższała się do 56-58°C. Przedział mieścił się w proponowanych ustawieniach producenta (50-60°C), więc temperatura 55°C w próbkach przeznaczonych do badań nie została zmieniona. Temperatura filamentu ustawiona na 210°C wahała się w trakcie drukowania granicach 206-209°C. Była to zbyt mała temperatura dla PLA. Optymalne ustawienia temperatury filamentu w drukarce DEXER wynoszą 220°C, a w programie Cura 210°C. Biorąc pod uwagę ciągłe spadki temperatury nawet o 4°C w czasie wydruku, optymalna temperatura filamentu do wydruku badań została ustalona na 220°C, czyli tak jak proponuje producent.

Próbki 1-8 przeznaczone do badań zostały wydrukowane bez żadnych problemów (rys.2.).



Rys.2. Wygląd próbek testowych nr 9-11 oraz nr 1-8 przeznaczonych do badań.

3.3. Ustawienie parametrów próbek do analizy

Ustawienie parametrów drutowania próbek 1-8 do analizy zostało przeprowadzone w 4 grupach. Grupy zostały wybrane na podstawie informacji od producenta [5].

- wysokość warstwy [mm],
- prędkość druku [mm/s],
- grubość ścianki [mm],
- czas drukowania [min].

Według producenta wysokość warstwy, prędkość druku, grubość ścianki są najważniejszymi parametrami wpływającymi na jakość wydruku 3D na drukarce DEXER. Czas drukowania jest zależny od wyboru tych najważniejszych parametrów.

Na podstawie informacji od producenta zostały dobrane parametry próbki nr 1, która teoretycznie, powinna być najlepszą jakościowo próbką:

- wysokość warstwy: 0,1 [mm] – im niższa wartość, tym lepsza jakość; wybrana wysokość jest najniższą dostępną na drukarce DEXER,
- prędkość druku: 30 [mm/s] - im szybciej, tym gorsza jakość; wybrana prędkość jest optymalna na drukarce DEXER,
- grubość ścianki: 1,2 [mm] - im więcej obrysów, tym lepsza jakość; wybrana grubość ścianki to inaczej 3 obrysy.

Mniej ważne parametry (np. prędkość obrysów) zostały dobrane na podstawie sugerowanych ustawień wydruku dla PLA [5]. Czas wydruku próbki nr 1 wyniósł 1 godzinę i 16 minut. Jest to bardzo długi czas, zważywszy na to, że próbka ma 2-3 [cm].

Celem było pogorszenie parametrów próbki nr 1, aby zachowując zadowalającą jakość – zaoszczędzić czas i filament.

Na początku została zmieniona wysokość warstwy na 0,2[mm] i 0,3[mm], analogicznie w próbce nr 2 i nr 3. Pozostałe parametry pozostały bez zmian i są takie same jak w próbce nr 1. Tak powstała pierwsza grupa porównywanych próbek : próbka 1, próbka 2 i próbka 3, różniące się wyłącznie wysokością warstwy.

Następnie została zmieniona prędkość druku: na 50[mm/s] i 70[mm/s], analogicznie w próbce nr 4 i próbce nr 5. Pozostałe parametry pozostały bez zmian i są takie same jak w próbce nr 1. Tak powstała druga grupa porównywanych próbek : próbka 1, próbka 4 i próbka 5, różniące się wyłącznie prędkością drukowania.

W następnej kolejności została zmieniona grubość ścianki: na 4[mm] i 0,8[mm], analogicznie w próbce nr 6 i próbce nr 7. Spowodowało to wykonanie jednego obrysu w próbce nr 6 i dwóch obrysów w próbce nr 7. Pozostałe parametry drukowania pozostały bez zmian i są takie same jak w próbce nr 1. Tak powstała trzecia grupa porównywanych próbek: próbka 1, próbka 6 i próbka 7, różniące się wyłącznie grubością ścianki.

Ostatnia, dodatkowa grupa, to próbka nr 1 i próbka nr 8. Próbka nr 8 została wydrukowana na teoretycznie najgorszych pod względem jakości parametrach, czyli:

- • bardzo szybko: 70[mm/s],
- • z najwyższą możliwą wysokością warstwy: 0,3[mm],
- • z jednym (najniższym z możliwych) obrysem, więc grubość ścianki: 0,4[mm].

Pozwoliło to skrócić czas drukowania próbki nr 8 do 15 minut, w porównaniu do próbki nr 1, która drukowała się 1 godzinę i 16 minut.

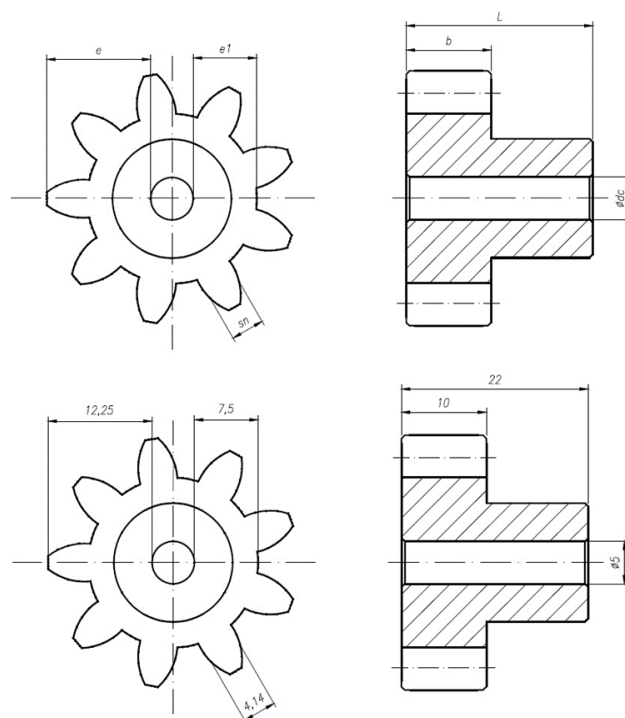
4. POMIARY

Wszystkie pomiary próbek przeznaczonych do badań zrealizowano w pracowni metrologicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Przyrządy pomiarowe użyte do przeprowadzenia pomiarów na próbkach nr 1-8:

- suwmiarka czujnikowa o dokładności 0,02mm,
- głębokościomierz z czujnikiem zegarowym o dokładności 0,01mm,
- mikroskop warsztatowy o dokładności 0,01mm,
- optyczny mikrometr modułowy o dokładności 0,02mm,

Pomiar optycznym mikrometrem modułowym został przeprowadzony na głębokości $h_a = 2,70$.



Rys. 3. Prawidłowe wymiary koła zębatego zaprojektowanego w Inventorze.

Przed wykonywaniem pomiarów, suwmiarka oraz mikrometr zostały sprawdzone na wzorcach pod kątem błędów narzędzia. Błędy własne narzędzia pomiarowego nie zostały stwierdzone.

Nierówności mierzonych powierzchni mogły wpłynąć na błąd pomiarów stykowych. Materiał ugiął się pod wpływem nacisku narzędziami pomiarowymi. Narzędzie mogło spowodować odkształcenia sprężyste próbek. Nacisk narzędzie pomiarowego mógł spowodować zmniejszenie lub zwiększenie wymiaru próbki. Podczas wykonywania pomiarów suwmiarką, próbki były wprowadzane możliwie głęboko w szczękę narzędzia.

Pomiary wielkości e i e_1 nie były możliwe do wykonania suwmiarką. Do tych pomiarów został wykorzystany mikroskop warsztatowy. Błędy pomiarów mikroskopem mógł spowodować chybotliwy stolik lub błędy odczytu danych na niewyraźnej podziałce.

Największy wpływ na błędy pomiarów stykowych miała bardzo duża chropowatość powierzchni wszystkich próbek. Pomiary optyczne również mogą zawierać błędy. Przez małą ilość światła była pogorszona ostrości obserwowanej próbki [4].

Wszystkie błędy przypadkowe zostały usunięte. W ich miejsce został przeprowadzony kolejny pomiar, aby każda mierzona wielkość posiadała 5 pomiarów. Nie stwierdzono błędów systematycznych.

5. ANALIZA JAKOŚCI

5.1. Wysokość warstwy

Próbki nr 1, 2 i 3 zostały wydrukowane z różną wysokością warstwy (tab.1.). Pozostałe parametry są takie same, czyli ustawione na podstawie próbki nr 1.

Tab.1. Wybrane parametry z załącznika nr 1.

	PARAMETRY	próbka 1	próbka 2	próbka 3
Parametry podstawowe	Wysokość warstwy [mm]	0.1	0.2	0.3
	Grubość ścianki [mm]	1.2	1.2	1.2
	Prędkość druku [mm/s]	30	30	30
	Temperatura druku [°C]	220	220	220
	Temperatura stołu [°C]	55	55	55
Parametry drukowania	Czas wydruku	1:16:17	32:57	21:53
	Liczba warstw	218	110	73
	Długość potrzebnego filamentu [mm]	1613	1628	1589

Porównując wygląd zewnętrzny próbki nr 1, 2 oraz 3 można zauważyć wyraźną różnicę w chropowatości powierzchni. Próbka 1 jest najmniej chropowata, a próbka nr 3 najbardziej. Na próbce 3 widać pojedyncze warstwy. Zwiększając wysokość warstwy – zwiększamy chropowatość powierzchni całej próbki.

Ustawienie wysokości warstwy na 0,1[mm] spowodowało, że czas wydruku trwał 1 godzinę i 16 minut. Zwiększenie wysokości warstwy o 0,1[mm] spowodowało skrócenie czasu wydruku o 56,8%. Zwiększenie wysokości warstwy o kolejne 0,1[mm] spowodowało skrócenie czasu wydruku o 71% (w porównaniu do próbki nr 1). Pracownik w czasie 8h zmiany jest w stanie wydrukować 6 próbek nr 1, 14 próbek nr 2 i 21 próbek nr 3.

Największe zużycie filamentu jest przy wysokości warstwy 0,2[mm]. Jeśli chcemy wydrukować próbkę przy jak najmniejszym zużyciu filamentu (np. ze względu na jego cenę) nie warto ustawiać tej wysokości. Należy również zwrócić uwagę na liczbę warstw. W próbce nr 1 liczba warstw wynosi 218, w próbce nr 2 wynosi 110, a w próbce 3 wynosi 73. Program „Cura Slicer” wygenerował w próbce nr 1 o dwie warstwy za mało. Zamiast 220 warstw wygenerował 218. Być może jest to błąd w oprogramowaniu.

Tabela nr 2. przedstawia średnią arytmetyczną mierzonych wielkości dla próbek nr 1, 2 i 3. Najbliżej prawidłowych wymiarów (zaprojektowanych w Inventorze) L , b , d_c , e i e_1 jest próbka nr 1, która miała najmniejszą wysokość warstwy. Jedynym wyjątkiem jest grubość zęba s_n .

Tab.2. Wybrane pomiary.

średnia arytmetyczna						
narzędzie	suwmiarka czujnikowa		mikrometr modułowy	mikroskop warsztatowy		głębokościomierz z czujnikiem zegarowym
błąd	$\delta = 0,02$		$\delta = 0,02$	$\delta = 0,01$		$\delta = 0,01$
mierzona wielkość	L	b	s_n	e	e_1	d_c
próbka 1	22,12	10,10	4,32	12,50	7,78	4,81
próbka 2	22,42	10,38	4,22	12,72	7,95	4,76
próbka 3	22,20	10,12	4,30	12,59	7,84	4,65
wymiary prawidłowe	22,00	10,00	4,14	12,25	7,50	5,00

Pomiary grubości zęba wyszły najkorzystniej dla próbki nr 2. Znajdowały się najbliższej prawidłowego wymiaru i miały najmniejsze odchylenie standardowe od prawidłowej wartości 4,14[mm]. Jeśli zależy nam na jak najdokładniejszej grubości zęba, należy ustawić wysokość warstwy na 0,2[mm]. Pomiary grubości zęba próbki nr 3 miały największy rozstęp, prawdopodobnie przez dużą chropowatością powierzchni próbki.

Odchylenie standardowe (czyli szerokość rozrzutu wartości danej wielkości wokół prawidłowego wymiaru) wypada zdecydowanie najgorzej dla próbki 2 - rozrzut jest największy. Im większe odchylenie standardowe, tym większe prawdopodobieństwo, że kolejny pomiar może różnić się od prawidłowego wymiaru. Wartość odchylenia standardowego jest najmniejsza dla próbki nr 1. W próbce nr 1 pomiary są najbardziej skupione wokół prawidłowego wymiaru.

5.2. Prędkość drukowania

Próbki nr 1, 4 i 5 zostały wydrukowane z różnymi prędkościami (tab.3.). W próbce nr 1 jest to 30[mm/s], w próbce nr 4 jest to 50[mm/s], a w próbce nr 5 to 70[mm/s]. Pozostałe parametry zostały ustawione tak samo jak w próbce nr 1.

Wygląd zewnętrzny próbek nr 1, 4 i 5 nie różni się w dużym stopniu. W próbce nr 5 można zauważyć niewielki, podłużny ubytek na piaście. Dodatkowo pierwsza warstwa została zrobiona nieprecyzyjnie i w niektórych miejscach można wypatrzeć drugą warstwę. Wypełnienie wokół otworu jest niedokładne. Przy próbce nr 4 nie zauważono takich niedociągnięć.

Tab.3. Wybrane parametry.

	Parametry	próbka 1	próbka 4	próbka 5
Parametry podstawowe	Wysokość warstwy (mm)	0.1	0.1	0.1
	Grubość ścianki (mm)	1.2	1.2	1.2
	Prędkość druku (mm/s)	30	50	70
	Temperatura druku (C)	220	220	220
	Temperatura stołu (C)	55	55	55
Parametry drukowania	Czas wydruku	1:16:17	52:38	48:09
	Ilość warstw	218	218	218
	Długość potrzebnego filamentu (mm)	1613	1617	1617

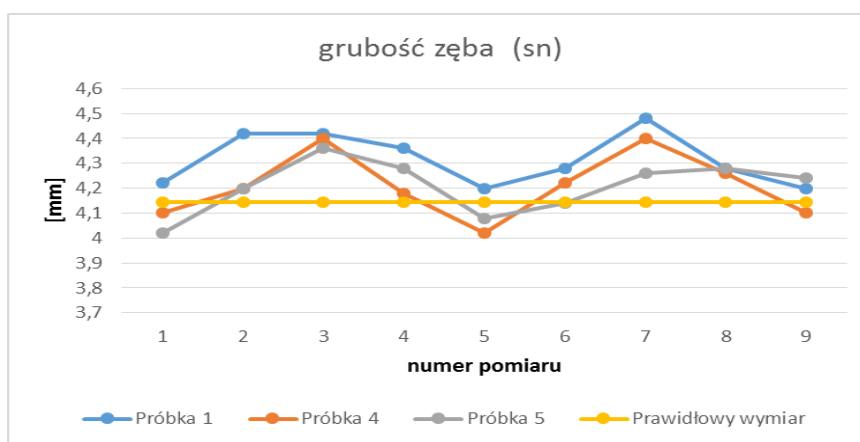
Zmiana prędkości wydruku nie spowodowała tak dużego zmniejszenia czasu wydruku, jak zmiana wysokości warstwy. Przyspieszając prędkość druku z 30[mm/s] o 20[mm/s], przyspieszymy czas druku o 31%. Zwiększenie prędkości o kolejne 20[mm/s] spowoduje przyspieszenie czasu drukowania o 35% (w porównaniu do próbki 1). Jest to zbyt mała różnica, aby warto było ryzykować wydruk z nieestetycznymi ubytkami, które powstały w trakcie wydruku próbki 5. Długość potrzebnego filamentu przy każdej prędkości druku jest podobna.

Pomiary próbek nr 4 i 5 nie różnią się w dużym stopniu od siebie. Przy pomiarze L , s_n , e_1 oraz d_c są wręcz takie same lub na granicy błędu pomiarowego narzędzia. Żaden z wymiarów, po dodaniu/odjęciu błędu standardowego średniej nie zbliżył się do wymiaru prawidłowego. Oznacza to, że zwiększenie prędkości druku z 50[mm/s] na 70[mm/s] nie wpływa znacząco na końcowe wymiary koła zębatego.

Tab.4. Wybrane pomiary.

średnia arytmetyczna						
narzędzie	suwmiarka czujnikowa		mikrometr modułowy	mikroskop warsztatowy		głębokościomierz z czujnikiem zegarowym
błąd	$\delta = 0,02$		$\delta = 0,02$	$\delta = 0,01$		$\delta = 0,01$
mierzona wielkość	L	b	s_n	e	e_1	d_c
próbka 1	22,12	10,10	4,32	12,50	7,78	4,81
próbka 4	22,22	10,18	4,22	12,52	7,87	4,79
próbka 5	22,22	10,26	4,22	12,46	7,89	4,78
wymiary prawidłowe	22,00	10,00	4,14	12,25	7,50	5,00

Różnicę można zauważyć, przy pomiarze grubości zęba s_n , który wypadł bliżej prawidłowego wymiaru w próbce nr 4 i 5 niż w próbce nr 1 (tab.4.). Zwiększenie prędkości druku sprzyja dokładniejszemu wykonaniu zębów koła. Dobrze widać to na wykresie (rys.4.), gdzie pomiary próbek 4 i 5 prawie nachodzą na siebie i przecinają się z linią prawidłowego wymiaru. Pomiary próbki 1 znajdują się zawsze ponad linią prawidłowego wymiaru. Linie pomiaru grubości zęba próbek nr 1, 4 i 5 na wykresie mają podobne kształty. Sugeruje to, że zęby naprzeciwko siebie (np. ząb 3 i 7 lub ząb 5 i 9) w każdej próbce mają podobne grubości.



Rys.4. Pomiary grubości zęba (s_n) dla próbek 1, 4 i 5.

Odchylenie standardowe grubości zęba jest największe w próbce 1. Odchylenia standardowe pozostałych wielkości są najmniejsze w próbce 1. Im mniejsze odchylenie standardowe, tym wartości są bliżej skupione wokół prawidłowej wartości.

5.3. Grubość ścianki

Próbki nr 1, 6 i 7 zostały wydrukowane z różnymi grubościami ścianki (tab.5.). W próbce nr 1 jest to 1,2[mm], w próbce nr 6 jest to 0,4[mm], a w próbce nr 7 to 0,8[mm]. Oznacza to, że w próbce 1 są trzy obrysy krawędzi, w próbce nr 6 jest jeden obrys krawędzi, a w próbce nr 7 są dwa. Pozostałe parametry zostały ustawione tak samo jak w próbce nr 1.

Wygląd próbek nr 1, 6 i 7 bardzo różni się od siebie. Próbka nr 1 przez swoje 3 obrysy krawędzi wygląda na bardziej wytrzymałą. Próbka nr 6 wygląda jakby została zrobiona z samego wypełnienia, które przez jedną krawędź ledwo trzyma się na swoim miejscu. Dodatkowo próbki nr 6 i 7 wydają się być bardziej gładkie niż próbka nr 1.

Długość filamentu potrzebnego do wydrukowania koła zębatego różni się w zależności od grubości ścianki. Im więcej obrysów krawędzi, tym więcej filamentu potrzeba. Drukując tylko jeden obrys wykorzysta się aż 30% mniej filamentu, niż drukując 3 obrysy. Oznacza to, że mając do wykorzystania 10 metrów filamentu ze standardową średni-

cą 1,75[mm] oraz drukarkę DEXER o średnicy dyszy 0,4[mm] jesteśmy w stanie wydrukować 118 próbek nr 1, 171 próbek nr 6 lub 139 próbek nr 7. Zastawienie to jest przydatne, gdy posiadamy ograniczoną ilość filamentu do wykorzystania. Im mniejsza ilość obrysów krawędzi, tym mniej filamentu stracimy. Mniejsza ilość obrysów pozwala również zaoszczędzić czas na drukowanie.

Tab. 5. Wybrane parametry z załącznika nr 1.

	Parametry	próbka 1	próbka 6	próbka 7
Parametry podstawowe	Wysokość warstwy (mm)	0.1	0.1	0.1
	Grubość ścianki (mm)	1.2	0.4	0.8
	Prędkość druku (mm/s)	30	30	30
	Temperatura druku (C)	220	220	220
	Temperatura stołu (C)	55	55	55
Parametry drukowania	Czas wydruku	1:16:17	44:44	53:35
	Liczba warstw	218	218	218
	Długość potrzebnego filamentu (mm)	1613	1115	1368

Tabela 6. przedstawia średnią arytmetyczną mierzonych wielkości dla próbek nr 1, 6 i 7. Najbliższymi prawidłowymi wymiarów L, b, e i e₁ jest próbka nr 1, która była drukowana z 3 obrysami. Jedynymi wyjątkami jest grubość zęba s_n oraz średnica otworu d_c. Pomiar grubość zęba s_n mieści się w granicy błędu standardowego średniej.

Tab.6. Wybrane pomiary.

średnia arytmetyczna						
narzędzie	suwmiarka czujnikowa		mikrometr modułowy	mikroskop warsztatowy		głębokościomierz z czujnikiem zegarowym
błąd	δ = 0,02		δ = 0,02	δ = 0,01		δ = 0,01
mierzona wielkość	L	b	s _n	e	e ₁	d _c
próbka 1	22,12	10,10	4,32	12,50	7,78	4,81
próbka 6	22,18	10,22	4,04	12,51	7,85	4,87
próbka 7	22,22	10,22	4,14	12,53	7,85	4,80
wymiary prawidłowe	22,00	10,00	4,14	12,25	7,50	5,00

Wyniki pomiarów średnicy otworu d_c znajdują się najbliżej prawidłowego wyniku w próbce 6, gdzie powstał tylko jeden obrys. Jeden obrys krawędzi wpłynął na dokładniejsze wykonanie otworu i zmniejszył jego owalność. Jeśli zależy nam na jak najdokładniejszym wykonaniu otworu, należy wybrać jak najmniejszą ilość obrysów. Pomiar grubości zęba w próbce 1 wypadł najgorzej, więc jeśli zależy nam na jak najdokładniejszym wykonaniu zęba, należy wybrać podwójne obrys krawędzi, czyli 0,8mm.

Prawidłowy wymiar zawiera się w każdym przedziale ufności dla danej próbki. Jedynym wyjątkiem jest średnica otworu d_c w próbce nr 7. Prawidłowy wymiar 5[mm] nie mieści się w przedziale ufności który wynosi (4,61 ; 4,99) i został obliczony z 95% prawdopodobieństwem. Oznacza to, że prawidłowy wymiar 5[mm] mieści się w pozostałych 5%.

5.4. Czas drukowania

Parametry próbki nr 1 zostały tak dobrane, aby były jak najlepsze pod względem jakości. Parametry próbki nr 8 zostały dobrane pod kątem maksymalnego skrócenia czasu. Pozwoliło to skrócić czas drukowania z 1 godziny i 16 minut do 15 minut (tab.7).

W próbce nr 8 prędkość druku została maksymalnie zwiększona, tak samo jak wysokość warstwy, a grubość ścianki zmniejszona do minimum. Pozwoliło to skrócić czas drukowania o 1 godzinę i 30 sekund, zmniejszyć ilość warstw z 218 do 73 oraz zmniejszyć długość potrzebnego filamentu z 1613 [mm] na 1084[mm]. Analizując wyniki z tabeli 8. można zauważyć, że prawie wszystkie wymiary (oprócz grubości zęba) są bliżej prawidłowego wyniku w próbce 8 niż w próbce 1. Jest to zaskakujący wynik, gdyż analiza pod względem warstw, szybkości druku i grubości ścianki realizowana w poprzednich rozdziałach dowiodła, że najlepiej drukować wolno, z dużą ilością warstw i dużą ilością ścianek.

Tab. 7. Wybrane parametry.

	Parametry	próbka 1	próbka 8
Parametry podstawowe	Wysokość warstwy (mm)	0.1	0.3
	Grubość ścianki (mm)	1.2	0.4
	Prędkość druku (mm/s)	30	70
	Temperatura druku (C)	220	220
	Temperatura stołu (C)	55	55
Parametry drukowania	Czas wydruku	1:16:17	15:47
	Liczba warstw	218	73
	Długość potrzebnego filamentu (mm)	1613	1084

Rozwiązaniem tej spornej kwestii może okazać się zdjęcie próbki nr 1 i próbki nr 8 ustawionych obok siebie (rys. 5). Próbka nr 1 jest gładka, bez widocznych warstw i

estetyczna wizualnie. Próbka nr 8 jest natomiast jej przeciwieństwem - czyli chropowata, z widocznymi warstwami i nieestetyczna.

Tab.8. Wybrane pomiary.

średnia arytmetyczna						
narzędzie	suwmiarka czujnikowa		mikrometr modułowy	mikroskop warsztatowy		głębokościomierz z czujnikiem zegarowym
błąd	$\delta = 0,02$		$\delta = 0,02$	$\delta = 0,01$		$\delta = 0,01$
mierzona wielkość	L	b	s_n	e	e_1	d_c
próbka 1	22,12	10,10	4,32	12,50	7,78	4,81
próbka 8	22,10	10,22	4,10	12,43	7,73	4,77
wymiary prawidłowe	22,00	10,00	4,14	12,25	7,50	5,00

Drukarka DEXER dostępna na Uniwersytecie Zielonogórskim została stworzona do szybkiego prototypowania, gdzie efekt końcowy ma być szybki i dokładny, ale niekoniecznie estetyczny.



Rys.5. Wygląd zewnętrzny próbki nr 1 (z lewej) i próbki nr 8 (z prawej).

6. PODSUMOWANIE

Wybierając parametry drukowania na drukarce DEXER 3D MULTI XL należy w pierwszej kolejności zdecydować:

- ile czasu chcemy przeznaczyć na drukowanie,
- czy w projekcie ważne jest prawidłowe odwzorowanie wymiarów.

Jest to konieczne, ponieważ nie udało się dobrać idealnych parametrów, gdzie każda wielkość będzie odpowiadała tej zaprojektowanej w programie komputerowym. Możliwe że jest to spowodowane skurczem filamentu, który dla PLA wynosi 1%. Można było go przewidzieć już na etapie zapisywania projektu. Przeskalowanie pozwoliłoby pokonać skurcz filamentu,

Wysokość warstwy ustawiona na 0,2[mm] dała najgorsze odwzorowanie próbki (oprócz grubości zęba) i należy jej unikać. Najlepiej wybrać wysokość warstwy 0,3[mm] - jeśli ma to być szybki wydruk lub 0,1[mm] - jeśli wydruk może potrwać dłużej.

Prędkość wydruku przy 30[mm/s] jest najdokładniejsza w przypadku wszystkich wielkości oprócz grubości zęba s_n oraz wielkości e . Prędkość 50[mm/s] można ustawiać, gdy zależy nam na czasie. Pogarsza wymiary tylko w minimalnym stopniu. Prędkości 70[mm/s] najlepiej unikać, gdyż w trakcie powstają widoczne ubytki. Ubytki mogą w późniejszym czasie stać się przyczyną pęknięcia, a ostatecznie zniszczenia koła zębatego. Zwiększając prędkość z 50[mm/s] na 70[mm/s] można zaoszczędzić jedynie 4 minuty. Jest to zbyt mały okres czasu, aby ryzykować ubytki w kole zębatym.

Grubość ścianki 1,2[mm] z 3 obrysami okazała się najlepiej odwzorowywać wszystkie wymiary. Jedynymi wyjątkami jest grubość zęba s_n oraz średnica otworu d_c . Zmniejszając ilość obrysów można zaoszczędzić czas drukowania oraz filament. 1 lub 2 obrysy charakteryzują się też większą gładkością powierzchni.

Podsumowując, najlepsze ustawienia parametrów dla szybkich i tanich modeli to:

- wysokość warstwy 0,3[mm],
- prędkości drukowania 50[mm/s],
- grubość ścianki 0,4 [mm].

Model nie będzie zbyt estetyczny, ale zostanie wydrukowany szybko i w jak największej zgodzie z wymiarami. Nie stracimy również przy tym dużo filamentu. Jest to budżetowe rozwiązanie.

Najlepsze ustawienia parametrów dla modeli, które mogą być drukowane długo i które muszą mieć bardzo dokładne wymiary to:

- wysokość warstwy 1,2[mm],
- prędkości drukowania 30[mm/s],
- grubość ścianki 1,2[mm].

Jest to zgodne z proponowanymi ustawieniami producenta. Są to parametry próbki nr 1.

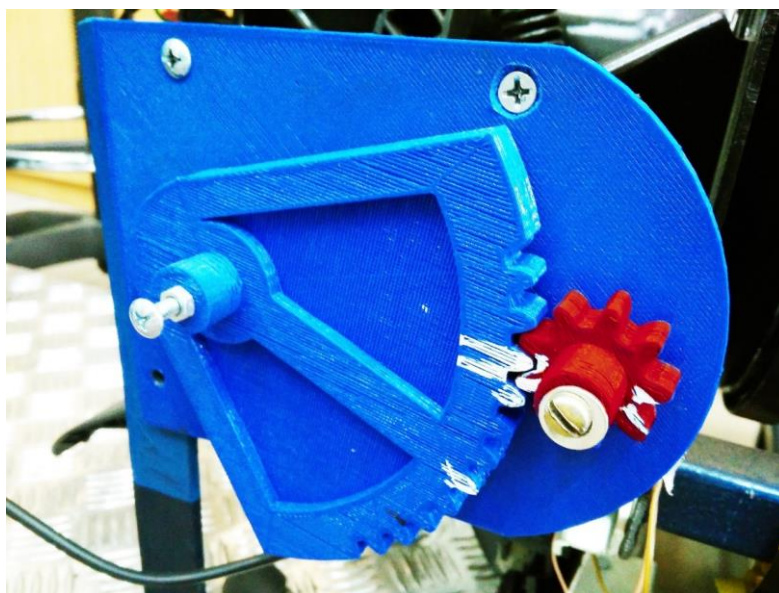
Grubość zęba odstaje od wszystkich mierzonych parametrów, w każdej analizowanej grupie. W kole zębatym jest to istotna wielkość. Dlatego najlepsze proponowane ustawienia, które dobrze odwzorują grubość zęba to:

- wysokość warstwy 0,2[mm],

- prędkości drukowania 50[mm/s],
- grubość ścianki 0,8[mm].

Wskazane parametry pokrywają się z optymalnymi parametrami proponowanymi przez producenta.

Wydrukowane koło zębate może być wykorzystywane jako element bolidu samochodowego (rys.6). Jedyne od preferencji twórcy zależy czy ma być wydrukowane szybko, estetycznie czy może z jak najlepszym odwzorowaniem grubości zęba.



Rys.6. Wizualizacja umiejscowienia koła zębatego.

7. LITERATURA

- [1]. Canessa E., Fonda C.: Low-cost 3D printing for science, education & sustainable development. In: ICTP Science Dissemination Unit, 2013, p. 11-57.
- [2]. <http://centrumdruku3d.pl/historia-druku-3d/> (dostęp: 15.01.2018r.).
- [3]. <http://swiatdruku3d.pl/rapid-prototyping/> (dostęp: 17.12.2017r.).
- [4]. Jenek M.: Metrologia długości i kąta. Wyd. Oficyna wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 2012r., s. 9-50, 109-119.
- [5]. Materiały wewnętrzne Uniwersytetu Zielonogórskiego: Instrukcja obsługi DEXER 3D mamuth (wcześniej DEXER multi XL) (nieopublikowane).

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH PROBLEMÓW REKONSTRUKCJI POWIERZCHNI W TECHNICIE RE

1. WPROWADZENIE

Wysokie wymagania odnośnie jakości wytwarzanych produktów, konieczność skracania terminów realizacji zamówień oraz kryterium ceny rynkowa stały się obecnie głównym sposobem na zdobycie nowych, jak i utrzymanie aktualnych klientów. Z tego względu przedsiębiorstwa produkcyjne chcące utrzymać wysoką pozycję na rynku inwestują w nowe rozwiązania oraz procesy badań produktu. Doprowadziło to do sytuacji, w której odchodzi się od tradycyjnych metod wytwarzania na rzecz nowych rozwiązań. Do takich rozwiązań należą technologie projektowania odwrotnego (RE) oraz wytwarzanie przyrostowe, dzięki którym można ograniczyć koszt wprowadzenia nowego wytworu, zautomatyzować poszczególne fazy rozwoju produktu lub wprowadzić szybko zmiany do istniejących rozwiązań.

Do jednych z najszybciej rozwijających się w ostatnich latach należy inżynieria odwrotna (*ang. Reverse Engineering*), pozwalająca osiągnąć założenia projektowe, które byłyby bardzo trudne lub niemożliwe do zrealizowania tradycyjnymi metodami wytwarzania. Technika ta jest stosowana w przypadku, gdy występuje potrzeba opracowania dokumentacji techniczno-konstrukcyjnej na podstawie modelu fizycznego np. przygotowanego nadwozia samochodu wykonanego z gliny przez projektanta artystę [1,6,18,20,23].

Dla inżynierii odwrotnej, początkiem jest obiekt, a finalną wersją model 3D. Proces, w którym uzyskuje się taki model nazywa się digitalizacją. W celach digitalizacji stosuje się skanery 3D, kontaktowe lub bezkontaktowe. Uzyskane w ten sposób dane na temat geometrii obiektu mają postać chmury punktów. Może być ona poddana obróbce mającej na celu odsumianie, czyli usuwanie punktów niezwiązanych z geometrią mierzonego obiektu. W celu dalszej obróbki konwertuje się chmurę punktów na postać siatki trójkątów lub model CAD. Dzięki temu, uzyskane dane mogą być dowolnie modyfikowane i poddawane odpowiednim analizom. Reverse Engineering wykorzystuje się także na etapie prototypowania, łącząc ją z szybkim prototypowaniem (*z ang. Rapid Prototyping*) [3,4,5,16].

Praca przedstawia informację na temat istoty inżynierii odwrotnej. Przedstawiono przykłady wraz ze specyfikacją skanerów 3D oraz opisy poszczególnych technik i sposób przygotowania skanu do wydruku 3D. Skany były zbudowane z siatki trójkątów, a ich edycji dokonano w programach MeshMixer oraz Catia.

2. INŻYNIERIA ODWROTNA

Pierwszy raz inżynieria odwrotna została zastosowana na początku lat 80 XX wieku, będąc wynikiem wprowadzenia do przemysłu współrzędnościowych maszyn pomiarowych.

Inżynieria odwrotna (*ang. Reverse Engineering – RE*) jest procesem polegającym na identyfikacji obiektów, urządzeń bądź systemów, poprzez kompleksową analizę ich właściwości technologicznych, strukturalnych i operacyjnych. Nazwa dziedziny wywodzi się od kolejności wykonywanych działań. Początkowo mamy do czynienia z rzeczywistym elementem, który po procesie skanowania i obróbce z zastosowaniem metod inżynierskich, odtworzony jest w postaci wirtualnego modelu 3D, na podstawie którego można wytworzyć nowy fizyczny produkt o podobnych bądź lepszych właściwościach niż produkt bazowy [5,21,23].

RE jest jednym z najczęściej wykorzystywanych procesów w inżynierii produkcji i często określa się ją jako komputerowo wspomagane projektowanie odwrotne (*CARE - Computer Aided Reverse Engineering*). Wraz z technikami szybkiego prototypowania (*ang. Rapid Prototyping - RP*), wytwarzania narzędzi (*ang. Rapid Tooling - RT*) oraz serii prototypowych (*Rapid Manufacturing*) stanowią obecnie jedne z podstawowych narzędzi, dzięki którym można znacząco poprawić jakość oraz zredukować czas potrzebny na przygotowanie nowego obiektu bądź dokumentacji technicznej wyrobu [1, 7,9,24].

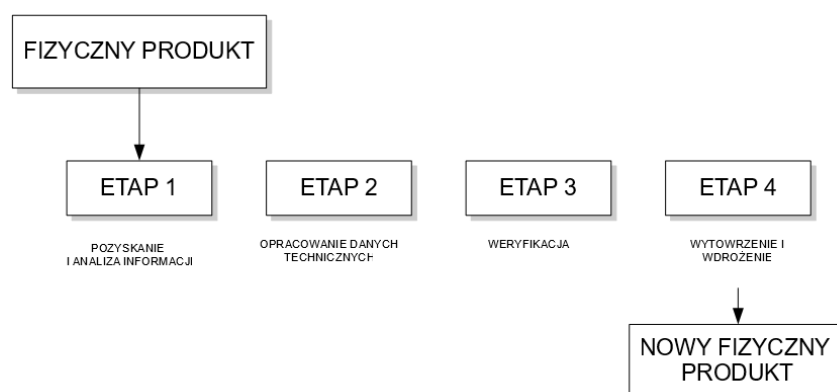
Odtworzenie rzeczywistego obiektu w środowiskach systemów CAD, do których należą między innymi AutoCAD, SOLIDWORKS, Inventor oraz CATIA, jest stosowane w przypadku, gdy konstruktor potrzebuje wprowadzić wszelkiego rodzaju zmiany na tle konstrukcyjnym, powielić model, bądź dokonać inspekcji geometrii badanego detalu. Model po zeskanowaniu zapisywany jest w postaci pliku możliwego do otworzenia w systemach CAD. Najczęściej są to formaty STL, VRML albo DXF, które powszechnie stosowane są we frezarkach laserowych, maszynach sterowanych numerycznie (*ang. Computerized Numerical Control - CNC*), symulacjach, animacjach lub metodach szybkiego prototypowania. Możliwość pracowania w różnych systemach, wykorzystując różne narzędzia oraz korzystając z jednego formatu plików zapewnia szereg ułatwień i pozwala na wymianę danych między poszczególnymi systemami CAD, wprowadzać zmiany w istniejących detalach (formy, części, matryce itp), wytwarzać specjalistyczne narzędzia opracowane pod kątem konkretnego obiektu, opracować dokumentację techniczną badanego obiektu jak i znacznie zaoszczędzić czas i pieniądze, poprzez modernizację procesu wytwarzania [4,7,22].

Odtworzenia w zależności od przeznaczenia i kształtu obiektu, można dokonać na dwa sposoby. Pierwszym jest aproksymacja krzywiznami, polegająca na określaniu rozwiązań przybliżonych i rozpięcie między nimi powierzchni, co określane jest mianem NURBS (*ang. Non-Uniform Rational B-Spline*). Zaletą użycia pierwszej metody jest duża dokładność odwzorowania bazowego modelu oraz znaczne skrócenie czasu potrzebnego do wykonania modelu CAD. Jednak ze względu na ścisłe odwzorowanie płatów powierzchni skanowanego obiektu, należy mieć na uwadze, że wszelkie niedoskonałości bazowego modelu zostaną również odwzorowane w modelu CAD [2,4,12].

Dlatego w przypadku elementów, które noszą znamiona zużycia bądź uszkodzeń stosuje się drugą metodę, polegającą na zamodelowaniu obiektu całkowicie od podstaw, wykorzystując dane otrzymane podczas procesu skanowania. Jest to proces bardziej czasochłonny, wymaga zarówno doświadczenia jak i wiedzy od konstruktora, a jego rezultatem jest bryłowy model, składający się z tzw. prymitywów, czyli podstawowych kształtów geometrycznych, takich jak sfery, kostki, stożki czy płaszczyzny. Wykorzystując drugą metodę odtwarzania obiektu, można przywrócić go do stanu nominalnego, usuwając nieprawidłowości powstałe podczas procesu skanowania, usunąć ślady zużycia lub błędy konstrukcyjne i technologiczne. Odpowiednie przygotowanie modelu CAD znacznie ułatwia pracę konstruktora i pozwala wytworzyć element rzeczywisty technikami ubytkowymi bądź przyrostowymi [2,11,19,25].

W zastosowaniu przemysłowym inżynieria odwrotna dąży do utworzenia, całkowicie nowego obiektu lub odtworzenia już istniejącego za pomocą komputerowego modelu przedstawiającego parametry geometryczne badanego elementu. Proces ten przebiega w czterech etapach, w których pierwszym jest etap pozyskiwania wszelkich niezbędnych informacji do zrealizowania założeń projektowych. Informacje zebrane podczas tego procesu wykorzystane zostaną do opracowania technicznych danych projektu, co realizowane jest w drugim etapie produkcyjnym. Do pozyskanych danych można zaliczyć: modele cyfrowe, algorytmy, schematy, rysunki, specyfikacje modelu. Dane te są analizowane w etapie weryfikacji, aby stwierdzić czy zebrane informacje są wystarczające do wytworzenia nowego produktu. Ostatnim etapem produkcyjnym w inżynierii odwrotnej jest wytworzenie i wdrożenie elementu. W wyniku przeprowadzonej analizy i badań nad obiektem można otrzymać produkt o takich samych lub lepszych właściwościach [10, 12].

W procesie inżynierii odwrotnej poszczególne etapy produkcyjne realizowane są w konkretnym porządku i są ze sobą ściśle powiązane, ze względu na to, każdy etap jest kluczowy i wynik całego projektu zależy od jakości i dokładności poszczególnych segmentów [10].



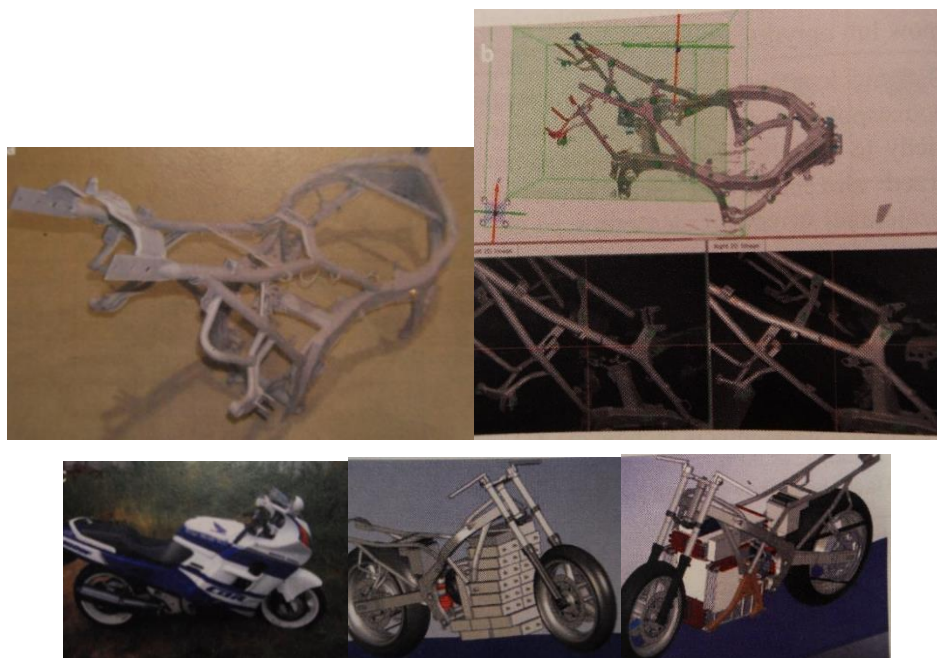
Rys.1. Model działań realizowany w procesie inżynierii odwrotnej [10]

Wykorzystanie techniki inżynierii odwrotnej jest szczególnie przydatne w sytuacji, gdy występuje potrzeba [5]:

- dokonania analizy obiektu w celu określenia jego składu, budowy, oszacowania kosztu produkcji,
- sprawdzenia interoperacyjność poszczególnych elementów maszyn np. w przypadku, gdy zostały dostarczone przez wielu producentów,
- dokonania przeglądu kontrolnego (modelu, podzespołu) odnośnie zachowania oryginalnych wymiarów geometrycznych,
- odtworzenia dokumentację techniczną urządzenia bądź podzespołu, który jej nie posiada (taka sytuacja najczęściej ma miejsce gdy dostęp do dokumentacji jest utrudniony, bądź producent jej nie udostępnił),
- utworzenia duplikat istniejącego elementu,
- dokonania analizy numerycznej pracy, wytrzymałości i zachowania wytworzonych obiektów, podzespołów czy całych maszyn.

Stosuje się ją także w przypadku, gdy [7]:

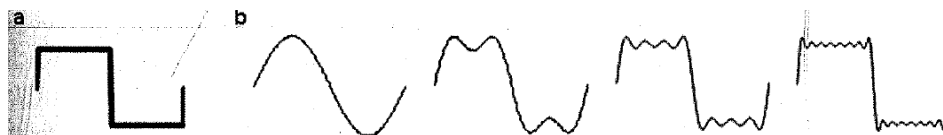
- producent zaprzestał produkcji wyrobu gdyż produkt stał się przestarzały, ale zapotrzebowanie na część wciąż istnieje,
- przedsiębiorstwo produkujące wyrób przestało istnieć, a zapotrzebowania na produkt wciąż istnieje,
- dokumentacja techniczna obiektu została utracona, lub nigdy nie powstała,
- producent musi dokonać analizy i przeprowadzić kontrolę jakości wytworzonych elementów, porównując wyprodukowany model z modelem CAD,
- następuje potrzeba wyeliminowania wad, które obniżają wytrzymałość produktu,
- następuje potrzeba dokonania analiza produktu pod względem konstrukcyjnym oraz wytrzymałościowym
- potrzebna jest analiza skomplikowanych figur geometrycznych, rzeźby lub ludzkiego ciała w celu odtworzenia ich w rzeczywistości wirtualnej,
- konstruktor musi wyeliminować wadliwe parametry produktu.



Rys.2. Digitalizacja ramy motocykla w projekcie przekonstruowania układu napędowego na elektryczny [12]

Przy pomiarze kształtów i jego zapisie w postaci modelu 3D dokonuje się konwersji analogowo-cyfrowej. Informacje na temat fizycznych kształtów obiektu są przenoszone do modelu komputerowego. Taki rodzaj konwersji wprowadza pewien rodzaj zniekształceń lub zakłóceń. Teoria sygnałów mówi o dwóch źródłach błędów digitalizacji, błędów kwantyzacji i błędów próbkowania.

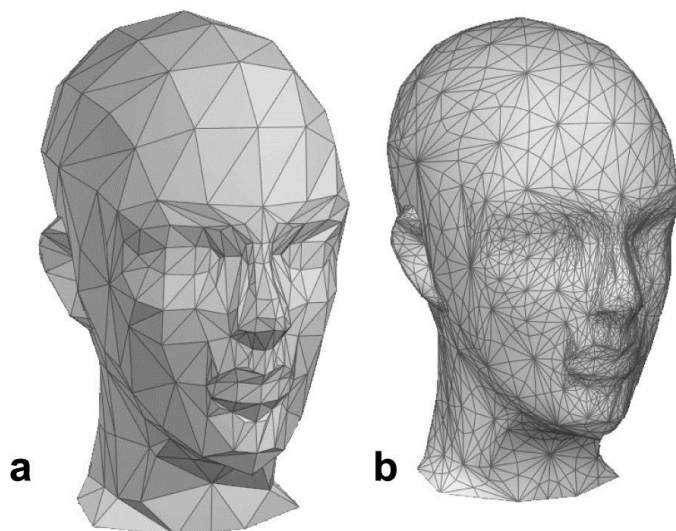
Błąd próbkowania powstaje wtedy, gdy dobrana zostanie niewłaściwa częstotliwość próbkowania. Nie może być ona mniejsza niż częstotliwość Nyquista (połowa częstotliwości próbkowania), która jest dwukrotnie większa od największej częstotliwości próbkowanego sygnału, dochodzi wtedy do nieodwracalnego zniekształcenia sygnału. Na rysunku 3. przedstawiono przykład dla sygnału jednowymiarowego



Rys. 3. Przykład jak wpływa częstotliwość próbkowania na jakość rekonstrukcji sygnału, a) oryginalny sygnał prostokątny, b) sygnał odtworzony kolejno z: dwóch, czterech, ośmiu i szesnastu równoległych próbek [12].

Dla pomiarów kształtów 3D, próbką jest punkt w przestrzeni 3D, a częstotliwością próbkowania gęstość punktów. W tym przypadku warunek Nyquista określa wymagania minimalnej gęstości punktów w celu uniknięcia zniekształceń kształtu. Aby uniknąć zniekształceń odległość między punktami pomiarowymi powinna być dwukrotnie mniejsza od długości najmniejszej krawędzi najdrobniejszego konturu mierzonego kształtu [12,13,14,19].

Błąd kwantyzacji powstaje z powodu ograniczeń zbioru wartości reprezentujących próbkowany sygnał. Dla pomiarów kształtów 3D wartości pozycji punktów pomiarowych w przestrzeni rejestrowane są w postaci trzech liczb rzeczywistych, więc zbiór wartości dla każdej z nich jest duży. Dla 32 bitowych liczb zmiennoprzecinkowych, liczba dziesiętnych cyfr znaczących wynosi 7-8. Dla 64 bitowych liczb, liczba cyfr znaczących wynosi 15-16. Przy konwersji do formatu tekstowego ASCII lub STL wartości liczb rzeczywistych zaokrąglane są nawet do 5-6 cyfr dziesiętnych. W najgorszym przypadku dla badań inżynierii odwrotnej obiektów mechanicznych o rozmiarach poniżej 1 metra, błąd kwantyzacji będzie miał wartość kilku mikrometrów. Dla obiektów wielkogabarytowych błąd ten będzie wynosił kilka dziesiętnych części milimetra. Błąd ten należy uwzględnić przy niepewności pomiaru lub w szacowaniu odchylek w procesie przetwarzania danych albo wykazać, że wpływ tego błędu może być pominięty [12,15,17].



Rys. 4. Porównanie modeli 3D głowy, a) model o małej liczbie trójkątów, b) model o dużej liczbie trójkątów [24].

3. STUDIUM PRZYPADKU

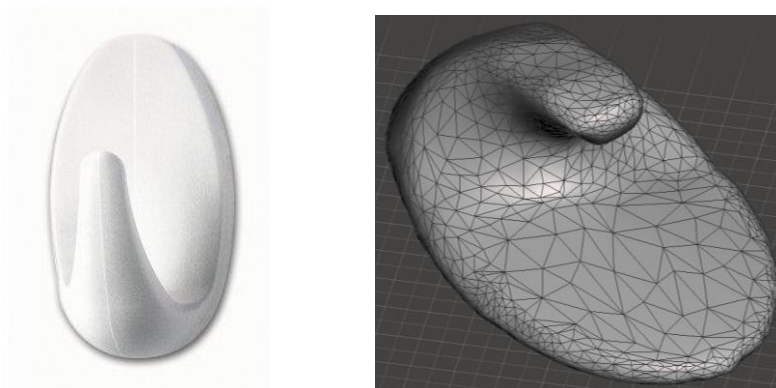
Inżynieria odwrotna jest procesem wieloetapowym, który ma na celu odwzorowanie geometrii badanego obiektu do pliku CAD w celu jego edycji. W procesie digitalizacji obiektu, uzyskuje się chmurę punktów. W procesie triangulacji punkty zamieniane są w siatkę trójkątów. Uzyskany w ten sposób model 3D może być poddany prostej edycji, wydrukowi 3D lub przekonwertowany do modelu CAD w celu jego kompleksowej modyfikacji. W tej części przedstawiono poszczególne kroki składające się na przedstawienie procedury RE, jak: wykonanie skanów 3D i edycja siatki trójkątów. W celu określenia efektywności skanowania 3D w procesie Reverse Engineering wykorzystano skaner Handy 3D ScannerXYZprinting i da Vinci 1.0 Pro 3in1 XYZprinting oraz programy MeshMixer i Catia. Oba te skanery są niskobudżetowe.

Badania zostały wykonane skanerem da Vinci 1.0 Pro 3in1 XYZprinting i Handy 3D ScannerXYZprinting. Da Vinci 1.0 Pro 3in1 posiada w sobie skaner oraz drukarkę. Jest to podstawowe urządzenie i jakość wykonanych skanów jak i wydruków jest niska. Wykorzystuje się je głównie do zastosowań domowych. Do obsługi potrzebny jest komputer z Windows 7 lub nowszym, a także procesor Intel i3 z 4GB pamięci RAM. Wykorzystywany jest skaner triangulacyjny, którego rozdzielczość wynosi 2140 punktów na cm^2 , a dokładność 0.25 mm. Minimalny rozmiar przedmiotu jaki może być zeskanowany to 3 cm na 3cm, maksymalny 15 cm na 15 cm, waga nie może przekroczyć 3 kg. Waga tego urządzenia to 27.5 kg. Format zapisu plików to STL.

Skaner ręczny Handy 3D ScannerXYZprinting wykorzystuje technologię Intel® RealSense™ Camera, jest to urządzenia nisko budżetowe. Wymagany jest system operacyjny Windows 8.1 lub wyższy. Maksymalny rozmiar skanowanego obiektu to 100x100x200 cm, minimalny 5x5x5 cm. Dokładność skanera waha się w przedziale 1 mm do 2.5 mm. Rozdzielczość rejestrowanego obrazu to 640 na 480 pikseli w 30 klatkach na sekundę (FPS). Zasięg pracy od 30 cm do 70 cm. Waga urządzenia to 238g.

W pracy dokonano opisu poszczególnych elementów wykorzystanych do skanowania wraz z fotografią pierwowzoru, modelem 3D w programie MeshMixer, a także modelu 3D, na których wykonano poszczególne operacje w celu jego naprawy w programie MeshMixer.

Pierwszym zeskanowanym elementem był plastikowy wieszak na ścianę typu haczyk, którego kształt oraz siatkę po skanowaniu i wstępnej obróbce przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Model oraz siatka po skanowaniu.

W ostatnim etapie zredukowano liczbę trójkątów budujących model 3D. Wykorzystując opcję Reduce (zmniejsz) z menu Select, po wybraniu całego elementu. Liczbę trójkątów zredukowana korzystając z opcji Max Deviation (maksymalne odchylenie) ustawionej na 0.1 mm. Kształt modelu 3D został zachowany, a ogólna liczba trójkątów zmniejszyła się z 29 271 do 2 929, rozmiar pliku zmalał z 2 220 KB do 142 KB.

Kolejnym zeskanowanym elementem był biały, ceramiczny kubek przedstawiony na rysunku 5.



Rys. 5. Model i jego skan

Pierwszym etapem było usunięcie elementów niepołączonych z główną geometrią obiektu wykorzystując opcje Select/Expand to Connected lub przy pomocy klawisza E, wcześniej zaznaczając kubek jako element bazowy. Następnie przy użyciu opcji Analysis/Inspect można sprawdzić, czy pozostały np. jakieś otwory. Jednak ta opcja, nie pokazała żadnych błędów. Kolejnym krokiem jest usunięcie siatki trójkątów znajdującej się w miejscu otworu kubka. W tym celu wykorzystana została opcja Select i przy pomocy narzędzia SphereBrush zaznaczona siatka przeznaczona do usunięcia.

W dalszej kolejności zrealizowano proces skanowania elementu, posługując się cyfrowym digitalizatorem optycznym o wysokiej rozdzielczości ATOS Triple Scan, wykonano obróbkę zdigitalizowanych elementów w systemie CATIA V5 R21 oraz wydrukowano je drukarką do szybkiego prototypowania HBOT 3D. Dokonano również analizy jakości wytworzonych detali porównując je z oryginalnymi modelami. Dwa przykładowe elementy, dla których wykonano zamienniki pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Wykorzystane elementy a) koło zębate stożkowe, b) koło zębate wałka rozrządu

Odtworzenie modelu zostało podzielone na dziewięć etapów:

- przygotowanie modelu do skanowania,
- zeskanowanie modelu za pomocą skanera,
- edycja wygenerowanej chmury punktów w systemie CATIA,
- wygenerowanie G-Code,
- ustawienie właściwości wydruku,
- przesłanie pliku z parametrami modelu do wydruku,
- drukowanie elementów,
- ocena jakości wytworzonych elementów,
- porównanie wytworzonych elementów z oryginalnymi.

Do zeskanowania elementów wykorzystano przemysłowy, cyfrowy digitalizator ATOS III Triple Scan firmy GOM, rys.7.



Rys. 7. Skaner ATOS Triple Scan firmy GOM [24]

ATOS Triple Scan jest skanerem optycznym wyposażonym w kamerę o rozdzielczości 8 Mpix, dostarczającym precyzyjne, trójwymiarowe dane pomiarowe.

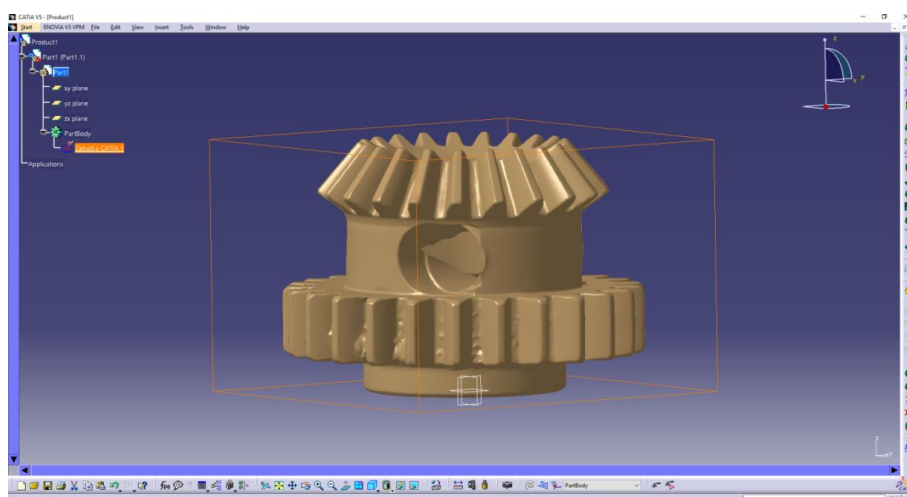
Proces digitalizacji może być całkowicie zautomatyzowany, półautomatyczny, jak i manualny. W przypadku ręcznego skanowania maszyna pomiarowa umieszczana zostaje na pulpicie lub statywie. Pomiar półautomatyczny przeprowadza się z wykorzystaniem trzyosiowego układu napędzanego silnikiem, w którego skład wchodzi: zespół do opuszczania i podnoszenia skanera oraz jednostka obracająca i przechylająca wspornik. Pomiar automatyczny przeprowadza się na mobilnych obrotowych stołach, na których można umieścić obiekty o minimalnych wymiarach $38 \times 29 \text{ mm}^2$, a maksymalnych $2000 \times 1500 \text{ mm}^2$. Dodatkowo skaner został wyposażony w czujnik GOM Touch Probe, dzięki któremu można dokonać pomiarów miejsc, które nie zostały zarejestrowane przez oprzyrządowanie optyczne [24].

Digitalizacja rzeczywistych obiektów była pierwszym etapem przedstawiającym istotę inżynierii odwrotnej w inżynierii produkcji. Przed przystąpieniem do digitalizacji rzeczywistego obiektu należało najpierw przygotować model do skanowania. Dokonano tego poprzez użycie preparatu w sprayu na bazie pudru oraz markerów. Użycie sprayu zapobiegło wystąpieniu odbić światła na powierzchni modelu, a markery stanowiły bazę dla stworzenia informacji o punktach referencyjnych obiektu.

Skanowanie wykonano za pomocą digitalizatora optycznego ATOS Triple Scan. Zastosowanie jego pozwoliło uzyskać wirtualną reprezentację rzeczywistego obiektu na poziomie dokładności 0,01 mm w stosunku do oryginalnego elementu.

Skanowanie przebiegało w półautomatyczny sposób. Skaner pozostawał nieruchomy, a stół roboczy był obracany wokół własnej osi, aż do momentu uzyskania pełnej informacji na temat geometrii skanowanego obiektu. Zarejestrowane dane były następnie wysyłane do programu ATOS Professional (rys. 39.), który oferuje możliwość porównania rzeczywistych danych z zarejestrowanymi, kontroli w oparciu o krzywe oraz analizę trendów i odkształceń. Podczas procesu skanowania nie wykorzystano jednak czujnika GOM Touch Probe do punktowego pomiaru miejsc trudno dostępnych dla skanera, co zaowocowało nieprecyzyjnym odwzorowaniem niektórych elementów.

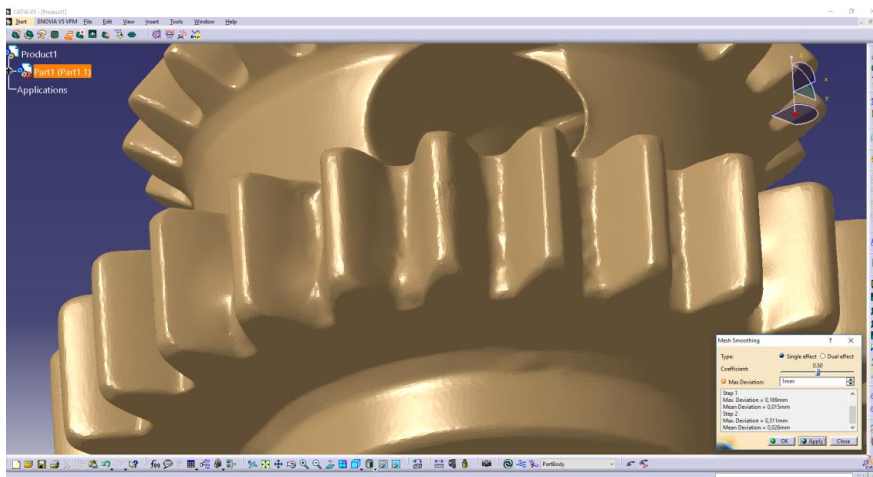
Korzystając z aplikacji Digitized Shape Editor systemu CATIA, , wykonano szereg czynności związanych z poprawą jakości oraz optymalizacją zeskanowanych elementów. Pierwszą czynnością przed przystąpieniem do edycji elementów było włączenie aplikacji Digitized Shape Editor wybierając w *Menu Start/Shape/Digitized Shape Editor*. Następnie do programu zaimportowano plik STL, w którym obiekt był przedstawiony w formie bryły 3D, co przedstawiono na rys. 40.



Rys. 8. Edycja modelu koła zębatego w systemie Catia

Pierwszym etapem edycji było uzupełnienie braków oraz zlikwidowanie nieciągłości pozostałych po procesie skanowania. Do uzupełnienia braków na powierzchni modelu wykorzystano opcję *Interactive Triangle Creation* dostępną na pasku *Mesh*

Wygładzenie siatki trójkątów wykonano korzystając z polecenia *Mesh Smoothing*, dostępnego na pasku narzędzi *Mesh*, korzystając z domyślnych ustawień współczynnika (*Coefficient*) ustawionego na 0,50 oraz odchylenia (*Deviation*) 1 mm. Należy zaznaczyć, że zbyt duże wygładzenie siatki trójkątów mogło doprowadzić do zniekształcenia geometrii obiektu.



Rys. 9. Element po zastosowaniu funkcji Mesh Smoothing

4. DYSKUSJA I WNIOSKI

Efektom przeprowadzonych skanów wybranych obiektów fizycznych było uzyskanie siatki trójkątów budujących model 3D. Uzyskane skany były nieprecyzyjne i wymagały wykonania wielu operacji w celu ich naprawy. Powtarzającymi błędami były elementy niezwiązane z obiektem, a znajdujące się na skanie, wolne przestrzenie, znaczne zniekształcenia oraz wypełnienia w miejscu, w którym powinien być otwór. Przyczyną mogła być jakość wykorzystanych skanerów 3D, nieodpowiednia chropowatość oraz kolor skanowanego obiektu, złe oświetlenie. Wykonane skany były zapisane w formacie STL i do ich edycji wykorzystano darmowy program MeshMixer. Pozwala on na usunięcie błędów znajdujących się w pliku, przygotowanie skanu do druku 3D i sam wydruk, dzięki opcji Print.

Jeden ze skanowanych elementów został wydrukowany tj. wieszak. Pozwoliło to na sprawdzenie, jak model 3D będzie prezentował się po wytworzeniu oraz na porównanie dwóch gotowych przedmiotów przed i po wykorzystaniu technik inżynierii odwrotnej, rysunek 9.45. Już na pierwszy rzut oka było widać między nimi różnicę.

Dodatkowo, ukazane zostały błędy spowodowane przez złą edycję siatki trójkątów, na wydrukowanym elemencie widać miejsca zagłębienia wynikających z niedostatecznego wygładzenia siatki, a także nieodpowiednie przygotowanie jej spodu do wydruku 3D, rysunek 9.46. Z tego powodu drukarka 3D miała problem z nałożeniem pierwszych warstw i dlatego ta strona jest postrzępiona, a jej krawędzie są ostre. W celu uniknięcia tego błędy konieczne jest utworzenie płaskiej powierzchni w miejscu powstania początkowej warstwy.

Kolejnym istotnym elementem, nie uwzględnionym w trakcie edycji jest wypełnienie siatki trójkątów. W obecnej postaci jest ona całkowicie zapełniona, co znacząco wpłynę-

ło na czas wydruku, który wyniósł 1 godzinę i 30 minut. Aby przyspieszyć proces wydruku możliwe jest ustalenie stopnia wypełniania poprzez zmianę grubości ścianki zewnętrznej lub wstawiając puste przestrzenie w model 3D.

Jest to darmowe oprogramowanie i możliwościami odbiega od płatnych programów. Głównym narzędziem używanym do edycji siatki trójkątów był pędzel. Posiada on szereg opcji pozwalających na dowolną edycję powierzchni. Opanowanie podstaw potrzebnych do używania programu MeshMixer wymaga poświęcenia, od 20 do 30 godzin na naukę. Łatwo rozpocząć z nim pracę, jednak opanowanie zaawansowanych opcji wymaga dużej praktyki. W zależności od stopnia zniekształceń skanu, czas wymagany do jego edycji wynosił od 30 minut do 2 godzin. Podczas pisania pracy, program zaktualizował się do nowo wydanej styczniowej wersji, niestety posiadała ona szereg błędów wykluczając stosowanie np. narzędzia Remesh, w celu zmiany gęstości siatki trójkątów. Dochodziło także do błędów programu i natychmiastowego zamknięcia, co czasami oznaczało konieczność rozpoczęcia edycji od nowa. Badania potwierdzają możliwość digitalizacji obiektu w celach jego rekonstrukcji. Zastosowane skanery mają na tyle małą dokładność, że uzyskane skany nie odzwierciedlają w pełni, geometrii danego obiektu.

Obecnie inżynieria odwrotna jest stosowana w każdej branży przemysłowej. Pozwala na stworzenie prototypów, rekonstrukcję, wykonanie odpowiednich analiz, montażu, zastępując tradycyjne metody i redukując koszt oraz czas wcześniej przeznaczony na powyższe czynności. Jej wykorzystanie pozwala na większą kontrolę procesu produkcyjnego.

Istotnym elementem inżynierii odwrotnej jest skanowanie, czyli digitalizacja obiektu. W zależności od potrzeb i ograniczeń jakie stawia dany wyrób, możliwy jest wybór różnych metod skanowania. Dla elementów o prostej budowie i wymaganej dużej dokładności, stosuje się skanery kontaktowe. Dla elementów wielkogabarytowych i skomplikowanej budowie wykorzystuje się skanery bezkontaktowe. Na podstawie uzyskanej chmury punktów dokonuje się jej edycji w celu przygotowanie do analizy jakościowej lub inżynierii odwrotnej. Przy kontroli jakości, skan porównuje się z modelem CAD tworząc mapę odchyłek, dla inżynierii odwrotnej, posłuży on jako wzór do utworzenia modelu CAD lub modelu zbudowany z powierzchni NURBS.

Badania przeprowadzone przy użyciu skanerów firmy XYZPrinting, które są niskobudżetowymi urządzeniami do inżynierii odwrotnej. Wykonane skany nie były wysokiej jakości, liczne błędy, a także niedokładność odwzorowania powierzchni, ograniczają ich zastosowanie. Zamknięta struktura jednego z użytych skanerów nie pozwala na zeskanowanie trudno dostępnych miejsc w danym przedmiocie. Aparatura pomiarowa jest zamontowana w nim na stałe i jedynie obrotowa taca wpływa na to, że uzyskuje się skan w 360 stopniach. Niektórych przedmiotów nie udało się w ogóle zeskanować lub ich jakość była taka, że w żadnym stopniu nie odzwierciedlały pierwotnego wyrobu. Było to spowodowane przez jego materiał, chropowatość powierzchni, a także stopień skomplikowania geometrii. Wystąpił także problem z oprogramowaniem dołączonym do skanera. Korzystając z osobistego komputera, możliwe było jedynie zapisanie skanu w uproszczonej wersji. Wybranie zapisu kompletnego powodowało zawieszenie komputera i tym samym utracenie uzyskanych wyników. Ten błąd nie wystąpił przy użytkowaniu skanera ręcznego, jego mobilność pozwoliła na uniknięcie ograniczeń stawianych przez

skaner zabudowany. Możliwe było wykonanie skanu z każdej strony, ale wymusiło to zastosowanie dodatkowego źródła światła. Mimo zachowania ostrożności, skanera czasami gubił skanowany obiekt i mimo wielu prób niemożliwy był powrót do digitalizacji. Konieczne stawało się rozpoczęcie prac na nowo.

Uzyskane skany można poddać edycji, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie wymaganego modelu 3D. Jednak wykorzystany program MeshMixer stawia pewne ograniczenia jak np. brak bezpośredniej konwersji na model CAD lub precyzyjna edycja. Edytowanie przy pomocy pędzli modelujących nie jest dokładne i opiera się często na powtarzaniu tych samych czynności do uzyskania oczekiwanego efektu. W dużym stopniu, finalny efekt zależy od uzyskanego skanu. Gdyby skany były dobrej jakości i odwierciedlały badany obiekt, użycie programu ograniczałoby się do przygotowania modelu 3D do wydruku i ewentualnej prostej edycji. Zastosowanie skanerów o lepszej jakości zwiększyło by dokładność skanów, a także zredukowało czas potrzebny na ich obróbkę.

Skanery firmy XYZPrinting mogą służyć w celach pokazania idei inżynierii odwrotnej. Skany mogą być wykorzystane w celach dydaktycznych, mających na celu nabycie umiejętności pozwalających na edycję siatki trójkątów. Należy mieć jednak na uwadze dokładność wykonanych skanów.

Edytując oraz optymalizując otrzymaną siatkę trójkątów pokazano możliwości programu CATIA wraz z aplikacją Digitized Shape Editor, jako kompleksowego narzędzia wspomagania prac inżynierskich.

Zrealizowano również proces wydruku modelu otrzymanego po etapie edycji. Elementy wytworzone w ten sposób nie był precyzyjnym odwzorowaniem bazowego modelu. Mogło to być spowodowane ograniczeniami wybranej metody wydruku, nieodpowiednio dobranym materiałem, niewytworzeniem podpór konstrukcyjnych, zbyt dużą prędkością wytwarzania lub niewystarczającym procentowym wypełnieniem modelu.

Obiekty otrzymane w ten sposób nie mogą zostać wykorzystane jako zamiennik dla oryginalnych podzespołów, jednakże można się nimi posłużyć dla celów dydaktycznych.

LITERATURA

- [1] **Chua C. K., Leong K. F., Lim C.S.**, *Rapid Prototyping Second Edition*, Nanyang Technological University, Singapur 2003
- [2] **Ebraltim M.**, *3D Laser scanner: history, applications, and future*, Assiut University, Grudzień 2011
- [3] **Metelnick, J.**, *How today's model/prototype shop helps designers use rapid prototyping to full advantage*, Society of Manufacturing Engineers Technical Paper (1991): p. 91-475.
- [4] **Rapid Prototyping Report**, Ford Uses Stereolithography to Cast Production Tooling, 1994: p. 1-3.
- [5] **Wohlers Report 2001**, *Industrial Growth, Rapid Prototyping and Tooling State of the Industry*, Wohlers Association Inc., 2001

- [6] *Rapid Prototyping Report, Toyota Uses Fused Deposition Modeling to Bypass Prototype Tooling*, CAD/CAM Publishing Inc., Wrzesień 1999, p. 1–3.
- [7] **Spielman, R.**, „*Laser sintered parts in space*,” RP = Rapid Production: An International Conference, held in conjunction with EuroMold 2000, Frankfurt, Niemcy, Grudzień 1, 2000.
- [8] **Sładek J., Klecha R.**: *Interaktywne programowanie współrzędnościowych maszyn pomiarowych w oparciu o zbiór CAD*, VII Konferencja Naukowo-Techniczna „Metrologia w technikach wytwarzania maszyn” tom 1 Kielce 1997 Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej nr 63
- [9] **Crump, S.**, *The extrusion of fused deposition modeling*, Proceedings 3rd International Conference Rapid Prototyping, 1992, pp. 91–100.
- [10] *Rapid prototyping helps Reebok stay on course*, Rapid Prototyping Report, November 2000.
- [11] **Egan T.**: *Additive Manufacturing*, AMT, 2013
- [12] **Dybała B.**, *Integracja i spójność modeli w inżynierii odwrotnej: wybrane aspekty technicznych i medycznych zastosowań reverse engineering*, Wyd. Wrocław 2013,
- [13] **Kazhad M., Bolitho M., Hoppe H.**, *Poisson Surface Reconstruction*, The Fourth Eurographics Symposium on Geometry Processing, 2006.
- [14] **Cuccuru G., Gobetti E., Marton F., Pajarola R., Pintus R.**, *Fast low-memory streaming MLS reconstruction of point-sampled surfaces*, Proceedings – Graphics Interface Conference, 25-27 May, Kelowna, British Columbia, Canada, 2009
- [15] **Bernardini F., Mittleman J., Rushmeier H., Silva C., Taubin G.**, *The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1/1999, 349-359
- [16] **Kaziunas A.**, *Kompendium wiedzy o druku 3D!*, Helion, 2014
- [17] **Gorecki T., Pankala P.**: *Modelowanie bryłowe i powierzchniowe w systemach CAD/CAM*, Czasopismo Postęp Nauki i Techniki 4/2010.
- [18] **Górski F., Kuczko W., Wichniarek R.**: *Odtwarzanie zużytych lub zniszczonych elementów maszyn za pomocą inżynierii odwrotnej oraz technik szybkiego wytwarzania*, Czasopismo Inżynieria Maszyn 2013 s. 7-17.
- [19] **Herma S., Wójcik A.**: *Fotogrametria jako alternatywna metoda modelowania obiektów 3D*, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009.
- [20] **Jakubowski J.**: *Projektowanie odwrotne jako narzędzie podwyższające jakość i konkurencyjność wyrobów*, Czasopismo Archiwum Odlewnictwa 2006, s. 37- 44.
- [21] **Kachel S., Kozakiewicz A., Łacki T., Olejnik A.**: *Zastosowanie inżynierii odwrotnej do procesu odtwarzania geometrii układu wlotowego silnika RD-33 w samolocie MIG-29*, Czasopismo Prace Instytutu Lotnictwa 4/2011.
- [22] **Michaud M.**: *CATIA. Narzędzia i moduły*, Wyd. Helion, Gliwice 2015.
- [23] **Raja V., Fernandes K. J.** *Reverse engineering: an industrial perspective*, Wyd. Springer-Verlag, Londyn 2008.

- [24] **Sasimowski E.:** *Przyrostowe metody wytwarzania elementów z tworzyw polimerowych*, Wyd. Katedra Procesów Polimerowych, Czasopismo Przetwórstwo Tworzyw, 2015 s.349-354, dostęp w Internecie:
- [25] **Wyleżoł M.** *Metodyka modelowania na potrzeby inżynierii rekonstrukcyjnej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.

ANALIZA FUNKCJONALNA WYBRANYCH GIEŁD TRANSPORTOWYCH I PLATFORM PRZETARGOWYCH W LOGISTYCE DYSTRYBUCJI

WPROWADZENIE

Transport postrzegany jest jako swoisty krwiobieg gospodarki, który zapewnia skuteczną dystrybucję towarów od producenta do konsumenta. Podstawową i dynamicznie rozwijającą się gałęzią transportu w Polsce jest transport drogowy. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w Polsce, samochody ciężarowe w 2015 roku wykonały blisko 76% krajowej pracy przewozowej oraz przewiozły ponad 83% tonażu, a także wykonały ponad 60% przewozów międzynarodowych [1].

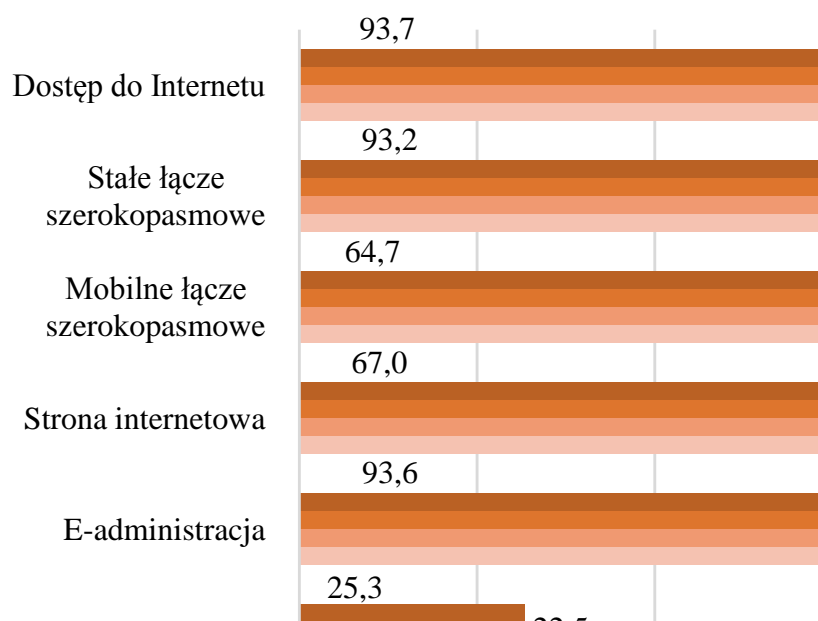
Obecnie w Polsce istnieje około 90 tys. przedsiębiorstw transportowych realizujących transport drogowy pojazdami ciężarowymi. Rodzimi przewoźnicy stanowią najliczniejszą grupą w międzynarodowym transporcie towarów, głównie w przewozach kabotażowych. Ponad 10% łącznej liczby pokonywanych kilometrów przez samochody ciężarowe polskich przewoźników odbywa się całkowicie na terytorium innych krajów europejskich. Z kolei analiza miejsc pracy pokazuje, że prawie 40% polskich przedsiębiorstw transportowych zatrudnia do 10 osób, 33% – do 49 osób, a tylko 5% zatrudnia więcej niż 250 pracowników [2].

Według GUS sektor transportowy wytwarza prawie 10% krajowego PKB. Przychody szacowane są na około 65 mld złotych rocznie, z czego zyski osiągnięte z transportu międzynarodowego wynoszą ok. 25 mld złotych [2]. Rosnące koszty prowadzenia działalności gospodarczej i trudności spowodowane spowolnieniem tempa rozwoju krajów Unii Europejskiej warunkują poszukiwania oszczędności wraz z optymalizacją procesów logistycznych wśród firm logistycznych.

Poszukiwania dotyczą obszarów, których innowacyjność i wspomaganie dla procesów transportowych znacznie wpływają na wzrost wyników ekonomicznych przedsiębiorstwa. W przedsiębiorstwie transportowym najczęściej kosztów stanowią następujące grupy: wynagrodzenia – stanowiące 45%, zużycie paliwa – w granicach 15 – 20% oraz amortyzacja – wahająca się od 5% do 10%. Koszty te obejmują od 65% do 75% kosztów, jakie ponosi przedsiębiorstwo [3]. Największą składową, a zarazem poszukiwanie ich redukcji stanowią koszty ponoszone z racji pustych przebiegów. Dane GUS wskazują, że co trzeci powrót z przewozu w Polsce wykonywany jest na pusto [2].

Na poprawę efektywności całego łańcucha dostaw pozytywny wpływ ma zastosowanie nowoczesnych technologii z zakresu logistyki i transportu. Nowoczesne rozwiązania

teleinformatyczne poszerzają i doskonalą dotychczas stosowane systemy do zarządzania transportem, zyskując uznanie wśród firm świadczących usługi logistyczne [4]. Wykorzystanie technologii informacyjno-telekomunikacyjnych w polskich przedsiębiorstwach przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wykorzystanie technologii informacyjno-telekomunikacyjnych w przedsiębiorstwach według klas wielkości w roku 2016, wyrażone w [%]. [opr. własne na podstawie [4]]

Zauważalne jest, że dostawcy nowoczesnych narzędzi informatycznych pokryli niemal w całości zapotrzebowanie dużych przedsiębiorstw na usługi informatyczne, ale wciąż jeszcze nie udało się dokonać tego samego wśród przedsiębiorstw średnich i małych.

Wnioskować można z tego, iż nowoczesne technologie informatyczne oferowane przez dostawców znajdują swoje zastosowanie przede wszystkim wśród dużych przedsiębiorstw, co wynika prawdopodobnie z poziomu kosztów nowoczesnego oprogramowania, poprawiających funkcjonowanie przedsiębiorstw.

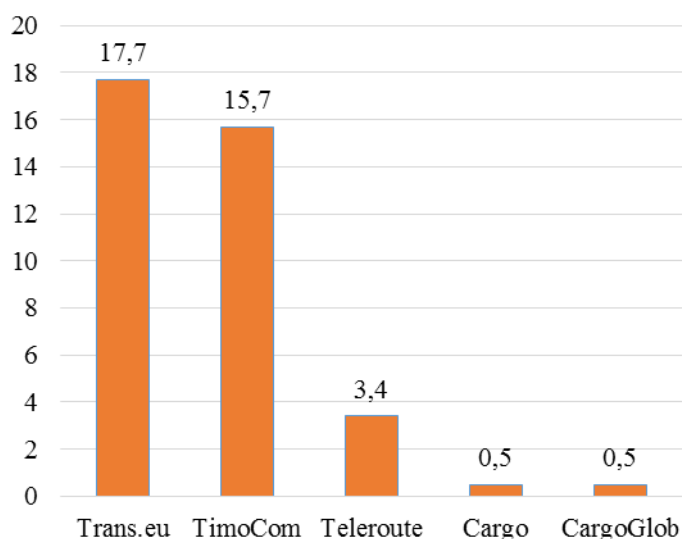
Narzędzia informatyczne dedykowane dla branży TSL usprawniają przepływ informacji wewnątrz przedsiębiorstwa oraz komunikację z kontrahentem i w znaczącym stopniu wpływają na rozwój firmy. Obecnie na rynku występuje wiele różnych narzędzi informatycznych, dynamicznie rozwijających się, które wspomagają sposób zarządzania przedsiębiorstwem w planowaniu i realizacji operacji transportowych.

Szacunkowo około 80% – 90% firm logistycznych wykorzystuje różnego rodzaju i w różnym zakresie elektroniczne giełdy transportowe [5]. Badanie przeprowadzone w publikacji [6] oparte na analizie wpływu funkcjonowania elektronicznych giełd na procesy transportowe, dostarcza informacji o strukturze rynkowej przedsiębiorstw logistycznych wykorzystujących dane platformy. W zdecydowanej większości giełdy transportowe wykorzystywane są przez przedsiębiorstwa zatrudniające do 9 pracowników [6].

Według statystycznych wyników ankiety [6] większość firm, bo aż blisko 93%, wykorzystuje od 1 do 3 giełd transportowych. Jedynie 7% przedsiębiorstw posiada zainstalowane oprogramowanie, które umożliwi prace na 4 do 6 platformach transportowych.

Zbyt duża liczba oprogramowania może generować znaczne koszty związane z aktywacją kont oraz powodować powtarzalność ofert przewozowych. Najpopularniejszym połączeniem giełd transportowych jest zestawienie giełd krajowych i zagranicznych.

Wyniki badań, które przeprowadzone zostały na podstawie publikacji [7] dowodzą, że przedsiębiorstwa przewozowe na polskim rynku usług transportowych współpracują głównie z elektronicznymi giełdami transportowymi: TimoCom, Trans.eu oraz Teleroute. Rezultaty badań zostały przedstawione na *rysunku 2* i stanowią jedynie przybliżony obraz funkcjonowania internetowych giełd transportowych z uwagi na podstawę badawczą. Istotna jest tutaj dynamika zmian procesów rynkowych i jej wpływ na popularność poszczególnych giełd transportowych wśród dedykowanej grupy użytkowników (tj. firm poszukujących jednorazowo ładunków).



Rys. 2. Elektroniczne giełdy transportowe wykorzystywane przez przedsiębiorstwa TSL, wyrażone w %. Opracowanie własne na podstawie [7]

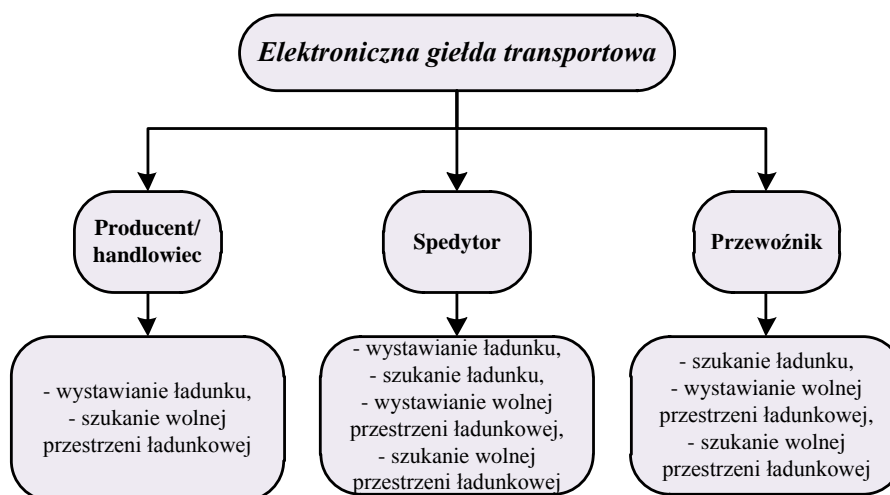
To właśnie elektroniczne giełdy transportowe pozwalają przedsiębiorstwom dotrzeć do nowych potencjalnych kontrahentów na rynku dostawców i usług transportowych. Przytoczone dane statystyczne dowodzą o potrzebie wykorzystania elektronicznych giełd transportowych i platform przetargowych na rynku TSL (Transport-Spedycja-Logistyka) do celów usprawnienia organizacji pracy i zwiększenia efektywności zarządzania procesami transportowymi.

1. NOWOCZESNE NARZĘDZIA INFORMATYCZNE WSPOMAGAJĄCE ORGANIZACJĘ PRACY W TRANSPORCIE

Analiza przedsiębiorstw transportowych pod względem korzystania z nowoczesnych rozwiązań informatycznych, wskazuje, że coraz większe znaczenie ma dostęp, a nawet elektroniczna wymiana danych pomiędzy własnymi systemami informatycznymi a elektronicznymi giełdami transportowymi i platformami przetargowymi. Pierwsze z nich wspierają pracę głównie na rynku spot – do wyszukiwania zleceń krótkoterminowych (jednorazowych), ale również niekiedy na rynku kontraktowym (inicjowanie umów długoterminowych). Drugie z nich działają przeważnie na rynku kontraktowym na zasadzie wyszukiwania zleceń stałych i długoterminowych, głównie dla dużych przedsiębiorstw.

Giełdy transportowe wykorzystują nowoczesne rozwiązania informacyjno-komunikacyjne. Stanowią interaktywne platformy w trybie on-line na rynku usług logistycznych, które łączą w sobie rzeczywiste wymagania przedsiębiorstw produkcyjnych, transportowych, spedycyjnych, czy handlowych [5, 6, 7].

Uproszczony schemat działania elektronicznych giełd transportowych przedstawiono na *rysunku 4*.



Rys. 1. Podstawowi użytkownicy elektronicznej giełdy transportowej. Opracowanie własne na podstawie [6]

Szybkość przekazu informacji, a także ich dostępność przy użyciu elektronicznych giełd transportowych pozwala zwiększyć elastyczność funkcjonowania i szybkość reakcji podmiotów gospodarczych na zmiany zachodzące na rynku [6], [7]. Giełdy transportowe dostarczają możliwości poszukiwania partnerów gospodarczych wraz z ich selekcją, odpowiednią do własnego modelu prowadzenia biznesu.

Podstawowymi elementami giełdy transportowej są: giełda pojazdów – dostarczająca informacji o ofertach wolnych przestrzeni ładunkowych, giełda ładunków – obejmująca oferty wolnych ładunków do przewiezienia, a także analiza i wybór tras przewozowych, analiza wolnych przestrzeni magazynowych oraz monitorowanie pojazdów i ładunków.

Giełdy transportowe cechują [6], [7]:

- szeroki zasięg,
- duża liczba ofert z różnych regionów, krajów i na różne środki transportu,
- możliwość porównania i selekcji optymalnego zlecenia spośród wielu tysięcy ofert,
- wymiana informacji w czasie rzeczywistym,
- udostępnienie kontaktów do dużej grupy przedsiębiorstw,
- nieograniczony przepływ informacji między wszystkimi uczestnikami łańcucha dostaw.

Internetowe platformy przetargowe są nowoczesnym narzędziem informatycznym wykorzystywanym, podobnie jak giełdy transportowe, do znajdowania zleceń transportowych z tą różnicą, że baza ofert składa się ze zleceń stałych (wielokrotnych dla tego samego zleceniodawcy). Z platform przetargowych z powodzeniem korzystają przewoźnicy, spedytorzy oraz zleceniodawcy związani trwałymi kontraktami z firmami o charak-

terze produkcyjnym czy handlowym. Platformy przetargowe wspierają firmy w poszukiwaniu kontrahentów świadczących usługi logistyczne na stałych relacjach w wyznaczonym czasie. Rosnąca konkurencja wymusiła jednak na oferentach platform przetargowych potrzebę dywersyfikacji usług. W zależności od rodzaju użytkowanej platformy oraz jej wyposażenia w postaci różnych modułów, klient może korzystać z narzędzi np. do zarządzania długoterminowymi umowami i kosztami transportu czy fakturowania. Cechą platform przetargowych jest integralność interfejsu platformy z systemami klasy TMS (Transport Management System) czy ERP (Enterprise Resource Planning).

2. WYKORZYSTANIE GIEŁD TRANSPORTOWYCH DO POZYSKIWANIA ZLECEŃ TRANSPORTOWYCH

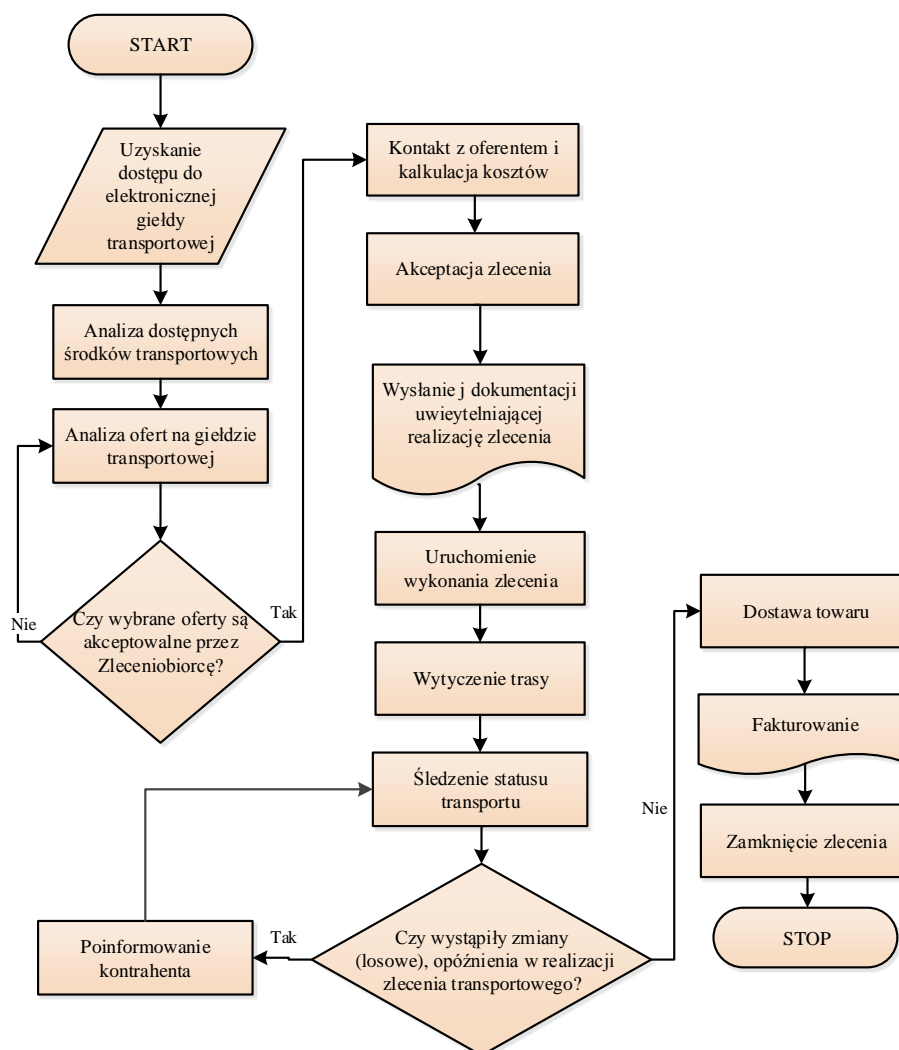
Elektroniczne giełdy transportowe prowadzone przez profesjonalnych dostawców pozwalają na usprawnienie procesu pozyskiwania zleceń transportowych. Ilość funkcji wspierających organizację logistycznego łańcucha dostaw i integralność z innymi systemami informatycznymi sprawiły, że giełdy transportowe stały się kompleksowymi narzędziami pracy spedytorów. Dzięki obszernej bazie zleceń transportowych pracownik spedycji może dotrzeć do ofert załadunku pojazdów w korzystnym obszarze, co w konsekwencji prowadzi do ograniczenia pustych przebiegów w procesie planowania transportu. Zaletą tego rodzaju rozwiązań jest stale powiększająca się wewnętrzna baza danych firmy o współpracujących kontrahentach.

Ciągły rozwój usług e-logistycznych oraz konkurencja rynkowa spowodowały rozszerzenie przez dostawców internetowych giełd transportowych o wbudowane komunikatory biznesowe, a także ich mobilne wersje, co jeszcze bardziej wpływa na łatwość pozyskania zlecenia transportowego.

Mimo to, że przeprowadzonych badań wynika, że proces pozyskiwania zlecenia transportowego należy standaryzować z uwagi na dynamikę zmian zleceń/ładunków na elektronicznych giełdach transportowych. W tym celu wykonano badania w ok. 30 firmach spedycyjno-transportowych, permanentnie korzystających z elektronicznych giełd transportowych. Na tej podstawie zaproponowano schemat postępowania, który redukuje i usprawnia czynności niezbędne do podjęcia właściwego zlecenia z elektronicznej giełdy transportowej. Algorytm obrazujący schemat postępowania podczas pozyskiwania zlecenia zaprezentowano na rysunku 5.

Sposób postępowania, zaprezentowany na rysunku 5 jest uniwersalny i może być stosowany do większości dostępnych elektronicznych giełd transportowych. Mimo to, giełdy dysponują dodatkowo narzędziami usprawniającymi praktycznie każdą czynność zapisaną w powyższym algorytmie. To niewątpliwie wspomaga i przyspiesza proces komunikacji, a w konsekwencji wyboru zlecenia i/lub środka transportowego przez firmę transportową. W zestawieniu w tabeli 1 poddano ogólnej ocenie usługodawców elektronicznych giełd transportowych, posiadających różnorodne funkcjonalności usprawniające pracę spedytora w zakresie pozyskiwania zleceń transportowych. Wykonane porównanie pomaga określić stopień kompleksowego podejścia usługi do potrzeb

firm transportowych z obszaru zarządzania, planowania łańcucha dostaw, organizowania i monitorowania posiadanej floty.



Rys. 2. Algorytm pozyskiwania i realizacji zlecenia transportowego. [opr. własne]

Tabela 1. Analiza porównawcza internetowych giełd transportowych. Opracowanie własne na podstawie [8,9,10,11,12,13]

Giełda transportowa	TimoCom	Trans.eu	Transporeon	Teleroute	Wtransnet	Cargo-Glob	Cargo
Funkcjonalność							
Platforma przetargowa	X		X		X		
Mapa cyfrowa	X	X	X	X	X		X
Komunikator	X	X				X	X
Indeks firm	X	X	X	X	X	X	X
Aplikacja mobilna	X	X	X	X	X		X
Barometr transportowy	X						
Giełda wolnych przestrzeni magazynowych	X						
Zamknięta grupa użytkowników	X	X			X		
Abonament za usługę [miesiąc]	149,99€ + 175€ aktywacja	70 €	Brak danych	Brak danych	61-75€	Brak	Brak

Powyższe badania dowodzą, iż giełda transportowa TimoCom stanowi najbardziej rozwiniętą formę wspomagania przedsiębiorstw w zakresie pozyskiwania zlecenia transportowego i usprawniania zarządzania całym łańcuchem dostaw. TimoCom jest branżowym potentatem spełniającym potrzeby wszystkich rodzajów podmiotów gospodarczych działających w sektorze logistycznym. W ocenie przeprowadzonych badań wynika dodatkowo, że giełda transportowa TimoCom jest największym oraz najskuteczniej docierającym do klientów dostawcą usług dla sektora TSL. Giełda ta jest również najlepsza pod względem ilości funkcji oraz ich zakresu działań. Z kolei giełda Trans.eu stanowi najsilniejszą konkurencję dla TimoCom. W obszarze platform przetargowych to Transporeon opanowuje sporą część producentów i handlowców stanowiąc pośrednio duże zainteresowania przez firmy transportowe. Pozostałe giełdy zaprezentowane w powyższym zestawieniu potrzebują inwestycji w rozwój systemów, aby nadgonić pozycję

rynkową, wypracowaną przez czołówkę usługodawców dla przedsiębiorstw transportowo-spedycyjno-logistycznych.

Zastosowanie giełd elektronicznych do zwiększenia efektywności pozyskiwania zleceń transportowych jest odpowiednim działaniem dla wszystkich przedsiębiorstw. Działanie łatwiej pozyskiwania ofert przewozowych, spowodowana postępującą globalizacją i przyspieszeniem obiegu informacji, pozwala optymistycznie spoglądać w przyszłość właścicielom przedsiębiorstw. Ważnym jednak krokiem w poprawie efektywności podejmowanych działań jest ich usystematyzowanie. Stąd przydatnym do pracy z giełdami transportowymi w świetle ich różnorodności narzędzi i funkcjonalności może okazać się uporządkowanie sposobu pozyskiwania zlecenia transportowego.

3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza porównawcza pozwala zgodzić się z postawioną hipotezą o braku możliwości zaspokojenia potrzeb rynku TSL przez jednego dostawcę elektronicznej giełdy transportowej i/lub platformy przetargowej. Wynika to z ilości i różnorodności potrzeb przedsiębiorstw poszukujących narzędzi usprawniających logistykę dystrybucji. Giełdy transportowe i platformy przetargowe pomagają w optymalizowaniu procesów logistycznych redukując czas przemieszczania towarów, poprawiając bezpieczeństwo transportu i minimalizując puste przebiegi środków transportowych oraz zrzeszając ze sobą wiele firm spedycyjnych, transportowych i produkcyjnych. Stosowanie nowoczesnych narzędzi informatycznych zwiększa konkurencyjność, a ich odpowiednie wykorzystanie może przynieść duże zyski finansowe przedsiębiorstwom sektora transportowego.

LITERATURA

- [1]. Główny Urząd Statystyczny: *Transport. Wyniki działalności w 2015 r.*, Warszawa 2016.
- [2]. Główny Urząd Statystyczny: *Spoleczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2012-2016*, Warszawa 2016.
- [3]. <http://www.40ton.net/perspektywy-rozwoju-rynku-transportu-drogowego-na-najblizsze-kilkanascie-lat-i-analiza-obecnej-sytuacji/> (dostęp 30.04.2017 r.).
- [4]. Główny Urząd Statystyczny: *Spoleczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2012-2016*, Warszawa 2016.
- [5]. **Zimon G.**: *Analiza kosztów w przedsiębiorstwach transportu samochodowego*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia, nr 77, 2015, s. 349-354.
- [6]. **Lewandowski P., Dziechciarz M.**: *Wpływ giełd transportowych na sektor TSL*, w: *Logistyka*, nr 5/2011, s. 1125-1141.
- [7]. **Borycka B., Kempa E.**: *Istota giełd transportowych na przykładzie TimoCom*, w: *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej*, nr 7/2012, s. 9-28.
- [8]. <http://www.teleroute.pl/> (dostęp 17.05.2017 r.).
- [9]. <http://www.timocom.pl/> (dostęp 15.05.2017 r.).
- [10]. <http://www.trans.eu/pl/> (dostęp 15.05.2017 r.).

- [11]. <http://www.transporeon-group.com/pl/> (dostęp 17.05.2017 r.).
- [12]. <http://www.tropicielgps.pl/> (dostęp 24.04.2017 r.).
- [13]. <http://www.wtransnet.com/pl/> (dostęp 17.05.2017 r.)

MODELOWANIE PROCESÓW W DZIALE UTRZYMANA RUCHU DLA POTRZEB WDROŻENIA SYSTEMU MES

1. WPROWADZENIE

Aby sprawnie i optymalnie zarządzać w przedsiębiorstwie działem Utrzymania Ruchu (UR) należy skutecznym sposobem wdrożyć odpowiedni system informatyczny wspomagający pracę tego działu. Można wskazać następujące oczekiwane rezultaty wdrożenia systemów informatycznych w dziale UR:

- osiągnięcie pożądanej, jakości wyrobu lub usługi,
- maksymalizacja ekonomicznego okresu użytkowania wyposażenia produkcyjnego,
- utrzymanie warunków bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń,
- maksymalizacja zdolności produkcyjnych,
- minimalizacja kosztów produkcji.

Jednym z rozwiązań informatycznych dla działu UR jest System MES (Manufacturing Execution Systems). System MES umożliwia efektywne zbieranie danych i informacji w czasie rzeczywistym ze stanowisk produkcyjnych i ich przekazywanie na pozostałe obszary przedsiębiorstwa. Dane i informacje o realizacji produkcji mogą być pobierane bezpośrednio z maszyn oraz przy udziale pracowników bezpośrednio produkcyjnych. System MES realizuje również funkcje charakterystyczne dla systemu SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), jednolitego interfejsu do sterowników produkcyjnych i autonomicznych systemów przemysłowych.

2. EFEKTYWNOŚĆ WDROŻENIA SYSTEMU MES W UJĘCIU EFEKTYWNOŚCI REALIZOWANYCH PROCESÓW W DZIALE UR

Proces biznesowy można rozumieć, jako zbiór powiązanych ze sobą ustrukturalizowanych działań lub czynności, które służą określonej roli, np. dostarczeniu konkretnej usługi lub produktu dla danego odbiorcy.

Utrzymanie infrastruktury technicznej przedsiębiorstwa na odpowiednim poziomie produktywności oraz wydajności wymaga stosowania właściwych metod i narzędzi zarządzania.

Zarządzanie poprzez podejście procesowe pozwala na rozpoznawanie obszarów wzajemnych zależności między procesami, jasne zasady monitorowania i oceny procesów. Pozwala to na efektywne i skuteczne realizowanie celów organizacji (ISO 900 – seria norm).

Efektywność rozpatrywana jest zwykle na trzech poziomach:

- organizacji – strategia, struktury, sposób wykorzystania zasobów,
- procesu – realizacja procesów i ich współdziałanie,
- stanowiska pracy – zestaw działań na stanowisku pracy, kompetencje personelu.

Efektywność należy rozpatrywać w odniesieniu do wszystkich ww. poziomów.

Pojęcie efektywności odnosi się najczęściej do zasady racjonalnego gospodarowania formułowanej w dwóch wariantach: wydajnościowym (maksymalizacja efektu) i oszczędnościowym (minimalizacja nakładu) (Matwiejczuk, 2000).

Według Petera F. Druckera efektywność to kluczowy czynnik rozwoju przedsiębiorstwa służący samorealizacji i zdolności jego przetrwania (Drucker, 1994).

Skrzypek twierdzi, że jest to zdolność organizacji do realizowania strategii i osiągnięcia założonych celów (Skrzypek, 2000).

W aspekcie ekonomicznym, efektywność jest wynikiem działalności gospodarczej przedsiębiorstwa, będący stosunkiem uzyskanego efektu, do poniesionego nakładu (Szafrański, 2007).

$$E = \frac{e}{n}$$

gdzie:

E – efektywność,

e – efekty,

n – nakłady.

System składający się z powiązanych ze sobą procesów, celów i metod monitorowania wraz z regularnym przeglądem skuteczności (realizacji celów) pozwala na stabilny rozwój i doskonalenie organizacji (ISO 900 – seria norm).

Aby móc sprawnie zarządzać procesem utrzymania ruchu, powinno się dopasować go do rzeczywistych potrzeb oraz możliwości przedsiębiorstwa, opracować przejrzyste procedury, aby w łatwy i intuicyjny sposób można go śledzić i nim sterować.

W tym celu możemy zastosować definiowanie graficznej reprezentacji wspomagających modelowanie procesów biznesowych, takich jak notacja BPMN (Business Process Modeling Notation).

3. MODELOWANIE PROCESÓW BIZNESOWYCH W NOTACJI BPMN

Modele procesów biznesowych mogą być podstawą do stworzenia lub wyboru systemów realizacji produkcji, systemów wspierających podejmowanie decyzji, zarządzania, komunikacji. Stanowią uproszczenie rzeczywistości zgodnie z założonymi wcześniej regułami. Istotne jest, aby modele odzwierciedlały rzeczywistość procesów zachodzących w przedsiębiorstwie.

Proces biznesowy to zbiór logicznie powiązanych zadań wykonywanych w celu osiągnięcia określonych rezultatów biznesowych (Davenport, Short, 1990).

Mapowanie procesów to graficzne przedstawienie procesu wraz z jego wzajemnymi powiązaniem. Umożliwia przedstawienie działań i powiązań w organizacji. Mapowanie procesów jest jednym z elementów umożliwiającym dalszy rozwój wdrożenia systemu zarządzania czy realizacji produkcji. Umożliwia realizację *podejścia procesowego*, jest jednym z elementów tego podejścia oraz początkiem do dalszego doskonalenia.

Mapowanie procesów jest niezbędne również, aby przedsiębiorstwo mogło spełniać wymogi norm, a także dla skutecznego i efektywnego funkcjonowania organizacji. Kaplan twierdził, że: *mierzenie jest istotne, a jeśli nie można czegoś zmierzyć, nie można tym zarządzać*.

Istnieją różne języki, które służą do modelowania procesów. Posiadają one swoją specyfikację, która precyzyjnie określa, co dany symbol graficzny oznacza, jak powinny wyglądać np. połączenia pomiędzy nimi.

Poniżej przykładowe notacje używane do modelowania procesów biznesowych:

- **BPMN** (Business Process Modeling Notation),
- **EPC** (Event-Driven Process Chain),
- **ERM** (Entity–relationship model).
- **CMMN** (Case Management Model and Notation),
- **UML** (Unified Modeling Language),
- **DFD** (Data Flow Diagram Notation).

BPMN (Business Process Model and Notation) została opracowana w 2004 roku przez grupę konsultantów i sprzedawców oprogramowania w ramach Business Process Management Initiative (BPMI). Obecnie obowiązująca notacja BPMN 2.0 jest modyfikacją kolejnych poprzednich wersji. Została opracowana w 2013 przez Object Management Group (OMG). Tradycja grupy sięga 1989 roku, powstała jako konsorcjum założone przez IBM, Apple Computer i Sun Microsystems w celu ustanowienia standardów międzyplatformowego, rozproszonego programowania obiektowego.

OMG połączyła się z BPMI w roku 2005 od tamtej pory prowadzi prace rozwojowe nad notacją BPMN (OMG 2013). Zajmuje się opracowywaniem standardów związanych z oprogramowaniem. BPMN to jeden z jego najbardziej znanych produktów.

Jest również opisana normą ISO/IEC 19510:2013 Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej.

BPMN jest standardem mającym na celu przedstawienie w sposób graficzny procesy zachodzące praktycznie w każdym rodzaju działalności gospodarczej.

Notacja BPMN posiada skończony, jednoznacznie zdefiniowany zestaw symboli, które umożliwiają i wspomagają modelowanie procesów biznesowych.

Elementy graficzne notacji BPMN można podzielić na cztery podstawowe grupy:

- obiekty związane z definiowaniem przepływu procesu (zdarzenia, czynności, obiekty decyzyjne),
- elementy pozwalające na łączenie części modelu w postaci: przepływów sterowania, komunikatów, asocjacji,
- obiekty grupujące inne elementy procesu w postaci zbiorników i torów,
- obiekty rozszerzające.

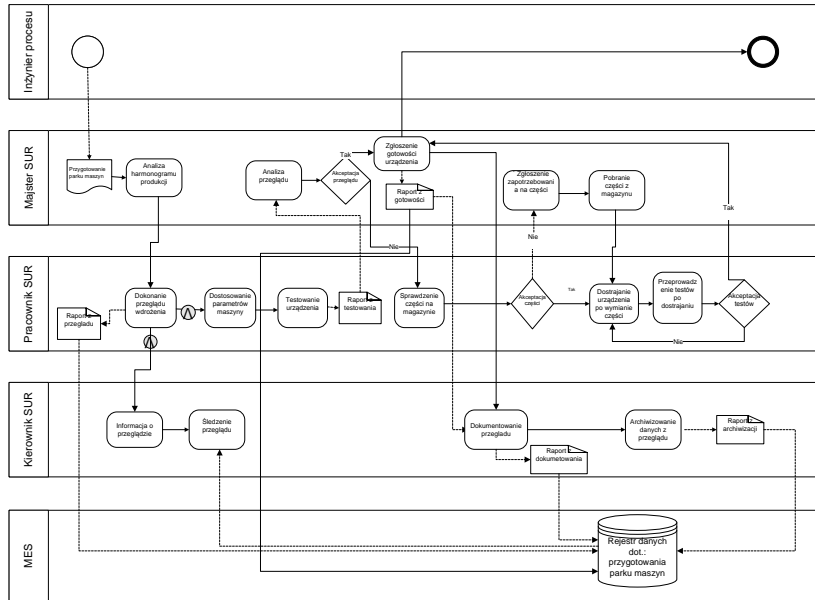
Wyróżniono następujące procesy biznesowe realizowane w dziale utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie produkcyjnym, konieczne do zamodelowania dla potrzeb wdrożenia systemu MES, które zaprezentowano za pomocą notacji BPMN.

I. Proces 1. Przygotowanie parku maszyn do pracy

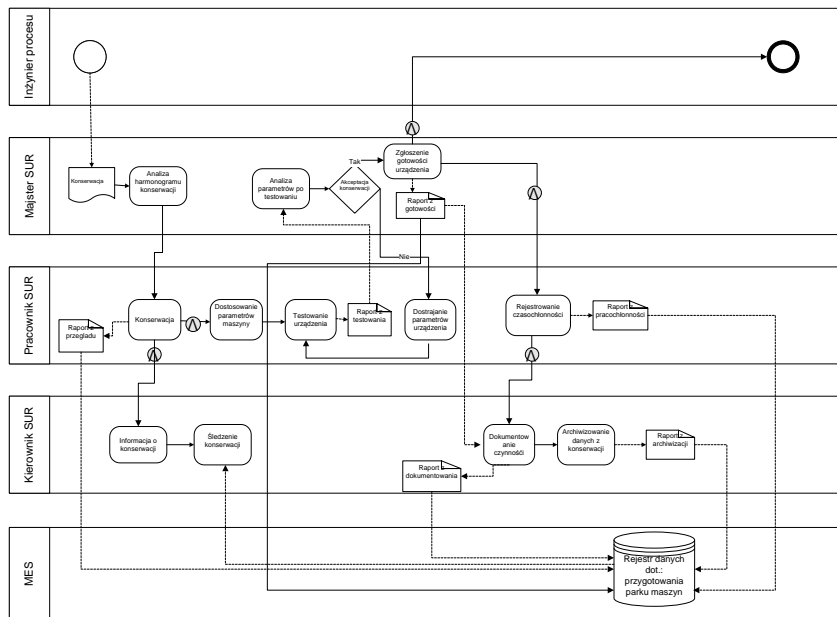
- D1.1 - Analiza harmonogramu produkcji;
- D1.2 - Dostosowywanie parametrów urządzeń;
- D1.3 - Dokonywanie przeglądu wdrożeniowego;
- D1.4 - Testowanie działania urządzenia;
- D1.5 - Zgłoszenie gotowości urządzenia;
- D1.6 – Analiza przeglądu;
- D1.7 – Sprawdzanie części na magazynie;
- D1.8 – Zgłaszanie zapotrzebowania na części;
- D1.9 – Pobieranie części z magazynu;
- D1.10 – Dostrajanie urządzenia po wymianie części;
- D1.11 – Przeprowadzanie testów po dostrajaniu;
- D1.12 – Prowadzenie dokumentacji;
- D1.13- Otrzymywanie informacji o przeglądzie;
- D1.14 – Śledzenie przeglądu;
- D1.15 - Raportowanie zdarzeń;
- D1.16 - Archiwizowanie danych z przeglądu urządzeń.

II. Proces 2. Konserwacja:

- D2.1 - Analiza harmonogramu konserwacji;
- D2.2 – Konserwacja;
- D2.3 – Dostosowywanie parametrów maszyny;
- D2.4 – Testowanie urządzenia;
- D2.5 – Dostrajanie parametrów urządzenia;
- D2.6 - Analiza parametrów urządzenia;
- D2.7 - Zgłoszenie gotowości urządzenia po konserwacji;
- D2.8 – Rejestrowanie czynności;
- D2.9 – Prowadzenie dokumentacji;
- D2.10 - Otrzymywanie informacji o konserwacji;
- D2.11 - Śledzenie konserwacji;
- D2.12 - Raportowanie zdarzeń;
- D1.13- Archiwizowanie danych z konserwacji urządzeń.



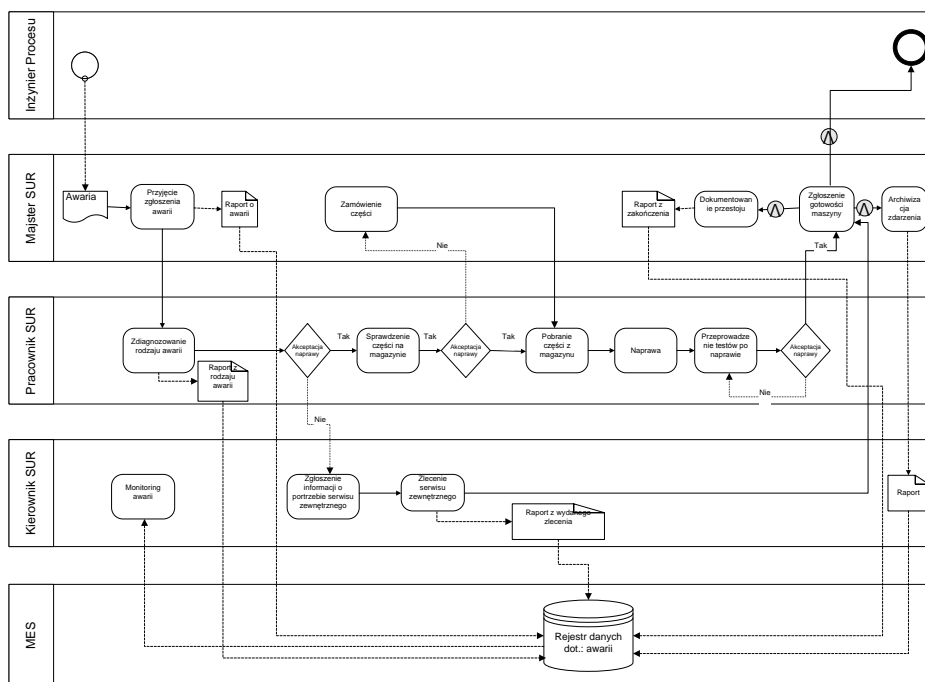
Rys. 1. Diagram sekwencji dla procesu przygotowanie parku maszyn do pracy



Rys. 2. Diagram sekwencji dla procesu konserwacja

III. Proces 3. Naprawa:

- D3.1 - Przyjęcie zgłoszenia;
- D3.2 - Diagnoza rodzaju awarii;
- D3.3 - Sprawdzanie dostępności części na magazynie;
- D3.4 - Pobieranie części z magazynu;
- D3.5 – Naprawa urządzenia;
- D3.6 - Przeprowadzanie testów urządzenia;
- D3.7 – Dokumentowanie przestoju;
- D3.8 – Zgłoszenie gotowości urządzenia;
- D3.9 – Zgłaszanie informacji o potrzebie zamówienia serwisu zewnętrznego;
- D3.10 - Zlecenie serwisu zewnętrznego;
- D3.11 – Monitoring awarii;
- D3.12 - Raportowanie zdarzeń;
- D3.13 - Archiwizowanie danych z awarii urządzeń.

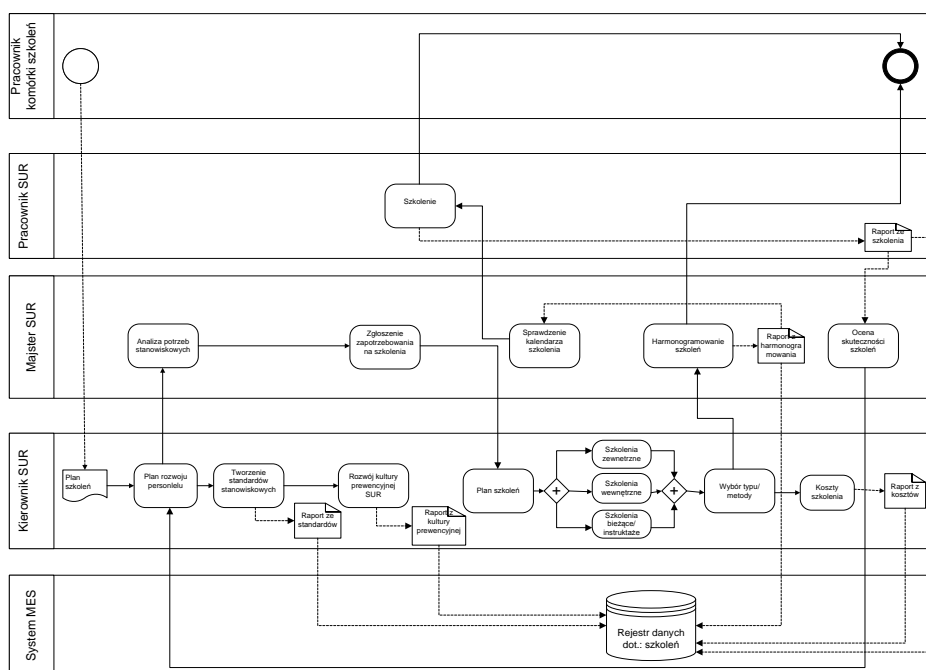


Rys. 3. Diagram sekwencji dla procesu naprawa

IV. Proces 4. Szkolenia dot.: utrzymania ruchu

- D4.1 - Analiza kwalifikacji potrzeb stanowiskowych;
- D4.2 - Planowanie rozwoju personelu;
- D4.3 – Tworzenie standardów kwalifikacyjnych stanowiska pracy;
- D4.4 - Rozwój kultury prewencyjnej służb utrzymania ruchu;

- D4.5 – Zgłaszanie zapotrzebowania na szkolenia;
- D4.6 – Planowanie szkoleń;
- D4.7 - Kalendarz z terminami szkoleń;
- D4.8 - Szkolenia zewnętrzne;
- D4.9 - Szkolenia wewnętrzne;
- D4.10 - Szkolenia bieżące/instruktaże;
- D4.11 – Dobór metody/typu szkoleń;
- D4.12 - Koszty szkoleń;
- D4.13 - Ocena skuteczności szkoleń;
- D4.14 - Raportowanie zdarzeń dot.: szkoleń;
- D4.15 - Harmonogramowanie szkoleń.



Rys. 4. Diagram sekwencji dla procesu szkolenia

4. POSUMOWANIE

Efektywność procesów produkcji jest jednym z najważniejszych problemów wspólnego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Odnosi się to zarówno do poziomu operacyjnego jak i strategicznego firmy.

W artykule podjęto próbę przedstawienia procesów realizowanych w dziale utrzymania ruchu w celu przygotowania przedsiębiorstwa do wdrożenia systemu MES. Pozyskane informacje o przebiegu zdarzeń np.: dotyczących procesu *konserwacji* urządzeń sformalizowano w postaci graficznej przy użyciu narzędzia w notacji BPMN. Prawidłowe zidentyfikowanie działań, powiązań i oddziaływań procesu konserwacji przebiegających w przedsiębiorstwie umożliwia ich monitorowanie, nadzór i doskonalenie.

Pierwsza faza wdrażania w przedsiębiorstwie systemu MES wymaga zaangażowania wszystkich stron w organizacji, jednak w efekcie końcowym przynosi niewymierne korzyści np.: czasowe (nie powtarzanie czynności kilkakrotnie przez różne, albo te same osoby), finansowe (skrócenie, albo wyeliminowanie przestoi spowodowanych awariami).

Jednym z głównych warunków sukcesu wprowadzania w organizacji systemu MES jest odpowiednie uświadomienie pracowników poczynając od najniższego szczebla w organizacji. Zgodnie z wymaganiami normy PN – EN ISO 9001:2008 organizacja powinna zidentyfikować procesy, określić ich sekwencje, wzajemne oddziaływania, kryteria i metody potrzebne do zapewnienia skuteczności przebiegu i nadzorowania tych procesów.

LITERATURA

- [1] **Davenport T., Short J.:** *The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign*. Sloan Management, Review, 31(4), 1990, pp. 11–27.
- [2] **Drucker P.F.:** *Menedżer skuteczny*, Wydawnictwo. AE, Kraków, 1994, pp. 182.
- [3] **Governica.com.:** *ISO 900 – seria norm*, [https://www.governica.com/\[26.11.2017\]](https://www.governica.com/[26.11.2017]).
- [4] **Matwiejczuk R.:** *Efektywność – próba interpretacji*, Przegląd Organizacji nr 11/2000, pp. 27.
- [5] **Skrzypek E.,** *Jakość i efektywność.*, Wydawnictwo UMCS, Lublin, 2000, pp. 190.
- [6] **Stephen A. White:** *Introduction to BPMN IBM Corportion*, BPTrends, July, 2004.
- [7] **Szafrański M.,:** *Elementy ekonomiki jakości w przedsiębiorstwach*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2007.

OCENA JAKOŚCIOWA PRÓBNYCH ZŁĄCZY TEOWYCH SPAWANYCH METODĄ TIG NA PODSTAWIE BADAŃ WIZUALNYCH

1. WPROWADZENIE

Spawanie w obecnych czasach jest jedną z głównych technologii w zakresie wytwarzania konstrukcji stalowych. Na całym świecie spawalnictwo odgrywa bardzo ważną rolę, ponieważ jest podstawową technologią przetwarzania. Na przestrzeni kilkudziesięciu lat technologia ta rozwinęła się w bardzo szybkim tempie. Spawane konstrukcje doskonale sprawdziły się i mają zastosowanie, również w ekstremalnych warunkach pracy między innymi na wodach oceanu, podczas katastrof sejsmicznych, a także w temperaturach arktycznych. Spawalnictwo ma ogromne znaczenie w rozwoju gospodarczym w krajach wysoko uprzemysłowionych, więcej niż 50% produktu narodowego brutto dostarcza produkcja spawalnicza [1].

Proces spawania posiada duże znaczenie w oddziaływaniu na jakość produktu i na koszty produkcji, w wyniku czego powinien być wydajny i wykonywany pod ścisłą kontrolą. Na podstawie norm EN 729, które dotyczą systemów jakości, proces ten jest uważany jest za szczególnie dlatego, że badania złączy spawanych nie dowodzą w zupełności, czy wyrób uzyskał pożądaną jakość definiowaną przez normy. Obowiązkowe jest zagwarantowanie kontroli w całym cyklu życia produktu tak aby mógł być eksploatowany według jego przeznaczenia i nie powodował komplikacji [1, 2].

Do skutecznego nadzorowania procesów spawalniczych i obserwacji trendów zmian, prognozowania dalszych zmian i odpowiednio wcześniej podejmować działania korygujące bądź doskonalące, wykorzystywane są odpowiednie metody i narzędzia wspomagające w zarządzaniu i monitorowaniu realizowanych procesów produkcyjnych.

Na każdy proces, a w szczególności procesy spawalnicze działają pojawiające się zakłócenia losowe i specjalne co powoduje, że nie przebiegają one w sposób stabilny. Zakłócenia specjalne według normy PN-EN ISO 3534 to czynniki, które mogą być wykryte i zidentyfikowane jako powodujące zmiany właściwości jakościowej lub zmiany poziomu procesu. Można je wyeliminować jeśli potrafimy je zidentyfikować i wiedzieć kiedy i w jaki sposób wpływają na proces. Aby tego dokonać, musimy znać granice dopuszczalnej zmienności procesu i zbadać jego naturalną zmienność [1].

W niniejszym artykule skupiono uwagę na wpływie różnych parametrów spawania metodą TIG, na jakość spoiny złączy teowych wykonanych ze stali nierdzewnej kwasoodpornej 316L, która jest nazywana stalą chirurgiczną, szlachetną lub jubilerską, należącą

do stali o strukturze austenitycznej. Oceny jakościowej spoin dokonano w oparciu o metodę wizualną VT.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. Materiał

Do badań zastosowano stal oznaczoną wg norm europejskich jako X2CrNiMo17-12-2/1.4404, która charakteryzuje się odpornością na korozję, a dzięki zawartości molibdenu posiada zwiększoną odporność na działanie kwasu siarkowego i octowego. Pomimo dużej zawartości niklu (10-13%) nie jest uczulająca, dlatego w kontakcie ze skórą jego ilość przedostająca się do organizmu jest znikoma.

2.2. Przygotowanie próbek, przebieg badań i wyniki badań

Wykonano 9 próbek, podzielonych na trzy grupy, spawane prądem stałym metodą TIG, elektrodą torową WT20, w osłonie gazowej, przy parametrach zawartych w tabeli 1.

Tab.1. Parametry spawania próbek

Nr grupy	1	2	3
Natężenie prądu	70A	90A	60A
Prędkość gazu	15 l/min	9 l/min	9 l/min
Średnica elektrody	1,6 mm	1,6 mm	1 mm
Średnica materiału dodatkowego	1,2 mm	1,2mm	0,8 mm



Rys. 1. Przygotowanie próbek: (a) cięcie blach, (b) szepianie blach



Rys. 2. Przygotowanie próbek: (a) blachy szczipione bezpośrednio przed spawaniem, (b) spawanie próbek



Rys. 3. Trzy grupy próbek wykonane według parametrów zawartych w tab. 1.

Badaniom zostało poddanych dziewięć próbek spawalniczych, podzielonych na trzy grupy spawane z zastosowaniem parametrów, które zostały przedstawione w tabeli 1. Ocenę próbek wykonano w oparciu o normy PN EN ISO 5817 i PN-EN ISO 6520-1.

W badaniach wizualnych zastosowano następujące parametry: natężenie oświetlenia min. 540 lx, odległość między okiem, a powierzchnią badaną 600 mm, oraz kąt patrzenia min. 30 °. Po ustaleniu odpowiednich warunków badań określono materiał podstawowy, zmierzono jego grubość, dokonano pomiarów i oględzin.

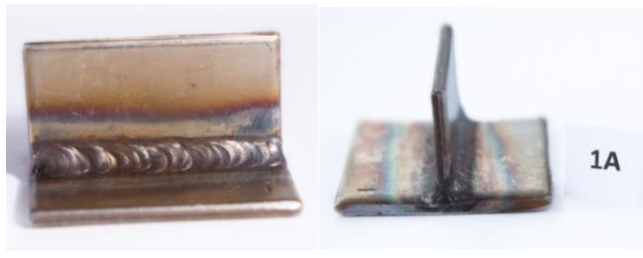
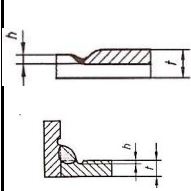
Przed badaniem każde złącze sprawdzono pod względem:

- czystości (głównie usunięcie żużla w celu uwidocznienia niezgodności spawalniczych),
- czy spoina przechodzi łagodnie w metal podstawowy bez powodowania ubytków jego grubości,

Spoiny sprawdzano w zakresie:

- profilu i regularności powierzchni lica spoiny,
- szerokości spoiny i równomierności wzdłuż złącza,
- wielkości podtopień,
- grubości spoin pachwinowych,
- barw nalotowych.

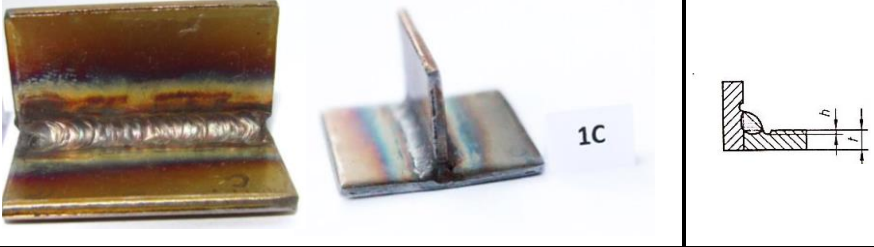
Badanie wykonano bezpośrednio z wykorzystaniem podstawowego oprzyrządowania: spoinomierza, suwmiarki, latarki i szkła powiększającego. Zidentyfikowane niezgodności spawalnicze wraz z ich zdjęciami zostały przedstawione w protokołach badań (rysunki 4-12).

DANE WYJŚCIOWE PRÓBKA NR 1 A									
MATERIAŁ PODSTAWOWY			GRUBOŚĆ MATERIAŁU		GRUBOŚĆ NOMINALNA		DŁUGOŚĆ ZŁĄCZA		
316L			3 mm		3mm		40 mm		
METODA SPAWANIA			POZYCJA SPAWAWNIA			RODZAJ UKOSOWANIA			
TIG			PB- NABOCZNA			-			
WIDOK/SZKIC ZŁĄCZA						WIELKOŚCI MIERZONE			
									
WYSZCZEGÓLNIENIE NIEZGODNOŚCI			WARTOŚĆ DOPUSZCZALNA NIEZGODNOŚCI DLA:			POZIOM JAKOŚCI ZE WZGLĘDU NA WYSTĘPUJĄCE NIEZGODNOŚCI			
OZNACZENIE	OKREŚLENIE	WARTOŚĆ ZMIERZONA	B	C	D	B	C	D	N.S.D
513	nieregularna szerokość spoiny	-	-	-	-	-	-	-	-
514	nierówność lica	-	-	-	-	-	-	-	-
610	barwy nalotowe	-	-	-	-	-	-	-	-
300	wtrącenia stałe	-	-	-	-	-	-	-	-
508	odkształcenie kątowe	-	-	-	-	-	-	-	-
5012	podtopienie	h = 0,52mm	nie dopuszcza się	max. 0,3mm	max. 0,6mm	-	-	x	-
2025	wgłębienie w kraterze	h = 0,59mm	nie dopuszcza się	nie dopuszcza się	max. 0,60mm	-	-	x	-
UWAGI						POZIOM JAKOŚCI ZŁĄCZA			
						D			

Rys. 4. Protokół z badań wizualnych próbki 1A

DANE WYJŚCIOWE PRÓBKA NR 1 B									
MATERIAŁ PODSTAWOWY			GRUBOŚĆ MATERIAŁU	GRUBOŚĆ NOMINALNA	DŁUGOŚĆ ZŁĄCZA				
316L			3 mm	3 mm	40 mm				
METODA SPAWANIA			POZYCJA SPAWAWNIA		RODZAJ UKOSOWANIA				
TIG			PB- NABOCZNA		-				
WIDOK/SZKIC ZŁĄCZA						WIELKOŚCI MIERZONE			
									
WYSZCZEGÓLNIENIE NIEZGODNOŚCI			WARTOŚĆ DOPUSZCZALNA NIEZGODNOŚCI DLA:			POZIOM JAKOŚCI ZE WZGLĘDU NA WYSTĘPUJĄCE NIEZGODNOŚCI			
OZNACZENIE	OKREŚLENIE	WARTOŚĆ ZMIERZONA	B	C	D	B	C	D	N.S.D
513	nieregularna szerokość spoiny	-	-	-	-	-	-	-	-
514	nierówność lica	-	-	-	-	-	-	-	-
610	barwy nalotowe	-	-	-	-	-	-	-	-
508	odkształcenie kątowe	-	-	-	-	-	-	-	-
5012	podtopienie	h = 0,23 mm	nie dopuszczają się	max. 0,3mm	max. 0,6mm	-	x	-	-
UWAGI						POZIOM JAKOŚCI ZŁĄCZA			
						C			

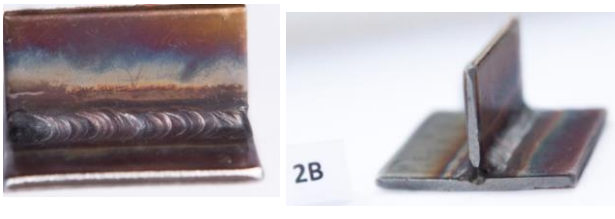
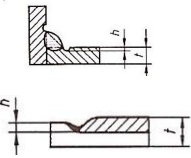
Rys. 5. Protokół z badań wizualnych próbki 1B

DANE WYJŚCIOWE PRÓBKA NR 1 C									
MATERIAŁ PODSTAWOWY			GRUBOŚĆ MATERIAŁU		GRUBOŚĆ NOMINALNA		DŁUGOŚĆ ZŁĄCZA		
316L			3 mm		3 mm		40 mm		
METODA SPAWANIA			POZYCJA SPAWAWNIA			RODZAJ UKOSOWANIA			
TIG			PB- NABOCZNA			-			
WIDOK/SZKIC ZŁĄCZA							WIELKOŚCI MIERZONE		
									
WYSZCZEGÓLNIENIE NIEZGODNOŚCI			WARTOŚĆ DOPUSZCZALNA NIEZGODNOŚCI DLA:			POZIOM JAKOŚCI ZE WZGLĘDU NA WYSTĘPUJĄCE NIEZGODNOŚCI			
OZNACZENIE	OKREŚLENIE	WARTOŚĆ ZMIERZONA	B	C	D	B	C	D	N.S.D
513	nieregularna szerokość spoiny	-	-	-	-	-	-	-	-
514	nierówność lica	-	-	-	-	-	-	-	-
610	barwy nalotowe	-	-	-	-	-	-	-	-
302	wtrącenia topnika	-	-	-	-	-	-	-	-
508	odkształcenie kątowe	-	-	-	-	-	-	-	-
5012	podtopienie	h = 0,59mm	nie dopuszcza się	max. 0,3mm	max. 0,6mm	-	-	x	-
UWAGI						POZIOM JAKOŚCI ZŁĄCZA			
						D			

Rys. 6. Protokół z badań wizualnych próbki 1C

DANE WYJŚCIOWE PRÓBKA NR 2 A									
MATERIAŁ PODSTAWOWY			GRUBOŚĆ MATERIAŁU	GRUBOŚĆ NOMINALNA	DŁUGOŚĆ ZŁĄCZA				
316L			3 mm	3 mm	40 mm				
METODA SPAWANIA			POZYCJA SPAWAWNIA		RODZAJ UKOSOWANIA				
TIG			PB- NABOCZNA		-				
WIDOK/SZKIC ZŁĄCZA					WIELKOŚCI MIERZONE				
									
WYSZCZEGÓLNIENIE NIEZGODNOŚCI			WARTOŚĆ DOPUSZCZALNA NIEZGODNOŚCI DLA:			POZIOM JAKOŚCI ZE WZGLĘDU NA WYSTĘPUJĄCE NIEZGODNOŚCI			
OZNACZENIE	OKREŚLENIE	WARTOŚĆ ZMIERZONA	B	C	D	B	C	D	N.S.D
513	nieregularna szerokość spoiny	-	-	-	-	-	-	-	-
514	nierówność lica	-	-	-	-	-	-	-	-
610	barwy nalotowe	-	-	-	-	-	-	-	-
300	wtrącenia stałe	-	-	-	-	-	-	-	-
508	odkształcenie kątowe	-	-	-	-	-	-	-	-
5012	podtopienie	$h = 0,41\text{mm}$	nie dopuszcza się	max. 0,3mm	max. 0,6mm	-	-	x	-
2025	wgłębienie w kraterze	$h = 0,56\text{mm}$	nie dopuszcza się	nie dopuszcza się	max. 0,60mm	-	-	x	-
UWAGI						POZIOM JAKOŚCI ZŁĄCZA			
						D			

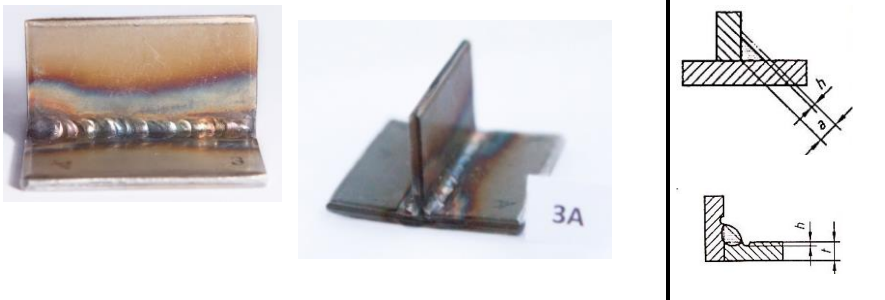
Rys. 7. Protokół z badań wizualnych próbki 2A

DANE WYJŚCIOWE PRÓBKA NR 2 B									
MATERIAŁ PODSTAWOWY			GRUBOŚĆ MATERIAŁU		GRUBOŚĆ NOMINALNA		DŁUGOŚĆ ZŁĄCZA		
316L			3 mm		3 mm		40 mm		
METODA SPAWANIA			POZYCJA SPAWAWNIA			RODZAJ UKOSOWANIA			
TIG			PB- NABOCZNA			-			
WIDOK/SZKIC ZŁĄCZA						WIELKOŚCI MIERZONE			
									
WYSZCZEGÓLNIENIE NIEZGODNOŚCI			WARTOŚĆ DOPUSZCZALNA NIEZGODNOŚCI DLA:			POZIOM JAKOŚCI ZE WZGLĘDU NA WYSTĘPUJĄCE NIEZGODNOŚCI			
OZNACZENIE	OKREŚLENIE	WARTOŚĆ ZMIERZO	B	C	D	B	C	D	N.S.D
513	nieregularna szerokość spoiny	-	-	-	-	-	-	-	-
610	barwy nalotowe	-	-	-	-	-	-	-	-
508	odkształcenie kątowe	-	-	-	-	-	-	-	-
501	podtopienie	$h = 0,48\text{mm}$	nie dopuszcza się	max. 0,3mm	max. 0,6mm	-	-	X	-
2025	wgłębienie w kraterze	$h = 0,35\text{mm}$	nie dopuszcza się	nie dopuszcza się	max. 0,60mm	-	-	X	-
UWAGI						POZIOM JAKOŚCI ZŁĄCZA			
						D			

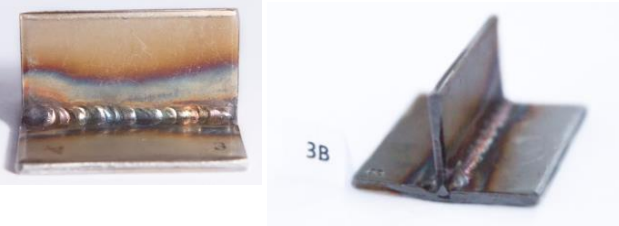
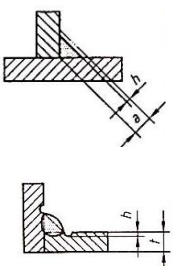
Rys. 8. Protokół z badań wizualnych próbki 2B

DANE WYJŚCIOWE PRÓBKA NR 2C									
MATERIAŁ PODSTAWOWY			GRUBOŚĆ MATERIAŁU	GRUBOŚĆ NOMINALNA	DŁUGOŚĆ ZŁĄCZA				
316L			3 mm	3 mm	40 mm				
METODA SPAWANIA			POZYCJA SPAWAWNIA		RODZAJ UKOSOWANIA				
TIG			PB- NABOCZNA		-				
WIDOK/SZKIC ZŁĄCZA					WIELKOŚCI MIERZONE				
									
WYSZCZEGÓLNIENIE NIEZGODNOŚCI			WARTOŚĆ DOPUSZCZALNA NIEZGODNOŚCI DLA:			POZIOM JAKOŚCI ZE WZGLĘDU NA WYSTĘPUJĄCE NIEZGODNOŚCI			
OZNACZENIE	OKREŚLENIE	WARTOŚĆ ZMIERZONA	B	C	D	B	C	D	N.S.D
300	wręcenia stałe	-	-	-	-	-	-	-	-
5012	podtopienie	h = 0,37mm	nie dopuszcza się	max. 0,3mm	max. 0,6mm	-	-	x	-
508	odkształcenie kątowe	-	-	-	-	-	-	-	-
513	nieregularna szerokość spoiny	-	-	-	-	-	-	-	-
514	nierówność lica	-	-	-	-	-	-	-	-
610	barwy nalotowe	-	-	-	-	-	-	-	-
UWAGI					POZIOM JAKOŚCI ZŁĄCZA				
					D				

Rys. 9. Protokół z badań wizualnych próbki 2C

DANE WYJŚCIOWE PRÓBKA NR 3A									
MATERIAŁ PODSTAWOWY			GRUBOŚĆ MATERIAŁU	GRUBOŚĆ NOMINALNA	DŁUGOŚĆ ZŁĄCZA				
316L			3 mm	3 mm	40 mm				
METODA SPAWANIA			POZYCJA SPAWANIA		RODZAJ UKOSOWANIA				
TIG			PB- NABOCZNA		-				
WIDOK/SZKIC ZŁĄCZA					WIELKOŚCI MIERZONE				
									
WYSZCZEGÓLNIENIE NIEZGODNOŚCI			WARTOŚĆ DOPUSZCZALNA NIEZGODNOŚCI DLA:			POZIOM JAKOŚCI ZE WZGLĘDU NA WYSTĘPUJĄCE NIEZGODNOŚCI			
OZNACZENIE	OKREŚLENIE	WARTOŚĆ ZMIERZON	B	C	D	B	C	D	N.S.D
513	nieregularna szerokość spoiny	-	-	-	-	-	-	-	-
514	nierówność lica	-	-	-	-	-	-	-	-
610	barwy nalotowe	-	-	-	-	-	-	-	-
5213	za mała grubość spoiny pachwinowej	h = 0,18mm	nie dopuszcza się	max. 0,200 mm	max. 0,350 mm	-	x	-	-
508	odkształcenie kątowe	-	-	-	-	-	-	-	-
5012	podtopienie	h = 0,28mm	nie dopuszcza się	max. 0,3mm	max. 0,6mm	-	x	-	-
UWAGI					POZIOM JAKOŚCI ZŁĄCZA				
					C				

Rys. 10. Protokół z badań wizualnych próbki 3A

DANE WYJŚCIOWE PRÓBKA NR 3B									
MATERIAŁ PODSTAWOWY			GRUBOŚĆ MATERIAŁU	GRUBOŚĆ NOMINALNA	DŁUGOŚĆ ZŁĄCZA				
316L			3 mm	3 mm	40 mm				
METODA SPAWANIA			POZYCJA SPAWAWNIA		RODZAJ UKOSOWANIA				
TIG			PB- NABOCZNA		-				
WIDOK/SZKIC ZŁĄCZA					WIELKOŚCI MIERZONE				
									
WYSZCZEGÓLNIENIE NIEZGODNOŚCI			WARTOŚĆ DOPUSZCZALNA NIEZGODNOŚCI DLA:			POZIOM JAKOŚCI ZE WZGLĘDU NA WYSTĘPUJĄCE NIEZGODNOŚCI			
OZNACZENIE	OKREŚLENIE	WARTOŚĆ ZMIERZONA	B	C	D	B	C	D	N.S.D
513	nieregularna szerokość spoiny	-	-	-	-	-	-	-	-
514	nierówność lica	-	-	-	-	-	-	-	-
610	barwy nalotowe	-	-	-	-	-	-	-	-
5213	za mała grubość spoiny pachwinowej	h = 0,24mm	nie dopuszcza się	max. 0,200 mm	max. 0,350 mm	-	-	x	-
508	odkształcenie kątowe	-	-	-	-	-	-	-	-
300	wtrącenia stałe	-	-	-	-	-	-	-	-
5012	podtopienie	h = 0,27 mm	nie dopuszcza się	max. 0,3mm	max. 0,6mm	-	x	-	-
UWAGI					POZIOM JAKOŚCI ZŁĄCZA				
					D				

Rys. 11. Protokół z badań wizualnych próbki 3B

DANE WYJŚCIOWE PRÓBKĄ NR 3C									
MATERIAŁ PODSTAWOWY			GRUBOŚĆ MATERIAŁU	GRUBOŚĆ NOMINALNA	DŁUGOŚĆ ZŁĄCZA				
316L			3 mm	3 mm	40 mm				
METODA SPAWANIA			POZYCJA SPAWANIA		RODZAJ UKOSOWANIA				
TIG			PB- NABOCZNA		-				
WIDOK/SZKIC ZŁĄCZA					WIELKOŚCI MIERZONE				
									
WYSZCZEGÓLNIENIE NIEZGODNOŚCI			WARTOŚĆ DOPUSZCZALNA NIEZGODNOŚCI DLA:			POZIOM JAKOŚCI ZE WZGLĘDU NA WYSTĘPUJĄCE NIEZGODNOŚCI			
OZNACZENIE	OKREŚLENIE	WARTOŚĆ ZMIERZONA	B	C	D	B	C	D	N.S.D
513	nieregularna szerokość spoiny	-	-	-	-	-	-	-	-
514	nierówność lica	-	-	-	-	-	-	-	-
508	odkształcenie kątowe	-	-	-	-	-	-	-	-
5213	za mała grubość spoiny pachwinowej	h = 0,31mm	nie dopuszcza się	max. 0,200 mm	max. 0,350 mm	-	-	x	-
610	barwy nalotowe	-	-	-	-	-	-	-	-
4025	wgłębienie w kraterze	h = 0,32mm	nie dopuszcza się	nie dopuszcza się	max. 0,60mm	-	-	x	-
300	wtrącenia stałe	-	-	-	-	-	-	-	-
5012	podtopienie	h = 0,43mm	nie dopuszcza się	max. 0,3mm	max. 0,6mm	-	-	x	-
UWAGI					POZIOM JAKOŚCI ZŁĄCZA				
					D				

Rys. 12. Protokół z badań wizualnych próbki 3C

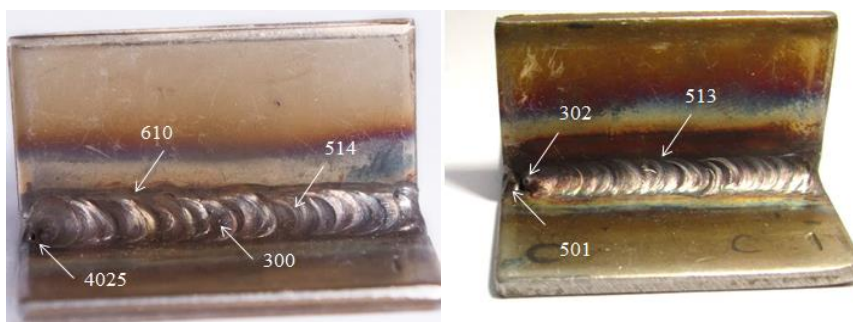
3. ANALIZA WYNIKÓW

Na podstawie wyników badań wizualnych dla poszczególnych grup próbek dokonano analizy zidentyfikowanych niezgodności i pojęto próbę ustalenia prawdopodobnych przyczyn tych niezgodności. Wyniki analizy dla poszczególnych grup próbek zestawiono odpowiednio w tabelach 2, 3 i 4.

Tab. 2. Zidentyfikowane niezgodności spawalnicze i ich przyczyny – grupa 1

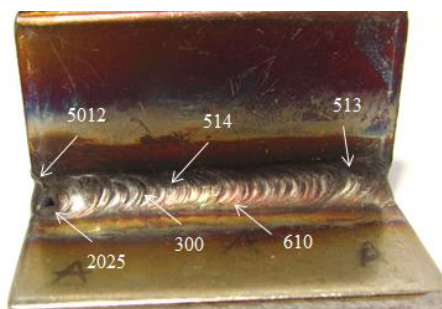
PRÓBKI SPAWALNICZE: GRUPA NR 1			
PARAMETRY SPAWANIA			
Natężenie prądu	Prędkość gazu	Średnica elektrody	Średnica materiału dodatkowego
70A	15 l/min	1,6 mm	1,2 mm
NIEZGODNOŚCI SPAWALNICZE			
Oznaczenie wg normy PN-EN 6520-1	Określenie	Przyczyny powstania niezgodności	
513	Nieregularna szerokość spoiny	Nieumiejętne spawanie- lico spoiny zostało rozproszdzone w sposób niedokładny	
514	Nierówność lica (łuskowatość)	Niedostateczne umiejętności spawacza, zbyt duże natężenie prądu	
610	Barwy nalotowe	Wysoka temperatura	
300	Wtrącenia stałe	Nieodpowiednie przygotowanie elementów do spawania, niewłaściwe prowadzenie elektrody	
5012	Podtopienie	Nie umiejętnie prowadzenie elektrody, niepoprawny kąt nachylenia elektrody	
302	Wtrącenie topnika	Niedostateczne umiejętności spawacza	
2025	Wgłębienie w kraty	Nagle przerwanie spawania i niewypełnienie zakończenia	

Niezgodności, które wystąpiły w tej grupie zostały oznaczone na rysunku 13. Główną przyczyną ich powstawania był dobór nieodpowiednich parametrów spawania i niedostatecznych umiejętności spawacza. Zakres natężenia prądu stałego dla elektrody o średnicy 1,6 mm wynosi od 8 do 70 A, zastosowanie prądu o wartości 70A, było skrajnie wysokim parametrem, co utrudniło spawanie i w konsekwencji przyczyniło się do powstawania niezgodności.



Rys.13. Próbki z grupy 1 z oznaczonymi niezgodnościami: 610- barwy nalotowe, 514- nierówność lica, 2025-wgłębienie w kraterze, 300- wtrącenia stałe, 302- wtrącenie topnika, 513- nieregularna szerokość spoiny, 5012- podtopienie

W grupie drugiej niezgodności spawalnicze były zbliżone do tych z grupy pierwszej. Po przez zmianę parametrów spawalniczych – natężenia prądu, na wartość 90A i obniżenia natężenia przepływu gazu do 9 l/min zauważono, że lico spoiny jest mniej nierówne niż w grupie poprzedniej. Szerokość spoiny, również uległa poprawie - jest bardziej regularna. Niezgodności w danej grupie zostały oznaczone na rysunku 14.



Rys.14. Niezgodności próbki z grupy 2:5012-podtopienie,514- nierówność lica, 513- nieregularna szerokość, 2025-wgłębienie w kraterze, 300- wtrącenia stałe 610- barwy nalotowe

Tab.3. Zidentyfikowane niezgodności spawalnicze i ich przyczyny – grupa 2

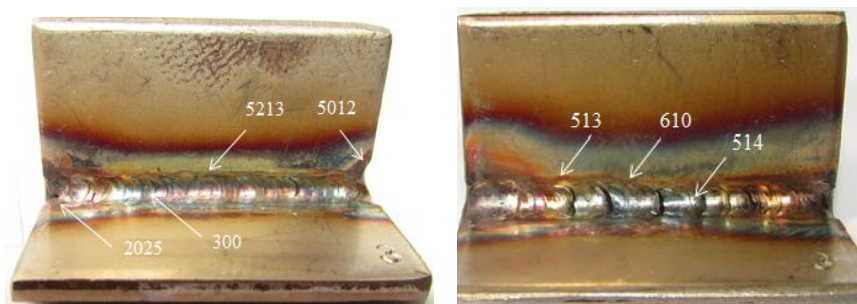
PRÓBKI SPAWALNICZE GRUPA NR 2			
PARAMETRY SPAWANIA			
Natężenie prądu	Prędkość gazu	Średnica elektrody	Średnica materiału dodatkowego
90A	9 l/min	1,6 mm	1,2 mm
NIEZGODNOŚCI SPAWALNICZE			
Oznaczenie wg normy PN-EN 6520-1	Określenie	Przyczyny powstania niezgodności	
513	Nieregularna szerokość spoiny	Nieumiejętne spawanie- lico spoiny zostało rozproszony w sposób niedokładny	
514	Nierówność lica	Niedostateczne umiejętności spawacza	
610	Barwy nalotowe	Wysoka temperatura	
300	Wtrącenia stałe	Nieodpowiednie przygotowanie elementów do spawania, niewłaściwe prowadzenie elektrody	
5012	Podtopienie	Nieumiejętne prowadzenie elektrody, niepoprawny kąt nachylenia elektrody	
2025	Wgłębienie w kraterze	Nagle przerwanie spawania i niewypełnienie zakończenia	

Wykryte niezgodności spawalnicze w grupie trzeciej przedstawiono w tabeli 4. W tej grupie natężenie prądu zostało ustawione na 60A, zastosowano elektrodę o mniejszej średnicy- 1mm i materiał dodatkowy o średnicy 0,8 mm. Grupa trzecia próbek spawalniczych, różni się nieco bardziej od dwóch poprzednich. Zakres natężenia prądu dla elektrody o średnicy równej 1mm mieści się w przedziale od 2 do 30A [3], przez zasto-

sowanie materiału dodatkowego o znacznie mniejszej średnicy i wysokiego natężenia prądu lico spoiny jest znacznie węższe, a jego powierzchnia charakteryzuje się większą nierównością, można zaobserwować łuskowatość. Występują również liczne podtopienia przerywane. Wykryte niezgodności oznaczono na rysunku 15.

Tab.4. Zidentyfikowane niezgodności spawalnicze i ich przyczyny – grupa 3

PRÓBKII SPAWALNICZE GRUPA NR 3			
PARAMETRY SPAWANIA			
Natężenie prądu	Prędkość gazu	Średnica elektrody	Średnica materiału dodatkowego
60A	9 l/min	1 mm	0,8 mm
NIEZGODNOŚCI SPAWALNICZE			
Oznaczenie wg normy PN-EN 6520-1	Określenie	Przyczyny powstania niezgodności	
513	Nieregularna szerokość spoiny	Nieumiejętne spawanie- lico spoiny zostało rozprowadzone w sposób niedokładny	
514	Nierówność lica	Niedostateczne umiejętności spawacza	
610	Barwy nalotowe	Wysoka temperatura	
300	Wtrącenia stałe	Nieodpowiednie przygotowanie elementów do spawania, niewłaściwe prowadzenie elektrody	
5012	Podtopienia (liczne)	Nie umiejętnie prowadzenie elektrody, niepoprawny kąt nachylenia elektrody	
2025	Wgłębienie w kraterze	Nagle przerwanie spawania i niewypełnienie zakończenia	
5213	Za mała grubość spoiny pachwinowej	Źle dobrany materiał dodatkowy	



Rys. 15. Próbk z grupy 3 z oznaczonymi niezgodnościami: 610- barwy nalotowe, 514- nierówność lica, 2025-wgłębienie w kraterze, 300- wtrącenia stałe, 302- wtrącenie topnika, 513- nieregularna szerokość spoiny, 5012- podtopienie

Przeprowadzona analiza złączy spawanych na podstawie wyników badań wizualnych wykazała, że najliczniejszą grupą wad są niezgodności związane z kształtem zewnętrznym powierzchni spoin pachwinowych. Najczęściej występujące niezgodności to: podtopienia, nierówność lica (łuskowatość), nieregularna szerokość lica oraz barwy nalotowe. Biorąc pod uwagę wytrzymałość złączy już w konkretnej konstrukcji, to podtopienia będą miały największy wpływ przez, zmniejszenie przekroju materiału podstawowego i spoiny ale, także ze względu na koncentracje naprężeń.

4. POSUMOWANIE

Celem badań nieniszczących próbek testowych, a w szczególności badań wizualnych jest umożliwienie testowania proponowanych rozwiązań konstrukcyjnych, używanych materiałów wykorzystywanych w budowie różnych konstrukcji. Prowadzenie ich w każdym cyklu wytwarzania począwszy od koncepcji, projektu, tworzenia bądź eksploatacji gwarantuje bezpieczeństwo i wpływa na oszczędności finansowe danego przedsięwzięcia. Badania prezentowane w niniejszej pracy polegały na oględzinach podczas spawania i po spawaniu. Miały na celu sprawdzenie jakości złączy próbnych pod względem: czystości ściegów metalu spoin, miejsca połączenia stopiwa i powierzchni wtopienia, wykrycie niezgodności, sprawdzenie obszarów przejścia między spoiną a materiałem podstawowym, poprawności kształtów obszarów między warstwami i profilu lica spoiny.

Wiadomym jest, że podstawowymi przyczynami w wyniku, których powstają niezgodności spawalnicze w spawanych złączach jest dobór nieodpowiednich parametrów spawania, materiału podstawowego i dodatkowego, a także niedostateczne umiejętności i doświadczenia spawacza. Dzięki badaniom wizualnym zaobserwowano znaczny wpływ natężenia prądu na powstawanie niezgodności typu: nieregularna szerokość spoiny, nierówność lica czy podtopienia. Nieregularność szerokości spoin jak i nierówność lica to wynik między innymi braku umiejętności osoby spawającej pomimo optymalnych

parametrów spawania (próbki grupy nr 2). Z kolei zbyt duże natężenie prądu w stosunku do średnicy elektrody oraz nieumiejętne prowadzenie uchwytu spawalniczego skutkowało nieregularną szerokością spoiny. Efektem zmiennej prędkości spawania oraz niewłaściwe prowadzenie materiału dodatkowego były nierówności powierzchni lica spoiny. Oceniając złącza pod względem poziomu jakości to w około 80% ze względu na ujawnione niezgodności, zakwalifikowano je do poziomu D, reprezentującym wymagania łagodne. Pozostałe złącza zakwalifikowano do poziomu C, reprezentującym wymagania średnie. Jakkolwiek spawanie metodą TIG generalnie charakteryzuje się wysoką jakością i czystością spoin, to rezultaty uzyskane w pracy nie potwierdzają w pełni tych cech. Świadczy to o niezbyt dużych umiejętnościach osoby spawającej.

LITERATURA

- [1] **Czuchraj J., Świergoł S.:** *Podstawy organizacji kontroli jakości w spawalnictwie.* Wyd. Instytut Spawalnictwa, Gliwice 2013.
- [2] **Czuchraj J, Sikora S.:** *Badanie wizualne złączy spawanych Wyd III,* Wyd. Instytut Spawalnictwa, Gliwice 2009.
- [3] **Mizerski J.:** *Spawanie w osłonie gazów metodą TIG.* Wyd. REA, Warszawa, 2008.
- [4] **Norma PN-EN ISO 6520-1:2007:** *Spawanie i procesy pokrewne. Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach. Część 1: Spawanie.*
- [5] **Norma PN-EN ISO 5817:2007.** *Spawanie. Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.*

METODA SERVQUAL JAKO NARZĘDZIE DO OCENY JAKOŚCI USŁUG KURIERSKICH

1. WPROWADZENIE

Współczesne przedsiębiorstwa usługowe narażone są na ciągłą rywalizację o klienta. Bycie konkurencyjnym wymaga od firm stałego udoskonalania jakości obsługi klienta oraz wszystkiego, co składa się na postrzeganą przez niego wartość usługi. Sektor usług stale się powiększa, zaostrza się konkurencja dlatego ważna jest elastyczność, wdrażanie coraz bardziej innowacyjnych pomysłów i rozwiązań. Przedsiębiorstwa optymalizują procesy i projektują oferty. W tej ciągłej walce prześcigają się w dostosowywaniu swoich ofert do wymagań i potrzeb klientów tak, aby zdobyć ich zaufanie i zadowolenie. W tym celu potrzebują informacji, które po przeanalizowaniu trafiają do bazy danych. Informacje zebrane przez przedsiębiorstwo wykorzystane zostają do opracowania optymalnej usługi dla klienta.

Podobnie jak w przypadku produktów tak samo w przypadku usług istnieją różne metody badania jakości. Istotne jest aby dobrać odpowiednią metodę do typu świadczonej przez przedsiębiorstwo usługę. Autorzy opracowanie skupili się na analizie firm świadczących wyspecjalizowane usługi transportowe zwane usługami kurierskimi. Przydatne realizacji badania w tej grupie przedsiębiorstw jest skorzystanie ze sprawdzonej metody służącej badaniu i mierzeniu jakości usług w stosunku do klienta. Dzięki znajomości takiej metody przedsiębiorstwo może dopasować je do własnych potrzeb badawczych, a następnie dokonać interpretacji zgromadzonych danych i wyciągnięcie wniosków mających bezpośrednie przełożenie na przyszłe decyzje. Odpowiednio dobrana metoda ma za zadanie dokonanie oceny zadowolenia klienta, ale również umożliwia dokonanie pomiaru poziomu świadczonych usług, w porównaniu do konkurencji oraz wyszczególnienia błędów, które należy poprawić. W tym celu autorzy zaproponowali zastosowanie metody Servqual.

2. BRANŻA KEP

Usługi kurierskie zaliczamy do sektora TSL, czyli sektora usług transportowych, spedycyjnych i logistycznych. Firmy świadczące tego typu usługi należą do branży zwanej KEP – branża Kuriersko – Ekspresowo – Paczkowa [1]. Pojęcie „usług kurierskich czyli usług nie mających charakteru powszechnego, polegających na zarobkowym, przyspieszonym przewozie i doręczaniu w gwarantowanym terminie przesyłek” działało w systemie polskiego prawa na mocy ustawy z dnia 23 listopada

1990 r. o łączności (tekst jednolity w Dz.U. z 1995 r. Nr 117, poz. 564 z późn. zm.), która została zastąpiona ustawą z dnia 12 czerwca 2003 r. Prawo pocztowe (Dz. U. Nr 130, poz. 1188 z późn. zm.) nie zawierając w swej treści pojęcia usług czy też przesyłek kurierskich oraz pojęcia poczty kurierskiej [2].

Główny zakres, świadczonych przez firmy kurierskie, usług to przewóz przesyłek, nie wymagających specjalnych warunków transportowych zawierających przedmioty, które powinny dotrzeć do adresata bezpiecznie i w krótkim czasie. Oprócz terminowej dostawy towaru ważne jest także zapewnienie bezpieczeństwa dostarczanego towaru oraz komfort klienta [3]. Obecnie zakres usług rozszerzany jest o przewóz leków, roślin a nawet zwierząt.

Usługi oferowane przez firmy kurierskie są ważnym elementem światowego rynku usług logistycznych. Dzięki swojej wyjątkowej roli oraz licznym czynnikom ekonomicznym jak też organizacyjnym zdecydowały w dużej mierze o ich wyodrębnieniu w szczególny segment rynku [1]. Jak wcześniej wspomniano zasięg usług transportowych świadczonych przez przedsiębiorstwa kurierskie obejmuje specyficzne grupy ładunków z możliwością opracowania spersonalizowanej oferty usługi dopasowanej do specjalnych wymagań klientów. Usługi te mogą być realizowane przez niezwykle elastyczną czasowo i geograficznie (w wielu przypadkach o zasięgu globalnym) organizację logistyczną. Usługę kurierską wyróżnia dodatkowo możliwość wskazania dokładnego miejsca przekazania przesyłki, dzięki wykorzystaniu mobilnych technologii komunikacyjnych uwzględniające dynamiczne zmiany lokalizacji i miejsca przekazania oraz precyzyjne określenia czasu dostawy przesyłki do odbiorcy, z dokładnością co do godziny. Zainteresowanie z korzystania z usług kurierskich stale wzrasta dlatego też branża KEP sukcesywnie rozwija się w sposób dynamiczny.

3. ZARZĄDZANIE JAKOŚCIĄ W SEKTORZE USŁUG

Jednym z warunków zdobycia stabilnej pozycji na rynku przez przedsiębiorstwa zajmujące się świadczeniem na rzecz klientów usług to dążenie do stałej poprawy, która ma na celu sprostanie wciąż rosnącym wymaganiom klientów. Firmy usługowe budują poziom jakości swoich usług na podstawie wymagań i możliwości nabywczych klientów oraz analizując wyniki badania potencjału własnego i konkurencji, w tym zasobów technologicznych, finansowych i kadrowych [4]. Ważne zadanie postawione jest przed kierownictwem przedsiębiorstwa, którego obowiązkiem jest ustalenie polityki dotyczącej jakości świadczonych usług i spełniania oczekiwań klientów. Opracowana i wdrożona polityka jakości powinna dotyczyć wizerunku firmy i jakości świadczonych przez nią usług, rolę personelu odpowiedzialnego za wdrożenie polityki jakości, sposoby osiągnięcia zamierzonych celów jakościowych oraz uwzględnienie wymagań społecznych i środowiskowych [4]. Monitorowaniem i kontrolą poziomu jakości oferowanych usług zajmuje się nie tylko kierownictwo firmy ale co ważniejsze również klienci. To oni dokonują oceny usług na podstawie ich realizacji oraz bezpośredniego procesu ich dostarczenia. Głównym celem przedsiębiorstwa zorientowanego na jakość i duży udział w rynku powinno być zadowolenie klientów, które można osiągnąć poprzez dokładne rozpoznanie ich potrzeb i oczekiwań, a następnie zrealizowanie usługi zgodnie z tymi wymaganiami.

W dalszej kolejności niezbędna jest weryfikacja stopnia zadowolenia klientów z jakości dostarczonych usług w celu ich nieustannego doskonalenia [4].

Firmy usługowe często decydują się na wdrożenie rozwiązań, które zapewnią im budowanie pozycji z uwzględnieniem jakości. Działania z tym związane muszą być jednak podjęte w całym przedsiębiorstwie i dotyczyć wszystkich aspektów jego działalności. Kompleksowe działania związane z zarządzaniem jakością, oparte na założeniu, że jakość stanowi źródło przewagi nad konkurencją, noszą nazwę Total Quality Management (TQM) [5]. Działania mające na celu wdrożenie w przedsiębiorstwie TQM ma za zadanie doskonalenie wyrobów i usług, poprawę wizerunku firmy, jej rentowności, poprawę wydajności pracy i morale pracowników, rozwój technologii, procesów marketingowych, projektowych, wytwórczych prowadzących do zaspokojenia potrzeb klientów nie tylko zewnętrznych, ale również wewnętrznych, którymi są pracownicy firmy. Zbudowanie i wdrożenie do przedsiębiorstwa modelu uwzględniającego kompleksowe zarządzanie jakością ma na celu zapobieganie błędom zamiast usuwania ich skutków [5]. Głównymi założeniami TQM są [4]:

- stałe doskonalenie jakości produktów lub usług,
- dokładne spełnianie wymagań i oczekiwań klientów,
- dobre stosunki z klientami i dostawcami,
- ściśle określona polityka jakości,
- zaangażowanie najwyższego kierownictwa firmy,
- odpowiedzialność za jakość rozłożona na wszystkich zatrudnionych,
- współpraca pomiędzy kierownictwem a pracownikami,
- dobra komunikacja i współpraca pomiędzy różnymi wydziałami,
- ustawiczne doskonalenie umiejętności i podnoszenie kwalifikacji pracowników,
- dokumentowanie działań służących zapewnieniu jakości,
- stała ocena i weryfikacja działań objętych zarządzaniem jakością.

4. METODA SERVQUAL

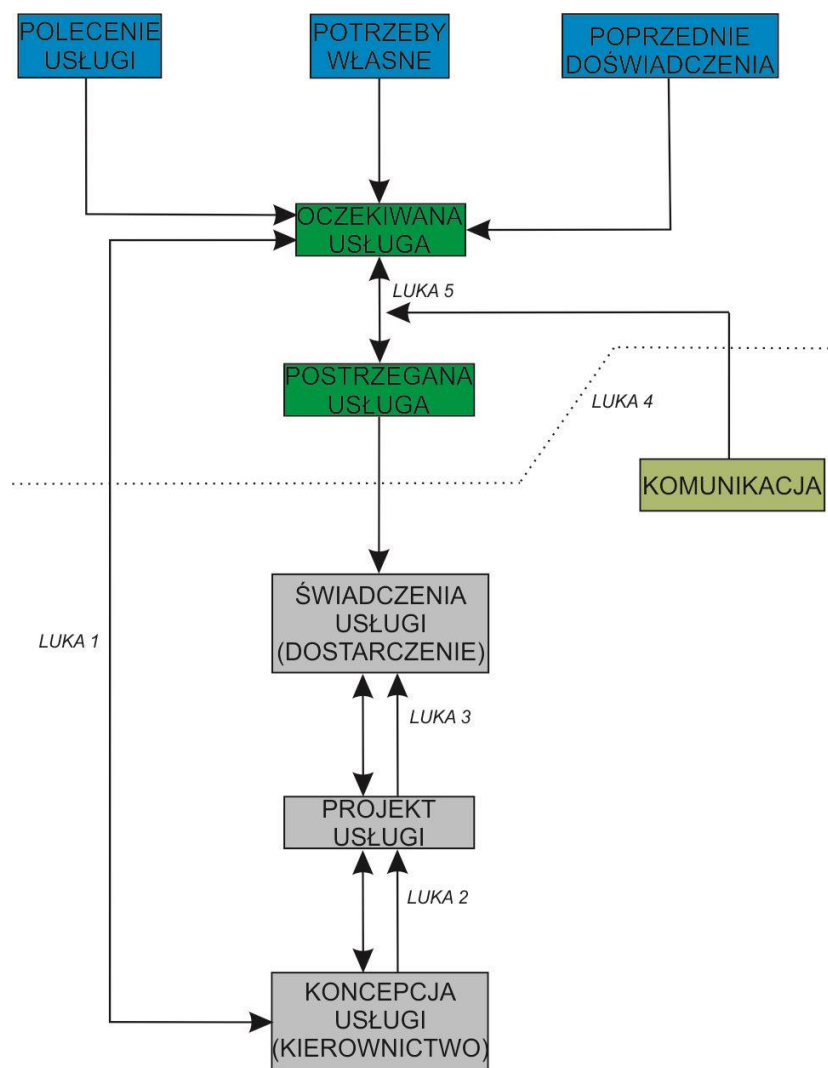
Metoda Servqual (z ang. Service Quality) opisana szerzej w [6-9] jest metodą umożliwiającą ocenę jakości usług. Narzędzie opracowane zostało przez amerykański zespół naukowców z Uniwersytetu w Miami. Servqual stworzony został przez Parasuramana, Zeithaml oraz Barry'ego, którzy model 5 luk (znany również jako model GAP) opracowali w 1985 roku w oparciu o wytyczne TQM. Model ukazuje 5 typów możliwości wystąpienia sytuacji, których wystąpienie może spowodować, iż jakość usług zostanie obniżona. Ponadto, model stanowi połączenie projektowania jakości usług ocenianych przez konsumenta, a także ocenianych z punktu widzenia przedsiębiorcy. Takie połączenie daje sposobność na sprawną identyfikację występujących odstępstw będących składowym procesem tworzenia, jak również świadczenia usług [10].

Model 5 luk dotyczących jakości usług, które ukazują niezadowolenie klienta i jednocześnie obniżają ocenę jakości zdefiniowany został w następujący sposób [11]:

- luka 1 – rozbieżność pomiędzy pragnieniem klienta, a postrzeganie wymagań przez przedstawicieli firmy,
- luka 2 – rozbieżność pomiędzy postrzeganie pragnień klienta przez przedstawicieli firmy, a specyfikacją usług,

- luka 3 – rozbieżność pomiędzy specyfikacją jakości usług, a jakością jej świadczenia przez firmę,
- luka 4 – rozbieżność pomiędzy jakością świadczenia usługi, a posiadanymi przez klienta informacjami na jej temat,
- luka 5 – rozbieżność pomiędzy stopniem spełnienia pragnień, a postrzeganiem usług przez klienta.

Schemat modelu 5 luk przedstawiony został na rysunku 1.



Rys. 1. Model 5 luk

Metodę Servqual można określić według następującego wzoru [12]:

$$S = \Sigma (P - O) \quad (1)$$

gdzie:

S – stopień spełnienia oczekiwań konsumentów,

O – oczekiwania jakości usługi,

P - postrzegana jakość usługi.

Zgodnie z teorią Parasuramana ma ona związek z występującą 5 luką i oparta jest na wskazaniu różnic występujących między jakością oczekiwaną, a doświadczoną przez klienta w kwestiach danej usługi.

Badanie realizuje się przy użyciu ankiety, która zawiera 22 pytania dotyczące pięciu wymiarów jakości [6]:

- elementy materialne / namacalność (*tangibles*), czyli wygląd fizycznych udogodnień, sprzętu, personelu, elementów komunikacyjnych,
- solidność (*reliability*), czyli dostraczenie usługi zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami, a także wykonanie usługi w wyznaczonym terminie,
- szybkość reakcji (*responsiveness*), czyli poinformowanie klienta o terminie dostawy oraz komunikowanie się z klientem w przypadku jego pytań,
- pewność (*assurance*), czyli zrealizowanie nakreślonych zadań zgodnie z założonymi ramami terminowymi,
- empatia (*empathy*), czyli poświęcenie czasu satysfakcjonującego klienta oraz dostarczenie usługi w dogodnym dla niego terminie.

Odpowiedzi na pytania udziela się dla dwóch przypadków, pierwszy dotyczy oceny pożądanego stopnia satysfakcji, a drugi doświadczonego stopnia satysfakcji.

Wraz z upływem lat metoda Servqual przeszła drogę modyfikacji, gdzie liczba wymiarów jakości wzrastała do siedmiu, a następnie do dziesięciu przypadków.

Jednakże, na potrzeby badań własnych związanych z oceną usług firm kurierskich postanowiono skorzystać z wersji, w której opierano się na siedmiu wymiarach jakości.

Opracowaną ankietę do oceny jakości usług kurierskich zaprezentowano na rysunku 2.

ANKIETA DOT. OCENY USŁUG FIRM KURIERSKICH

Ankieta zawiera 22 pytania. Proszę o zaznaczenie „X” dla wybranej wartości od 1 do 5. Przy czym 1 - ocena najniższa, a 5 - najwyższa. Dla jednego pytania zamieszczone zostały dwa warianty: pożądany stopień satysfakcji oraz stopień satysfakcji z wykonanej usługi. Oceny należy dokonać dla obu wariantów.

Lp.	Pytanie	Pożądany stopień satysfakcji							Doświadczony stopień satysfakcji						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	Terminowość usługi														
2	Schludny wygląd pracownika														
3	Atrakcyjność wizualna materiałów dotyczących usługi (np.: ulotki)														
4	Sklonność pracowników do udzieleniu pomocy														
5	Informowanie o terminie dostawy przesyłki do klienta														
6	Właściwe przeprowadzenie usługi za „pierwszym razem”														
7	Dokumentacja wolna od błędów														
8	Dogodność w terminie dostarczenia przesyłki														
9	Odpowiednie godziny otwarcia														
10	Podejście pracowników do nietypowych potrzeb klienta														
11	Poświęcenie klientowi specjalnej uwagi														
12	Uprzejmość pracowników wobec klienta														
13	Zabezpieczanie przesyłki do transportu														
14	Wzbudzenie zaufania u klienta														
15	Szybkość realizacji zwrotów														
16	Cena za usługę														
17	Różnorodne formy płatności														
18	Elastyczność wyboru miejsca dostarczenia przesyłki														
19	Kontakt z kurierem														
20	Możliwość złożenia E-podpisu														
21	Odczucie wyjątkowości przez klienta														
22	Możliwość weryfikacji zawartości														

Rys. 2. Ankieta dotycząc oceny jakości usług kurierskich

5. POSUMOWANIE I DALSZE PRACE

Oczekiwania wobec usług kurierskich stęle rosną. Dzieję się tak między innymi przez stale zwiększającą się liczbę zakupów przez Internet. Równocześnie ze zwięszaniem ilości świadczonej usług rosną wymagania klientów. Dlatego też tak istotne jest zbieranie opinii o jakości usług w branży KEP.

Przedstawiona w artykule metoda Servqual, systemy zarządzania jakością oraz charakterystyka branży KEP jest wstępem do dalszych badań, które będą prowadzone przez autorów. Przedstawiony w artykule arkusz ankiety będzie wykorzystywany w dalszych badaniach. Planowana jest obserwacja zachowania klientów w różnych okresach czasów. Zebrane dane posłużą do dalszych analiz decyzyjnych, które posłużą do budowania efektywnych strategii zarządzania relacjami z klientami w branży KEP.

6. LITERATURA

- [1] **Marcysiak A., Pieniak-Lendzion K., Lendzion M.,** *Usługi kurierskie na rynku usług logistycznych w Polsce*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Nr 96, Seria: Administracja i Zarządzanie (23), Siedlce, 2013.
- [2] **Dziennik Ustaw**. Nr 130, poz. 1188, 2003.
- [3] **Gajewska T.,** Logistyczne aspekty wynikające z funkcjonowania handlu elektronicznego w ujęciu teorii i praktyki. *LogForum*. Volume 5, Issue 3, No 4, 2009.
- [4] **Frankowska E.,** *Badanie stopnia zadowolenia klientów z jakości usług*. Zeszyty Naukowe SGSP / Szkoła Główna Służby Pożarniczej. Nr 41, 2011.
- [5] **Cua K. O., McKone K. E., Schroeder R. G.,** *Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance*. *Journal of Operations Management*. Volume 19, Issue 6, November, 2001.
- [6] **Berry L., Parasuraman A., Zeithaml V.,** *Delivering Quality Service. Balancing, Customer Perceptions and Expectations*. The Free Press, Nowy Jork, 1990.
- [7] **Hernon P., Whitman J.R.,** *Delivering Satisfaction and Service Quality*. American Library Association, Chicago, 2001.
- [8] **Fick G.R., Ritchie J.R.,** *Measuring Service Quality in the Travel and Tourism Industry*. *Journal of Travel Research*. Volume 30, Issue 2, pp. 2-9, 1991.
- [9] **Karaszewski R.,** SERVQUAL – metoda badań jakości świadczonej usług. *Problemy Jakości*. Nr 8, 2001.
- [10] **Górnik K., Świdroń M.,** *Metoda Servqual jako narzędzie pomiaru jakości usług hotelarskich*. *Oeconomia*, Volume 9, Issue 4, pp. 121-132, 2010.
- [11] **Urbaniak A.M.,** *Zastosowanie metody Servqual do oceny jakości usług rekreacyjnych*. Zeszyty Naukowe Uczelni Vistula, *Oeconomia III*, Issue 32, pp. 29-38, 2013.

- [12] **Goranczewski B., Puciato D.**, *Application of SERVQUAL Questionnaire in the Measurement of Quality of Hotel Services*. Polish Journal of Sport and Tourism, No. 18, pp. 166-171, 2011.

ZMNIJSZENIE ZŁOŻONOŚCI KONSTRUKCJI WYROBU Z UWZGLĘDNIENIEM ZASAD DFA

1. WPROWADZENIE

Projektowanie dla montażu (z ang. Design for Assembly - DfA) jest metodologią projektowania inżynierskiego ukierunkowaną zwłaszcza na aspekty procesu montażu. Metodologia ta jest efektywna w możliwie wczesnym etapie procesu projektowania. Na tym etapie możliwe jest dokonanie zmian w strukturze produktu celem dostosowania go do łatwego i efektywnego montażu przy stosunkowo niskich kosztach. Opracowane w literaturze metody projektowania dla montażu nie zawsze są możliwe do wykorzystania podczas projektowania koncepcyjnego [2,3,4,5,6], tj. gdy opracowywane są koncepcyjne warianty struktury produktu, a ich szczegółowe opisy nie są jeszcze dostępne. Zastosowanie metod DfA jest uzależnione od znajomości struktury produktu (jej konfiguracja w odniesieniu do zespołów, podzespołów i elementów podstawowych), kształtów i wymiarów poszczególnych elementów przy zidentyfikowanej najkorzystniejszej kolejności ich łączenia. Pełna konfiguracja produktu jest wynikiem projektu koncepcyjnego i powinna zostać określona na końcu tego procesu. Ustalenie struktury produktu oznacza rozpoczęcie budowy produktu oraz określenie zespołów, podzespołów i części wolnych w tym samym czasie. Stopniowo wpływa to na dalsze etapy procesu projektowania, zwłaszcza szczegółowe projektowanie węzłów konstrukcyjnych. Ponadto, znajomość struktury wyrobów pozwala na przeprowadzenie analizy złożoności wyrobów, ze szczególnym naciskiem na minimalizację liczby ich elementów składowych, co stanowi podstawową zasadę DfA.

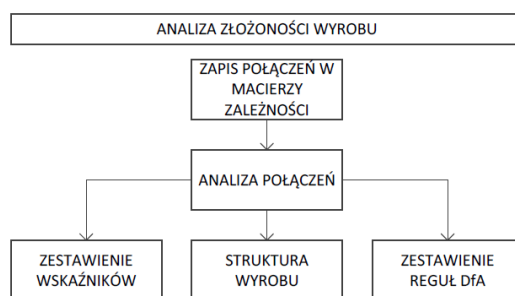
Większość metod adaptacji produktu (w rzeczywistości jego komponentów) do wymagań DfA polega na ocenie manipulacji i uchwycenia dwóch elementów, które są łączone, ponieważ ma to znaczący wpływ na czas procesu ich montażu. Skuteczne stosowanie metod DfA w tym zakresie jest możliwe pod warunkiem, że konstrukcja dwóch łączonych elementów jest znana. Struktura składników powinna być opisana, i opis ten powinien zawierać podstawowe wymiary i dodatkowe cechy, takie jak zaokrąglenia, fazowania, skosy nadające się do typów [1,3,7]. Istotnym elementem procesu planowania montażu jest znajomość najkorzystniejszej (zgodnie z odpowiednimi kryteriami) kolejności łączenia wszystkich elementów produktu [8,9]. Stanowi to problem, a mianowicie większość metod analizy DfA opiera się na ustalonych stanach montażu, które są wynikiem określenia optymalnej kolejności montażu wszystkich elementów projektowanego produktu. Jeśli optymalna sekwencja nie zostanie ustalona przed szczegółową analizą DfA, analiza nie zawsze jest skuteczna. Może się zdarzyć, że właściwa sekwencja montażu

różni się od tej przyjętej podczas analizy DfA. Dlatego przed właściwą analizą DfA niezbędne jest określenie najkorzystniejszej kolejności montażu.

Scharakteryzowana i zobrazowana, w niniejszym artykule, analiza złożoności produktu ma na celu przede wszystkim zmniejszenie liczby elementów i określenie wskaźników charakteryzujących złożoność. Ponadto zawiera ona propozycję uwzględnienia odpowiednich zasad DfA podczas kolejnych etapów projektowania węzłów konstrukcyjnych.

2. ANALIZA ZŁOŻONOŚCI PRODUKTU - CHARAKTERYSTYKA

Analiza złożoności produktu (ze względu na wydajność procesu montażu) powinna być wykonana w fazie projektowania koncepcyjnego, gdy powstają liczne warianty zaprojektowanego produktu. Analiza powinna służyć do ustalenia stopnia złożoności produktu pod kątem montażu jego składników. Ponadto ma wspierać projektanta, wybierając odpowiednie zasady DfA i sugerując możliwość łączenia elementów lub przekształcenia ich w podzespoły. Podstawowe etapy tej analizy przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Etapy analizy DfA

Pierwszym etapem analizy złożoności jest zapis wszystkich możliwych połączeń dwóch elementów macierzy zależności. Macierz ta ma rozmiar $n \times n$, gdzie n jest liczbą składników produktu [9]. Wiersze i kolumny są odpowiednio nazwami części. Każde możliwe połączenie dwóch elementów jest zapisywane i otrzymuje prawidłowy symbol (x) na przecięciu prawego wiersza i kolumny. W zależności od kierunku łączenia dwóch elementów możliwe jest zapisanie dwóch form połączeń (I,II), co przedstawiono na rysunku 2. Na nim przedstawiono dwa możliwe kierunki łączenia elementów A i B wraz z odpowiednią notacją zapisu. W przypadku braku połączenia pomiędzy komponentami odpowiednie pole w macierzy pozostanie puste.

	MACIERZ ZALEŻNOŚCI Md	KIERUNEK ŁĄCZENIA	OPIS									
TYP I	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>■</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>x</td> <td>■</td> </tr> </table>		A	B	A	■	■	B	x	■		CZĘŚĆ B JEST DOŁĄCZANA DO CZĘŚCI A
	A	B										
A	■	■										
B	x	■										
TYP II	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>■</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>■</td> <td>■</td> </tr> </table>		A	B	A	■	x	B	■	■		CZĘŚĆ A JEST DOŁĄCZANA DO CZĘŚCI B
	A	B										
A	■	x										
B	■	■										

Rys. 2. Zapis relacji pomiędzy częściami

W teorii można stwierdzić, że jeśli składnik A może być łączony z komponentem B, możliwe jest również przeprowadzenie operacji odwrotnej. W tym przypadku macierz zależności reprezentująca połączenia jest zawsze symetrycznie wypełniona. Symetria macierzy jest istotna w celu zapewnienia pełnej analizy wszystkich możliwych połączeń badanego produktu.

Drugim etapem analizy złożonej jest analiza połączeń zapisanych w macierzy zależności. Poprzez połączenia należy rozumieć wszystkie zdefiniowane relacje między dwoma składnikami. Analiza ta jest głównie związana z identyfikacją potencjalnej możliwości integracji składników. Na podstawie sformułowanych pytań i odpowiedzi na nie można przydzielić zasady DfA do projektowania szczegółowych odpowiednich węzłów (połączeń dwóch części). Zdefiniowane zostały następujące zasady DfA: integracja elementów (R1), zastosowanie metody Poka-Yoke (R2), wzajemne samodzielne dopasowanie łączonych elementów (R3), kierunek procesu montażu (R4), odpowiedni kształt elementów (R5), symetria komponentów (R6), wizualny dostęp do połączenia podczas montażu (R7), normalizacja (R8). Przydzielenie zasad na podstawie odpowiedzi na odpowiednio sformułowane pytania przedstawiono na rysunku 3, natomiast poniżej opisano poszczególne zasady i reguły ich przydzielania.

Zasada 1: Potencjalna możliwość integracji elementów. Jeśli odpowiedzi na pierwsze trzy pytania to "nie", "nie" i "nie", to teoretycznie elementy A i B można zintegrować i przyporządkować do nich zasadę DfA nr 1. Jeśli odpowiedzi na pierwsze trzy pytania różnią się od "nie" / "nie" / "nie", połączony element jest tak zwanym elementem krytycznym, który nie może być zintegrowany z elementem A. Jeżeli natomiast odpowiedź na pytanie 3 jest "nie", a na pierwsze dwa pytania brzmi "tak" lub "nie", elementy A i B mogą być rozpatrywane pod kątem przekształcenia ich w podzespół.

Zasada 2: Zasada Poka-Yoke. Przyporządkowanie zasady do prawidłowego połączenia powoduje zmodyfikowanie połączonego elementu (B) tak, że niemożliwy jest jego nieprawidłowy montaż.

Odpowiedzi (Y-tak/N-nie) na Pytanie (Q)	R_1 Integracja części	R_2 Poka-Yoke	R_3 Samopozycjonowanie części	R_4 Kierunek procesu montażu	R_5 Poprawny kształt części	R_6 Symetryczność części	R_7 Wizualny dostęp	R_8 Standaryzacja
R1_Q1="N" i R1_Q2="N" i R1_Q3="N" Q1 – Czy części A i B muszą wykonywać ruch względem siebie? Q2 – Czy części A i B muszą być wykonane z tego samego materiału? Q3 – Czy części A i B muszą być od siebie odseparowane/izolowane?	X							
R2_Q1="N" Q1 – Czy część B zabezpieczona jest przed niepoprawnym montażem?		X						
R3_Q1="N" lub R3_Q2="Y" Q1 – Czy części A i B orientują się samoczynnie poprzez ich konstrukcję? Q2 – Czy po zorientowaniu części A i B ich położenie może ulec zmianie?			X					
R4_Q1="Y" i R4_Q2="N" Q1 – Czy części A i B montowane są w innym kierunku niż „od góry”? Q2 – Czy po zmianie bazy możliwy jest montaż „od góry” bez zmiany oprzyrządowania?				X				
R5_Q1="Y" lub R5_Q2="Y" lub R1_Q3="Y" Q1 – Czy części dołączaną B trudno uchwycić? Q2 – Czy część dołączaną B jest zbyt elastyczna/delikatna podczas operowania nią? Q3 – Czy część dołączaną podczas przechowywania może się zaplątać/zakleszczyć?					X			
R6_Q1="N" i R6_Q2="Y" Q1 – Czy część dołączaną B jest symetryczna? Q2 – Czy niesymetryczność części dołączanej utrudnia jej orientowanie?						X		
R7_Q1="N" Q1 – Czy przy wykonywaniu połączenia dostęp wizualny jest zapewniony?							X	
R8_Q1="Y" lub R8_Q2="Y" Q1 – Czy zamiast części dołączanej B wykorzystać można istniejący komponent? Q2 – Czy część ta może być wytworzona w istniejącym parku maszynowym przedsiębiorstwa?								X

Rys. 3. Przydział reguł DfA wg zapytań

Zasada 3: Samoczynne dopasowanie elementów. Jeśli odpowiedź na pytanie 5 jest "nie" lub odpowiedź na pytanie 6 to "tak", to zasada jest przypisana do połączenia. Praktycznym celem zastosowania tej zasady jest taki projekt dwóch elementów, które mogą się wyrównać podczas montażu i utrzymywać właściwe pozycje bez potrzeby stosowania dodatkowej siły nośnej.

Zasada 4: Użycie najlepszego kierunku podczas montażu. Najczęściej kierunek ten definiuje się jako "od góry" ze względu na grawitację i naturalną metodę ręcznego montażu. Odpowiedzi "tak" i "nie" odpowiednio przypisują tę zasadę do połączenia.

Zasada 5: Właściwy kształt połączonego elementu, biorąc pod uwagę jego podatność na złapanie, przenoszenie i uszczelnienie. Odpowiedź "tak" na którekolwiek z tych pytań przypisuje zasadę połączenia.

Zasada 6: Symetria elementów jako struktura ułatwiająca orientację. Odpowiedzi "nie" i "tak" przypisują zasadę połączenia. W wyniku zastosowania tej zasady kształt elementów powinien uniemożliwiać nieprawidłowe orientowanie względem siebie,

zwłaszcza jeśli uniemożliwia to dalsze prawidłowe połączenie lub ogranicza założoną funkcję tego połączenia.

Zasada 7: Wizualny dostęp podczas połączeń.

Zasada 8: Standaryzacja zarówno pod względem wykorzystania części, jak i aspektu elementów produkcyjnych z wykorzystaniem istniejącego parku maszynowego. Praktycznym celem tej zasady jest maksymalizacja wykorzystania już istniejących (zaprojektowanych i używanych) elementów. Odpowiedzi powinny wyglądać odpowiednio "tak" i "nie". Aspekt produkcji, który występuje w normalizacji, został wprowadzony z zamiarem zmniejszenia kosztów produkcji z wykorzystaniem zasobów firmy.

Kolejnym elementem analizy złożoności jest obliczenie dwóch indeksów: indeksu złożoności produktu i indeksu podzespołowości. Indeks złożoności produktu (C_i), wyrażony w procentach, jest obliczany jako iloraz liczby elementów krytycznych i całkowitej liczby elementów analizowanego produktu. Elementy krytyczne są określone na podstawie odpowiedzi na pytania od 1 do 3, które zostały opisane powyżej. Poniższa formuła stosowana do obliczania indeksu złożoności jest przedstawiona poniżej.

$$C_i = \frac{n}{N} 100\% , \text{gdzie}$$

n - liczba części krytycznych, N - całkowita liczba części.

Drugim indeksem jest wskaźnik podzespołu (S_i), który ilustruje potencjalną możliwość skrócenia czasu montażu analizowanego produktu przez równoległość montażu podzespołów. Ten wskaźnik oblicza się według następującego wzoru:

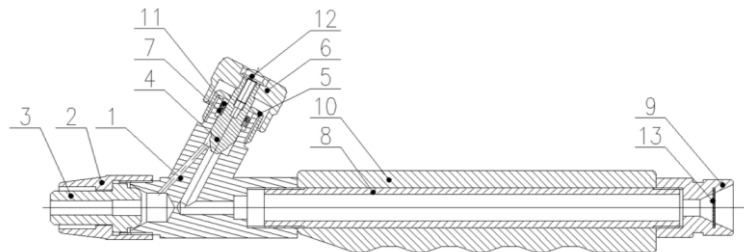
$$S_i = \frac{N - S_{sum} + n_s}{N} 100\% , \text{gdzie}$$

N - całkowita liczba części, S_{sum} - suma części w podzespołach, n_s - liczba podzespołów.

3. ANALIZA ZŁOŻONOŚCI KONSTRUKCJI PALNIKA GAZOWEGO

W tym punkcie przedstawione zostanie zastosowanie analizy złożoności, dla konkretnego wyrobu. Przedmiotem analizy będzie palnik gazowy złożony z 13 elementów. Jego struktura i specyfikacja zostały przedstawione na rysunkach 4 i 5. Przedstawiona konstrukcja palnika gazowego powstała na etapie projektowania koncepcyjnego i nie jest ostatecznym rozwiązaniem projektowym.

Macierz zależności, odwzorowującą wszystkie relacje przedstawiono na rysunku 6, gdzie odpowiednio liczby od 1 do 13 odpowiadają elementom składowym analizowanego palnika gazowego.



Rys. 4. Budowa palnika gazowego

1-Korpus, 2-Tuleja gwintowana, 3-Tuleja łącząca, 4-Zawór, 5-Nakrętka dociskowa, 6-Pokrętło zaworu, 7-Pierścień, 8-Lącznik rękojeści, 9-Końcówka łącznika, 10-Rękojeść, 11-O-ring, 12-Śruba, 13-Siateczka




Rys. 5. Konstrukcja palnika gazowego – widok 3D


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1		X	X	X	X		X	X		X	X		
2	X		X										
3	X	X											
4	X				X	X	X				X	X	
5	X			X		X							
6				X	X								X
7	X			X							X		
8	X								X	X			
9								X	X	X			X
10	X							X	X				
11	X			X			X						
12				X		X							
13									X				

Rys. 6. Macierz zależności części składowych palnika gazowego

W dalszej części przeprowadzono analizę każdej relacji zapisanej w macierzy zależności w kontekście zidentyfikowania części krytycznych i przydzielenia odpowiednich zasad DfA. Odpowiedzi na pytania związane z przydziałem reguł DfA przedstawiono na rysunkach 7 i 8. Jeżeli w pierwszych trzech pytaniach odpowiedzi to "nie", "nie" i "nie", to teoretycznie komponenty A i B można zintegrować i przyporządkować do nich zasadę nr 1. Takie połączenia zostały zaznaczone kolorem zielonym. Części, które można rozpastrywać pod kątem utworzenia z nich podzespołów zostały zaznaczone kolorem niebieskim.

ANALIZA DFA, TABELA Z RELACJAMI																		
Analizowany przedmiot: PALNIK GAZOWY																		
ODPOWIEDZ NA PYTANIA "TAK" LUB "NIE" W ODPOWIEDNIEJ RUBRYCE																		
Relacje		PYTANIA I ODPOWIEDZI																
LP.		PYTANIE 1		PYTANIE 2		PYTANIE 3		PYTANIE 4		PYTANIE 5		PYTANIE 6		PYTANIE 7		PYTANIE 8		
		TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	
1	1-2		x			x	x		x					x	x			x
2	2-1		x			x	x		x					x	x			x
3	1-3	x				x	x			x	x			x	x			x
4	3-1	x				x	x			x	x			x	x			x
5	1-4	x				x	x			x	x			x		x		x
6	4-1	x				x	x			x				x		x		x
7	1-5		x			x	x			x	x			x		x		x
8	5-1		x			x	x			x				x		x		x
9	1-7	x				x	x			x	x			x		x	x	
10	7-1	x				x	x			x	x			x		x	x	
11	1-8		x	x			x				x			x	x			x
12	8-1		x	x			x			x				x	x			x
13	1-10		x	x				x			x			x	x			x
14	10-1		x	x				x			x			x	x			x
15	1-11		x	x			x			x				x		x		x
16	11-1		x	x			x			x				x		x		x
17	2-3		x			x				x				x	x			x
18	3-2		x			x				x				x	x			x
19	4-5	x				x	x			x	x			x		x		x
20	5-4	x				x	x			x	x			x		x		x
21	4-6	x				x	x			x	x			x		x		x
22	6-4	x				x	x			x	x			x		x		x
23	4-7		x			x				x	x			x		x	x	
24	7-4		x			x				x	x			x		x	x	
25	4-11		x	x			x			x	x			x		x	x	
26	11-4		x	x			x			x	x			x		x		x
27	4-12	x				x				x	x			x		x		x
28	12-4	x				x				x	x			x		x		x
29	5-6	x				x				x	x			x		x		x
30	6-5	x				x				x	x			x		x		x
31	6-12	x				x				x	x			x		x	x	
32	12-6	x				x				x	x			x		x		x
33	7-11		x	x				x			x					x	x	
34	11-7		x	x				x			x					x	x	
35	8-9		x				x				x			x	x			x
36	9-8		x					x			x			x	x			x
37	8-10		x				x			x	x			x	x			x
38	10-8		x				x			x	x			x	x			x
39	9-10		x	x			x			x	x			x	x			x
40	10-9		x	x			x			x	x			x	x			x
41	9-13		x				x			x	x			x	x			x
42	13-9		x				x			x	x			x	x			x

Rys. 7. Analiza DfA - cz.1

ANALIZA DFA, TABELA Z RELACJAMI																	
Analizowany przedmiot: PALNIK GAZOWY																	
ODPOWIEDZ NA PYTANIA "TAK" LUB "NIE" W ODPOWIEDNIEJ RUBRYCE																	
Relacje		PYTANIA I ODPOWIEDZI															
LP.		PYTANIE 9		PYTANIE 10		PYTANIE 11		PYTANIE 12		PYTANIE 13		PYTANIE 14		PYTANIE 15		PYTANIE 16	
		TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE
1	1-2		x		x		x	x			x	x			x	x	
2	2-1		x		x		x		x		x	x			x	x	
3	1-3		x		x	x		x			x	x			x	x	
4	3-1		x		x	x			x		x	x			x	x	
5	1-4		x		x		x	x			x	x			x	x	
6	4-1		x		x		x		x		x	x			x	x	
7	1-5		x		x		x	x			x	x		x		x	
8	5-1		x		x		x		x		x	x			x	x	
9	1-7		x		x	x		x			x	x			x	x	
10	7-1		x		x	x			x		x	x			x	x	
11	1-8		x		x		x	x			x	x			x	x	
12	8-1		x		x		x		x		x	x			x	x	
13	1-10		x		x		x		x		x	x			x	x	
14	10-1		x		x		x		x		x	x			x	x	
15	1-11		x	x			x	x			x	x		x		x	
16	11-1		x		x		x		x		x	x			x	x	
17	2-3		x		x		x	x			x	x			x	x	
18	3-2		x		x		x	x			x	x			x	x	
19	4-5		x		x		x	x			x	x			x	x	
20	5-4		x		x		x	x			x	x			x	x	
21	4-6		x		x	x		x			x	x			x	x	
22	6-4		x		x		x	x			x	x			x	x	
23	4-7		x		x	x		x			x	x		x		x	
24	7-4		x		x	x		x			x	x			x	x	
25	4-11		x	x		x		x			x	x		x		x	
26	11-4		x		x	x		x			x	x			x	x	
27	4-12		x		x		x	x			x	x		x		x	
28	12-4		x		x		x	x			x	x			x	x	
29	5-6		x		x		x	x			x	x			x	x	
30	6-5		x		x		x	x			x	x			x	x	
31	6-12		x		x		x	x			x	x		x		x	
32	12-6		x		x		x	x			x	x			x	x	
33	7-11		x	x			x	x			x	x		x		x	
34	11-7		x		x		x	x			x	x		x		x	
35	8-9		x		x		x	x			x	x			x	x	
36	9-8		x		x		x	x			x	x			x	x	
37	8-10		x		x	x			x		x	x			x	x	
38	10-8		x		x	x		x			x	x			x	x	
39	9-10		x		x		x		x		x	x			x	x	
40	10-9		x		x		x	x			x	x			x	x	
41	9-13		x		x	x		x			x	x		x		x	
42	13-9		x	x		x		x			x	x			x	x	

Rys. 8. Analiza Dfa - cz.2

W analizowanej konstrukcji określono 5 części krytycznych i na tej podstawie obliczono indeks złożoności, który wynosi **38,46%**.

Drugim określonym indeksem jest wskaźnik podzespołowości (S_i), który ilustruje potencjalną możliwość skrócenia czasu montażu analizowanego produktu przez równoległość montażu podzespołów. Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono części, których zestawienie pozwala na wyznaczenie podzespołów. Oznaczenia Z1, Z2, Z3, Z4 odpowiadają kolejnym podzespołom.

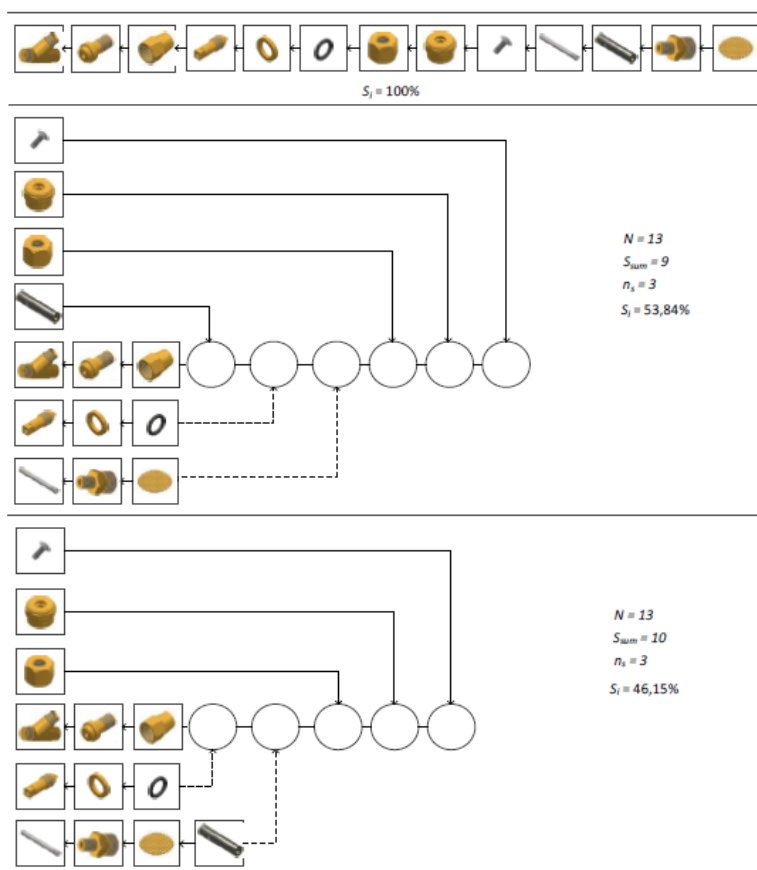
LP.	Tuleja gwintowana - Tuleja łącząca - Korpus
Z1	
	Zawór - Pierścień - O-Ring
Z2	
	Rękojeść - Łącznik rękojeści - Końcówka łącznika - Siateczka
Z3	

Rys. 9. Wariant I definiowania podzespołów

LP.	Tuleja gwintowana - Tuleja łącząca - Korpus
Z1	
	Zawór - Pierścień - O-Ring
Z2	
	Łącznik rękojeści - Końcówka łącznika - Siateczka
Z4	

Rys. 10. Wariant II definiowania podzespołów

Interpretacja tego wskaźnika została przedstawiona na rysunku 11. Wartość indeksu S_i określa czas proporcjonalny analizowanego zespołu produktu w stosunku do 100% czasu montażu (oddzielne składniki, które nie tworzą podzespołów) realizowanego w sposób ciągły. Taka analiza może być użyteczna w produkcji masowej, na przykład, gdy ze względu na możliwość równoległego procesu proces może być znacznie skrócony, a jego wydajność na jednostkę czasu wzrasta. Zestawiając ze sobą dwa warianty, możemy zauważyć, że pierwszy wariant składający się z 3 zespołów, w których skład wchodzi 10 elementów może zapewnić krótszy montaż całego palnika gazowego. Używając tych zespołów (Z1, Z2 i Z3) montaż palnika gazowego zostanie usprawniony o 53,85% w stosunku do 100% czasu montażu. Natomiast korzystając z zespołów Z1, Z2 i Z4, gdzie suma składników wchodzących w ich skład jest równa 9 wskaźnik S_i będzie na poziomie 53,84%, co pozwala na 46,16 % usprawnienie montażu konstrukcji palnika gazowego w stosunku do 100% czasu montażu.



Rys. 11. Zestawienie wariantów I i II podzespołów palnika gazowego

4. ANALIZA PRZEPROJEKTOWANEGO PALNIKA GAZOWEGO

Rysunek 12 przedstawia finalną konstrukcję palnika gazowego - widok złożony, po jego przeprojektowaniu.



Rys. 12. Wynikowa konstrukcja palnika gazowego

Jak wynika z rysunku 12 liczba elementów palnika gazowego została zmniejszona z 13 do 10, poprzez przeprojektowanie elementów takich jak tuleja gwintowa, uchwyt, czy końcówka łącznika.

Kolejnym etapem, a zarazem potwierdzeniem słuszności przeprojektowania palnika gazowego przy pomocy metody DfA jest przedstawienie macierzy zależności jego części składowych, po przeprojektowaniu. Poszczególne połączenia między elementami także ulegną zmianie. Przeprojektowana macierz zależności części składowych palnika gazowego po przeprojektowaniu jego elementów została przedstawiona na rysunku 13.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		X	X	X			X		X	
2	X									
3	X			X	X	X			X	X
4	X		X		X					
5			X	X						X
6			X						X	
7	X							X		
8							X			
9	X		X			X				
10			X		X					

Rys. 13. Macierz zależności finalnej konstrukcji palnika gazowego

Potwierdzając poprawę budowy palnika gazowego należy powtórnie wypełnić tabelę zawierającą relacje między poszczególnymi częściami, jednak w tym wypadku pod uwagę należy brać tylko 1 zasadę DfA dotyczącą integracji elementów (trzy pierwsze pytania analizy). Liczba elementów, która będzie poddana analizie zmniejszona została z 13 do 10, pośród których zidentyfikowano 28 relacji.

ANALIZA DFA, TABELA Z RELACJAMI							
Analizowany przedmiot: PALNIK GAZOWY							
ODPOWIEDZ NA PYTANIA "TAK" LUB "NIE" W ODPOWIEDNIEJ RUBRYCE							
Relacje		PYTANIA I ODPOWIEDZI					
LP.	PALNIK	PYTANIE 1		PYTANIE 2		PYTANIE 3	
		TAK	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE
1	1←2		x		x	x	
2	2←1		x		x	x	
3	1←3	x			x	x	
4	3←1	x			x	x	
5	1←4		x		x	x	
6	4←1		x		x	x	
7	1←7		x	x			x
8	7←1		x	x			x
9	1←9		x	x		x	
10	9←1		x	x		x	
11	4←3		x		x	x	
12	3←4		x		x	x	
13	3←5	x			x	x	
14	5←3	x			x	x	
15	3←6		x		x		x
16	6←3		x		x		x
17	3←9		x	x		x	
18	9←3		x	x		x	
19	3←10	x		x		x	
20	10←3	x		x		x	
21	4←5	x			x	x	
22	5←4	x			x	x	
23	5←10	x		x		x	
24	10←5	x		x		x	
25	6←9		x	x			x
26	9←6		x	x			x
27	8←7		x	x		x	
28	7←8		x	x		x	

Rys. 14. Podpis rysunku Karta zapisu problemów

Na podstawie wyników przedstawionych na rysunku 14, zauważyć można, że liczba elementów, do których przypisano zasadę integralności części znacznie się zmniejszyła.

Początkowo było to 8 połączeń, do których przypisano zasadę 1. W bieżącej analizie występują tylko 2 takie połączenia (3←6, 6←3). Po dokładnej analizie tabeli DfA można uznać, że projekt palnika gazowego został przeprojektowany w sposób satysfakcjonujący.

Kolejnym krokiem jest powtórne wyliczenie indeksu złożoności produktu (C_i). W tym wypadku, po przeprojektowaniu elementów 9 i 13, 2 i 3 oraz 10 i 8, które odpowiadają kolejno końcówce łącznika i siateczce, tulei gwintowanej i tulei łączącej oraz rękojeści i łącznika rękojeści liczba całkowita elementów została zredukowana do 10. Wobec tego indeks złożoności, przy wyznaczeniu 8 części krytycznych wynosi $C_i = 80\%$.

3. WNIOSKI

Analiza DfA przeprowadzona na wyrobie jakim jest palnik gazowy, przyniosła zamierzony efekt w postaci redukcji elementów składowych. Początkowa liczba składowych części wynosiła 13, a po analizie złożoności została zredukowana do 10. Dodatkową korzyścią wynikającą z przeprowadzonej analizy może być skrócenie czasu przeznaczonego na montaż wyrobu. Kolejnym efektem analizy jest możliwość zmniejszenia kosztów wytworzenia wyrobu poprzez wprowadzenie zmian konstrukcyjnych w odpowiednich elementach składowych. Ciekawym zastosowaniem podczas badań przeprowadzanych na przedmiocie (palnik gazowy) było wykorzystanie drukarki 3D, która pozwoliła na zintegrowanie dwóch części: końcówka łącznika z siateczką (wydrukowana przy pomocy drukarki 3D). Nowy projekt palnika gazowego spełnia wszystkie wymogi dotyczące analizy DfA, a jego konstrukcję można określić jako udaną.

LITERATURA

- [1] **Eder, W. Ernst; Hosnedl, Stanislav.**, *Introduction to design engineering: systematic creativity and management*. CRC Press, 2010
- [2] **Andreasen, Mogens Myrup; Kähler, Steen; Lund, Thomas.**, *Design for assembly*. New York: Springer-Verlag, 1983
- [3] **Boothroyd, Geoffrey; Dewhurst, Peter; Knight, Winston Anthony.**, *Product Design for Manufacture and Assembly*, revised and expanded. CRC Press, 2002
- [4] **Redford, A.; Chal, J.**, *Design for Assembly: Principles and Practice*, 1994
- [5] **Booker, Julian D.; Raines, M.; Swift, Ken G.**, *Designing capable and reliable products*. Butterworth-Heinemann, 2001
- [6] **Lotter, Bruno.**, *Manufacturing assembly handbook*. Butterworth-Heinemann, 2013
- [7] **Bralla, James G.**, *Design for manufacturability handbook*. 1997
- [8] **Hosnedl, Stanislav; Kopecky, Martin; Sasiadek, Michał.**, *Rationalising the use of design for assembly as DfX knowledge to increase competitiveness of designed technical products*. 55th International Conference of Machine Design Departa-

ments ICMD 2014. Beroun, Czechy, Prague: Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering, 2014, 329-334

- [9] **Szaśiadek, Michał.** *Planning and analysis of mechanical assembly sequences in design engineering*—Part I: The Method. *Tehnički vjesnik*, 2015, 22.2: 337-342

BIBLIOGRAFIA

- [1] **Andreasen, Mogens Myrup; Kähler, Steen; Lund, Thomas.**, *Design for assembly*. New York: Springer-Verlag, 1983
- [2] **Bernardini F., Mittleman J., Rushmeier H., Silva C., Taubin G.**, *The ball-pivoting algorithm for Surface reconstruction*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1/1999, 349-359
- [3] **Berry L., Parasuraman A., Zeithaml V.**, *Delivering Quality Service. Balancing, Customer Perceptions and Expectations*. The Free Press, Nowy Jork, 1990.
- [4] **Booker, Julian D.; Raines, M.; Swift, Ken G.**, *Designing capable and reliable products*. Butterworth-Heinemann, 2001
- [5] **Borycka B., Kempa E.**: *Istota giełd transportowych na przykładzie TimoCom*, w: Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, nr 7/2012, s. 9-28.
- [6] **Bralla, James G.**, *Design for manufacturability handbook*. 1997
- [7] **Canessa E., Fonda C.**: *Low-cost 3D printing for science, education & sustainable development*. In: ICTP Science Dissemination Unit, 2013, p. 11-57.
- [8] **Chua C. K., Leong K. F., Lim C.S.**, *Rapid Prototyping Second Edition*, Nanyang Technological University, Singapur 2003
- [9] **Crump, S.**, *The extrusion of fused deposition modeling*, Proceedings 3rd International Conference Rapid Prototyping, 1992, pp. 91–100.
- [10] **Cua K. O., McKone K. E., Schroeder R. G.**, *Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance*. Journal of Operations Management. Volume 19, Issue 6, November, 2001.
- [11] **Cuccuru G., Gobetti E., Marton F., Pajarola R., Pintus R.**, *Fast low-memory streaming MLS reconstruction of point-sampled surfaces*, Proceedings – Graphics Interface Conference, 25-27 May, Kelowna, British Columbia, Canada, 2009
- [12] **Czuchraj J., Świergoł S.**: *Podstawy organizacji kontroli jakości w spawalnictwie*. Wyd. Instytut Spawalnictwa, Gliwice 2013.
- [13] **Czuchraj J, Sikora S.**: *Badanie wizualne złączy spawanych Wyd III*, Wyd. Instytut Spawalnictwa, Gliwice 2009.
- [14] **Davenport T., Short J.**: *The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign*. Sloan Management, Review, 31(4), 1990, pp. 11–27.
- [15] **Drucker P.F.**: *Menedżer skuteczny*, Wydawnictwo. AE, Kraków, 1994, pp. 182
- [16] **Dybala B.**, *Integracja i spójność modeli w inżynierii odwrotnej: wybrane aspekty technicznych i medycznych zastosowań reverse engineering*, Wyd. Wrocław 2013,
- [17] **Dziennik Ustaw**. Nr 130, poz. 1188, 2003.
- [18] **Ebraltim M.**, *3D Laser scanner: history, applications, and future*, Assiut University, Grudzień 2011
- [19] **Eder, W. Ernst; Hosnedl, Stanislav.**, *Introduction to design engineering: systematic creativity and management*. CRC Press, 2010

- [20] **Egan T.:** *Additive Manufacturing*, AMT, 2013
- [21] **Fick G.R., Ritchie J.R.:** *Measuring Service Quality in the Travel and Tourism Industry*. Journal of Travel Research. Volume 30, Issue 2, pp. 2–9, 1991.
- [22] **Frankowska E.:** *Badanie stopnia zadowolenia klientów z jakości usług*. Zeszyty Naukowe SGSP / Szkoła Główna Służby Pożarniczej. Nr 41, 2011.
- [23] **Gajewska T.:** Logistyczne aspekty wynikające z funkcjonowania handlu elektronicznego w ujęciu teorii i praktyki. LogForum. Volume 5, Issue 3, No 4, 2009.
- [24] **Gorecki T., Pankala P.:** *Modelowanie bryłowe i powierzchniowe w systemach CAD/CAM*, Czasopismo Postęp Nauki i Techniki 4/2010.
- [25] **Górski F., Kuczko W., Wichniarek R.:** *Odtwarzanie zużytych lub zniszczonych elementów maszyn za pomocą inżynierii odwrotnej oraz technik szybkiego wytwarzania*, Czasopismo Inżynieria Maszyn 2013 s. 7-17.
- [26] **Herma S., Wójcik A.:** *Fotogrametria jako alternatywna metoda modelowania obiektów 3D*, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009.
- [27] **Hosnedl, Stanislav; Kopecky, Martin; Sasiadek, Michal.:** *Rationalising the use of design for assembly as DfX knowledge to increase competitiveness of designed technical products*. 55th International Conference of Machine Design Departments ICMD 2014. Beroun, Czechy, Prague: Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering, 2014, 329-334
- [28] Główny Urząd Statystyczny: *Transport. Wyniki działalności w 2015 r.*, Warszawa 2016.
- [29] Główny Urząd Statystyczny: *Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2012-2016*, Warszawa 2016.
- [30] Główny Urząd Statystyczny: *Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2012-2016*, Warszawa 2016.
- [31] **Goranczewski B., Puciato D.:** *Application of SERVQUAL Questionnaire in the Measurement of Quality of Hotel Services*. Polish Journal of Sport and Tourism, No. 18, pp. 166-171, 2011.
- [32] **Governica.com.:** *ISO 900 – seria norm*, [https://www.governica.com/\[26.11.2017\]](https://www.governica.com/[26.11.2017]).
- [33] **Górnik K., Świdroń M.:** *Metoda Servqual jako narzędzie pomiaru jakości usług hotelarskich*. Oeconomia, Volume 9, Issue 4, pp. 121-132, 2010.
- [34] **Hernon P., Whitman J.R.:** *Delivering Satisfaction and Service Quality*. American Library Association, Chicago, 2001.
- [35] **Jakubowski J.:** *Projektowanie odwrotne jako narzędzie podwyższające jakość i konkurencyjność wyrobów*, Czasopismo Archiwum Odlewnictwa 2006, s. 37- 44.
- [36] **Jenek M.:** *Metrologia długości i kąta*. Wyd. Oficyna wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 2012r., s. 9-50, 109-119.
- [37] **Kachel S., Kozakiewicz A., Łacki T., Olejnik A.:** *Zastosowanie inżynierii odwrotnej do procesu odtwarzania geometrii układu wlotowego silnika RD-33 w samolocie MIG-29*, Czasopismo Prace Instytutu Lotnictwa 4/2011.
- [38] **Karaszewski R.:** *SERVQUAL – metoda badań jakości świadczonych usług*. Problemy Jakości. Nr 8, 2001.

- [39] **Kazhad M., Bolitho M., Hoppe H.**, *Poisson Surface Reconstruction*, The Fourth Eurographics Symposium on Geometry Processing, 2006.
- [40] **Kaziunas A.**, *Kompendium wiedzy o druku 3D!*, Helion, 2014
- [41] **Lewandowski P., Dziechciarz M.**: *Wpływ giełd transportowych na sektor TSL*, w: *Logistyka*, nr 5/2011, s. 1125-1141.
- [42] **Lotter, Bruno.**, *Manufacturing assembly handbook*. Butterworth-Heinemann, 2013
- [43] **Marcysiak A., Pieniak-Lendzion K., Lendzion M.**, *Usługi kurierskie na rynku usług logistycznych w Polsce*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Nr 96, Seria: Administracja i Zarządzanie (23), Siedlce, 2013.
- [44] **Metelnick, J.**, *How today's model/prototype shop helps designers use rapid prototyping to full advantage*, Society of Manufacturing Engineers Technical Paper (1991): p. 91-475.
- [45] **Matwiejczuk R.**: *Efektywność – próba interpretacji*, Przegląd Organizacji nr 11/2000, pp. 27.
- [46] **Michaud M.**: *CATIA. Narzędzia i moduły*, Wyd. Helion, Gliwice 2015.
- [47] **Mizerski J.**: *Spawanie w osłonie gazów metodą TIG*. Wyd. REA, Warszawa, 2008.
- [48] **Norma PN-EN ISO 6520-1:2007**: *Spawanie i procesy pokrewne. Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach. Część 1: Spawanie*.
- [49] **Norma PN-EN ISO 5817:2007**. *Spawanie. Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych*.
- [50] **Raja V., Fernandes K. J.** *Reverse engineering: an industrial perspective*, Wyd. Springer-Verlag, Londyn 2008
- [51] **Rapid Prototyping Report**, Ford Uses Stereolithography to Cast Production Tooling, 1994: p. 1–3.
- [52] **Redford, A.; Chal, J.**, *Design for Assembly: Principles and Practice*, 1994
- [53] **Sasimowski E.**: *Przyrostowe metody wytwarzania elementów z tworzyw polimerowych*, Wyd. Katedra Procesów Polimerowych, Czasopismo Przetwórstwo Tworzyw, 2015 s.349-354, dostęp w Internecie:
- [54] **Skrzypek E.**, *Jakość i efektywność.*, Wydawnictwo UMCS, Lublin, 2000, pp. 190.
- [55] **Sładek J., Klecha R.**: *Interaktywne programowanie współrzędnościowych maszyn pomiarowych w oparciu o zbiór CAD*, VII Konferencja Naukowo-Techniczna „Metrologia w technikach wytwarzania maszyn” tom 1 Kielce 1997 Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej nr 63
- [56] **Spielman, R.**, *“Laser sintered parts in space,”* RP = Rapid Production: An International Conference, held in conjunction with EuroMold 2000, Frankfurt, Niemcy, Grudzień 1, 2000.
- [57] **Stephen A. White**: *Introduction to BPMN IBM Corportion*, BPTrends, July, 2004.

- [58] **Szafrański M.**: *Elementy ekonomiki jakości w przedsiębiorstwach*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2007.
- [59] **Sąsiadek, Michał**, Planning and analysis of mechanical assembly sequences in design engineering—Part I: The Method. *Tehnički vjesnik*, 2015, 22.2:
- [60] **Urbaniak A.M.**, *Zastosowanie metody Servqual do oceny jakości usług rekreacyjnych*. *Zeszyty Naukowe Uczelni Vistula, Ekonomia III*, Issue 32, pp. 29-38, 2013.
- [61] **Wohlers Report 2001**, *Industrial Growth, Rapid Prototyping and Tooling State of the Industry*, Wohlers Association Inc., 2001
- [62] **Wyleżoł M.** *Metodyka modelowania na potrzeby inżynierii rekonstrukcyjnej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
- [63] **Zimon G.**: *Analiza kosztów w przedsiębiorstwach transportu samochodowego*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, nr 77, 2015, s. 349-354.

Strony Internetowe

- [64] <http://www.40ton.net/perspektywy-rozwoju-ryнку-transportu-drogowego-na-najblizsze-kilkanascie-lat-i-analiza-obecnej-sytuacji/> (dostęp 30.04.2017 r.).
- [65] <http://www.teleroute.pl/> (dostęp 17.05.2017 r.).
- [66] <http://www.timocom.pl/> (dostęp 15.05.2017 r.).
- [67] <http://www.trans.eu/pl/> (dostęp 15.05.2017 r.).
- [68] <http://www.transporeon-group.com/pl/> (dostęp 17.05.2017 r.).
- [69] <http://www.tropicielgps.pl/> (dostęp 24.04.2017 r.).
- [70] <http://www.wtransnet.com/pl/> (dostęp 17.05.2017 r.).
- [71] <http://centrumdruku3d.pl/historia-druku-3d/> (dostęp: 15.01.2018r.).
- [72] <http://swiatdruku3d.pl/rapid-prototyping/> (dostęp: 17.12.2017r.).

AUTORZY

Karol Dąbrowski mgr., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: k.dabrowski@iizp.uz.zgora.pl

Natalia Ferenc inż., absolwent Uniwersytetu Zielonogórskiego, Wydział Mechaniczny, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

Mateusz Głowicki, mgr inż. absolwent Uniwersytetu Zielonogórskiego, Wydział Mechaniczny, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji II stopień.

Julian Jakubowski, dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Zamiejscowy w Sulchowie, Instytut Energetyki, e-mail: j.jakubowski@wzs.uz.zgora.pl

Sławomir Klos dr hab. inż., prof. UZ, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: s.klos@iizp.uz.zgora.pl

Kamil Leksycki mgr inż., student studiów doktoranckich, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski

Bartosz Musioł inż., absolwent Uniwersytetu Zielonogórskiego, Wydział Mechaniczny, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

Justyna Patals-Maliszewska, dr hab. inż., prof. UZ, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: j.patals@iizp.uz.zgora.pl

Małgorzata Skrzyszewska mgr inż. Studentka studiów doktoranckich, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Kierunek: Budowa i eksploatacja maszyn / Inżynieria produkcji e-mail: m.skrzyszewska@wm.uz.zgora.pl

Klaudia Słowiecka inż., absolwentka Uniwersytetu Zielonogórskiego, Wydział Mechaniczny, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

Tadeusz Szmigielski dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: t.szmigielski@iizp.uz.zgora.pl

Michał Sasiadek dr hab. inż., prof. UZ, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: s.sasiadek@iizp.uz.zgora.pl

Waldemar Woźniak, dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: w.wozniak@iizp.uz.zgora.pl

