

INSTYTUT INFORMATYKI I ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

METODY I NARZĘDZIA W INŻYNIERII PRODUKCJI

**REDAKCJA
TARAS NAHIRNY
TOMASZ BELICA**



**UNIwersytet Zielonogórski
ZIELONA GÓRA 2017**

METODY I NARZĘDZIA W INŻYNIERII PRODUKCJI

Tom 2

REDAKCJA

TARAS NAHIRNY

TOMASZ BELICA

UNIwersytet Zielonogórski
Zielona Góra 2017

UNIwersytet Zielonogórski
Rada Wydawnicza Instytutu Informatyki i Zarządzania Produkcją



Redakcja naukowa

prof. dr hab. Taras Nahirny
dr inż. Tomasz Belica

Recenzenci

prof. dr hab. inż. Janusz Mielniczuk
prof. dr hab. inż. Josef Basl

Projekt okładki i strony tytułowej

dr inż. Tomasz Belica

© COPYRIGHT BY UNIVERSITY OF ZIELONA GÓRA
ZIELONA GÓRA 2017

ISBN 978-83-65200-09-9

ISSN 2544-641X

Monografię przygotował zespół redakcyjny na podstawie materiałów przygotowanych przez Autorów z uwzględnieniem uwag recenzentów.

Druk: Zakład Poligraficzny Uniwersytetu Zielonogórskiego
65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50
Tel. 068 3287864; Sekretariat@ow.uz.zgora.pl

Spis treści

Przedmowa	5
Optymalizacja procesu wytwórczego wyrobów ze stali nierdzewnej.....	7
<i>Babirecki Wojciech, Chmielewska Justyna</i>	
Opracowanie prototypu stanowiska wytwórczego z wykorzystaniem analizy morfologicznej	19
<i>Belica Tomasz, Prusinowski Adrian</i>	
Proces wdrożenia systemu zarządzania jakością w wybranej odlewni aluminium	31
<i>Dąbrowski Karol, Leksycki Kamil, Skrzypek Katarzyna</i>	
Zastosowanie metody DFA w procesie projektowania cylindra hydraulicznego	39
<i>Dębowski Daniel, Żabiński Bartosz</i>	
Skonowanie i pomiary 3D jako współczesne narzędzia wspomagające zarządzanie jakością.....	55
<i>Jakubowski Julian, Sochacki Mateusz</i>	
Kwalifikowanie technologii spawania na przykładzie stalowej konstrukcji podestu balkonowego produkowanego w ZS ANATOL.....	67
<i>Kałasznikow Anatol, Dębowski Daniel, Gruszka Józef</i>	
Zarządzanie wiedzą w filozofii KAIZEN.....	81
<i>Komarnicka Anna, Nahirny Taras</i>	
Procesy kontroli jakości na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa	91
<i>Kuryło Piotr, Michalski Dariusz, Moryń Aleksandra</i>	
The progressive etalon method application to analysis of technical data: the scope and boundary behaviour	103
<i>Kuzmenko Ruslan</i>	
Prognozowanie gospodarcze dla usprawnienia procesu produkcyjnego wybranego przedsiębiorstwa.....	111
<i>Leksycki Kamil, Kielec Roman, Szulczyńska Aleksandra</i>	
Optymalizacja procesu produkcyjnego huty miedzi „Głogów II” z wykorzystaniem dodatku technologicznego CaF ₂	123
<i>Wędrychowicz Maciej, Bydałek Adam</i>	
Analiza zastosowania instrumentarium zarządzania jakością w procesie produkcji wybranego typu kabla.....	133
<i>Wołek Paulina, Łyp-Wrońska Katarzyna, Wzorek Agata</i>	
Reverse engineering as a prototype manufacturing tool	145
<i>Trebuňa Peter, Popovič Radko, Kottfer Daniel, Kuryło Piotr, Dariusz Michalski</i>	
Modeling and optimization of manufacturing processes in the digital factory environment.....	159
<i>Trebuňa Peter, Popovič Radko, Kottfer Daniel, Petriková Andrea, Pekarčíková Miriam</i>	

Przedmowa

Oddawany do rąk czytelnika drugi tom opracowania jest zbiorem prac związanych z dyscypliną naukową Inżynieria Produkcji. Monografia składa się z powiązanych tematycznie 14 artykułów naukowych, przedstawiających praktyczne aspekty zastosowania wybranych metod i narzędzi w obszarze inżynierii produkcji.

Książkę otwiera praca przedstawiająca analizę rzeczywistego procesu laserowego wycinania elementów ze stali, ukierunkowaną na poprawę jego efektywności w aspekcie odpowiedniego doboru materiałów zabezpieczających. Drugi artykuł dotyczy zastosowania analizy morfologicznej w procesie opracowania konstrukcji prototypu stanowiska wytwórczego, przeznaczonego do kopiowania i rekonstrukcji elementów płaskich lub obrotowych. Proces zarządzania jakością na przykładzie wybranej odlewni elementów aluminiowych przedstawiono w kolejnym opracowaniu. Autorzy następnego artykułu przedstawili zastosowanie metodologii DFA w procesie projektowania cylindra hydraulicznego, w celu dostosowania jego konstrukcji do efektywnego montażu i demontażu. Przedmiotem kolejnego opracowania jest problematyka stosowania pomiarów 3D do weryfikacji dokładności wykonania detalu. Analizę wymiarową badanych wielkości przeprowadzono dla wybranego elementu kompresora samochodowego. W następnej pracy dokonano przeglądu obowiązujących norm oraz systemów jakości w spawalnictwie w aspekcie kwalifikowania technologii spawania konstrukcji stalowych. Wybrane zagadnienia filozofii Kaizen w kontekście standaryzacji pozyskiwania i przekazywania informacji oraz doświadczenia w przedsiębiorstwach produkcyjnych omówiono w kolejnym opracowaniu. Metody kontroli jakości stosowane w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym scharakteryzowano w następnej pracy. Kolejne opracowanie przedstawia zastosowanie określonych metod prognozowania w wybranym obszarze działalności przedsiębiorstwa produkcyjnego. Autorzy kolejnego artykułu przedstawili możliwość poprawy efektywności procesu odmiedziowania żużla zawiesinowego poprzez wprowadzenie nowego dodatku technologicznego. Zastosowanie wybranych metod i narzędzi do rozwiązania problemów jakościowych występujących w badanym procesie produkcyjnym przedstawiono w następnej pracy. Ostatnie dwa artykuły dotyczą odpowiednio możliwości zastosowania inżynierii odwrotnej w procesie opracowania prototypów narzędzi wytwórczych oraz modelowania wybranego procesu produkcyjnego w oparciu o moduł Process Simulate oprogramowania Siemens Tecnomatix.

OPTIMALIZACJA PROCESU WYTWÓRCZEGO WYROBÓW ZE STALI NIERDZEWNEJ

Wojciech BABIRECKI¹, Justyna CHMIELEWSKA²

Artykuł porusza problem optymalizacji procesu wytwórczego elementów ze stali nierdzewnej. W analizowanym przedsiębiorstwie znaczącą część procesu technologicznego stanowi laserowe wycinanie elementów ze stali. Arkusze blach są oklejone folią zabezpieczającą przed zabrudzeniem, zarysowaniem i uszkodzeniem elementu w trakcie procesu wycinania laserowego. Stosowane dotąd folie zabezpieczające posiadały wiele negatywnych cech. Sprawiły trudność w ich usuwaniu, lub same odklejały się podczas procesu wycinania, prowadząc do zatrzymania procesu lub wręcz do uszkodzenia głowicy tnącej. Celem badań był dobór optymalnego materiału zabezpieczającego, który pozbawiony byłby powyższych wad. W procesie badawczym przeprowadzono analizę FMEA, po czym wyselekcjonowano kilka nowych materiałów zabezpieczających i przeprowadzono badania procesu wycinania elementów z ich wykorzystaniem. Wyniki poddano ocenie i dokonano ostatecznego wyboru optymalnego materiału zabezpieczającego.

Słowa kluczowe: FMEA, obróbka laserowa, optymalizacja procesu, folia zabezpieczająca

1. Wprowadzenie

Procesy wytwórcze w dzisiejszych przedsiębiorstwach produkcyjnych są często procesami złożonymi i skomplikowanymi. W zależności od branży i profilu produkcji są to często procesy wykorzystujące skomplikowane nowoczesne technologie. Im większa złożoność procesu technologicznego, tym więcej potencjalnych źródeł niezgodności i błędów. Nowoczesne przedsiębiorstwa, inwestując w zaawansowane technologie stawiają sobie za cel jak największą wydajność, wysoką jakość oferowanych wyrobów, przy jak najmniejszych kosztach produkcji. Nowoczesne technologie wytwarzania wpływają pozytywnie na realizację stawianych celów. Jednocześnie stopień ich skomplikowania, mnogość zmiennych parametrów procesu, generuje wiele potencjalnych źródeł błędów, wpływających na płynność procesów, koszty wytwarzania i jakość produktu.

W opracowaniu zostanie przedstawione przedsiębiorstwo wytwarzające wyposażenie obiektów gastronomicznych. Firma ta, mając na celu zwiększenie wydajności i jakości wytwarzanych elementów zdecydowała o wdrożeniu

¹ dr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: w.babirecki@iizp.uz.zgora.pl

² inż.; absolwentka kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Uniwersytet Zielonogórski

nowoczesnej technologii laserowego wycinania blach. Zmiana dotychczasowego procesu produkcyjnego spowodowała pojawienie się niewystępujących dotąd problemów technologicznych. W kolejnych punktach opracowania zostanie zaprezentowane przedsiębiorstwo oraz proces technologiczny jednego z podstawowych wyrobów. Przedstawione zostaną analizy procesu, problemy które pojawiły się po zmianie technologii, oraz propozycje sposobu ich rozwiązania.

2. Prezentacja przedsiębiorstwa

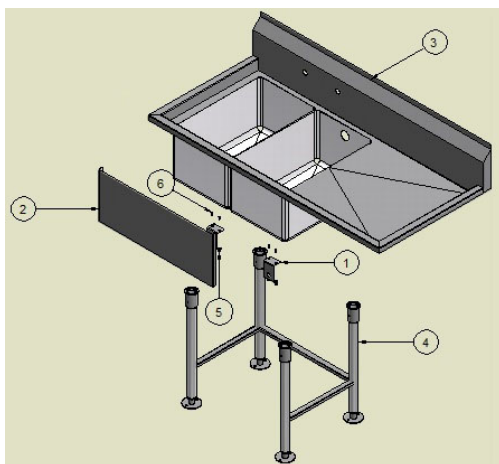
Firma H&K International jest światowym liderem w dostarczaniu kompleksowych rozwiązań obejmujących wyposażenie kuchni obiektów gastronomicznych. Jej głównym odbiorcą są restauracje sieciowe takie jak np. MC Donalds, KFC i inne. Wytwarzane produkty to głównie elementy z wysokiej jakości stali nierdzewnej. Cały sprzęt firmy H&K jest zaprojektowany, skonstruowany i wyprodukowany zgodnie z wymagającymi międzynarodowymi standardami, a najlepsze materiały i zaawansowane techniki produkcji zapewniają atrakcyjność i trwałość produktów. Firma posiada kilka oddziałów min. w USA, Anglii, Meksyku i w Indonezji, zatrudnia około 1300 pracowników i posiada obiekty o łącznej powierzchni prawie 900 tys. stóp kwadratowych, z czego 450 tysięcy to hale magazynowe w takich miejscach jak: Stany Zjednoczone, Kanada, Meksyk, Europa, Afryka Południowa, Chiny, Australia czy Nowa Zelandia. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe produkty firmy H&K International.



Rys. 1. Przykładowe produkty firmy H&K International [9]

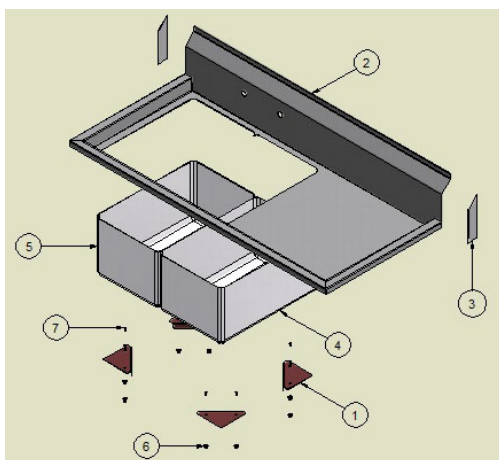
3. Proces technologiczny wybranego wyrobu

Analizowanym procesem technologicznym będzie proces wytwarzania zlewu o numerze produkcyjnym 50374. Gotowy wyrób składa się z 6 podstawowych elementów (Rys. 2). Komponenty gotowego wyrobu to: 1 - wspornik; 2 - panel ochronny; 3 - blat zlewu; 4 - konstrukcja wsporcza; 5, 6 - elementy łączące.



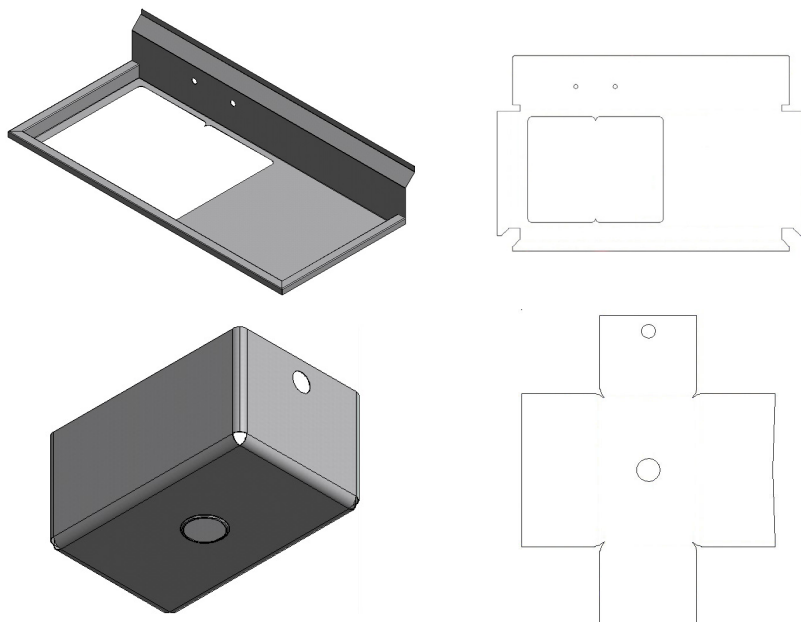
Rys. 2. Rysunek złożeniowy zlewu

Przedmiotem dalszych analiz będzie blat zlewu. Kompletny blat przedstawiono na rysunku 3. Blat zlewu składa się z 7 części. Są to: 1 - wspornik nóg; 2 - płyta górna; 3 - wzmocnienie boczne; 4, 5 - komory zlewu; 6, 7 - elementy łączące.



Rys. 3. Elementy blatu zlewu

Podstawowe elementy blatu zlewu to płyta górna i komory zlewu. Komponenty te są wycinane a następnie gięte na giętarkach krawędziowych.



Rys. 4. Elementy blatu: panel górny i komora, model CAD i rozwinięcie wykroju

Wytwarzanie panela górnego i komór zlewu odbywa się w kolejnych etapach. Pierwszy z nich to wycięcie z arkusza blachy nierdzewnej odpowiednich kształtów. Wiązka lasera Bystronic Bysprint N2 wycina odpowiedni kształt elementu na podstawie rysunku jego wykroju. Następnie za pomocą prasy Amada Promecam każdy element jest gięty w odpowiednich miejscach, by nadać mu ostateczny kształt. Stykające się krawędzie są następnie łączone techniką spawania, po czym zarówno spoiny jak i pozostałe ostre krawędzie są mechanicznie wygładzane za pomocą ściernic. Ostatnim etapem wytwarzania blatu zlewu jest łączenie panelu górnego z komorami i wzmocnieniami bocznymi. Odbywa się to również za pomocą spawania, po czym spoiny są szlifowane, a całość blatu ostatecznie polerowana w celu usunięcia ostrych krawędzi i nadania fakturze ostatecznego połysku.

4. Analiza procesu

Przedstawiony proces został poddany w ostatnim czasie technologicznej modernizacji. Funkcjonująca dotąd technologia cięcia wodnego została zastąpiona technologią wycinania laserowego. Celem wdrożenia nowej technologii cięcia było zwiększenie wydajności procesu oraz zwiększenie dokładności cięcia. Niektóre elementy zlewu i innych wyrobów firmy wymagają bardzo precyzyjnego cięcia. Drobne elementy wycinane z blachy, następnie składane i spawane wymagają bardzo małych odchyłek od wymiarów nominalnych. Odstępstwa od wzorca na poziomie milimetra są niedopuszczalne, wymagają dodatkowych operacji szlifowania krawędzi bądź grubszych spoin. Wpływa to na konieczność wykonywania dodatkowych czynności wydłużających czas procesu, a także na jakość i wygląd ostatecznego komponentu. Przyczyną niedokładności wymiarowych powstałych w procesie cięcia była stara, wyeksploatowana wycinarka wodna. Maszyna ta, mimo częstych napraw i kalibracji, z racji swojego wieku nie była już w stanie zachować wymaganych dokładności. Podjęto decyzję o jej wymianie na nową wycinarkę laserową. Technologia ta jest wydajniejsza i pozwala na uzyskiwanie większych dokładności podczas wycinania precyzyjnych elementów.

Po wdrożeniu tego procesu pojawiły się problemy z procesem wycinania elementów. Proces wbrew założeniom był znacząco mniej wydajny i wolniejszy od pierwotnego. Pojawiła się konieczność wykonywania dodatkowych operacji pomocniczych, które nie występowały w przypadku poprzedniej technologii. W celu wykrycia przyczyn tego zjawiska postanowiono przeprowadzić analizę FMEA procesu wycinania blach.

Aby zdiagnozować cały proces produkcyjny przeprowadzono analizę FMEA dla wszystkich jego elementów. Przeanalizowano kolejno wsporniki, panel ochronny, blat zlewu z miskami, konstrukcję wsporczą. Zarówno z analiz, jak i z obserwacji poszczególnych procesów wynika, że najwięcej problemów pojawiło się w procesie wycinania laserowego elementów blaszanych. W tabeli 1 zamieszczono fragment analizy wycinania laserowego elementów blatu zlewu. Ma to bezpośredni związek ze zmianą technologii wycinania. Problemy w procesie pojawiły się po zastąpieniu dotychczasowego cięcia wodą wycinarką laserową. Zidentyfikowane za pomocą analizy FMEA wady pojawiające się w procesie wycinania wynikają bezpośrednio z wysokiej temperatury cięcia. W poprzednim procesie wzrost temperatury był znikomy, stąd nie występowały problemy, które towarzyszą wycinaniu laserem. Pierwszą z kluczowych wad, jakie pojawiły się w procesie, jest zaburzenie linii cięcia. Wpływa to bezpośrednio na poprawność wycinanego elementu. Powoduje powstawanie błędnie wyciętych elementów, których kształt i wymiar odbiegają od założonych na rysunku. Powstają braki i ewidentne strata materiału, czasu, energii. Wynika to ze sposobu mocowania arkusza na stole wycinarki. Stosowane dotąd sposoby mocowania arkusza sprawdzały się w poprzednim procesie, w którym nie

występowało dostarczanie dużych ilości ciepła. W obecnym procesie, wiązka lasera topiąc wycinany materiał nagrzewa okolice linii cięcia. Powoduje to naprężenia termiczne wyginające i przesuujące w ten sposób arkusz po stole maszyny, szczególnie przy cienkich blachach, a takich używa się do budowy analizowanego wyrobu. Jest to najprostsza do wyeliminowania z wykrytych w procesie analizy wad. Zastosowanie innego sposobu mocowania arkusza blachy na stole, takie jak np. zaciski, blokady boczne, obciążniki, powinny skutecznie wyeliminować nieporządane przesuwanie się blachy po stole podczas cięcia. To zapobiegnie zaburzeniom procesu cięcia i występowaniem wad kształtu wycinanych elementów.

Tab. 1. Fragment analizy FMEA procesu wycinania laserowego

Nr	Nazwa procesu	Potencjalny rodzaj wady	Potencjalny skutek wady	Znaczenie	Potencjalne przyczyny wady	Występowanie	Obecne środki prewencyjne w procesie	Obecne środki detekcji w procesie	Detekcja	RPN
1	wycinanie laserowe	Zaburzenie linii cięcia	Element zbrakowany wadliwy. Strata materiału	7	Niewłaściwe zamocowanie arkusza	5	Szkolenie personelu obsługującego	Sprawdziany wycinanych detali, pomiary, sprawdzanie zgodności z rysunkiem	6	210
		Zbyt mocne przywieranie folii ochronnej do krawędzi cięcia	Konieczność użycia specjalnych narzędzi i zastosowanie kłopotliwego procesu zdzierania folii, podczas którego dochodzi do porysowania powierzchni	7	Niewłaściwy dobór folii	7	brak		8	392
		Odklejanie się folii i powstawanie pęcherzy powietrza	Kontakt folii z głowicą lasera, możliwe uszkodzenie głowicy lasera, zaburzenie linii cięcia w związku z przemieszczaniem się arkusza w wyniku powstających pęcherzy	9	Niewłaściwy dobór folii do procesu technologicznego lub do typu technologii laserowej	8	brak		6	432

Kolejne zidentyfikowane podczas analizy problemy, to zbyt mocne przywieranie folii do krawędzi cięcia, a jednocześnie jej odpażenia i pojawiające się pęcherze powietrza. Nadmierne przywieranie folii w skutek wysokiej temperatury wymagało jej mechanicznego oddzielenia (odrapywanie przy pomocy miedzianego drapak). Powodowało to znaczne wydłużenie procesu. Poza nadmiernym przywieraniem folii do powierzchni blachy, pojawił się problem jej odklejania w innych miejscach, co prowadziło do tworzenia się pęcherzy. One z kolei przyczyniały się do niekontrolowanych ruchów materiału i naruszenia procesu cięcia. Ponadto, powstałe pęcherze unosiły się na tyle, że dochodziło do niepożądanego kontaktu folii z głowicą lasera, skutkiem czego było jego uszkodzenie lub potrzeba serwisowania. Warto też wspomnieć, że do obecnego sposobu zabezpieczenia powierzchni elementów mieli zastrzeżenia odbiorcy gotowych wyrobów firmy H&K, opisując folię zabezpieczającą jako trudną do ściągnięcia.

5. Propozycja zmian

Wyniki przeprowadzonych analiz świadczą bezspornie o tym, że zaburzenia procesu cięcia blach wynikają z nieodpowiedniego zabezpieczenia arkuszy. Bezpośrednim powodem wad procesu jest folia zabezpieczająca blachę. Folia ta jest standardowym zabezpieczeniem arkuszy blach, zabezpiecza je przed zarysowaniem, zabrudzeniem i innymi uszkodzeniami mechanicznymi. Folia tę odrywa się z detalu po ostatecznym jego wykonaniu, a niekiedy nawet wręcz po dostarczeniu wyrobu do klienta. Wykryte wady świadczą o tym, że dotychczasowo stosowana folia zabezpieczająca nie sprawdziła się w przypadku nowowdrożonej technologii wycinania laserowego. Postanowiono, że należy zmienić sposób zabezpieczenia blach i dokonać wyboru innej folii zabezpieczającej. W procesie doboru folii brane będą pod uwagę następujące kryteria:

- kontrolowana przyczepność (formuła warstwy samoprzylepnej), stała na wszystkich etapy obróbki,
- odporność na działanie czynników zewnętrznych,
- zapewnienie możliwości cięcia laserowego w pojedynczym przebiegu,
- łatwość zdejmowania bez rozdarć i uszkodzeń,
- całkowite zabezpieczenie powierzchni, bez śladów lub plam po zdjęciu folii,
- skład chemiczny oraz stan powierzchni, która ma być zabezpieczona folią,
- umożliwienie wizualnej kontroli w trakcie obróbki wyrobu,
- zminimalizowane strat i zmaksymalizowanie procesu cięcia (folie powinny znacząco skracać czas całego procesu cięcia laserowego jednocześnie dobrze zabezpieczając powierzchnie przed powstawaniem plam na stali lub pęcherzy gazowych, które mogą spowodować uszkodzenie głowicy lasera),
- zabezpieczanie oklejonego detalu podczas obróbki, lecz również po jej zakończeniu, podczas magazynowania, składowania i transportu elementów,
- wpływ folii na trwałość narzędzi produkcyjnych,
- szeroka gama wymiarów (długość i szerokość folii),
- możliwość recyklingu zużytych folii.

5.1. Charakterystyka proponowanych materiałów

Postanowiono zmienić dotychczasowy materiał zabezpieczający. Zgodnie z określonymi wcześniej kryteriami zakupiono do prób 4 rodzaje folii znanych producentów: *Nitto Denko* oraz *Novacel*.

Folia nr 1. Nitto Denko SPV 307LA5

Główne cechy: Średni poziom przyczepności, niebieskie linie, produkt nadający się do recyklingu.

Zastosowanie: Produkt do ochrony powierzchni metali takich jak stal nierdzewna, aluminium anodowane, pokrytych metali i podłóg z tworzyw sztucznych takich jak PMMA, polistyren, PCV i PC.

Ważniejsze parametry folii przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Parametry techniczne dla folii Nitto Denko SPV 307LA5 [5]

Cecha	Wartość
Rodzaj kleju	Na bazie kauczuku
Rodzaj folii	Folia polietylenowa
Całkowita grubość	70 μm
Przyczepność do stali	100 cN / 20 mm
Wytrzymałość na rozciąganie	25 N / 20 mm
Wydłużenie	250 %
Odporność na czynniki pogodowe	250 h
Kolor	Czarno-biała z niebieskimi liniami

Folia nr 2. Nitto Denko 3100H5

Główne cechy: Cięcie laserowe stali nierdzewnej powyżej 2 mm, znikome tworzenie się pęcherzyków, funkcjonalny druk, bardzo wysoka przyczepność, produkt poddający się recyklingowi, folia o wysokiej wytrzymałości mechanicznej.

Zastosowanie: Chroni powierzchnię stali w trakcie cięcia laserowego CO₂, N₂ lub O₂.

Ważniejsze parametry folii przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Parametry techniczne dla folii Nitto Denko 3100H5 [6]

Dane	Parametry
Rodzaj kleju	Na bazie kauczuku
Rodzaj folii	Folia polietylenowa
Całkowita grubość	105 μm
Przyczepność do stali	300 cN/20 mm
Wytrzymałość na rozciąganie	min. 23 N/20 mm
Wydłużenie	min. 150%
Odporność na czynniki pogodowe	50 h
Kolor	Biała z nadrukowanymi niebieskimi strzałkami

Folia nr 3. Nitto Denko 3100H3 Light

Główne cechy: Cięcie laserowe stali nierdzewnej do 2 mm, znikome tworzenie się pęcherzyków, wysoka przyczepność, produkt poddający się recyklingowi, folia o wysokiej wytrzymałości mechanicznej.

Zastosowanie: Chroni powierzchnię stali w trakcie cięcia laserowego CO₂, N₂ lub O₂. Ważniejsze parametry folii przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Parametry techniczne dla folii Nitto Denko 3100H3 Light [7]

Dane	Parametry
Rodzaj kleju	Na bazie kauczuku
Rodzaj folii	Folia polietylenowa
Całkowita grubość	100 µm
Przyczepność do stali	170 cN/20 mm
Wytrzymałość na rozciąganie	min. 23 N/20 mm
Wydłużenie	min. 150%
Odporność na czynniki pogodowe	50 h
Kolor	Biała z nadrukowanymi szarymi strzałkami

Folia nr 4. Novacel 4228REF

Główne cechy: Brak tworzenia się pęcherzy, wysoka przyczepność, produkt poddający się recyklingowi, folia o wysokiej wytrzymałości mechanicznej.

Zastosowanie: Chroni powierzchnię stali w trakcie cięcia laserowego CO₂, N₂ lub O₂.

Tab. 5. Parametry techniczne dla folii Novacel 4228REF [8]

Dane	Parametry
Rodzaj kleju	Na bazie gumy
Rodzaj folii	Poliolefiny UV
Całkowita grubość	101,60 µm
Przyczepność do stali	90,39 N/mm
Odporność na czynniki zewnętrzne	3 miesiące
Kolor	Czarny / Jasnoszary

Testy przeprowadzono na arkuszu stali nierdzewnej o wymiarach 3 x 1,5 m o grubości 2,5 mm. Każda próba odbywała się na takim samym zestawie elementów do wycinania. Podczas testów zaobserwowana średnia prędkość cięcia wynosiła 1,9 m/min. Według specyfikacji producenta laser Bystronic osiąga szybkość do 6,4 m/min na testowanym materiale.

5.2. Przebieg badań

Próby przeprowadzono dla wszystkich czterech scharakteryzowanych wyżej rodzajów folii. Zgromadzono niezbędny sprzęt: stoper, przymiar, marker, kamera video, aparat, rękawiczki. Wyczyszczono soczewki lasera i ustawiono wszystkie parametry procesu do standardowego trybu pracy.

Badania przebiegały w następującym porządku:

- na przygotowane arkusze blachy naklejono materiał poddawany próbie – folię chroniącą stal nierdzewną,
- przeprowadzono próby wycinania dla czterech arkuszy pokrytych czterema rodzajami folii,
- dla każdego rodzaju folii wykonano po pięć prób cięcia laserem takich samych elementów,
- zarejestrowano wszelkie zmiany parametrów lasera,
- zarejestrowano wszelkie dodatkowe działania, które należało przeprowadzić w związku z materiałem będącym przedmiotem testów,
- określenie jakości wykroju po zakończeniu procesu wycinania w porównaniu do obecnego standardu,
- wszystkie próby zarejestrowano na nośnikach video.

Wyniki badań zestawiono w tabelach 6-9.

Tab. 6. Wyniki badań przeprowadzonych na folii Nitto Denko SPV 307LA5

Próbka	Występowanie pęcharzy	Niepożądane zatrzymanie lasera	Czas cięcia	Uwagi
1	Tak	Nie	17 min 06 s	-
2	Tak	Nie	18 min 12 s	-
3	Tak	Nie	17 min 35 s	-
4	Nie	Nie	12 min 32 s	-
5	Nie	Nie	16 min 19 s	-

Tab. 7. Wyniki badań przeprowadzonych na folii Nitto Denko 3100H5

Próbka	Występowanie pęcharzy	Niepożądane zatrzymanie lasera	Czas cięcia	Uwagi
1	Nie	Nie	15 min 34 s	-
2	Tak	Nie	15 min 50 s	-
3	Tak	Nie	16 min 01 s	-
4	Tak	Tak	19 min 20 s	-
5	Tak	Nie	17 min 47 s	-

Tab. 8. Wyniki badań przeprowadzonych na folii Nitto Denko 3100H3 Light

Próbka	Występowanie pęcherzy	Niepożądane zatrzymanie lasera	Czas cięcia	Uwagi
1	Tak	Nie	16 min 40 s	Znaczna ilość pęcherzy
2	Tak	Nie	17 min 29 s	Znaczna ilość pęcherzy
3	Tak	Nie	15 min 45 s	Znaczna ilość pęcherzy
4	Tak	Nie	16 min 38 s	Znaczna ilość pęcherzy
5	Tak	Tak	11 min 53 s	Znaczna ilość pęcherzy. Proces cięcia zatrzymany manualnie w celu uniknięcia uszkodzenia lasera.

Tab. 9. Wyniki badań przeprowadzonych na folii Novacel 4228REF

Próbka	Występowanie pęcherzy	Niepożądane zatrzymanie lasera	Czas cięcia	Uwagi
1	Nie	Nie	16 min 00 s	-
2	Nie	Nie	15min 39 s	-
3	Nie	Nie	17 min 49 s	-
4	Nie	Nie	17 min 00 s	-
5	Nie	Nie	16 min 23 s	-

Po przeprowadzonych badaniach określono kryteria oceny testowanych materiałów. Dobrano współczynniki wag dla kryteriów i oceniono testowane materiały. Wyniki zestawiono w tabeli 10.

6. Wnioski

W wyniku badań stwierdzono, że najlepszy i najbardziej satysfakcjonujący wynik uzyskała folia firmy Novacel. Jako jedyna, podczas procesu cięcia laserem nie przyczyniła się do powstawania pęcherzy powietrznych oraz w pełni chroniła stal nierdzewną przy kolejnych etapach procesu obróbki, transportu i składowania. Mimo zbliżonego do innych folii czasu cięcia, w rezultacie to folia Novacel znacznie skróciła całościowy czas procesu, ze względu na brak konieczności zatrzymywania lasera oraz łatwość w jej zdejmowaniu z wyciętego elementu.

Tab. 10. Ocena materiałów i wybór najlepszego rozwiązania

Kryterium	Waga	Testowane folie			
		Nitto Denko SPV 307LA5	Nitto Denko 3100H5	Nitto Denko 3100H3 Light	Novacel 4228REF
Średni czas cięcia	0,5	4	4	4	4
Powstawanie pęcherzy	0,8	2	2	1	5
Zatrzymanie lasera	0,8	1	1	1	5
Łatwość w zdejmowaniu folii	0,5	4	2	2	5
Zabezpieczenie arkusza dla innych procesów	0,7	4	3	3	5
Średnia arytmetyczna		3	2,4	2,2	4,8
Średnia ważona		2,79	2,27	2,03	4,84

Przeprowadzone badania jednoznacznie wykazały, że zastosowanie folii firmy Novacel wpływa znacząco na 3 podstawowe problemy pojawiające się podczas cięcia laserowego czyli zaburzenie linii cięcia, powstawanie pęcherzy powietrznych oraz zbyt mocne przywieranie folii do arkusza stali nierdzewnej. Zastosowana folia została wdrożona, co znacząco wpłynęło na skrócenie czasu procesu, obniżenie kosztów i poprawę jakości wykrawanych elementów.

Literatura

- [1] Cunat P.: *Praca ze stalą nierdzewną*. Polskie tłumaczenie dr inż. Zbigniew Brytan CTP, Warszawa, 2013.
- [2] Huber Z.: *Analiza FMEA procesu*. Internetowe Wydawnictwo Złote Myśli Sp. z o.o., Gliwice, 2007.
- [3] Klimpel A.: *Spawanie zgrzewanie i cięcie metali technologie*. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1999.
- [4] Partington E.: *Zastosowanie stali odpornych na korozję w przemyśle spożywczym*. Euro Inox, 2008.
- [5] http://www.nitto.com/eu/en/products/group/surface/spv_metal/022/ (dostęp: 03.2017)
- [6] http://www.nitto.com/eu/en/products/group/surface/spv_metal/023/ (dostęp: 03.2017)
- [7] http://www.nitto.com/eu/en/products/group/surface/spv_metal/049/ (dostęp: 03.2017)
- [8] http://www.novacelinc.com/pdf/CP_Novacel_4228REF.pdf (dostęp: 03.2017)
- [9] <http://www.hki.com/> (dostęp: 03.2017)

OPRACOWANIE PROTOTYPU STANOWISKA WYTWÓRCZEGO Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY MORFOLOGICZNEJ

Tomasz BELICA¹, Adrian PRUSINOWSKI²

W pracy przedstawiono proces opracowania konstrukcyjnego przykładowego stanowiska wytwórczego z wykorzystaniem analizy morfologicznej. Przedmiotem analizy była kopiarko-frezarka przeznaczona do kopiowania lub rekonstrukcji elementów płaskich lub obrotowych, wykonanych z drewna, tworzywa sztucznego lub aluminium. Podstawowym przeznaczeniem kopiarko-frezarki jest w szczególności produkcja osad do broni myśliwskiej, sportowej, itp. Po zdefiniowaniu założeń projektowych wydzielono podstawowe elementy składowe urządzenia, dla których określono szereg wariantów rozwiązania konstrukcyjnego. Pracę zakończono przedstawieniem modelu 3D urządzenia wraz z opisem oraz jego prototyp.

Słowa kluczowe: metody heurystyczne, analiza morfologiczna, prototypowanie

1. Wprowadzenie

Proces projektowania prototypu urządzenia można określić jako szereg działań mających na celu opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego, zadowalającego określone potrzeby. Pierwszym etapem projektowania prototypowego powinna być identyfikacja potrzeby. Określa się tutaj warunki pracy projektowanego urządzenia, wymagania techniczne i ekonomiczne, kryteria oceny itp. Efektem końcowym powinno być możliwie dokładne zdefiniowanie założeń projektowych. W kolejnym kroku następuje poszukiwanie koncepcji rozwiązania określonego problemu. Prototyp urządzenia uzyskuje tutaj takie cechy jak kształt, forma, funkcjonalność itp., dlatego bardzo istotne jest staranne przeszukiwanie przestrzeni możliwych rozwiązań. Opracowane koncepcje podlegają następnie ocenie według kryteriów sformułowanych podczas analizy problemu. Na tym etapie zaleca się stosowanie metod wspomagających twórczość inżynierską. Wybór określonej metody poszukiwania rozwiązania zależy zazwyczaj od stopnia innowacyjności i od złożoności zadania projektowego.

Istnieje szereg metod wspomagających proces twórczego rozwiązywania problemów inżynierskich, których opisy oraz zastosowania można znaleźć w wielu monografiach [1 - 6, 9, 11]. Do najbardziej znanych i najczęściej wykorzystywanych

¹ dr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: t.belica@ibem.uz.zgora.pl

² mgr inż.; absolwent kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Uniwersytet Zielonogórski

należą metoda burzy mózgów, synektyka, bionika oraz metoda morfologiczna. Metodę burzy mózgów lub jej pochodne stosuje się praktycznie na każdym etapie planowania produkcji, projektowania procesów produkcyjnych lub stanowisk wytwórczych, maszyn i urządzeń. Podstawową zaletą tej metody jest wykorzystanie inwencji twórczej grupy do rozwiązywania określonych problemów. Synektykę Gordona (od nazwiska jej twórcy) można scharakteryzować jako poszukiwanie rozwiązania określonego problemu przez grupę specjalistów różnych dyscyplin. Umożliwia to odejście od typowych rozwiązań poprzez różne sposoby postrzegania danego problemu. Tomczak-Horyń i Knosala [12] stosują metodę synektyczną do poszukiwania innowacyjnego produktu na przykładzie chałwy. Metodę projektowania koncepcyjnego z zastosowaniem synektyki do budowy reprezentacji przestrzeni projektowej zaprezentowali Koziółek, Bochniak i Smolnicki [8]. Bionika w ogólnym zarysie zajmuje się prowadzeniem badań przyrodniczych w celu ich wykorzystania przy rozwiązywaniu problemów technicznych. Badania powiązane z przyrodą stają się coraz bardziej istotną inspiracją dla nowych rozwiązań technicznych, ponieważ coraz wyraźniej zauważa się doskonałość w świecie istot żywych. Przykłady wykorzystania „bioinspiracji” w rozwoju inżynierii produkcji przedstawił Ruczaj [10]. Analiza morfologiczna w ogólnym zarysie jest logiczno-analityczną metodą poszukiwania rozwiązania określonego problemu poprzez systematyczną analizę zbioru rozwiązań cząstkowych danego problemu. W literaturze można znaleźć szereg różnych zastosowań analizy morfologicznej. Ujwary-Gil [13] wykorzystuje ją w celu znalezienia pomysłów na udoskonalone opakowanie produktów firmy Roleski. Kielec [7] zastosował analizę morfologiczną przy projektowaniu automatycznego stanowiska do odmuchiwania powietrzem elementów aluminiowych po obróbce ubytkowej.

2. Założenia metody morfologicznej

Analiza morfologiczna opracowana została przez szwajcarskiego astrofizyka Fritza Zwicky'ego. Zadaniem metody jest zwiększenie obszaru poszukiwań rozwiązania określonego problemu poprzez pobudzenie powstania dużej liczby pomysłów. Z założenia każdy problem może zostać rozwiązany na szereg różnych sposobów. Poprzez problem rozumie się tutaj tworzenie koncepcji rozwiązania konstrukcyjnego dowolnego obiektu technicznego, planowanie lub projektowanie procesu technologicznego/produkcyjnego, rozwój nowych produktów i usług, optymalizacja istniejących obiektów/procesów, itp. Całościowa analiza złożonych problemów jest z reguły problematyczna co powoduje że podczas ich rozwiązywania stosuje się pewne utrwalone schematy. Takie podejście sprawia że otrzymane rozwiązanie może nie być optymalne. Analiza morfologiczna jest jedną z metod wspomagających możliwie racjonalne rozwiązanie problemu.

Metodę morfologiczną można podzielić na trzy etapy. W pierwszym następuje dekompozycja problemu P na podzadania P_i o mniejszym stopniu złożoności, na niższym poziomie w strukturze ogólnej

$$P = \{P_i\}, i = 1, \dots, m.$$

W drugim etapie, dla każdego podzadania P_i następuje poszukiwanie zbioru rozwiązań R_i (przypisanie każdemu z nich rozwiązań częściowych)

$$P_i \rightarrow R_i = \{R_i^j\}, j = 1, \dots, n$$

W zależności od stopnia złożoności problemu można stosować tutaj strukturę wielopoziomową pod warunkiem, że każdy z nich będzie stanowił niezależną morfologię rozwiązań, np.: P_i – podział na główne funkcje urządzenia, R_{ij} – podfunkcje niezbędne do realizacji każdej z funkcji głównych, $S_{ij, k}$ – sposób rozwiązania każdej z podfunkcji, $T_{ij, k, z}$ – technologia wykonania każdego ze sposobów rozwiązania, itd. Podczas poszukiwania zbioru dopuszczalnych rozwiązań zaleca się stosować technikę burzy mózgów. Nie zaleca się już na wstępie eliminowania rozwiązań „trudnych do realizacji”, gdyż tym samym zatracą się twórcze podejście do rozwiązania problemu.

W trzecim etapie następuje kombinatoryczne składanie otrzymanych rozwiązań częściowych w całość, ocena i wybór rozwiązania ze zbioru możliwych rozwiązań całkowitych. Wybór rozwiązania powinien opierać się na podstawie odpowiednio zdefiniowanych kryteriów, ściśle uzależnionych od analizowanego problemu.

Ogólny zapis tablicy morfologicznej przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Ogólny zapis tabeli morfologicznej

Podzadania	Rozwiązania częściowe
P_1	$R^1_1, \dots, R^j_1, \dots, R^n_1$
P_i	$R^1_i, \dots, R^j_i, \dots, R^n_i$
P_m	$R^1_m, \dots, R^j_m, \dots, R^n_m$

Podstawową zaletą i jednocześnie wadą tej metody jest ogromna liczba wyboru rozwiązań, co z jednej strony wspomaga proces twórczy racjonalnego rozwiązania problemu, a z drugiej komplikuje poszukiwanie danego rozwiązania. Dlatego przed przystąpieniem do analizy morfologicznej bardzo istotne jest możliwie dokładne określenie założeń projektowych (żądania/życzenia), które w znaczący sposób pozwolą zawęzić obszar rozwiązań dopuszczalnych oraz skupić się na istocie problemu. Kolejne wady danej metody to potrzeba wstępnego wyobrażenia koncepcji rozwiązania danego problemu, twórcza wyobraźnia zespołu oraz czasochłonność.

3. Opracowanie koncepcji stanowiska wytwórczego

Przedmiotem analizy jest urządzenie służące do kopiowania lub rekonstrukcji elementów wykonanych z drewna, tworzywa sztucznego lub aluminium. Podstawowym przeznaczeniem kopiarko-frezarki będzie w szczególności produkcja osad do broni myśliwskiej, sportowej, itp. Ze względu na niszowy charakter określonych zamówień przewiduje się również możliwość prowadzenia działalności usługowej w zakresie produkcji lub rekonstrukcji innych dowolnych elementów, np. rzeźby, płaskorzeźby, elementy mebli lub antyków, itp. Przewiduje się jednostkowy charakter produkcji. Na rynku można znaleźć urządzenia przeznaczone do określonego celu, jednakże nie spełniają one wymogów przedsiębiorcy. Barierą jest tutaj wysoki koszt tych bardziej profesjonalnych lub niska jakość oraz ograniczone możliwości pracy urządzeń znajdujących się w przystępnej półce cenowej. Dlatego zdecydowano się na produkcję stanowiska dedykowanego pod określone potrzeby przedsiębiorcy.

Przed przystąpieniem do opracowania koncepcji rozwiązania konstrukcyjnego przeprowadzono sesję burzy mózgów (inwestorzy/konstruktor/wykonawca) w celu określenia podstawowych założeń projektowych. Na danym etapie należy dokładnie określić co jest istotne dla przedsiębiorcy i na które elementy należy zwrócić szczególną uwagę, jakim dysponuje budżetem, czy jest to możliwe do wykonania, itp. Należy zwrócić uwagę na istotność danego etapu. Poprawnie zdefiniowane założenia pozwalają na zmniejszenie ewentualnych sprzężeń zwrotnych, które mogą pojawić się na etapie projektowania, jak również ograniczenie możliwych wariantów rozwiązania konstrukcyjnego. Wybrane założenia projektowe zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Lista żądań i życzeń klienta

ZD/ZC	Wymagania
ZD	Kopiowanie elementów obrotowych oraz płaskich
ZD	Zastosowanie w urządzeniu napędu frezarskiego Kress 1050 FME-1
ZD	Maksymalny obszar roboczy dla elementów 3D 1200x300mm (długość x szerokość)
ZD	Maksymalny obszar roboczy dla płaskorzeźb 1300x400mm (długość x szerokość)
ZD	Możliwie duża dokładność kopiowania (małe luzy)
ZD	Łatwość naprawy w razie uszkodzenia lub zepsucia
ZC	Blokada pozycji kąta obrotu
ZC	Zwarta zabudowa
ZC	Prostota konstrukcji, niski koszt wykonania
ZC	Stabilna i wytrzymała konstrukcja
ZD - żądania, ZC - życzenia	

Koncepcję rozwiązania konstrukcyjnego określonego urządzenia opracowano z wykorzystaniem analizy morfologicznej. Na wstępie, w konstrukcji kopiarko-frezarki

wydzielono szereg głównych czynników mających wpływ na budowę urządzenia.

Można wyróżnić tutaj między innymi:

- sposób regulacji długości elementu obrabianego,
- sposób mocowania materiału obrabianego i wzorca,
- docisk podczas mocowania,
- realizacja ruchu liniowego,
- sposób podparcia prowadnic,
- sprzężenie ruchu obrotowego,
- zabudowa mechanizmu obrotowego,
- sposób mocowania frezarki i wodzika,
- materiały zastosowane w konstrukcji urządzenia,
- rodzaj wykorzystywanych profili,
- technologia łączenia poszczególnych elementów.

Pominięto tutaj szereg czynników, które określono już na etapie tworzenia założeń konstrukcyjnych, np. sposób obróbki, rodzaj napędu frezarskiego, możliwość obróbki dwóch lub więcej elementów jednocześnie, mobilność konstrukcji, istotność masy urządzenia, itp. Dla każdego z założonych głównych czynników określono możliwe warianty ich rozwiązania, przyjmując tylko te które są zgodne z danym zadaniem.

Analizę poszczególnych wariantów rozwiązań rozpoczęto od najistotniejszych czynników, mających bezpośredni wpływ na pracę samego urządzenia (założenie takie pozwoliło na szybszą eliminację rozwiązań nieprzydatnych w jej dalszych etapach). W trakcie analizy brano pod uwagę szereg kryteriów spośród których najważniejsze to:

- czynniki wpływające bezpośrednio na dokładność obróbki, np. brak luzów,
- ogólnodostępność części,
- koszt wykonania,
- prognozowana bezawaryjność działania,
- zwartość konstrukcji.

Podczas wyboru najbardziej efektywnych wariantów rozwiązania porównywano wady i zalety każdego z nich, odrzucając te najmniej efektywne.

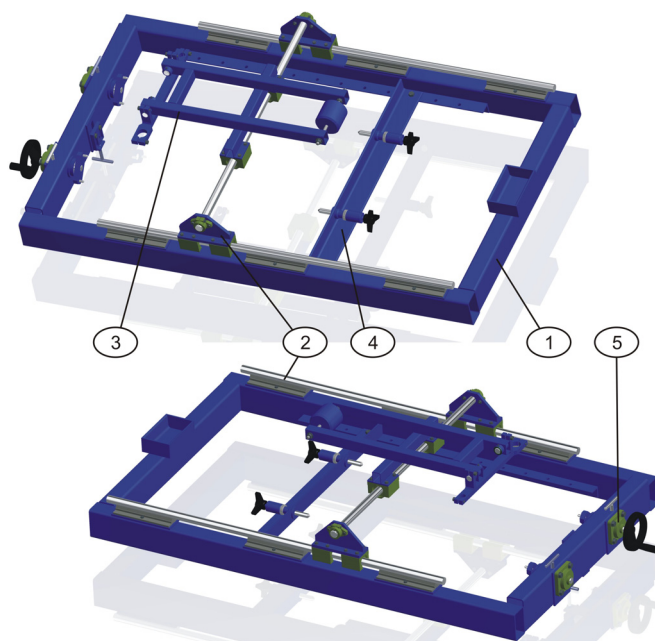
Wybrane podzadania wraz z wariantami rozwiązań częściowych zamieszczono w tabeli 3. Ze względu na obszerność ograniczono się tutaj do przedstawienia najważniejszych czynników oraz branych pod uwagę wariantów rozwiązania. W tabeli 3 pominięto również kolejne rozwinięcia poszczególnych wariantów skupiając się tylko na hasłach (każdy z przedstawionych wariantów miał swoje rozwinięcie na szereg możliwych rozwiązań konstrukcyjnych, których zdefiniowanie wymagałoby konieczności przedstawienia złożonych szkiców). W tabeli oznaczono również najbardziej efektywne rozwiązania dla określonego urządzenia, przy uwzględnieniu założeń projektowych. Krótki opis poszczególnych rozwiązań wraz z uzasadnieniem wyboru zamieszczono w dalszej części pracy.

Tab. 3. Tablica morfologiczna urządzenia frezująco-kopiującego

	Podzadanie (czynnik)	Warianty rozwiązań częściowych				
1	Regulacja długości elementu obrabianego	płynna	skokowa	częściowo płynna	-	-
2	Mocowanie materiału obrabianego i wzorca	kły	kołki	połączenie kształtowe	-	-
3	Docisk podczas mocowania	centralny	niezależny	śruba	mechanizm śrubowy	mechanizm dźwigniowy
4	Realizacja ruchu liniowego	łożyska liniowe	przewodnice liniowe	rolki	-	-
5	Sposób podparcia prowadnic	dwie podpory	trzy podpory	-	-	-
6	Sprzężenie ruchu obrotowego (rodzaj przekładni)	zębata walcowa (listwa + koła)	zębata ślimakowa	łańcuchowa	linowa	pasowa ze sprzężeniem kształtowym

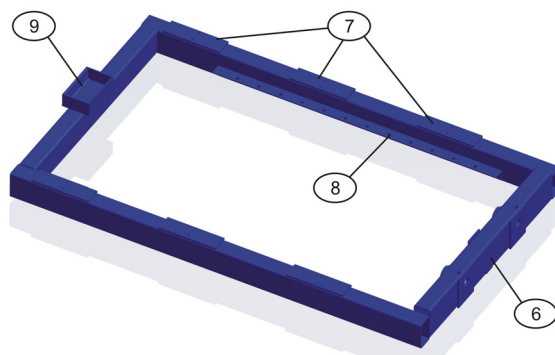
4. Prototyp kopiarko-frezarki

Całościowy model 3D konstrukcji frezarko-kopiarki przedstawiono na rysunku 1. Wyszczególniono tutaj 5 głównych elementów: (1) rama, (2) zespół prowadnic, (3) wózek jezdny, (4) belka tylna oraz (5) mechanizm obrotowy.



Rys. 1. Model 3D frezarko-kopiarki

Konstrukcję ramy (Rys. 2) oraz wózka jezdnego wykonano z kształtownika o przekroju prostokątnym. Na wybór określonego profilu wpływ miały ich niewielki koszt, duża sztywność oraz prostota montażu poszczególnych elementów. Na rysunku wyszczególniono również następujące elementy: (6) belka przednia, (7) miejsca mocowania prowadnicy wzdłużnej, (8) prowadnice belki tylnej oraz (9) gniazdo przeciwwagi.

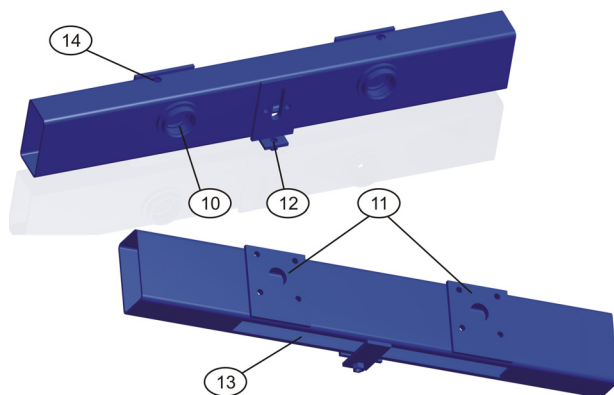


Rys. 2. Rama

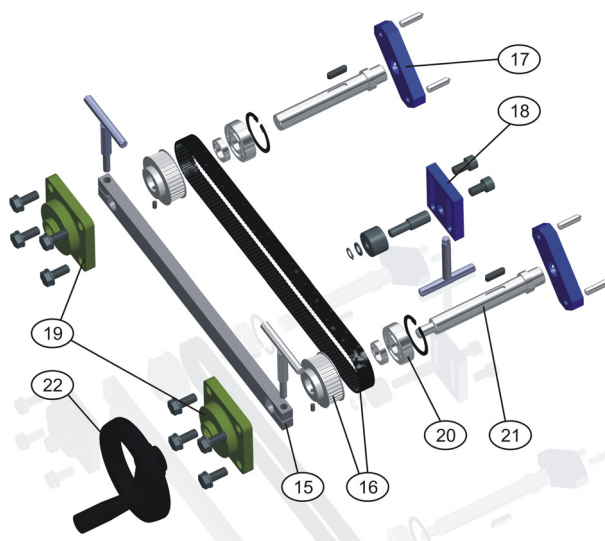
Analizując różne warianty rozwiązań konstrukcyjnych rozważano możliwość płynnego, centralnego przesuwu tylnej belki (poprzez mechanizm dźwigniowy lub śrubowy) w celu montażu elementu obrabianego i wzorca. Pomimo szeregu zalet, rozwiązania te jednak odrzucono ze względu na stopień ich złożoności (większy koszt urządzenia), możliwość wystąpienia różnych długości materiału obrabianego oraz wzorca (konieczność stosowania elementów dystansowych) oraz kolizję danego systemu w przypadku chęci wykonywania płaskorzeźb. W rozwiązaniu przyjęto dwa kątowniki (8) przyspawane do belek bocznych ramy, do których montowana jest belka tylna. Odpowiedni rozstaw otworów wykonanych w kątownikach umożliwia skokowy przesuw belki w zależności od długości obrabianego elementu. Na belce tylnej umieszczono natomiast dwa niezależne mechanizmy śrubowe umożliwiające w określonym zakresie płynne dociśnięcie elementów. W przypadku obróbki płaskorzeźb, do kątowników mocowana jest płyta umożliwiająca osadzenie wzorca i materiału obrabianego.

Kolejnym, bardzo ważnym czynnikiem brany pod uwagę w konstrukcji urządzenia było sprzęgnięcie ruchu obrotowego dwóch osi. Analizowano możliwość zastosowania szeregu różnych przekładni, spośród których wybrano przekładnię pasową ze sprzężeniem kształtowym (przekładnia pasowa synchroniczna z pasem zębatym Powergrip GT3). Podstawowym czynnikiem determinującym wybór były przede wszystkim możliwie małe luzy występujące w przekładni, powodujące zmianę położenia kątownego wzorca względem elementu obrabianego oraz stosunkowo niewielki koszt. Dodatkowo w układzie zastosowano listwę zaciskową umożliwiającą

blokadę kąta obrotu w przypadku obróbki elementów, gdzie wymagana jest bardzo wysoka precyzja. Mechanizm obrotowy umieszczono w belce przedniej ramy stanowiącej jednocześnie osłonę przed zanieczyszczeniami charakterystycznymi dla określonego procesu. Belkę przednią przedstawiono na rysunku 3. Wyróżniono tutaj następujące elementy konstrukcyjne: (10) gniazdo łożyska, (11) miejsca zamocowania oprawy łożyskowej, (12) mocowanie napinacza pasa, (13) otwór umożliwiający montaż elementów mechanizmu obrotowego, (14) otwory na blokadę.



Rys. 3. Belka przednia

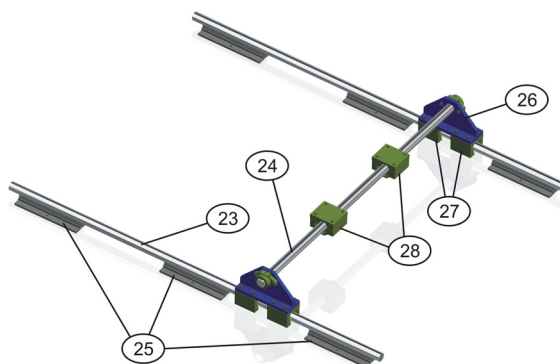


Rys. 4. Mechanizm obrotowy

Główne elementy mechanizmu obrotowego przedstawiono na rysunku 4. Można tutaj wyróżnić: (15) blokada ruchu obrotowego, (16) przekładnia pasowa, (17) kły,

(18) zespół napinacza, (19) oprawy łożyskowe, (20) łożysko poprzeczne (kulkowe skośne), (21) wałek, (22) pokrętło.

W celu umożliwienia przesuwu liniowego (wzdłużnego i poprzecznego) frezarki i wodzika zdecydowano się zastosować łożyska liniowe. Czynniki determinującymi określony wybór, spośród analizowanych możliwości rozwiązań, były duża precyzja prowadzenia, niewielkie luzy, niewielkie rozmiary zabudowy, uszczelnienia zapewniające niewielką obsługę oraz w porównaniu z prowadnicami liniowymi niższy koszt. Ze względu na znaczną maksymalną długość elementu obrabianego (założenia) wałek wzdłużny podparto w trzech miejscach. W tym przypadku zastosowano łożyska w zabudowie otwartej. Ponieważ w przypadku obróbki długich elementów wymagana będzie praca operatora z boku urządzenia, prowadnice łożysk osadzono bezpośrednio na ramie urządzenia. Zespół prowadnic przedstawiono na rysunku 5. Wyróżniono tutaj prowadnicę (wałki precyzyjne) wzdłużną (23) i poprzeczną (24), podpory prowadnic wzdłużnej (25) i poprzecznej (26), łożyska liniowe w obudowie otwartej (27) i zamkniętej (28).

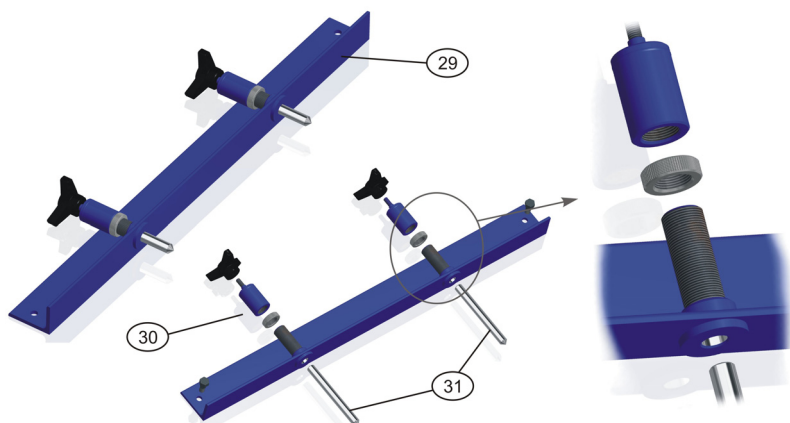


Rys. 5. Zespół prowadnic

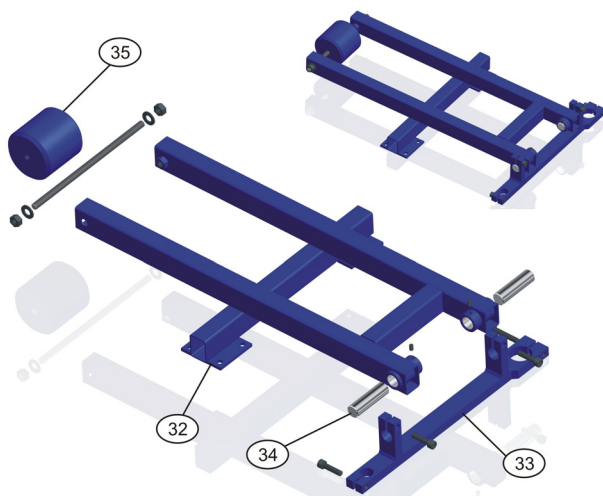
Elementy umożliwiające docisk materiału obrabianego i wzorca w kłach zostały umieszczone w belce tylnej. Rozważano tutaj możliwość docisku bezpośrednio lub pośrednio poprzez śrubę. Podczas obróbki elementów istotne jest zachowanie równoległości osi. Luzy występujące pomiędzy nakrętką i śrubą mogą powodować jej ukosowanie podczas docisku. Czynnikiem tym spowodował wybór droższego, bardziej złożonego rozwiązania, które wraz z belką tylną przedstawiono na rysunku 6.

Ostatnim podzespołem kopiarko-frezarki jest wózek jezdny służący do swobodnej pracy operatora, przedstawiony na rysunku 7. Wózek stanowi konstrukcję ramową w której można wyróżnić miejsca jego mocowania do łożysk liniowych (32), uchwyt do mocowania napędu frezarskiego i wodzika (33). Uchwyt został zamocowany do ramy za pomocą połączenia sworzniowego (34) w celu zapewnienia możliwości

zmiany kąta jego pochylenia. W części tylnej umieszczona została przeciwwaga (35) zapewniająca lekkość pracy frezera.



Rys. 6. Belka tylna



Rys. 7. Wózek jezdny

Dla opisywanego urządzenia wykonano pełną dokumentację techniczną. Prototyp wykonano w przedsiębiorstwie produkcyjnym DECMET w Cigacicach pod Zieloną Górą. Zdjęcia urządzenia w trakcie produkcji oraz pierwszych testów zamieszczono na rysunku 8.



Rys. 8. Prototyp urządzenia w trakcie produkcji i podczas pierwszych testów

5. Podsumowanie

Analiza morfologiczna wydaje się być dość efektywną metodą poszukiwania rozwiązania. Podział problemu projektowego na podzadania o mniejszym stopniu złożoności, znajdowanie dla każdego z nich zbioru rozwiązań, kombinatoryczne składanie tych rozwiązań częściowych w całość oraz ocena i wybór rozwiązania ze zbioru możliwych rozwiązań całkowitych jest pewnym usystematyzowanym sposobem podejścia do rozwiązania określonego problemu. Efektywność danej metody w dużej mierze zależy od składu zespołu badawczego oraz jego podejścia do rozwiązania problemu. Podczas analizy zaleca się stosować inne metody wspomagające twórczość, np. burzę mózgów, bionikę itp. Metodę tą można wykorzystać zarówno do opracowywania zupełnie nowych produktów/rozwiązań jak i modernizacji już istniejących. W pierwszym przypadku założenia początkowe powinny bazować na swobodnej idei. Nie powinno być tutaj elementów podpowiadających rozwiązania, ograniczających swobodę twórczą. Rozwiązania poszczególnych podproblemów powinny opierać się na niekonwencjonalnych pomysłach. Zbyt wczesne pomijanie rozwiązań „trudnych do realizacji” może w tym przypadku skutkować brakiem znalezienia poszukiwanego rozwiązania końcowego. Drugi przypadek zastosowania metody morfologicznej opiera się na założeniu, że nie ma rozwiązania idealnego. Każdy produkt/proces można polepszyć stosując nowe lub standardowe rozwiązania cząstkowe. W tym przypadku przede wszystkim przeszukuje się przestrzeń istniejących rozwiązań cząstkowych, aby po połączeniu w całość uzyskać racjonalne rozwiązanie określonego problemu.

W pracy przedstawiono praktyczne zastosowanie analizy morfologicznej do opracowania prototypu stanowiska wytwórczego. Analizując warianty rozwiązań konstrukcyjnych poszukiwano kompromisu pomiędzy jakością, funkcjonalnością i kosztem produkcji analizowanego urządzenia przy jednoczesnym spełnieniu zdefiniowanych założeń początkowych. Ze względu na obszerność, w pracy nie przedstawiono wszystkich tablic morfologicznych z poszczególnymi podzadaniami. Przedstawiono jedną w której zestawiono najważniejsze dla danego urządzenia funkcje. Skupiono się natomiast na opisie efektu końcowego przeprowadzonej analizy – opracowanego rozwiązania konstrukcyjnego stanowiska wytwórczego.

Literatura

- [1] Altszuller G.: *Elementy teorii twórczości inżynierskiej*. Wyd. Naukowo Techniczne, Warszawa, 1985.
- [2] Antoszkiewicz J.: *Metody heurystyczne*. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 1982.
- [3] Antoszkiewicz J.: *Metody heurystyczne. Twórcze rozwiązywanie problemów*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 1990.
- [4] Branowski B.: *Metody twórczego rozwiązywania problemów inżynierskich*. Wielkopolska Korporacja Techniczna NOT, Poznań, 1999.
- [5] Gordon W.J.J.: *Synectics: The Development of Creative Capacity*. Harper & Row, New York, 1961.
- [6] Isaksen S.G.: *A review of Brainstorming Research: Six Critical Issues for Inquiry*. Creative Problem Solving Group – Buffalo, New York, 1988.
- [7] Kielec R.: *Analiza i ocena prototypowego projektu automatycznego stanowiska do odmuchiwania elementów aluminiowych po obróbce skrawaniem w wybranym przedsiębiorstwie*. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Red. R. Knosala, Opole, T. 1, s. 129-142, 2016.
- [8] Koziołek S., Bocheniak P., Smolnicki T.: *Projektowanie koncepcyjne z zastosowaniem metod heurystycznych*. Zeszyty Naukowe WSOWL, Nr 1 (159), s. 135-144, 2011.
- [9] Proctor T.: *Twórcze rozwiązywanie problemów*. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk, 2002.
- [10] Ruszaj A.: *Bionika w rozwoju inżynierii produkcji*. Mechanik, Nr 5-6, s. 350-355, 2016.
- [11] Samek A.: *Bionika. Wiedza przyrodnicza dla inżynierów*. Redakcja Wydawnictw AGH, Kraków, 2010.
- [12] Tomczak-Horyń K., Knosala R.: *Dobór metody generowania innowacyjnego produktu na przykładzie praktycznym*. Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, Red. R. Knosala, Opole, T. 2, s. 258-269, 2013.
- [13] Ujwary-Gil A.: *Zastosowanie analizy morfologicznej w praktyce biznesowej*. Marketing i Rynek, Nr 5, s. 24-30, 2006.

PROCES WDROŻENIA SYSTEMU ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ W WYBRANEJ ODLEWNI ALUMINIUM

Karol DĄBROWSKI¹, Kamil LEKSYCKI², Katarzyna Skrzypek³

Odlewnictwo jest jednym z najstarszych procesów produkcyjnych. Tradycyjne podejście do tej produkcji ustąpiło miejsca nowoczesnym metodą produkcji. Prowadzenie produkcji w technologii odlewniczej jest obarczone wieloma trudnieniami. Autorzy artykułu przedstawili procedurę odlewu elementów aluminiowych w wybranym przedsiębiorstwie. Celem działalności badanego przedsiębiorstwa jest dostarczanie najwyższej jakości odlewów aluminiowych oraz świadczonych usług w zakresie obróbki mechanicznej. Celem artykułu jest przedstawienie opracowanego specjalnie dla badanego przedsiębiorstwa Systemu Zarządzania Jakością zgodnego z wymaganiami normy PN-EN ISO 9001:2000 oraz ISO14001:2015.

Słowa kluczowe: casting, founding, quality management, foundry industry

1. Wstęp

Przedsiębiorstwa budują swoją przewagę konkurencyjną na optymalizacji procesów produkcyjnych. Poszukiwania oszczędności czasu i nakładów finansowych nie mogą jednak wpływać na pogorszenie jakości świadczonych usług czy samych produktów. Dlatego też przedsiębiorstwa poszukują rozwiązań, które umożliwią im zaoferowanie konkurencyjnej ceny za produkty/usługi zgodne z oczekiwaniami, specyfikacjami przedstawionymi przez klienta.

Badane przedsiębiorstwo to odlewnia, która wykonuje detale głównie w technologii kokilowej. Proces obróbki odbywa się na nowoczesnych centrach obróbczych. Jest to zakład posiadający nowoczesną infrastrukturę i park maszynowy. W celu realizacji projektów przedsiębiorstwo zdecydowało się na opracowanie systemu zarządzania jakością opartego na normach PN-EN ISO 9001:2000 i systemie Zarządzania Środowiskowego ISO14 001. W ramach opracowanego systemu powstał model sekwencyjny, który szczegółowo opisuje etapy procesu produkcyjnego. Proces został wyposażony w elementy permanentnej kontroli prowadzonej na każdym etapie prac – wbudowana jakość.

¹ mgr; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: k.dabrowski@iizp.uz.zgora.pl

² mgr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: k.leksycki@pnt.uz.zgora.pl

³ mgr; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: k.skrzypek@iizp.uz.zgora.pl

2. PN-EN ISO 9001:2000 oraz ISO 14001:2015

W 1979 roku British Standards Institution opublikował dokument, który stał się pierwszym światowym standardem zarządzania systemem jakości - BS 5750. Od 1987 standard ten stał się normą ISO 9000, która zapoczątkowała dalszą serię międzynarodowych standardów. W 1994 roku norma ta została poprawiona i uzupełniona. Kolejne udoskonalone wydanie z 2000 roku zapewniło jej międzynarodowy sukces systemu zarządzania jakością z liczbą ponad 776 000 wydanych certyfikatów wg ISO 9001:2000 w 161 krajach pod koniec 2005 roku. Kolejne „odświeżenie” standardu miało miejsce w roku 2008 [4]. Efektem tych zmian było wydanie normy ISO 9001:2008. Wydana 14 listopada 2008 roku przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną norma, została wydana w języku polskim w lutym 2009 roku przez Polski Komitet Normalizacyjny z oznaczeniem PN-EN ISO 9001:2009. Zastępuje ona normy PN-EN ISO 9001:2001 oraz PN-EN ISO 9001:2008 (wersja oryginalna została przyjęta z oznaczeniem PN-EN w 2008 roku) i jest to jedyna norma zawierająca wymagania dla systemu zarządzania jakością, przeznaczona dla celów certyfikacji. Wydanie standardu oznaczone jako ISO 9001:2015, zawiera szereg zmian, które dotyczą przede wszystkim firm usługowych. Norma PN-EN ISO 9001:2000 opiera się na 8 zasadach zarządzania.

Zasada 1: Orientacja na klienta

Zasada 2: Przywództwo

Zasada 3: Zaangażowanie ludzi

Zasada 4: Podejście procesowe

Zasada 5: Systemowe podejście do zarządzania

Zasada 6: Ciągłe doskonalenie

Zasada 7: Podejmowanie decyzji na podstawie faktów

Zasada 8: Wzajemnie korzystne powiązania z dostawcami

Realizacja tych zasad umożliwia osiągnięcie celów dotyczących jakości oraz pomaga w ciągłym doskonaleniu funkcjonowania organizacji.

W 1992 roku powołany został przez ISO Komitet Techniczny TC 207. Do jego głównych zadań należało przygotowanie zestawu norm dotyczących zintegrowanego systemu zarządzania środowiskowego. Zespół ten do tej pory opracował grupę norm z tzw. serii 14000. Normy te są na bieżąco aktualizowane. Założenia systemu zarządzania środowiskowego opartego na tych normach opierają się na pięciu elementach [11]:

1. polityce środowiskowej,
2. planowaniu,
3. wdrażaniu i funkcjonowaniu,
4. sprawdzaniu,
5. prowadzeniu przeglądu zarządzania (podejmowane przez kierownictwo).

Badane przedsiębiorstwo ma wdrożony System Zarządzania Środowiskowego ISO 14001:2015. Założenia tej normy skupiają się na ścisłym powiązaniu Systemu Zarządzania Środowiskowego z bieżącą działalnością przedsiębiorstwa. Według tych założeń deklarowana przez przedsiębiorstwo ochrona środowiska nie jest wyłącznie zestawem obciążeń ale w głównej mierze jest źródłem szans jakie daje efektywniejsze wykorzystanie zasobów i co bardzo ważne unikanie obciążeń finansowych wynikających z płacenia kar za zanieczyszczanie środowiska naturalnego.

3. Charakterystyka przedsiębiorstwa

W badanym przedsiębiorstwie produkcyjnym wdrożenie systemu zarządzania jakością wykonano zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9001:2000, a także ISO 14001:2015. Wprowadzenie systemu oparto na procedurach zgodnych z charakterem wytwarzanego asortymentu – elementów dla branży energetycznej.

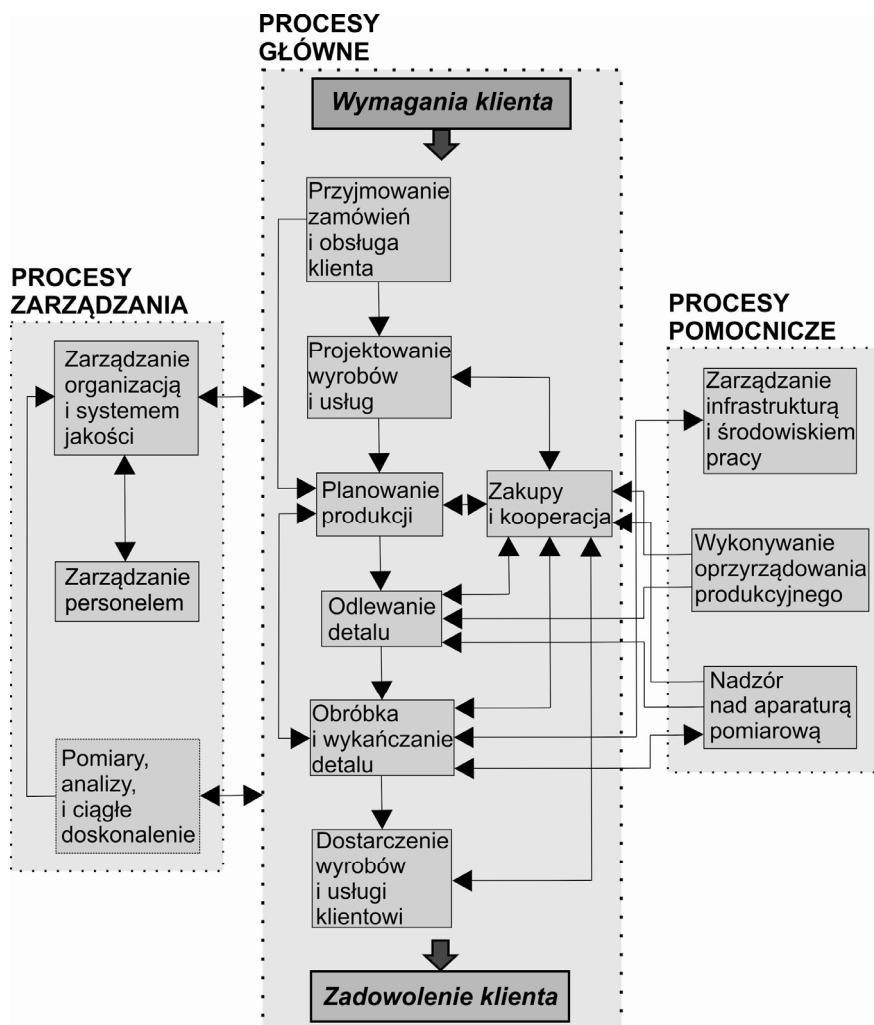
W badanym przedsiębiorstwie wytwarzane są detale aluminiowe. Elementy w procesie produkcyjnym otrzymywane są z metalu topionego oraz przetrzymywanego w specjalistycznych, a także zaawansowanych technologicznie piecach elektrycznych. Wytwarzane elementy uzyskiwane są metodą kokilową, polegającą na odlewaniu metalu do formy metalowej wielokrotnego użytku, a także metodą piaskową jednorazowego przeznaczenia. Odlewane detale otrzymywane są ze stopów Al-Si, a ze względu na specjalne przeznaczenie, cechują się dobrymi właściwościami umożliwiającymi m. in.: obróbkę cieplną, obróbkę mechaniczną o wysokich parametrach skrawania na nowoczesnych centrach obróbkowych, nanoszenie zabezpieczających powłok lakierniczych metodą elektrostatyczną, odporność na wysokie ciśnienie sięgające 2,5 MPa, a także na próby szczelności otrzymywane po montażu.

Wysoko wykwalifikowana kadra pracownicza, a także nowoczesne urządzenia oraz wysokiej jakości aparatura techniczno-pomiarowa przedsiębiorstwa dają sposobność do wytwarzania i spełniania specyficznych wymagań dla wytwarzanych komponentów. Mając na uwadze powyższe, produkowanie tego rodzaju wysokojakościowych odlewów stanowi silną ofertę na rynku krajowym oraz zagranicznym. Dodatkowo, wysoka jakość odlewanych wyrobów powoduje, iż organizacja stała się i jest wiarygodnym oraz rzetelnym partnerem dla przedsiębiorstw stawiających na pierwszym miejscu jakość, a także niezawodność.

W związku z tym, iż w firmie występują nowoczesne metody produkcji o wysokich standardach, a prowadzenie produkcji w technologii odlewniczej obarczone jest wieloma utrudnieniami, opracowano i wdrożono do przedsiębiorstwa System Zarządzania Jakością zgodny z wymaganiami normy PN-EN ISO 9001:2000 oraz ISO 14001:2015. Opracowany model przedstawiono w kolejnych rozdziałach.

4. Model sekwencji Systemu Zarządzania Jakością dla wybranego procesu produkcyjnego

Wprowadzenie normy PN-EN ISO 9001:2000 oraz ISO 14001:2015 determinują procesy prowadzone w przedsiębiorstwie. Czynności charakteryzuje się poprzez wyodrębnienie realizowanych procesów, które składają się na całościowy proces produkcyjny wyrobu lub usługi.



Rys. 1. Model sekwencji działań dla odlewni aluminium

Na rysunku 1 przedstawiono model sekwencyjny opracowany i wdrożony w przedsiębiorstwie. Model ten wyodrębnia i uporządkowuje działania, co wpływa na poprawę zarządzania procesem produkcyjnym w przedsiębiorstwie. Schemat podzielony został na trzy grupy procesów, każda z grup składa się z określonych szczegółowo działań wewnątrzgrupowych. Zarządzanie Jakością w procesie produkcyjnym zlokalizowane jest w grupie procesów głównych. Na zespół działań składają się elementy procesu produkcyjnego - począwszy od wymagań określonych przez klienta, a skończywszy na uzyskaniu jego zadowolenia. Do zbioru czynności będących w grupie procesów głównych zalicza się: przyjmowanie zamówień i obsługa klienta, projektowanie wyrobów i usługi, zakupy i kooperacja, planowanie produkcji, odlewnie detalu, obróbka i wykańczanie detalu, dostarczenie wyrobów i usługi klientowi. Procesy główne wspomagane są przez procesy zarządzania oraz pomocnicze. Procesy zarządzania mają na celu scharakteryzowanie organizacji, ustalenie odpowiedzialności, zdefiniowanie uprawnień oraz określenie zakresu wymagań względem kadry kierowniczej. Skład elementów grupy zarządzania przedstawia się następująco: zarządzanie organizacją i systemem jakości, zarządzanie personelem, pomiary, analizy i ciągłe doskonalenie. Następną grupą działań wspomagającą procesy główne to procesy pomocnicze, mają one na celu m.in.: zabezpieczenie środowiska pracy, utrzymanie w sprawności wszelkich urządzeń, a także nadzór nad kalibracją aparatury pomiarowej. W tym zespole procesów wyróżnia się: zarządzanie infrastrukturą i środowiskiem pracy, wykonywanie oprzyrządowania produkcyjnego oraz nadzorowanie nad aparaturą pomiarową.

Składające się na model sekwencji działań procesy główne, zarządzania, pomocnicze oraz elementy składowe tych grup, zgodnie z wymogami określonymi przez normy posiadają wszelkie dane. Opisują one osoby odpowiedzialne za działania w poszczególnych procesach, wskaźniki pomiarowe poszczególnych procesów, opisu przebiegu oraz nadzór nad poszczególnymi działaniami w całym procesie produkcyjnym, a także wykaz pełnej dokumentacji operacyjnej dotyczącej planu realizacji zadań, jak również dokumentacji, w której gromadzone są opisy z ich przebiegu.

Dodatkowo, w celu określenia algorytmów postępowania, dla każdego z procesów utworzono dokumentację systemową w formie książki. Opisano w niej, w sposób rzeczowy oraz szczegółowy, w oparciu o diagramy, tabele i rysunki model postępowania dla poszczególnych działań.

5. Proces zarządzania jakością w badanej odlewni

Zarządzający przedsiębiorstwem określili kierunek rozwoju firmy, którą jest dostarczanie najwyższej jakości odlewów aluminiowych oraz usług obróbki mechanicznej. Zobowiązanie to wymaga zdeklarowanie w systemie kluczowych działań gwarantujących jakość wyrobów. Oprócz standardowych wymagań zawartych w normach, znalazły się tam zapisy dotyczące kluczowych działań zapewniających jakość produkowanych odlewów. Działania te prowadzone są w 5 procesach.

Pierwszy z nich dotyczy opracowania procedury weryfikującej wymagania klientów zamawiających odlewy z produktem finalnym. Procedura ta opisuje również postępowanie mające na celu usunięcie ewentualnych rozbieżności. Proces ten rozpoczyna się od zamówienia od klienta. Są trzy formy zamówienia: zapytanie ofertowe, zamówienie bezpośrednie na uruchomienie produkcji lub na asortyment, którego produkcja jest uruchomiona. W zależności od rodzaju zamówienia prowadzona jest wstępna weryfikacja możliwości wykonania, terminu i ewentualnie wyjaśnienia rozbieżności w obszarze technicznych wymagań, kosztów lub ewentualnych innych spraw handlowych. W ramach tych działań opracowywana jest „Karta wstępna”, w której znajdują się opinie komórek organizacyjnych biorących bezpośredni udział w przygotowaniu produkcji, jej planowaniu i realizacji. Karta po przeglądzie jest zatwierdzana przez Dyrektora ds. Produkcji i stanowi podstawę do dalszych działań.

Kolejny proces to techniczne przygotowanie produkcji odlewów. Dla omawianego asortymentu odlewów planowanie realizacji wyrobów jest procesem złożonym i obejmuje kilka faz. Fazą podstawową jest przegląd dokumentacji technicznej odlewów oraz wyjaśnienie z klientami wszelkich niejasności zarówno konstrukcyjnych jak też wynikających z norm technicznych. Po przeglądzie dokumentacja zostaje zatwierdzona przez uprawnione osoby i stanowi wiodący dokument do dalszych działań, tj. przygotowania oprzyrządowania modelowego, kart technologicznych oraz wyposażenia do obróbki mechanicznej. Dla nowych projektów podstawowym dokumentem jest „Karta rozwoju projektu”, w której znajdują się zapisy dotyczące różnych aspektów uruchamianej produkcji. Zakres informacji zawartych w „Karcie rozwoju projektu” dotyczy prac podejmowanych w tym działaniu od jego początku na wynikach kontroli partii pilotażowej odlewów kończąc. Na podstawie dokumentacji z „Karty rozwoju projektu” przygotowuje się partię pilotażową, która trafia do klienta. Po akceptacji przez klienta partii pilotażowej, „Karta rozwoju projektu” stanowi podstawę do opracowania dokumentów operacyjnych produkcji i zatwierdzenia danej pozycji do uruchomienia produkcji.

Następny proces polega na opracowaniu dokumentacji opisującej weryfikację odlewów na odpowiednich etapach produkcji oraz metody kontroli, badań oraz zawiera dokumentację zawierającą kryteria odbioru.

Na potrzeby realizacji nowych projektów opracowywany jest „Plan kontroli”. Dokument ten jest zbiorem informacji dotyczących kontroli procesu produkcyjnego. Określa dokładnie, po których operacjach technicznych ma być wykonana kontrola, ze szczegółowym wskazaniem metody pomiaru lub kontroli (wizualnej, pomiarów, badania próbki). Dokument zawiera ponadto informacje dotyczące kryteriów akceptacji, spis aparatury lub przyrządów, które muszą być wykorzystane do kontroli, częstotliwość pomiarów, osoby uprawnione do wykonywania kontroli, a nawet miejsce, w którym pomiary będą prowadzone. Dokumentacja ta sporządzana jest dla każdego wykonywanego odlewu i przekazywana do Kierownika Produkcji oraz kontrolerów. Na jej podstawie prowadzona jest dokładna ewidencja produktu wraz z informacją czy dany detal spełnia wymagania, czy wymaga naprawy lub odrzucenia. Wymagania zawarte w „Planie kontroli” nie zwalniają pracowników z obowiązku prowadzenia permanentnej kontroli wizualnej. Klasyfikacja detali odbywa się za pomocą kolorowych zawieszek. I tak czerwona zawieszka oznacza brak, żółta naprawa, zielona produkt dopuszczony. Naprawa dokonywana jest za zgodą klienta uzyskaną na etapie zamówienia.

Odlewy wykonywane są w technologii kokilowej. Proces obróbczy wykonywany jest na obrabiarkach numerycznych. Na każdym stanowisku znajdują się instrukcje stanowiskowe i operacyjne. Operatorzy posiadają diagramy programów nastawczych obróbki mechanicznej odlewów oraz wyposażeni są w narzędzia pomiarowe do weryfikacji zgodności wymiarów. Weryfikacje wykonywane są na każdym etapie obróbczym.

Ostateczny proces dopuszczenia wyrobu odbywa się poprzez kontrolę wykonywaną przez kontrolerów z działu jakości. W „Karcie kontrolerów” znajdują się uprawnienia kontrolerów, wzory podpisów i symbol cech nadawanych na odlewach spełniających wymagania prób ciśnieniowych lub szczelności.

Odlewy, które nie przeszły ostatecznej kontroli wraz z opisem „BRAK” trafiają do separatora braków. Naprawy dokonywane są za zgodą klienta i prowadzone są w miejscach oznaczonych żółtym kolorem. Partie odlewów spełniających wymagania specyfikacji posiadają zielone etykiety podpisane przez kontrolerów. Dokumentacja kontroli końcowej zapisana jest w szczegółowych rejestrach:

1. produkcji obróbki mechanicznej,
2. badań szczelności odlewów,
3. orzeczeń pomiarowych,
4. kontroli twardości,
5. ostatecznej kontroli wyrobów.

6. Podsumowanie

Opracowany system zarządzania jakością w wybranej odlewni umożliwia prowadzenie sprawnego procesu kontroli jakości wyrobów bez zbędnego zakłócenia procesu produkcyjnego. Opracowane wytyczne do systemu oparte zostały na normach PN-EN ISO 9001:2000 oraz ISO 14001:2015. Model sekwencyjny wdrożony w zakładzie umożliwił ściślejszą kontrolę procesu produkcyjnego na każdym etapie produkcji, co wpłynęło na możliwość szybkiej reakcji i eliminację powstawania braków w całych partiach odlewów. Zastosowany model jest elastyczny, dzięki czemu ewoluuje razem ze zmieniającymi się wymaganiami klientów. Cecha ta wpisuje się w idee ciągłego doskonalenia i daje możliwość ciągłej poprawy procesu, produktu i satysfakcji klienta, co ma istotny wpływ na wzrost konkurencyjności odlewni.

Literatura

- [1] Błaszowski K.: *Technologia formy i rdzenia*. WSiP, Bielsko-Biała, 1975.
- [2] Chudzikiewicz R., Briks W.: *Podstawy metalurgii i odlewnictwa*. PWN, Warszawa, 1977.
- [3] Górny Z., Lech Z.: *Odlewanie kokilowe stopów metali nieżelaznych*. WNT, Warszawa, 1975.
- [4] Karaszewski R., Skrzypczyńska K.: *Zarządzanie jakością*, Toruń, 2013.
- [5] Lewandowski L.: *Materiały formierskie. Laboratorium*. Wyd. AGH, Kraków, 1997.
- [6] Longa W.: *Krzepnięcie odlewów w formach piaskowych*. Wyd. Śląsk, Katowice, 1973.
- [7] Murza-Mucha P.: *Techniki wytwarzania - odlewnictwo*. PWN, Warszawa, 1978.
- [8] Perzyk M., Waszkiewicz S., Kaczorowski M., Jopkiewicz A.: *Odlewnictwo*. WNT, Warszawa, 2000.
- [9] *Poradnik inżyniera. Odlewnictwo*. WNT, Warszawa, 1986.
- [10] Tabor A.: *Wybrane zagadnienia z odlewnictwa*. WPK, Kraków, 1998.
- [11] Zymonik Z., Hamrol A., Grudowski P.: *Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2013.

ZASTOSOWANIE METODY DFA W PROCESIE PROJEKTOWANIA CYLINDRA HYDRAULICZNEGO

Daniel DĘBOWSKI ¹, Bartosz ŻABIŃSKI ²

W pracy przedstawiono proces projektowania cylindra hydraulicznego ze szczególnym uwzględnieniem analizy DFA. Wstępnie zaprojektowaną konstrukcję cylindra podzielono na poszczególne zespoły, które następnie poddano analizie połączeń między ich częściami składowymi. Przeprowadzono ocenę możliwości montażu poszczególnych zespołów z pominięciem a następnie z uwzględnieniem wytycznych metody DFA. Przeprowadzono krytyczną analizę otrzymanych wyników po której zoptymalizowano konstrukcję pod kątem montażu i demontażu.

Słowa kluczowe: montaż, sekwencja montażu, projektowanie dla montażu (DFA)

1. Wstęp

Jakość produktu przemysłowego kształtowana jest w procesie jego realizacji, w trakcie projektowania, wytwarzania i montażu. Największe znaczenie ma proces projektowania, ponieważ powinien uwzględniać wymagania technologiczne oraz montażowe. W nurcie tego procesu powstało wiele metod ukierunkowanych na różne aspekty projektowania. Jedną z nich jest metoda projektowania pod kątem montażu DFA (*ang. Design For Assembly*). W literaturze można spotkać wiele prac poświęconych tej tematyce [1, 2, 3]. Metoda ta polega na analizie projektu w celu ułatwienia jego montażu, zmniejszeniu ilości części składowych oraz potrzebnego czasu składania a co za tym idzie minimalizacji kosztów produkcji. Większość opracowanych w ciągu ostatnich piętnastu lat metod stosowania DFA znajduje najszerze zastosowanie przy tworzeniu projektu finalnego wyrobu. Coraz częściej jednak proponuje się ich wdrożenie w możliwie wczesnym etapie projektowania [2, 4]. Uwzględnienie wszystkich wymagań procesu montażu już w fazie początkowej projektowania jest zadaniem bardzo skomplikowanym, dlatego też zastosowanie tej metodologii sprowadza się do intuicyjnego uwzględniania wymogów montażu, możliwych do przestrzegania w danym momencie procesu projektowania. Bardzo ważne jest zapewnienie projektantowi odpowiedniego narzędzia, umożliwiającego mu analizę i ocenę tworzonej przez niego konstrukcji pod kątem wydajności montażowej. W literaturze znaleźć można wiele różnych

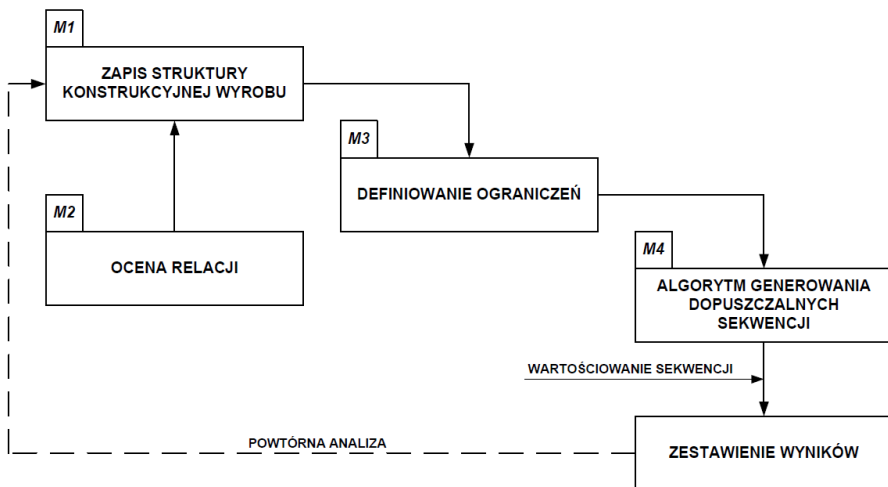
¹ dr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: d.debowski@ibem.uz.zgora.pl

² mgr inż.; absolwent kierunku Mechanika i Budowa Maszyn, Uniwersytet Zielonogórski;
e-mail: zabinski.bartosz@wp.pl

metod oceny konstrukcji zgodnie z zasadami DFA. Jedną z nich jest wskaźnik oceny połączeń montażowych q_a opracowany na podstawie wiedzy ekspertów oraz analiz prowadzonych w przedsiębiorstwach [2]. Innym przykładem są nowoczesne aplikacje jak np.: prototypowy program komputerowy do tworzenia zbioru dopuszczalnych wariantów kolejności montażu urządzeń mechanicznych z uwzględnieniem DFA dostosowany do projektowania współbieżnego [6]. Tego typu aplikacje pozwalają na obniżenie wydatków związanych z wytwarzaniem przez co są coraz szerzej stosowane i zdobywają coraz większe uznanie.

2. Podstawowe założenia metody

Zastosowana w pracy metoda wyznaczania zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu oraz ich wartościowaniu i selekcji została opracowana na podstawie koncepcji zaproponowanej i szczegółowo opisanej w pracach [5, 6]. Metoda ta jest zaliczana do grupy formalnych metod klasycznych. Posiada ona cztery podstawowe części (moduły) (Rys. 1).



Rys. 1. Moduły metody i relacje pomiędzy nimi [6]

W pierwszym module (M1) następuje identyfikacja wszystkich relacji kontaktowych pomiędzy częściami którą następnie przedstawia się w postaci macierzy struktury konstrukcyjnej M_k o rozmiarze $n \times n$ (gdzie n jest liczbą części składowych). W drugim module (M2) relacje z modułu pierwszego poddawane są ocenie według wskaźnika q_a zaczerpniętego z literatury [2]. Ma on na celu uzyskanie informacji na temat poziomu skomplikowania konstrukcji analizowanego wyrobu i jego elementów składowych pod względem montażu.

Wskaźnik q_a składa się z:

- charakterystyki dotyczącej chwytania i podawania komponentu – h_p ,
- charakterystyki procesu dotyczącego łączenia komponentów – f_p .

$$f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H \quad (1)$$

gdzie: A – prawidłowość łączenia części pod kątem funkcji zespołu; B – pozycjonowanie dwóch łączonych elementów; C – orientowanie dwóch elementów; D – kierunek łączenia elementów; E – sposób łączenia części; F – ograniczenia dotyczące kontroli i dojścia do połączenia; G – możliwe utrudnienia, np. osiowanie; H – opory łączenia części.

Składowa D określa, ile zmian kierunku ruchu łączonych elementów wymaga dana sekwencja montażu. Wpływa więc na wartościowanie sekwencji i preferowanie tych, które wymagają mniejszej ich liczby. Osiągnięcie tego zostało umożliwione poprzez dodanie do składowej współczynnika przekierowania d . Mnożony jest on przez składową D , a jego wartość ustalana jest przez użytkownika. Wynikiem tego możemy ocenić poszczególne sekwencje montażu w taki sposób, że im większa wartość składowej D , tym trudniejsza do wykonania sekwencja montażu. Wzór na wskaźnik f_p przyjmuje wtedy postać [5]:

$$f_p = A \times B \times C \times (d \cdot D) \times E \times F \times G \times H \quad (2)$$

Do obliczania wartości wskaźnika oceny sekwencji montażu służy wzór:

$$Q = \sum_{i=1}^j q_a \quad (3)$$

gdzie: i, j - kolejne połączenia analizowanej sekwencji.

Wartościowanie sekwencji montażu polega na tym, że im niższa wartość wskaźnika oceny Q , tym korzystniejsza sekwencja. Najniższą możliwą wartością Q jest $Q = n \cdot 1.0$, gdzie n jest ilością połączeń w ocenianej sekwencji montażu.

Moduł trzeci (M3) to zbiór ograniczeń ustalający liczbę teoretycznych sekwencji montażu. Ograniczenia kolejnościowe są bardzo istotne w procesie poszukiwania optymalnej sekwencji montażu. Dotyczą one wszystkich połączeń ujętych w macierzy M_k , które podzielić można następująco:

- połączenie startowe (p_s) – połączenie dwóch części, rozpoczynające sekwencję montażu, służy ono do określenia części bazowych sekwencji,
- połączenie „pomiń” (p_p) – połączenie nie uwzględniane w sekwencji montażu,
- połączenie blokujące (p_b) – połączenie uniemożliwiające uzyskanie kompletnego wyrobu w dalszym etapie sekwencji montażu. Definiuje ono połączenia, które nie mogą być przedwcześnie wykonane. Jest to najważniejsze ograniczenie, patrząc pod kątem ustalania poprawnej sekwencji montażu.

Połączenia blokujące są definiowane za pomocą operatorów „i” (\wedge) oraz „lub” (\vee). Operator „i” przypisany do połączeń blokujących ($p_{b1} \wedge p_{b2} \wedge \dots \wedge p_{bn}$) mówi nam, że połączenie p_n dla którego zostały zdefiniowane połączenia blokujące, może być wykonane w sytuacji, gdy nie wszystkie połączenia blokujące zostały zrealizowane. Oznacza to, iż dla połączenia p_n może być zrealizowanych $n-1$ połączeń blokujących, gdzie n oznacza ich liczbę. W przypadku, gdy zrealizowane zostaną wszystkie połączenia blokujące, nie można będzie zrealizować połączenia p_n .

Przypisanie operatora „lub” (\vee) do połączenia blokującego ($p_{b1} \vee p_{b2} \vee \dots \vee p_{bn}$), mówi nam, że połączenie p_n dla którego zostały zdefiniowane połączenia blokujące, należy wykonać przed połączeniami blokującymi. Oznacza to, że jeżeli chociażby jedno połączenie blokujące zostanie wykonane, to niemożliwe będzie wykonanie połączenia p_n .

Moduł ostatni (M4) służy do generowania dopuszczalnych sekwencji montażu. Liczba możliwych kombinacji przy coraz większej liczbie elementów rośnie według prawa silni (permutacje n elementowego zbioru, gdzie n - ilość części składowych wyrobu). Zatem, przy dużej liczbie elementów systematyczna analiza wszystkich wariantów bez odpowiednio wspomagającego narzędzia komputerowego jest praktycznie niewykonalna.

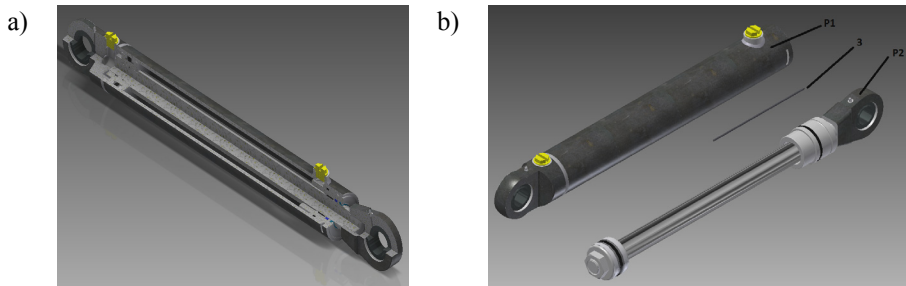
3. Analiza DFA siłownika hydraulicznego

Celem analizy DFA jest ułatwienie procesu montażu poprzez niewielkie zmiany konstrukcji oraz wyznaczenie najbardziej wydajnych sekwencji montażu. Analiza projektu polega na podziale konstrukcji na poszczególne podzespoły i analizie połączeń między częściami składowymi tych podzespołów.

Pierwszym krokiem jest stworzenie macierzy zależności analizowanych podzespołów, w której zapisane zostaną wszystkie możliwe połączenia pomiędzy częściami składowymi podzespołów. Następnie usunięciu zostaną poddane połączenia nieistotne lub niemożliwe do realizacji i stworzona zostanie macierz zredukowana. Na podstawie tej macierzy stworzone zostaną możliwe sekwencje montażu bazując na połączeniach startowych oraz ograniczających. Po czym na ich bazie zostaną poddane analizie połączenia między częściami składowymi i wyznaczone wskaźniki f_p oraz finalnie q_a .

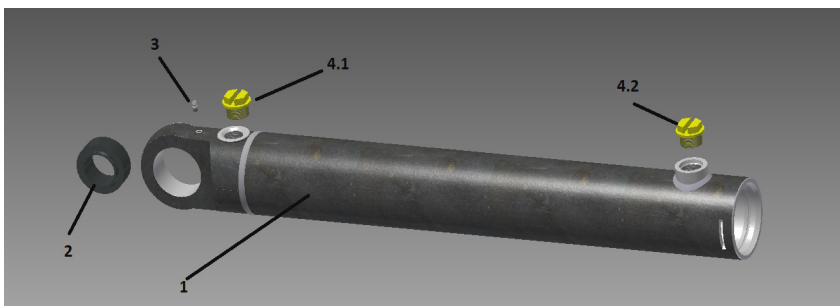
3.1 Analiza istniejącej konstrukcji

W celu przeprowadzenia analizy konstrukcji zaprojektowany siłownik hydrauliczny podzielono na dwa podzespoły oraz element w postaci drutu zabezpieczającego (Rys. 2). Analizie zostaną poddane kolejno podzespół pierwszy, następnie drugi. Na końcu analiza obejmie połączenie dwóch podzespołów z drutem zabezpieczającym.



Rys. 2. Budowa siłownika hydraulicznego: a) widok złożenia konstrukcji; b) widok podzespołów: P1, P2, 3.

Podzespół P1 (Rys. 3) składa się z 5 części składowych. Bazową częścią zespołu jest obudowa cylindra, zawierająca części spawane (tuleja cylindra, korpus, króciec) nie poddane analizie DFA i przyjętej jako jedna część składowa.



Rys. 3. Podzespół P1- obudowa cylindra: 1- obudowa cylindra, 2- łożysko przegubowe, 3- smarowniczka, 4.1 i 4.2- zaślepka transportowa.

Dla podzespołu P1 stworzono macierz wszystkich połączeń montażowych i zależności M_k (Tab. 1). Niektóre z połączeń macierzy zależności są nieistotne bądź niemożliwe do realizacji. Po ich odrzuceniu powstaje macierz zredukowana zależności M_k zaprezentowana w tabeli 2.

Tab. 1. Macierz zależności M_k podzespołu P1

	P1				
	1	2	3	4.1	4.2
1		x	x	x	x
2	x				
3	x				
4.1	x				
4.2	x				

Tab. 2. Macierz zredukowana zależności M_k podzespołu P1

	P1 zredukowane				
	1	2	3	4.1	4.2
1					
2	x				
3	x				
4.1	x				
4.2	x				

W kolejnym etapie możliwe do realizacji sekwencje poddano ocenie za pomocą wskaźników f_p oraz h_p . Wyniki oceny przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Ocena połączeń montażowych w podzespolu P1

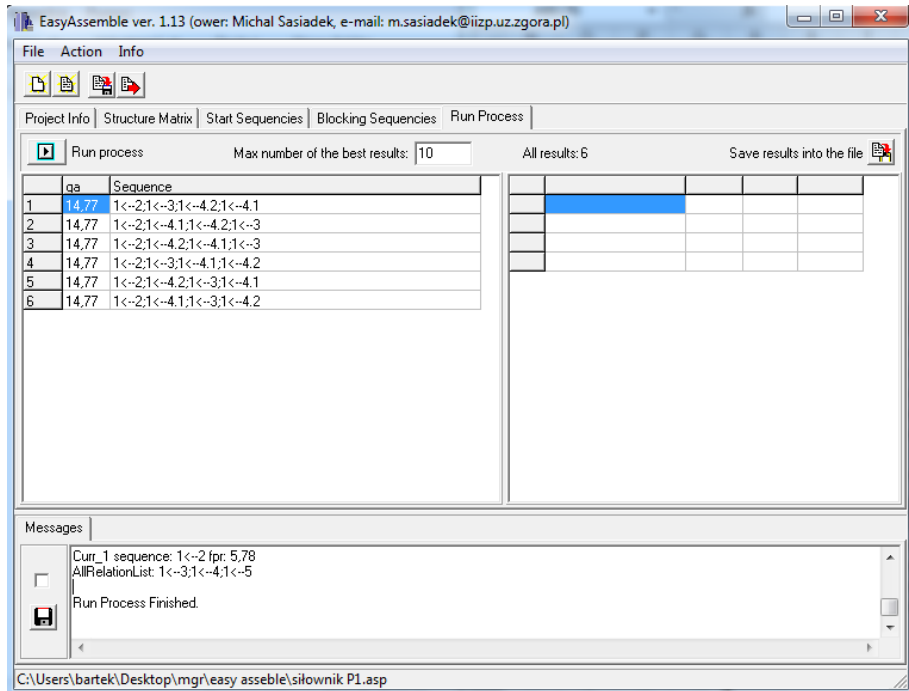
Połączenie montażowe	Składowe składnika $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1 ← 2	1	2,5	1,1	1	1	1	1,4	1,5	5,78	1	5,78
1 ← 3	1	1	2	1	1	1	1	1,5	3	1	3
1 ← 4.1	1	1	2	1	1	1	1	1,5	3	1	3
1 ← 4.1	1	1	2	1	1	1	1	1,5	3	1	3

Następnie stworzono zestawienie połączeń montażowych i ograniczeń w podzespolu (Tab. 4). Jako startowe zdefiniowano połączenie łożyska poz. 2 z tuleją cylindra poz. 1, natomiast połączeń blokujących w analizowanym zespole nie stwierdzono.

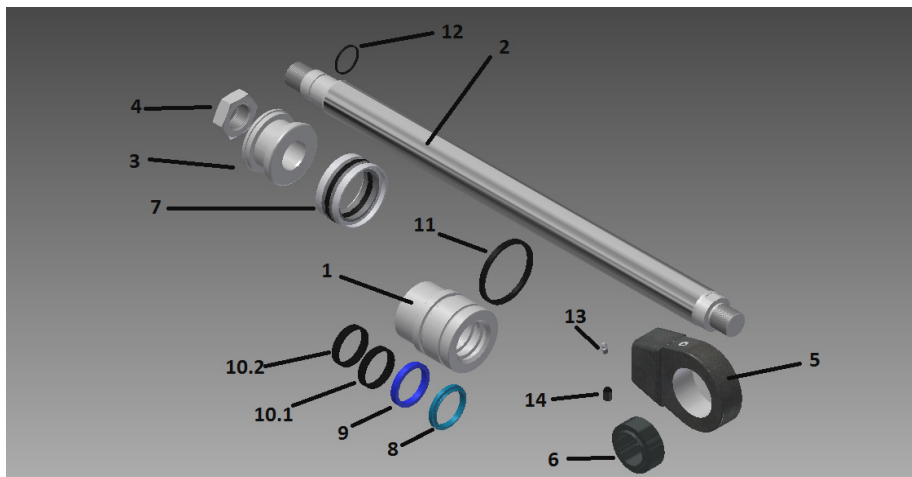
Tab. 4. Zestawienie połączeń montażowych i ograniczeń w podzespolu P1

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR”: ∨	„AND”: ∧
1	1 ← 2	x	-	-
2	1 ← 3	-	-	-
3	1 ← 4.1	-	-	-
4	1 ← 4.2	-	-	-

Otrzymane wyniki porównano z wynikami otrzymanymi z autorskiego programu Michała Sasiadka „EASYASSEMBLE”. Szczegółowy opis interfejsu programu oraz algorytm generowania wyników opisano w pracy [6]. Dane podzespołu P1 wprowadzono w adekwatne miejsca do programu, celem wygenerowania najkorzystniejszej sekwencji montażowej. Przy zdefiniowanym połączeniu startowym, oraz współczynnika przekierowania $d=1$ uzyskano 6 pozycji z tym samym wynikiem q_a wynoszącym 14,77 (Rys. 4). Wynik jest taki we wszystkich generowanych sekwencjach z racji współczynnika przekierowania równego 1. Zmiana współczynnika przekierowania nie wpłynie tutaj na zmianę oceny sekwencji z racji nie zaistnienia żadnego połączenia innego niż prostoliniowe od góry z wartością 1. Również zmiana połączenia startowego nie będzie miała wpływu na oceny wartości q_a . Podzespół P2 (Rys. 5) składa się z 15 elementów składowych więc jest dużo bardziej złożony. Częścią bazową jest tłoczek. Dla podzespołu P2 wykonano macierz pokazującą wszystkie połączenia styczne (Tab. 5). Na jej podstawie powstała zredukowana macierz zależności (Tab. 6), eliminująca połączenia niemożliwe w wykonaniu.



Rys. 4. Wynikowe okno dialogowe programu „easyassemble” dla podzespołu P1.



Rys. 5. Podzespół P2: 1- tuleja prowadząca; 2- tloczynko; 3- tłok; 4- nakrętka tloczynska; 5- ucho GUE; 6- łożysko przegubowe; 7- zespół uszczelniający tłoka, 8 - pierścień zgarniający; 9- pierścień uszczelniający tloczynska; 10.1 i 10.2- pierścienie prowadzący; 11- pierścień uszczelniający tulei prowadzącej; 12- pierścień uszczelniający tłoka; 13- smarownicznka; 14- wkręt dociskowy.

Tab. 5. Macierz zależności M_k podzespołu P2

		P2													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10.1	10.2	11	12	13	14
1		x						x	x	x	x	x			
2	x		x	x	x			x	x	x	x		x		x
3		x		x			x						x		
4		x	x												
5		x				x								x	x
6					x										
7			x												
8	x	x													
9	x	x													
10.1	x	x													
10.2	x	x													
11	x														
12		x	x												
13					x										
14		x			x										

Tab. 6. Macierz zredukowana zależności M_k podzespołu P2

		P2 zredukowane													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10.1	10.2	11	12	13	14
1		x													
2	x				x										
3		x													
4		x													
5		x													
6					x										
7			x												
8	x														
9	x														
10.1	x														
10.2	x														
11	x														
12		x													
13					x										
14					x										

Kolejny krok to wartościowanie generowanych sekwencji montażu, dokonywanych na podstawie zredukowanej macierzy zależności. Wartość q_a dla tych połączeń zestawiono i przedstawiono w tabeli 7.

Następnie stworzono tabelę zestawień montażowych i ograniczeń w podzespołe P2 (Tab. 8). W porównaniu podzespołu P1 analizowanego siłownika zauważono, że w wypadku zespołu drugiego zdefiniowano znacznie większą liczbę ograniczeń w postaci połączeń blokujących (trzydzieści połączeń OR oraz sześć razy AND).

Tab. 7. Ocena połączeń montażowych w podzespolu P2

Połączenie montażowe	Składowe składnika $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1 ← 2	2,5	1	2,2	1,2	1,1	1	1,7	1,5	18,51	1	18,51
1 ← 8	1	1	1,2	1	1	1,4	1,4	1,5	3,52	1	3,52
1 ← 9	2,5	1	1,2	1	1	1,4	1,4	1,5	8,82	1	8,82
1 ← 10.1	1	2,5	1,2	1	1	1,4	1,4	1,5	8,82	1	8,82
1 ← 10.2	1	1	1,2	1	1	1,4	1,4	1,5	3,52	1	3,52
1 ← 11	1	1	1,2	1	1	1	1,4	1,5	2,52	1	2,52
2 ← 1	2,5	1	2,2	1	1,1	1	1,7	1,5	15,42	1	15,42
2 ← 3	1	1	1,1	1	1	1	1	1	1,1	1	1,1
2 ← 4	1	1	2	1	1	1	1,4	1,5	4,2	1	4,2
2 ← 5	1	1	2	1,2	1	1	1,4	1,5	5,04	1	5,04
2 ← 12	1	1	1,2	1	1	1	1,4	1,5	2,52	1	2,52
3 ← 7	1	1	2,2	1	1,9	1	1,7	1,5	10,65	1	10,65
5 ← 2	1	1	2	1	1	1	1,4	1,5	4,2	1	4,2
5 ← 6	1	2,5	1,1	1	1	1	1,4	1,5	5,77	1	5,77
5 ← 13	1	1	2	1	1	1	1	1,5	3	1	3
5 ← 14	1	2,5	2	1,2	1	1	1	1,5	9	1	9

Tab. 8. Zestawienie połączeń montażowych i ograniczeń w podzespolu P2

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR”: \vee	„AND”: \wedge
1	1 ← 2	-	-	$(2 \leftarrow 3 \wedge 2 \leftarrow 5) \vee$ $(5 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 3) \vee$ $(5 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 4) \vee$ $(2 \leftarrow 4 \wedge 5 \leftarrow 2)$
2	1 ← 8	-	$1 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 1$	-
3	1 ← 9	-	$1 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 1$	-
4	1 ← 10.1	x	$1 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 1$	-
5	1 ← 10.2	-	$1 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 1$	-
6	1 ← 11	-	-	-
7	2 ← 1	-	-	$(2 \leftarrow 3 \wedge 2 \leftarrow 5) \vee$ $(5 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 3) \vee$ $(5 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 4) \vee$ $(2 \leftarrow 4 \wedge 5 \leftarrow 2)$
8	2 ← 3	-	$2 \leftarrow 4$	-
9	2 ← 4	-	-	-
10	2 ← 5	-	$5 \leftarrow 15$	-
11	2 ← 12	-	$2 \leftarrow 3 \wedge 2 \leftarrow 4$	-
12	3 ← 7	-	-	-
13	5 ← 2	-	$5 \leftarrow 15$	-
14	5 ← 6	-	-	-
15	5 ← 13	-	-	-
16	5 ← 14	-	-	-

Uzyskano 65530 sekwencji montażowych ocenionych równorzędnie ($q_a = 87,2$) przy współczynniku ukierunkowania $d=1$. Sekwencja rozpoczyna się od połączenia elementu nr 1 czyli tulei prowadzącej i 10.1, a więc paska prowadzącego.

Połączenie to wymusza następnie łączenie pozostałych części przypisanych do tulei prowadzącej. W przypadku kiedy ulegnie zmianie współczynnik przekierowania (redirection factor) z wartości domyślnej 1.0 na definiowaną 2.0 uzyskano zróżnicowane wyniki otrzymanych sekwencji.

Dzięki wprowadzeniu współczynnika przekierowania równego 2 uzyskano tym razem niejednolite wartości. Najlepsze wartości dla sekwencji montażowych wynoszą 108.06. Najkorzystniejsze warianty sekwencji wyglądają następująco (w nawiasie – dowolność kolejności części, bez zmiany wyniku q_a):

$$1 \leftarrow 10.1 \leftarrow (10.2 \leftarrow 9 \leftarrow 8) \leftarrow 2 \leftarrow 5 \leftarrow 14 \leftarrow \text{dowolne}$$

Po złożeniu podzespołów P1 i P2 można przystąpić do łączenia podzespołów w całość. Do łączenia podzespołów dochodzi jeszcze drut zabezpieczający, którego nazwa sama wskazuje na funkcje zabezpieczenia tulei prowadzącej w tulei cylindra. Macierz powierzchni styknych przedstawiono w tabeli 9. Macierz zredukowana pozostawia tylko 2 realizowalne połączenia (Tab. 10). Wartościowanie połączeń opisano w tabeli 11. Połączeniem startowym jest podzespół 2 do podzespołu 1 (Tab. 12). Po odpowiednim ustawieniu tulei prowadzącej, jest ona zabezpieczana wspomnianym wcześniej drutem zabezpieczającym poprzez wkręcenie jej pomiędzy tuleje. Nie ma innej możliwości połączenia elementów w gotowy wyrób.

Dla dwóch połączeń nie zachodzi konieczność wspomaganie się obliczeniami komputerowymi. Otrzymano wynik $q_a = 29.3$.

Tab. 9. Macierz zależności podzespołów P1 + P2 + 3

P1 + P2 + 3			
	P1	P2	3
P1		x	x
P2	x		x
3	x	x	

Tab. 10. Zredukowana macierz zależności podzespołów P1 + P2 + 3

P1 + P2 + 3 zredukowane			
	P1	P2	3
P1			
P2	x		
3		x	

Tab. 11. Ocena połączeń montażowych podzespołów P1 + P2 + 3

Połączenie montażowe	Składowe składnika $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1 \leftarrow 2	1	2,5	2,2	1,2	1,1	1	1,7	1,5	18,5	1	18,5
1 \leftarrow 3	1	2,5	1,1	1,7	1,1	1	1,4	1,5	10,8	1	10,8

Tab. 12. Zestawienie połączeń montażowych i ograniczeń P1 + P2 + 3

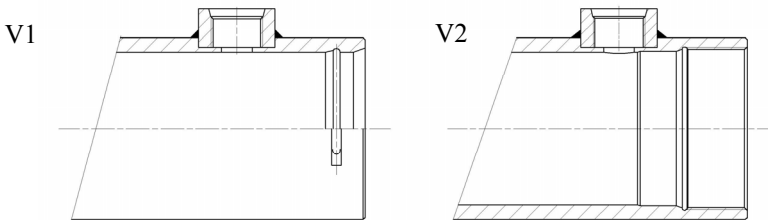
Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR”: \vee	„AND”: \wedge
1	P1 \leftarrow P2	x	-	-
2	P2 \leftarrow 3	-	-	-

3.2 Przeprojektowanie konstrukcji siłownika

W wyniku przeprowadzonej analizy, stwierdzono, że istnieje możliwość przeprowadzenia zmian konstrukcyjnych dla projektowanego cylindra hydraulicznego. Zmiany te mają przyczynić się do uproszczenia konstrukcji pod względem wymogów montażowych i do zwiększenia samej efektywności montażu.

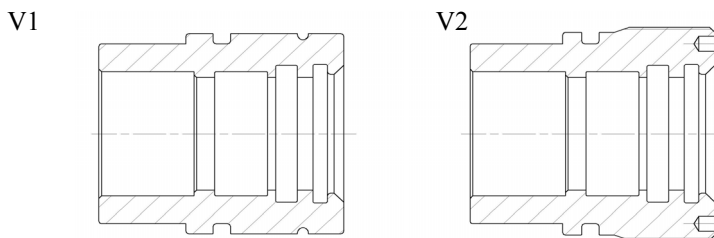
Wszelkie wartości pracy jak i gabaryty przeprojektowanego cylindra hydraulicznego zostaną niezmienione, celem dokładnego porównania przeprowadzonych analiz DFA. Dla ułatwienia identyfikacji podzespołów wprowadzono oznaczenia – V1 dla pierwotnej wersji siłownika, V2 dla wersji zmodyfikowanej.

Pierwszą zmianą jest wycofanie z konstrukcji drutu zabezpieczającego. Jest to rozwiązanie przestarzałe i kłopotliwe dla pracy montażystów. Eliminując drut zabezpieczający zaproponowano połączenie gwintowe dla łączenia tulei cylindra (Rys. 6) i tulei prowadzącej (Rys. 7). Wyeliminowano w ten sposób część zbędną i nadano połączeniu większą stabilność. Dla tulei cylindra wymusi to również zmianę kolejności wykonania poszczególnych elementów obróbki.



Rys. 6. Konstrukcja tulei cylindra: V1-przed zmianą, V2-po zmianie. [5]

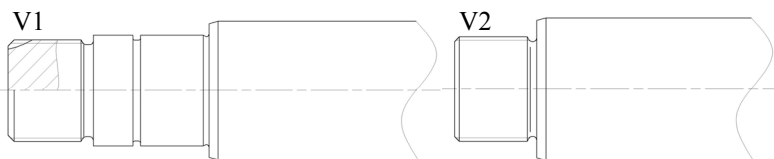
Tuleja prowadząca nie zmieni swoich wymiarów wewnętrznych. Dodane zostaną dwa otwory umożliwiające prawidłowe dokręcenie tulei kluczem. Dwa paski prowadzące GR 45x9,7x2,5, zostaną zastąpione jednym paskiem GR 45x19,4x2,5.



Rys. 7. Konstrukcja tulei prowadzącej: V1-przed zmianą, V2-po zmianie. [5]

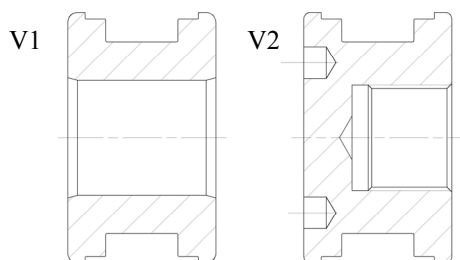
Kolejną zmianą jest wycofanie nakrętki tłoczyska, zabezpieczającej tłok. Wymusza to zmiany konstrukcyjne dla końcówki tłoczyska po stronie tłoka (Rys. 8).

Tłoczek uległ skróceniu, wyeliminowany również został kanałek pod pierścień uszczelniający. Zmiana przyczyni się to dodatkowo do oszczędności materiału i zużycia narzędzi skrawających.



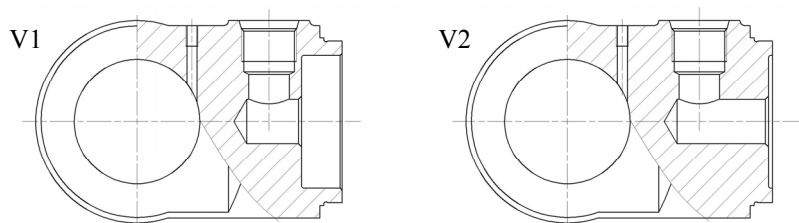
Rys. 8. Konstrukcja tłoczyska: V1-przed zmianą, V2-po zmianie. [5]

Zmiana konstrukcyjna końcówki tłoczyska i wyeliminowanie nakrętki tłoczyska, wymusza zmianę konstrukcji tłoka (Rys. 9). Rolę nakrętki przejmuje właśnie tłok ze ślepym otworem gwintowanym. Dodane również zostaną dwa otwory w celu prawidłowego dokręcenia tłoka podczas montażu. Zlikwidowanie możliwości przepływu oleju na średnicy wewnętrznej tłoka umożliwi wyeliminowanie pierścienia uszczelniającego tłoczyska.



Rys. 9. Konstrukcja tłoka: V1-przed zmianą, V2-po zmianie [5]

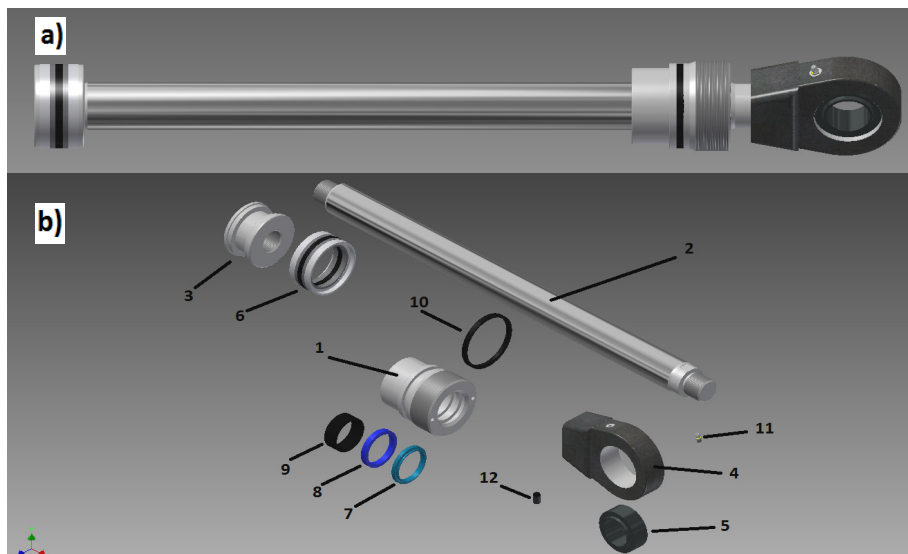
W korpusie (Rys. 10), po wycofaniu nakrętki tłoczyska nie jest konieczne wykonanie głębszego wytoczenia miejsca na nakrętkę. Przyczyni się to dodatkowo do oszczędności narzędzi.



Rys. 10. Konstrukcja korpusu: V1-przed zmianą, V2-po zmianie [5]

3.3 Powtórna analiza DFA

Dla przeprojektowanego cylindra hydraulicznego również stworzono model trójwymiarowy (Rys. 11). Modyfikacja siłownika zawiera o 4 części mniej. W tej wersji także dokonano podziału na podzespół 1 i podzespół 2 oznaczonymi jako P1-V1 i P2-V2 w celu obiektywnego porównania osiągniętych wyników q_a . W podzespołe P1 zmianą konstrukcyjnym uległy części w nim zawarte, jednak nie będą one miały wpływu na ocenę wartości montażu, uzyskanych we wcześniejszej wersji V1 podzespołu P1. Natomiast wprowadzone zmiany konstrukcyjne wpłyną na ocenę wartości q_a w podzespołe P2-V2 w stosunku do P2-V1.



Rys. 11. Podzespół P2-V2: a) widok złożony, b) widok eksplodujący: 1- tuleja prowadząca, 2- tłoczyisko, 3- tłok, 4- ucho GUE, 5- łożysko przegubowe, 6- zespół uszczelniający tłoka, 7- pierścień zgarniający, 8- pierścień uszczelniający, 9- pierścień prowadzący, 10- pierścień uszczelniający tulei prowadzącej, 11- smarownicza, 12- wkręt dociskowy.

Dla podzespołu P2-V2 wykonano ponowną analizę DFA według wyznaczonych wytycznych. Stworzono macierz zależności (Tab. 13) oraz macierz zredukowaną (Tab. 14). Wykonano ocenę połączeń montażowych (Tab. 15). Następnie zdefiniowano połączenia blokujące i określono połączenie startowe (Tab. 16). Tak jak w przypadku podzespołu P2-V1, tak w P2-V2 połączeniem startującym będzie łączenie paska prowadzącego poz. 9 i tulei prowadzącej poz. 1.

Tab. 13. Macierz zależności podzespołu P2-V2

P2-v2												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		x					x	x	x	x		
2	x		x	x			x	x	x			x
3		x				x						
4		x			x						x	x
5				x								
6			x									
7	x	x										
8	x	x										
9	x	x										
10	x											
11				x								
12		x		x								

Tab. 14. Zredukowana macierz zależności podzespołu P2-V2

P2-v2 zredukowane												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		x										
2	x		x	x								
3		x										
4		x										
5				x								
6			x									
7	x											
8	x											
9	x											
10	x											
11				x								
12				x								

Tab. 15. Ocena połączeń montażowych w podzespole P2-V2

Połączenie montażowe	Składowe składnika $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
1 ← 2	2,5	1	2,2	1,2	1,1	1	1,7	1,5	18,51	1	18,51
1 ← 7	1	1	1,2	1	1	1,4	1,4	1,5	3,53	1	3,53
1 ← 8	2,5	1	1,2	1	1	1,4	1,4	1,5	8,82	1	8,82
1 ← 9	1	1	1,2	1	1	1,4	1,4	1,5	3,53	1	3,53
1 ← 10	1	1	1,2	1	1	1	1,4	1,5	2,52	1	2,52
2 ← 1	2,5	1	2,2	1	1,1	1	1,7	1,5	15,43	1	15,43
2 ← 3	1	1	2	1	1	1	1,4	1,5	4,2	1	4,2
2 ← 4	1	1	2	1	1	1	1,4	1,5	4,2	1	4,2
3 ← 2	1	1	2	1	1	1	1,4	1,5	4,2	1	4,2
3 ← 6	1	1	2,2	1	1,9	1	1,7	1,5	10,66	1	10,66
4 ← 2	1	1	2	1	1	1	1,4	1,5	4,2	1	4,2
4 ← 5	1	2,5	1,1	1	1	1	1,4	1,5	5,78	1	5,78
4 ← 11	1	1	2	1	1	1	1	1,5	3	1	3
4 ← 12	1	1	2	1,2	1	1	1	1,5	3,6	1	3,6

Tab. 16. Zestawienie połączeń montażowych i ograniczeń w podzespole P2

Lp.	Połączenie montażowe	Połączenie startowe	Połączenia blokujące	
			„OR”: \vee	„AND”: \wedge
1	1 \leftarrow 2	-	-	(2 \leftarrow 3 \wedge 2 \leftarrow 4) \vee (2 \leftarrow 3 \wedge 4 \leftarrow 2) \vee (3 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 4) \vee (3 \leftarrow 2 \wedge 4 \leftarrow 2)
2	1 \leftarrow 7	-	1 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 1	-
3	1 \leftarrow 8	-	1 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 1	-
4	1 \leftarrow 9	x	1 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 1	-
5	1 \leftarrow 10	-	-	-
6	2 \leftarrow 1	-	-	(2 \leftarrow 3 \wedge 2 \leftarrow 4) \vee (2 \leftarrow 3 \wedge 4 \leftarrow 2) \vee (3 \leftarrow 2 \wedge 2 \leftarrow 4) \vee (3 \leftarrow 2 \wedge 4 \leftarrow 2)
7	2 \leftarrow 3	-	-	-
8	2 \leftarrow 4	-	4 \leftarrow 12	-
9	3 \leftarrow 2	-	-	-
10	3 \leftarrow 6	-	-	-
11	4 \leftarrow 2	-	4 \leftarrow 12	-
12	4 \leftarrow 5	-	-	-
13	4 \leftarrow 11	-	-	-
14	4 \leftarrow 12	-	-	-

Wyznaczone dane wprowadzono do programu. Otrzymano już tylko 1800 dopuszczalnych sekwencji montażowych. Dla współczynnika przekierowania $d=1$ otrzymany wynik q_a wynosi 68.34 dla wszystkich kombinacji. Przy zmianie na współczynnik $d=2$ otrzymano zróżnicowane wyniki, z czego najkorzystniejsze posiadają wynik $q_a=92.96$. Najlepsze warianty sekwencji wyglądają następująco (w nawiasie - dowolność kolejności części, bez zmiany wyniku q_a):

$$1 \leftarrow 9 \leftarrow (8 \leftarrow 7) \leftarrow 2 \leftarrow 10 \leftarrow (4 \leftarrow 3) \leftarrow (5 \leftarrow 6 \leftarrow 11) \leftarrow 12$$

Po zmontowaniu części podzespółów, pozostało już tylko ich wzajemne połączenie w gotowy wyrób. W wersji V2 po wyeliminowaniu z konstrukcji drutu zabezpieczającego, pozostały 2 podzespóły. Pominięto więc tworzenie macierzy zależności i tabeli połączeń startowych i blokujących. Tabela 17 przedstawia ocenę połączeń podzespółów. W połączeniu wartość q_a osiąga wynik 6,72.

Tab. 17. Ocena połączeń montażowych podzespółów P1-v2 + P2-v2

Połączenie montażowe	Składowe składnika $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$								f_p	h_p	q_a
	A	B	C	D	E	F	G	H			
P1 \leftarrow P2	1	1	2	1,2	1,1	1	1,7	1,5	6,72	1	6,72

4. Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie metody DFA w procesie projektowania cylindra hydraulicznego pozwoliło na znaczne uproszczenie jego konstrukcji poprzez eliminację elementów zbędnych dla funkcjonalności całej konstrukcji oraz wprowadzenie nieznacznych zmian w pozostałych elementach. W wyniku tych działań obniżono wskaźnik q_a opisujący łatwość montażu i demontażu konstrukcji (Tab. 18).

Tab. 18. Zestawienie wyników analizy DFA.

Badane elementy	Współczynnik przekierowania	Wersja V1	Wersja V2	Różnica wartości q_a między V1 a V2	Procentowy spadek wartości q_a
P1	d=1	14,77	14,77	Bez zmian	Bez zmian
P2	d=1	87,2	68,34	18,86	21,6 %
	d=2	108,06	92,96	15,1	14 %
P1 + P2	d=1	29,3	6,72	22,58	77,1 %

Dzięki zmianie konstrukcji cylindra hydraulicznego w podzespołe P2 i połączenia podzespołów P1 z P2 uzyskano lepsze wyniki w porównaniu do wersji wyjściowej. Dla podzespołu P2 i wartości współczynnika przekierowania d=1 uzyskano wynik o 21,6% korzystniejszy, a dla d=2 wynik lepszy o 14%. Po połączeniu zespołów P1 z P2 w całość, uzyskano poprawę o 77,1% w stosunku do wersji pierwotnej. Przeprowadzenie analiz DFA obu wariantów konstrukcji i porównanie ich ze sobą, potwierdzają, że istnieje możliwość skonstruowania zmodyfikowanego wariantu cylindra hydraulicznego ze zwiększoną efektywnością montażu. Do spadku wartości wskaźnika najbardziej przyczyniło się usunięcie z konstrukcji niepotrzebnych części i przekazanie ich zadań elementom pozostałym. Dzięki tej czynności możliwe stało się uproszczenie oraz skrócenie sekwencji montażowych.

Literatura

- [1] Boothroyd G., Dewhurst P.: *Design for Assembly*. Boothroyd Dewhurst Inc., Wakefield, 1991.
- [2] Booker J.D., Raines M., Swift K. G.: *Designing Capable and Reliable Products*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
- [3] Kayyalthecker V., Mc Adams D., Stone R.: *A product architecture based conceptual DFA technique*. Department of Mechanical Engineering, University of Missouri Rola, Rola, 2003.
- [4] Sasiadek M.: *Projektowanie wyrobów i planowanie sekwencji montażu z uwzględnieniem zasad DFA*. Technologia i Automatykacja Montażu, 2009.
- [5] Sasiadek M.: *Projektowanie dla montażu - ocena połączeń elementów i zespołów maszyn*. Technologia i Automatykacja Montażu, 2013.
- [6] Sasiadek M.: *Komputerowo wspomagane planowanie sekwencji montażu z uwzględnieniem zasad DFA*. Przegląd Mechaniczny, 2012.

SKANOWANIE I POMIARY 3D JAKO WSPÓŁCZESNE NARZĘDZIA WSPOMAGAJĄCE ZARZĄDZANIE JAKOŚCIĄ

Julian JAKUBOWSKI¹, Mateusz SOCHACKI²

Współrzędnościowa technika pomiarowa powoli staje się standardem w licznych dziedzinach techniki, szczególnie w branży automotive oraz w lotnictwie. Jednakże dla wielu osób jest nadal techniką mało znaną, co wynika z braku w procesach nauczania na studiach przedmiotów wprowadzających do tej techniki. W artykule przedstawiono przykładowy proces skanowania i weryfikacji elementu kompresora samochodowego co pozwoliło na weryfikację dokładności wykonania detalu oraz na ocenę efektywności stosowania pomiarów 3D w inżynierii produkcji.

Słowa kluczowe: skanowanie 3D, triangulacja, inżynieria odwrotna

1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój technologiczny jak i gospodarczy zmusza przedsiębiorstwa do ciągłego rozwoju i doskonalenia swoich usług. Wiąże się to z dostosowywaniem odpowiednich systemów zarządzania do panujących warunków gospodarczych, wprowadzaniem nowych technologii oraz maszyn czy też wprowadzaniem narzędzi wspomagających prace przyśpieszające uruchomienie nowej produkcji. Wszystkie procesy realizowane w przedsiębiorstwie produkcyjnym powinny być nie tylko efektywne ale i rentowne, a końcowy produkt powinien zaspokajać wymagania jakościowe klienta. Można to osiągnąć w początkowych fazach projektowania produkcji przez zastosowanie odpowiednich materiałów i określenie funkcjonalności produktu.

Jakość można interpretować w różny sposób, natomiast z punktu widzenia technicznego konieczne jest stosowanie odpowiednich metod pomiarowych gwarantujących jej dotrzymanie [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Jedną z możliwości sprawdzania jakości wyrobów gotowych jest zastosowanie techniki skanowania 3D. Jest to jedna z najszybciej rozwijających się technologii informatycznych, która pozwala na dokonanie precyzyjnej analizy jakości wykonanych elementów i dokonania niezbędnych pomiarów. Wykonany skan można przyrównać do modelu komputerowego CAD lub do dokumentacji technicznej. Dzięki temu można uzyskać informację o poprawności wykonania elementu

¹ dr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: j.jakubowski@iizp.uz.zgora.pl

² inż.; Park Technologiczny Interior, Nowa Sól; e-mail: mat.sochacki@gmail.com

oraz o zgodności wymiarowej. Ponadto można wykorzystać skaner 3D do inżynierii odwrotnej pozwalającej na odtworzenie uszkodzonego detalu bądź dokonanie zmian wynikających z niedokładności skanowanego elementu. Technologia skanowania 3D jest coraz częściej wybierana przez przedsiębiorstwa, zwłaszcza z branży automotive. Nie tylko usprawnia procesy związane ze sprawdzaniem jakości elementów i dokonywaniem pomiarów, ale również pozwala wychwycić i wyeliminować elementy, które nie spełniają założeń konstrukcyjnych czy też tolerancji.

W artykule przedstawiono proces zastosowania skanera ATOS do analizy elementu typu korpus wraz z pełną analizą porównawczą pozwalającą na określenie jakości wykonania detalu. Przeprowadzona analiza wymiarowa pozwoliła na określenie jego użyteczności i prawidłowości wykonania, oraz zdefiniowaniu czy może zostać dopuszczony do produkcji, czy też należy dokonać zmian w procesie produkcyjnym.

Przez zastosowania współrzędnościowych maszyn pomiarowych możemy przeprowadzić różnego rodzaju badania niezgodności kształtu czy pomiary długości elementów. Jednak nie są to jedyne możliwości jakie umożliwia powyższa technika. Jednym z przykładów jest możliwość wykorzystania powstałego komputerowo modelu do odtworzenia detalu w procesie inżynierii odwrotnej przez zastosowanie drukarek 3D. Dzięki temu można zaoszczędzić mnóstwo czasu i pieniędzy, a także istnieje możliwość zmodyfikowania konkretnego detalu i wprowadzenie w nim zmian. Pozostałe przykłady wykorzystania skanów 3D zostały przedstawione w tabeli 1.

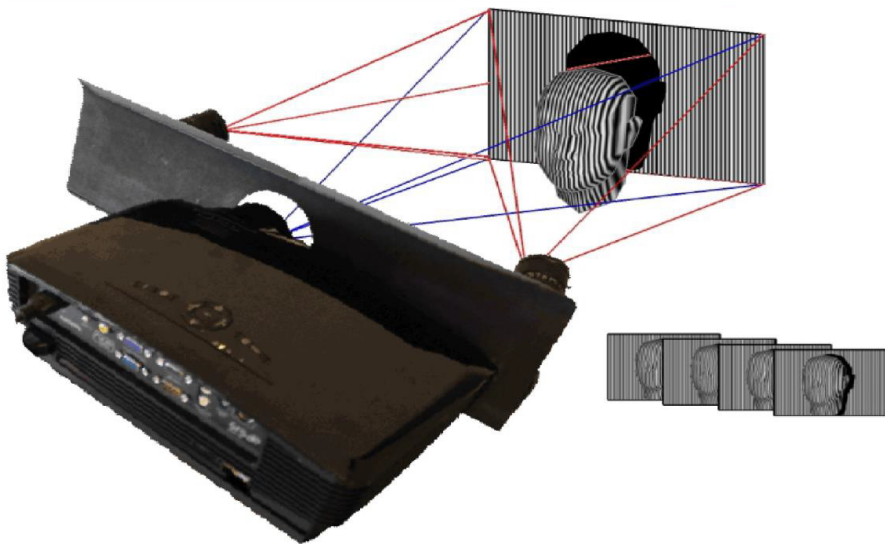
Tab. 1. Zastosowanie skanów 3D

Zastosowanie	Opis
Badanie zgodności wymiarowej	Zeskanowane elementy można mierzyć pod kątem załączonej dokumentacji. Wiemy wówczas czy wymiar nominalny znacząco się różni od aktualnego i mieści się w dopuszczalnej odchyłce pomiarowej.
Kontrola jakości	Pozwala na sprawdzenie przy pomocy kolorystycznej mapki odkształceń jak bardzo model różni się od mierzonego elementu.
Różne bazowanie elementów	Oprogramowanie umożliwia na dopasowywanie zeskanowanego elementu do modelu i dokonanie pomiarów względem niego. W przypadku jego braku można na podstawie odpowiedniego bazowania również dokonać niezbędnych pomiarów.
Inżynieria odwrotna	Zeskanowany detale można wykorzystać w celu jego odtworzenia, bądź też modyfikacji.
Tworzenie raportów	Skanery współpracują z oprogramowaniem, które pozwala na szybkie stworzenie dokumentacji w wersji elektronicznej jak i papierowej.
Dodatkowe wymiarowanie	Można mierzyć dodatkowo wielkości takie jak płaskości powierzchni, prostopadłości itp.

2. Skanowanie 3D

Skanowanie jest procesem polegającym na pobraniu niezbędnych informacji o badanej, niezidentyfikowanej powierzchni i przekonwertowania jej do postaci cyfrowej. Tak zebrane dane pozwalają na utworzenie cyfrowego modelu, który można później edytować i wykorzystać w celu odtworzenia detalu czy chociażby dokonania pomiarów. Technika ta często wykorzystywana jest w różnych aspektach życia między innymi do wytwarzania części zamiennych, wytwarzania nowych narzędzi, medycynie czy przemyśle lotniczym i kosmicznym.

Proces skanowania obiektów wymaga użycia odpowiedniej maszyny. W tym celu wykorzystuje się skaner 3D, którego działanie polega na rzucaniu światła białego o różnej gęstości i ilości linii na mierzony element. Światło to ulega zniekształceniom spowodowanym różną budową detali, a następnie jest wychwytywane przez kamery i przekazywane do jednostki komputerowej. W zależności od wykorzystywanego sprzętu w czasie jednego pomiaru skaner jest w stanie wychwycić do 8 milionów punktów pomiarowych. Schemat działania został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Zasada działania skanera 3D [9]

2.1. Urządzenie pomiarowe ATOS Triple Scan

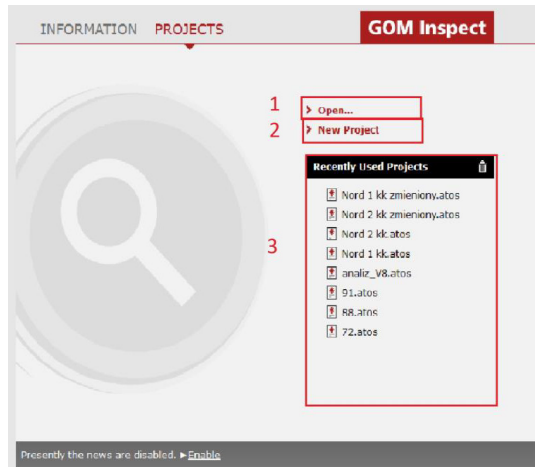
Urządzenie pomiarowe ATOS firmy GOM jest samodzielnym systemem pomiarowym, w którego skład najczęściej wchodzi: statyw z trójnogiem, jednostka komputerowa wraz z oprogramowaniem GOM Inspect Professional oraz skanera posiadającego projektor, jednostkę sterującą oraz dwie kamery. Zasada działania skanera topometrycznego opiera się na rzutowaniu światła na mierzony obiekt złożonego z prążków i rejestrowanych przez zamontowane w głowicy kamery. W zależności od modelu skanera można zarejestrować różną ilość punktów pomiarowych, która może osiągnąć liczbę 8 milionów. Dzięki zaawansowaniu technologicznemu i zastosowaniu najnowszego oprogramowania skaner pozwala na wykonywanie precyzyjnych pomiarów oraz na sprawdzeniu, jakości ich wykonania w niewielkim czasie.

Skaner 3D może pracować w dwóch zakresach pomiarowych: pierwszy z nich to 700 x 530 x 500 mm z dokładnością pomiarową do 0,04 mm drugi z nich to 320 x 320 x 200 mm z dokładnością pomiarową do 0,015 mm (mniej-więcej grubość włosa). W zależności od wielkości mierzonego detalu jak i od wymagań dotyczących precyzji pomiarowej dobierany jest odpowiedni zakres i ustawiane są parametry urządzenia. Większy zakres pomiarowy pozwala na zeskanowanie elementów do wielkości około 3 m jednak nie jest to możliwe przez jednorazowe uchwycenie całego elementu. W tym celu wykorzystuje się metodę fragmentową polegającą na skanowaniu poszczególnych partii detalu i obchodzeniu go dookoła. Mniejszy obszar pomiarowy stosuje się najczęściej dla elementów od kilkunastu milimetrów do około 30-50 cm w połączeniu ze stołem obrotowym. Jego zastosowanie ma bardzo duże znaczenie, gdyż skaner topometryczny może stać nieruchomo, a element automatycznie (bądź też ręcznie) może być obracany przy użyciu stołu obrotowego. Oczywiście mniejszy jak i większy obszar może być stosowany dla innych wielkości jednak precyzja wykonanych skanów jest wówczas niższa, a czas może znacznie się wydłużyć.

Laboratorium do celów pomiarowo-badawczych wykorzystuje oprogramowanie niemieckiej firmy, jakim jest GOM ATOS Professional, który bezpośrednio współgra ze skanerem 3D i należy do jego głównego oprogramowania. Obecnie stosowana wersja programu to ATOS V7. Oprogramowanie niemieckiej firmy jest dostępne tylko na platformy Windows [7, 8, 9].

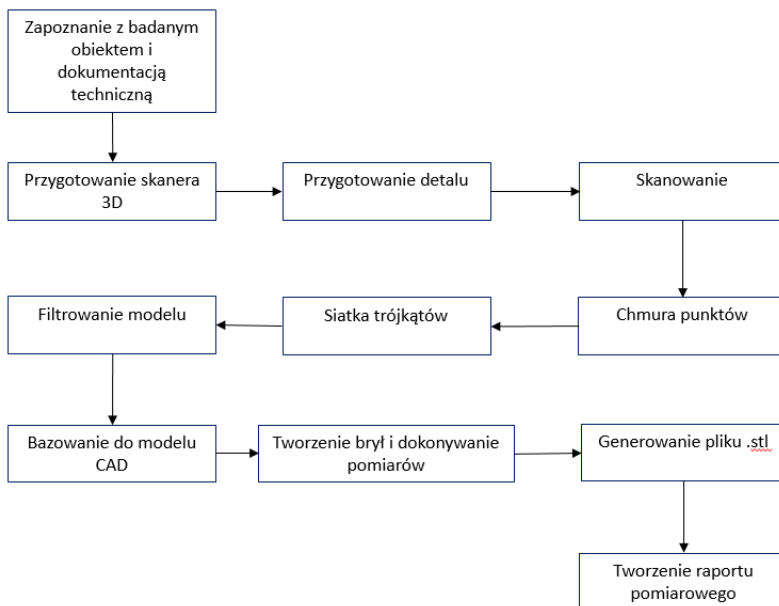
Pierwszym oknem oprogramowania, które pojawia się po jego uruchomieniu jest ekran startowy. Funkcje, jakie są w nim zawarte odnoszą się do:

- otwarcie projektu już istniejącego (1);
- utworzenie nowego projektu (2);
- sprawdzenie ostatnio otwieranych projektów (3);
- utworzenie nowego projektu na bazie istniejącego już szablonu.



Rys. 2. Ekran startowy ATOS Professional

W celu uzyskania jak najlepszego rezultatu użytkownik powinien postępować według pewnego etapu działań. Proponowany układ został przedstawiony na rysunku 3, w którym zostały uwzględnione najważniejsze kroki podczas procesu skanowania 3D. Dostosowanie do powyższego schematu usprawnia proces skanowania oraz pozwala na wyeliminowanie znacznej ilości błędów, które mogą się w jego trakcie pojawić.



Rys. 3. Przykładowy schemat postępowania podczas procesu skanowania

3. Case study

Przedmiotem badań była część kompresora wykonana z aluminium (Rys. 4), który montowany jest w samochodach osobowych. Element wykonywany jest przy użyciu techniki odlewania ciśnieniowego i składa się z trzech różnych części, które po połączeniu stanowią jedną całość.

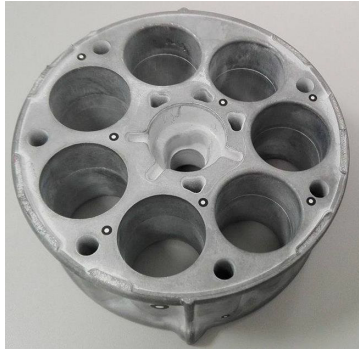


Rys. 4. Badany element - część kompresora samochodowego

Kolejnym krokiem było naniesienie punktów referencyjnych, które umożliwiają uchwycenie powierzchni (Rys. 5). Umieszczając je należy pamiętać o tym żeby nie znajdowały się na krawędziach oraz jeśli to możliwe nie leżały w jednej linii.

Niektóre z elementów posiadają powierzchnie, które są błyszczące i odbijają światło skanera. Jest to problem, gdyż urządzenie nie może uchwycić takiej powierzchni. Światło skanera przechodzi na wylot takiego elementu (np. butelka plastikowa) lub jest odbijane i występują zakłócenia w odpowiednim uchwyceniu powierzchni. Aby zapobiec takiemu zjawisku stosuje się proces matowienia przy pomocy kredy w spray'u. Niewielka ilość wystarcza by każda powierzchnia była idealnie widoczna dla urządzenia jednocześnie nie mając praktycznie żadnego wpływu na uzyskiwane wyniki i kształty.

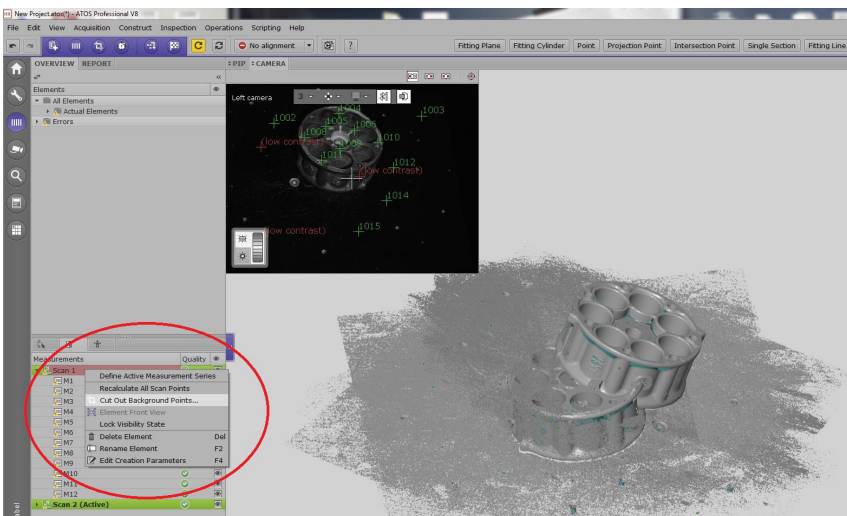
Skalibrowana maszyna i przedmiot są gotowe do skanowania. Ze względu na niewielkie wymiary detalu, został on umieszczony na obrotowym stole, który ułatwia proces skanowania. Ruch obrotowy stołu może powodować przesuwanie się mniejszych elementów. Zapobiec temu można przez ich zablokowanie używając do tego specjalnych uchwytów, bądź też zwykłych śrub blokujących. Przed rozpoczęciem skanowania należy się upewnić, czy skaner widzi punkty referencyjne.



Rys. 5. Przykładowe umieszczenie punktów referencyjnych na detalu

Proces skanowania składał się z dwóch serii. Element został przeskanowany pod różnym kątem na stole obracającym się o 360 stopni, a następnie obracany o 180 stopni w celu zeskanowania niewidocznych wcześniej powierzchni. Ważne przy tym było uchwycenie przynajmniej trzech punktów referencyjnych z serii poprzedniej, co umożliwiło ich połączenie.

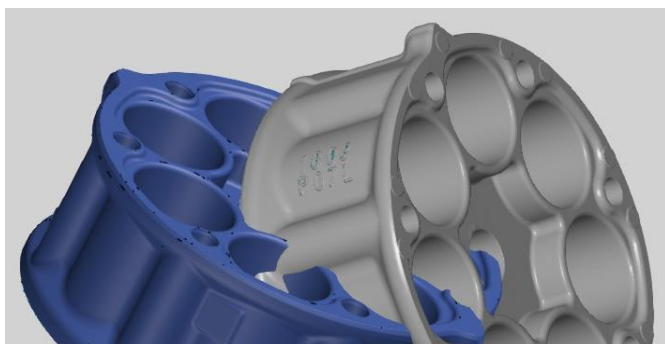
Chmura punktów, która została połączona w jedną całość została następnie oczyszczona ze zbędnych elementów. Częstym zjawiskiem jest uchwycenie przez skaner takich elementów jak chociażby stół obrotowy, który w dalszej obróbce nie będzie potrzebny. Aby pozbyć się elementów poniżej pewnego poziomu należy kliknąć prawym przyciskiem myszy na interesujący skan (ostatecznie należy z każdego skanu usunąć zbędne elementy) i wybrać opcję Cut Out Background Points (Rys. 6).



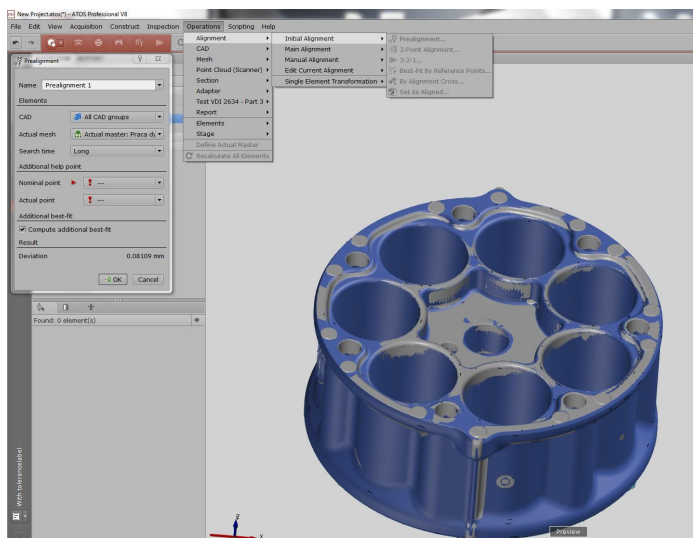
Rys. 6. Usuwanie zanieczyszczeń z dwóch serii skanów

Po oczyszczeniu chmury punktów, połączono je w jedną całość za pomocą polecenia Transform By Common Ref. Points, w którym należało zaznaczyć przynajmniej 3 punkty wspólne występujące na obydwu skanach. By lepiej dopasować je do siebie można wybrać większą ilość wspólnych punktów, co spowoduje, że odchyłka (dewiacja) będzie jeszcze mniejsza. W analizowanym przykładzie odchyłka wynosiła 0,0168 mm, co uznano za bardzo dobry wynik.

W kolejnym etapie zamieniono chmurę punktów na siatkę 3D i wykonano edycję siatki usuwając wszelkie niezgodności. W rezultacie uzyskano plik gotowy do analizy wymiarowej. W tym celu do programu zaimportowano model bryłowy 3D detalu wybierając opcję bazowania Prealignment (wstępne) i dopasowano siatkę do modelu (Rys. 7, 8).

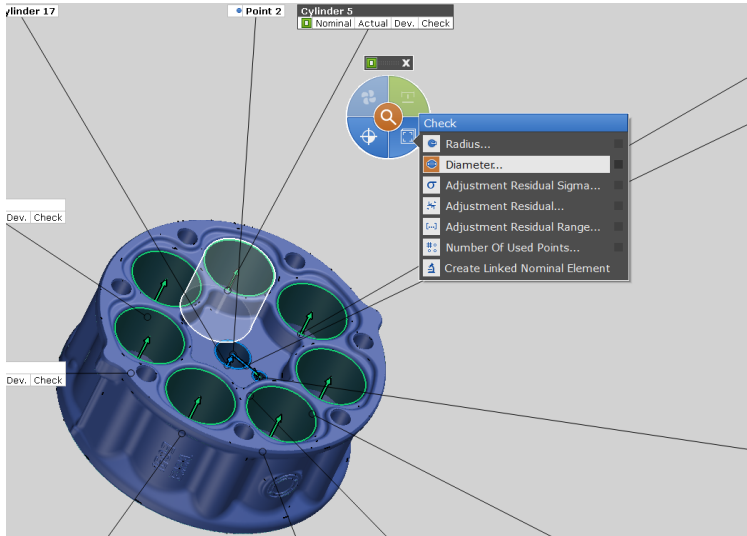


Rys. 7. Import i dopasowanie modelu CAD do gotowego skanu elementu



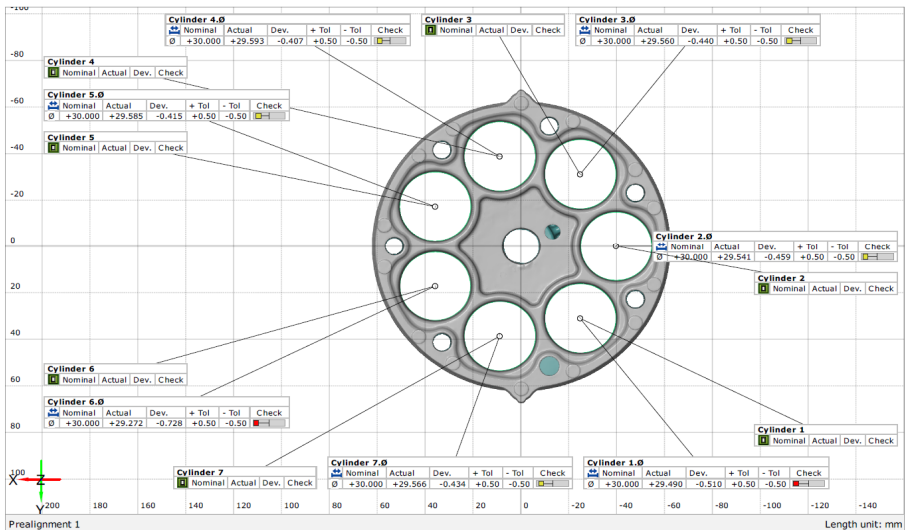
Rys. 8. Bazowanie skanu do modelu CAD metodą Prealignment

Mając gotowy model przystąpiono do analizy wymiarowej. W pierwszej kolejności sprawdzono średnice otworów za pomocą opcji Inspekt/check (Rys. 9). W analizowanym przypadku ważne było nie tylko sprawdzenie średnic otworów, lecz także ich cylindryczności i okrągłości. Dokonać tego za pomocą polecenia I-Inspect/GD&T (Rys. 10).



Rys. 9. Pomiar średnicy

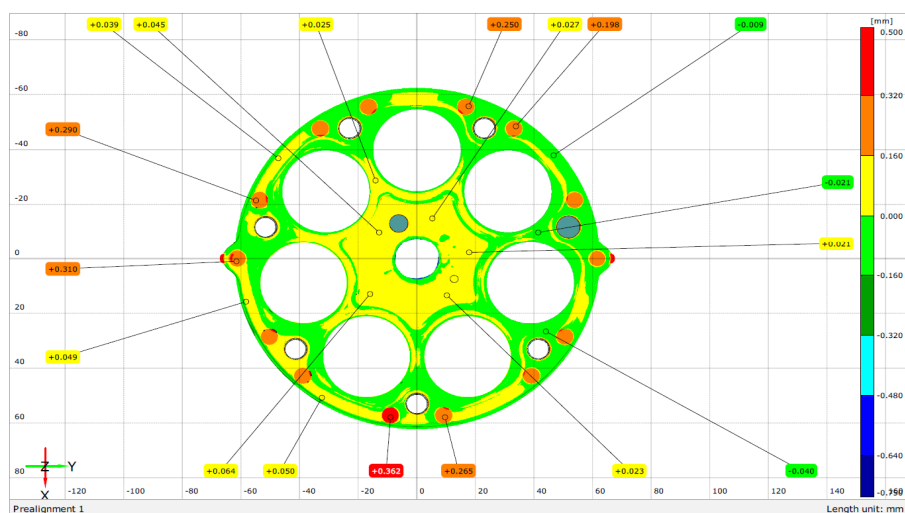
Pomiary otworów



Rys. 10. Punkty kontrolne otworów

Ostatnią wielkością jaką sprawdzono była jakość wykonania elementu. W tym celu porównano zeskanowany element z modelem komputerowym poprzez nałożenie siatki obrazującej występujące odchyłki. Pojawiła się wówczas kolorowa mapka, wraz z legendą, pozwalająca na analizę niezgodności. Niedoskonałości są częstym zjawiskiem pojawiającym się podczas wykonywania skanowania 3D. Mogą one być spowodowane nie tylko nieprawidłowym wykonaniem elementu, lecz także przez złe podejście do procesu skanowania. Problem z uchwyceniem niektórych powierzchni można rozwiązać przez próbę łatania otworów i pustych przestrzeni. Niestety, technika ta nie jest wystarczająco precyzyjna przy większych otworach, co może skutkować nieprawidłowym odwzorowaniem skanowanego detalu.

Punkty kontrolne odchylek 3



Rys. 11. Sprawdzenie zgodności badanego elementu z modelem 3D

4. Podsumowanie i wnioski

Stosowanie pomiarów 3D jest jedną z najnowszych metod sprawdzania jakości wykonanych wyrobów oraz przeprowadzenia analizy wymiarowej badanych wielkości. Pozwala także na uzyskanie modelu komputerowego potrzebnego w inżynierii odwrotnej, która umożliwia odtworzenie uszkodzonych elementów, bądź przygotowanie modelu 3D do dalszych analiz, na bazie istniejącego detalu. Podobnie jak w pomiarach 3D prowadzi to do redukcji kosztów jakie ponoszą producenci jak i klienci, a także na znaczną redukcję czasu.

W artykule przedstawiono przebieg skanowania detalu oraz postępowanie umożliwiające sprawdzenie dokładności wymiarowej oraz wybranych parametrów tolerancji kształtu. Wykorzystane techniki oraz zaproponowane kroki postępowania w procesie skanowania pozwalają sformułować następujące wnioski:

- niedokładne przygotowanie elementu oraz dobór złego zakresu pomiarowego może powodować nieciągłości powstałe podczas uzyskania chmury punktów, a następnie siatki trójkątów. Próba załatania otworów ma duży wpływ na zmiany zachodzące podczas sprawdzania jakości wykonanego detalu. Otrzymany raport pomiarowy nie będzie odzwierciedlał rzeczywistego stanu elementu w porównaniu do uzyskanej chmury punktów;
- czas skanowania detalu wynosił 6 minut, w trakcie których wykonanych zostało łącznie 16 skanów (po 8 dla każdej z dwóch pozycji ułożenia);
- czas wykonania pomiarów i kolorowej mapki odchyłek dla kompresora wynosił 25 min;
- po zbadaniu wszystkich wielkości utworzony został szablon, który przy kolejnych tego samego typu elementach pozwala na redukcję czasu o 92% (z 25 do 2 min);
- czas potrzebny na usunięcie zbędnych elementów, uchwyconych podczas procesu skanowania wynosił około 2 minut;
- wygładzenie nierównych powierzchni detalu oraz uzupełnienie powstałych otworów wyniosło 5 minut - było to spowodowane zbyt dużym naświetleniem elementu powodującym odbijanie światła skanera;
- powierzchnie wklęsłe oraz otwory mogą nie zostać uchwycone przez promienie lasera (w tym celu należy posłużyć się sondą dotykową, która pozwala zbadać niewidoczne powierzchnie);
- uzyskany model podczas skanowania pozwala na wielokrotną edycję i modyfikację bez potrzeby posiadania modelu fizycznego;
- wykonanie kolorowej mapki odchyłek pozwoliło na przeprowadzenie szybkiej analizy jakości elementu. Wyniki, które zostały uzyskane odbiegały od wymaganych wymiarów, co zostało przedstawione na raporcie pomiarowym;
- nieodpowiedni dobór zakresu pomiarowego może powodować powstawanie niedoskonałości wpływających na ostateczny wynik pomiarów;
- zbyt duża ilość skanów może powodować niedokładne odwzorowanie detalu (mogą powstawać podwójne ścianki, niedopasowane do siebie);
- Atos Professional nie jest jedynym oprogramowaniem pozwalającym na obróbkę chmury punktów. Innym programem, który umożliwia jej obróbkę jest CATIA;
- program umożliwia wygenerowanie kilku rodzaju plików dostosowanych do różnego rodzaju oprogramowania. Takimi plikami są .stl, .ply, .pol, .g3d;
- Atos Professional jest programem intuicyjnym, który ułatwia pracę użytkownikowi przez liczne podpowiedzi i automatyzację procesu.

Literatura

- [1] Hamrol A.: *Zarządzanie jakością z przykładami*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2013.
- [2] Hamrol A.: *Strategie i praktyki sprawnego działania: lean, six sigma i inne*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2015.
- [3] Karaszewski R., Skrzypczyńska K.: *Zarządzanie jakością*. Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa. Stowarzyszenie Wyższej Użyteczności „Dom Organizatora”, 2013.
- [4] Ratajczyk E.: *Współrzędnościowa technika pomiarowa*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005.
- [5] Szczepańska K.: *Kompleksowe zarządzanie jakością TQM: przeszłość i teraźniejszość*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2010.
- [6] Szczepańska K.: *Zarządzanie jakością: koncepcje, metody, techniki, narzędzia*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2015.
- [7] GOM Industrial 3D Measurement Techniques
- [8] GOM Sheet Metal Forming. 3D Measuring Techniques for Forming Processes
- [9] GOM ATOS COMPACT SCAN

KWALIFIKOWANIE TECHNOLOGII SPAWANIA NA PRZYKŁADZIE STALOWEJ KONSTRUKCJI PODESTU BALKONOWEGO PRODUKOWANEGO W ZS ANATOL

Anatol KAŁASZNIKOW¹, Daniel DĘBOWSKI², Józef GRUSZKA³

W pracy przedstawiono zagadnienie dotyczące uznania technologii spawania na przykładzie stalowej konstrukcji podestu balkonowego. Przeanalizowano obowiązujące normy oraz systemy jakości w spawalnictwie. Zwrócono szczególną uwagę na zagadnienie kwalifikowania technologii spawania. Zgodnie z zaproponowaną procedurą uznania technologii spawania, przeprowadzono wszystkie niezbędne badania oraz analizy potrzebne do uzyskania certyfikatów zgodności zakładowej kontroli produkcji oraz jakości spawania.

Słowa kluczowe: Kwalifikowanie technologii spawania, jakość spawania, kontrola produkcji

1. Systemy jakości w spawalnictwie

Pojęcie spawania zawiera się w spajaniu, które to jest metodą łączenia materiałów w wyniku którego uzyskuje się połączenie o fizycznej ciągłości materiałowej. Pojęcie spajania obejmuje spawanie, napawanie, zgrzewanie, lutowanie, klejenie i inne.

Spawalność jako pojęcie techniczne jest trudne do zdefiniowania ponieważ obejmuje zespół czynników, których wspólne oddziaływanie decyduje o przydatności danego materiału do wykonania określonej konstrukcji spawanej [1]:

- według Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa „Uważa się, że materiał metaliczny jest spawalny w danym stopniu, przy użyciu danej metody spawania i w danym przypadku zastosowania, gdy pozwala, przy uwzględnieniu odpowiednich dla danego przypadku środków ostrożności, na wykonanie złącza pomiędzy elementami łączonymi z zachowaniem ciągłości metalicznej oraz utworzenie złącza spawanego, które poprzez swe właściwości lokalne i konsekwencje ogólne zadość uczyni wymogom żądanym i przyjętym za warunki odbioru” [23];

¹ mgr inż.; AK ANATOL, Żary; e-mail: anamol@zsanatol.com.pl

² dr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: d.debowski@ibem.uz.zgora.pl

³ dr hab. inż., prof. PP; Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania, e-mail: jozef.gruszka@put.poznan.pl

- wg J. Pilarczyka „Spawalność jest to zdolność do tworzenia za pomocą spawania złączy o wymaganych właściwościach fizycznych, zdolnych do przenoszenia obciążeń przewidzianych dla danego rodzaju konstrukcji, do wykonania której dana stal ma być użyta” [2];
- wg M. Myśliwca „Spawalność jest to prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na tym, że złącza spawane wykonane z danego materiału, za pomocą określonego procesu technologicznego spawania będą pracowały w sposób niezawodny w wymaganych warunkach eksploatacyjnych przez zadany okres” [23].

Norma ISO serii 9001 [4] zalicza spawanie do procesów specjalnych, które definiuje jako procesy, których rezultaty nie mogą zostać zweryfikowane poprzez późniejsze nieniszczące kontrole i badania lub takie, których błędy mogą wystąpić w trakcie użytkowania wyrobu przez klienta. Ze względu na ograniczone możliwości ich weryfikacji, nadzór nad takimi procesami podlega szczególnym obostrzeniom. Wymaga się, żeby procesy te były wykonywane przez odpowiednio wykwalifikowanych pracowników, a ich parametry były ciągle monitorowane. Należy także dokonywać kwalifikacji procesów operacji i wyposażenia. Weryfikacja ta powoduje określone działania związane z monitorowaniem takich procesów oraz konieczność zachowania zgodności z udokumentowanymi procedurami w celu zapewnienia ustalonych wymagań. Procesy specjalne podlegają w takim przypadku kwalifikowaniu i powinny być między innymi realizowane przez odpowiednio wykwalifikowany personel, wykonujący określone czynności spawalnicze jak i nadzór.

Szczególna specyfikacja procesów spawania spowodowała, że opublikowane zostały dodatkowe dokumenty normalizacyjne. Dokumenty te są zarówno o charakterze regionalnym, europejskim jak i światowym. Stanowią podstawę do opracowywania systemu zarządzania jakością w procesach spawania. Określone dokumenty dotyczą wymagań wykonywania, nadzorowania i dokumentowania prac spawalniczych, kwalifikacji i kwalifikowania personelu wykonującego i nadzorującego prace spawalnicze oraz badań nieniszczących, a także metod oceny jakości wyrobu.

Normy te z jednej strony stanowią dla ich użytkowników ułatwienie, ale i wyzwania związane z dokonywaniem odpowiednich zmian dotyczących szeroko pojętych procesów spawania. W zarządzaniu jakością, w procesach spawania podstawowe znaczenia ma norma ISO serii 3834 [12].

W Polsce normy te zostały opublikowane w polskiej wersji językowej i włączone do zbioru Polskich Norm jako PN-EN ISO 3834:2007 „Wymagania jakości dotyczące spawania materiałów metalowych”. W pierwszej części danej normy określono kryteria wyboru odpowiedniego poziomu wymagań jakości. Pełne wymagania dotyczące jakości zamieszczono w części 2, standardowe w części 3, podstawowe w części 4. Część 5 określa dokumenty, które są konieczne dla potwierdzenia zgodności z wymaganiami jakości.

Dobór poziomu wymagań dotyczących jakości procesu spawania jest przede wszystkim uzależniony od wymagań klienta (odbiorcy), który mając na względzie zastosowanie i odpowiedzialność zlecających do wykonania wyrobów oraz warunki ich eksploatacji, może określić w umowie odpowiedni poziom wymagań jakościowych wykonywania procesu spawania. W związku z wymaganiami, wytwórca powinien znać wszystkie uwarunkowania dotyczące wytwarzania złączy spajanych, szczególnie w przypadku gdy normy wyrobu wymagają zastosowania systemu zapewnienia jakości.

Korzyści wynikające z wdrożenia wymagań normy PN-EN ISO 3834:

- podniesienie jakości wytwarzanych wyrobów,
- zwiększenie wiarygodności w „oczach” klienta,
- zapewnienie, że procesy spajania wykonywane są prawidłowo,
- zapewnienie nadzoru nad wyrobem począwszy od projektowania,
- zrozumienie źródeł potencjalnych trudności w wytwarzaniu wyrobu oraz ich nadzorowanie,
- norma może służyć do przedstawienia zdolności wytwórcy do wytwarzania konstrukcji spawanych w pełni spełniających wymagania jakości, określone w specyfikacjach, normach oraz w wymaganiach przepisów prawnych.

Inną normą określającą wymagania dotyczące oceny zdolności elementów konstrukcyjnych jest norma PN-EN 1090 [3]. Od 2010 roku przedsiębiorstwa wytwarzające konstrukcje stalowe i aluminiowe są zobligowane do certyfikacji Zakładowej Kontroli Produkcji na zgodność z EN 1090-1. Od połowy 2012 roku wszystkie wyroby metalowe wytwarzane w firmach działających w ramach nadzoru budowlanego muszą być certyfikowane na zgodność normą EN 1090-1. Z dniem 01.07.2014 roku dotychczas obowiązująca dyrektywa UE nr: 89/106/EWG (tzn. dyrektywa budowlana CPD) została ostatecznie zastąpiona przez Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej nr: 305/2011 ustanawiająca znormalizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylająca dyrektywę Rady 89/106/EWG. Adekwatne zmiany nastąpiły także w prawie polskim i 25 lipca 2013 roku Prezydent RP podpisał ustawę o zmianie ustawy o wyrobach budowlanych oraz ustawy o systemie oceny zgodności. Certyfikacja na zgodność wg PN-EN 1090-1 + A1:2012 stanie się obowiązkowa dla producentów konstrukcji stalowych i aluminiowych z dniem 01.07.2014. W tym dniu kończy się okres koegzystencji i wszystkie krajowe specyfikacje techniczne według których producenci konstrukcji stalowych budowlanych do tej pory dokonywali oceny zgodności (obecnie oceny właściwości użytkowych) muszą zostać wycofane.

Norma PN-EN 1090 „Wykonywanie konstrukcji stalowych i aluminiowych” dzieli się na dwie części PN-EN 1090-1 oraz PN-EN 1090-2 [3]. Część 1 określa zasady oceny zgodności elementów konstrukcyjnych. Jest częścią grupy norm związanych z projektowaniem i produkcją elementów konstrukcji nośnych ze stali i aluminium.

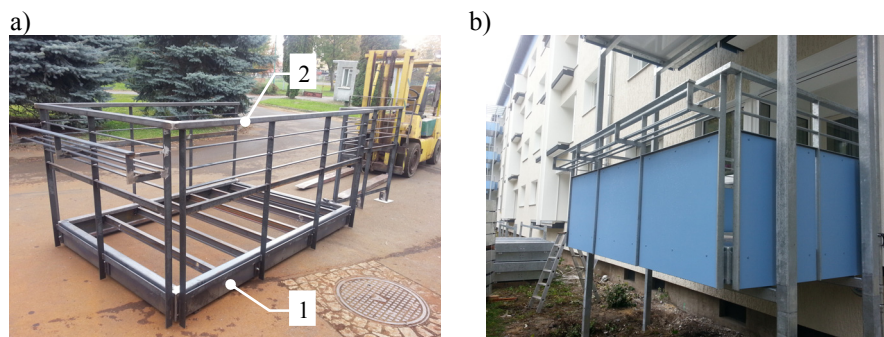
Wdrożenie zasad zawartych w tej normie umożliwia wytwórcy oznakowanie stalowej lub aluminiowej konstrukcji budowlanej znakiem CE. Oznakowanie to zapewnia swobodny przepływ konstrukcji na rynku europejskim. W części 2 określono wymagania dotyczące wykonania konstrukcji stalowych lub elementów wytwarzanych z następujących wyrobów hutniczych:

- wyrobów walcowanych na gorąco z gatunków stali nie wyższych niż S690,
- kształtowników i blach profilowanych na zimno z gatunku stali nierdzewnych nie wyższych niż S700 lub z gatunków stali węglowych nie wyższych niż S690,
- wyrobów formowanych na gorąco lub zimno, znormalizowanych i profilowanych indywidualnie, oraz kształtowników zamkniętych spawanych,
- wyrobów formowanych na gorąco lub zimno ze stali nierdzewnej austenitycznej, austenityczno-ferrytycznej i ferrytycznej.

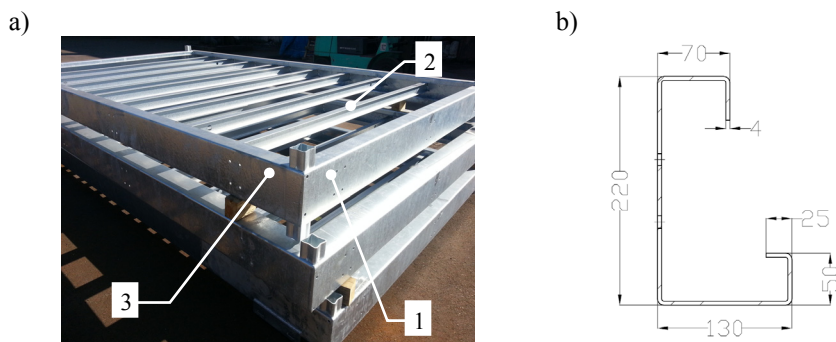
Spełnienie wymagań zawartych w PN-EN ISO 3834 oraz PN-EN 1090 daje klientom potwierdzenie, że oferowane konstrukcje wytwarzane są w warunkach nadzorowanych przez kompetentny i uprawniony personel, którego wynikiem jest ich właściwa jakość.

2. Przedmiot badań

Przedmiotem badań jest podest balkonowy (Rys. 1a), stanowiący jeden z elementów modułowej wierzy balkonowej (Rys. 1b) montowanej do zaistniałej zabudowy bez ingerencji w fasadę. Wieża balkonowa składa się z w zależności od ilości pięter z ram nośnych podestów balkonowych, balustrad balkonowych zamocowanych za pomocą połączeń rozłącznych do podestu, filarów nośnych podtrzymujących podesty balkonowe oraz na ostatnim piętrze z zadaszenia. Podest balkonowy został wytworzony i sprawdzony pod kątem wymiarowym oraz jakości połączeń spawanych i jest przygotowany do dalszej obróbki (cynkowanie ogniowe).



Rys. 1. Przykłady podestu balkonowego: a) konstrukcja stalowa: 1-podest; 2-balustrada; b) montaż wież balkonowych Berlin Spandau.



Rys. 2. Konstrukcja podestu balkonowego: a) widok elementów; b) przekrój poprzeczny ceownika zimno giętego-poz. 1.

Analizowany podest balkonowy to typowa konstrukcja płaska z ustrojem kratowym składająca się z prętów łączonych w węzłach. Ramę nośną podestu balkonowego o wymiarach zewnętrznych 2660 x 1630 mm (Rys. 2a, poz. 1) wykonano z ceownika zimnogiętego o przekroju poprzecznym przedstawionym na rysunku 2b, zgodnie z PN-EN 10279 [15]. Konstrukcję wzmocniono poprzecznie biegnącymi dwuteownikami IPE 80 oddalonymi od siebie o 400 mm. Wszystkie materiały jak również elementy składowe wieży balkonowej (filary, balustrady, zadaszanie) wykonano ze stali konstrukcyjnej niestopowej z gatunku S235 JR wg normy PN-EN 10025-2 [17]. Tolerancje wykonania konstrukcji spawanej określono wg PN-EN ISO 13920 [18]. Tolerancja liniowa klasy A, płaskość klasy E natomiast wykonanie detali wg ISO 2768 [19] klasa m. Wszystkie spoiny pachwinowe wykonano o wymiarze $a = 3$ mm (połączenie IPE 80 z profilem zimno giętym), a czołowe z pełnym przetopem. Klasy spoin wg PN-EN ISO 5817 [20] nie określono, przyjęto więc poziom jakości C w oparciu o PN-EN 1993-1-8 [21].

Całkowita masa stalowej konstrukcji podestu balkonowego wynosi około 350 kg. Całą konstrukcję ocynkowano ogniowo.

3. Sposoby kwalifikowania technologii spawania

Kwalifikowanie technologii spawania jest to sprawdzenie poprawności technologii spawania zapisanej we wstępnej instrukcji technologicznej spawania (pWPS) (ang. *Preliminary Welding Procedure Specification*) poprzez przeprowadzenie określonych badań złącza spawanego wykonanego zgodnie z pWPS.

pWPS jest to instrukcja technologiczna spawania, której poprawność zakłada wytwórca, ale dla której jeszcze nie została przeprowadzona procedura kwalifikowania technologii spawania. Procedura ta przeprowadzana jest w celu sprawdzenia, czy wytwórca posiada odpowiednie kwalifikacje do prowadzenia prac spawalniczych w oparciu o stosowane instrukcje technologiczne oraz w celu

potwierdzenia, że wykonane zgodnie z tymi założeniami/instrukcjami złącza spawane spełniają określone wymagania.

Kwalifikowanie technologii spawania powinno odpowiadać warunkom produkcyjnym wytwórcy w zakresie wyposażenia w urządzenia spawalnicze, możliwości przeprowadzenia prac spawalniczych w halach produkcyjnych, przygotowaniu brzegów do spawania, czyszczenia materiału przed spawaniem, wstępnego jego podgrzania oraz obróbki cieplnej po spawaniu. Wytwórca podczas procedury kwalifikowania technologii spawania powinien udowodnić i udokumentować że sprawdzane technologie spawalnicze są odpowiednie do stosowania w warunkach produkcyjnych danego wytwórcy. Zakwalifikowanie technologii spawania do stosowania zachowuje ważność tylko przy zachowaniu przez wytwórcę takich samych warunków technicznych i organizacyjnych, jakie były podczas procedury kwalifikowania tej technologii spawania.

Tab. 1. Kwalifikacja materiałowa wg ISO-TR 15608 [10]

Grupa (podgrupa) materiałowa złącza próbnego	Zakres kwalifikowania
1-1	1 ^a - 1
2-2	2 ^a - 2, 1 - 1, 2 ^a - 1
3-3	3 ^a - 3, 1 - 1, 2 - 1, 2 - 2, 3 ^a - 1, 3 ^a - 2
4-4	4 ^b - 4, 4 ^b - 1, 4 ^b - 2
5-5	5 ^b - 5, 5 ^b - 1, 5 ^b - 2
6-6	6 ^b - 6, 6 ^b - 1, 6 ^b - 2
7-7	7 ^c - 7
7-3	7 ^c - 3, 7 ^c - 1, 7 ^c - 2
7-2	7 ^c - 2 ^a , 7 ^c - 1
8-8	8 ^c - 8
8-6	8 ^c - 6 ^b , 8 ^c - 1, 8 ^c - 2, 8 ^c - 4
8-5	8 ^c - 5 ^b , 8 ^c - 1, 8 ^c - 2, 8 ^c - 4, 8 ^c - 6.1, 8 ^c - 6.2
8-3	8 ^c - 3 ^a , 8 ^c - 1, 8 ^c - 2
8-2	8 ^c - 2 ^a , 8 ^c - 1
9-9	9 ^b - 9
10-10	10 ^b - 10
10-8	10 ^b - 8 ^c
10-6	10 ^b - 6 ^b , 10 ^b - 1, 10 ^b - 2, 10 ^b - 4
10-5	10 ^b - 5 ^b , 10 ^b - 1, 10 ^b - 2, 10 ^b - 4, 10 ^b - 6.1, 10 ^b - 6.2
10-3	10 ^b - 3 ^a , 10 ^b - 1, 10 ^b - 2
10-2	10 ^b - 2 ^a , 10 ^b - 1
11-11	11 ^b - 11, 11 ^b - 1
^a obejmuje stale tej samej grupy o równej lub niższej granicy plastyczności ^b obejmuje stale o tej samej podgrupy i każdej niższej podgrupy wewnątrz tej samej grupy materiałowej ^c obejmuje stale tej samej podgrupy materiałowej	

W celu zmniejszenia ilości egzaminów, materiały podstawowe zostały pogrupowane zgodnie z ISO-TR 15608 Welding - Guidelines for a metallic materials grouping system. Jeśli jeden materiał należy do dwóch grup lub podgrup, powinien zostać zakwalifikowany do niższej grupy lub podgrupy. W tabeli 1 przedstawiono zakres kwalifikacji materiałowej.

Kwalifikowanie techniczne spawania może odbyć się według jednego z pięciu sposobów opisanych w normach co przedstawiono w tabeli 2 oraz opisano w kolejnych podpunktach.

Tab. 2. Kwalifikowanie techniczne spawania - sposoby

Norma	Sposób kwalifikowania
PN-EN ISO 15610 [5]	Na podstawie zbadanych materiałów dodatkowych
PN-EN ISO 15611 [6]	Na podstawie wcześniej nabytego doświadczenia
PN-EN ISO 15612 [7]	Przez przyjęcie standardowej technologii spawania
PN-EN ISO 15613 [8]	Na podstawie przedprodukcyjnego badania
PN-EN ISO 15614 [9]	Na podstawie badania technologii spawania

3.1. Kwalifikowanie na podstawie materiałów dodatkowych do spawania

Ta procedura podaje, jak technologia spawania może być kwalifikowana przez zastosowanie badań materiałów dodatkowych. Może być stosowana do materiałów nie wykazujących pogorszenie własności w strefie wpływu ciepła, zatem dla grupy materiałowej 1.1 i 8. grubość materiału podstawowego 3-40 mm [16].

Uznanie materiału dodatkowego zwykle ujęte jest w formie certyfikatu wydanego przez organizację, który materiał dodatkowy dopuściły do zastosowania. W kwalifikowaniu technologii wg tej normy można używać tylko materiału dodatkowego danego producenta.

3.2. Kwalifikowanie na podstawie wcześniej nabytego doświadczenia w spawaniu

Wielu wytwórców ma znaczne doświadczenie w produkcji konstrukcji spawanych. Konstrukcje lub ich elementy mają wiele różnych zastosowań i są z powodzeniem eksploatowane przez określony czas.

Kwalifikowanie przeprowadzane jest przez egzaminatora lub jednostkę egzaminującą i wykonuje się na podstawie:

- pWPS według normy PN-EN ISO 15609 [11],
- udokumentowanego wcześniej nabytego doświadczenia w spawaniu łukowym.

Wcześniej nabyte doświadczenie powinno być przedstawione za pomocą udokumentowanych wyników badań i prób, albo przez zestawienie produkcji spawalniczej lub przez zadawalające własności użytkowe wyrobów. Obejmują one:

- dokumenty obejmujące wyniki badań własności spoin, wynikające z badań wyrobu (np.: badania nieniszczące, niszczące, próby szczelności lub ciśnieniowe) we wszystkich przypadkach,
- zestawienie produkcji spawalniczej za okres przynajmniej 1 roku w ciągu określonego czasu,
- przydatność złączy spawanych w eksploatacji w ciągu określonego czasu, przy czym za określony czas uważa się 5 lat.

3.3. Kwalifikowanie wg standardowej technologii spawania

Standardowa technologia powinna występować jako specyfikacja w formie WPS lub WPQR. Wystawienie i zmiany standardowe technologii powinny być dokonane przez egzaminatora lub jednostkę egzaminującą ponoszącą odpowiedzialność za pierwotne kwalifikowanie. Kwalifikowanie ograniczone jest do grupy materiałowej 1.1 i 8. [10]

Warunki stosowania standardowej technologii spawania:

- użytkownik standardowej technologii spawania jest odpowiedzialny za jej właściwy wybór i stosowanie;
- użytkownik dysponuje odpowiednim personelem nadzoru spawalniczego wg normy PN-EN ISO 14731 [12] oraz spełnia wymagania dotyczące jakości wg odpowiedniej części normy PN-EN ISO 3834-1 [19];
- standardową technologię stosują spawacze z uprawnieniami wg EN 287-1 [14];
- użytkownik posiada urządzenia spawalnicze zapewniające uzyskanie parametrów spawania zgodnych z urządzeniami stosowanymi przy kwalifikowaniu standardowej technologii – urządzenia powinny pozwalać na kontrolę wszystkich zasadniczych parametrów spawania;
- warunki otoczenia stosowane przy wykorzystaniu standardowej technologii, mieszczą się w zakresie ograniczeń jakie ta technologia podaje.

3.4. Kwalifikowanie na podstawie przedprodukcyjnego badania spawania

Kwalifikowanie na podstawie badania przedprodukcyjnego dla spawania łukowego stosowane jest wówczas, gdy kształt i wymiary standardowych złączy próbnych, np. określonych w PN-EN ISO 15614 [9], nie odpowiadają w pełni złączom, które należy wykonać w produkcji. W takich wypadkach wykonuje się jedno lub więcej złączy próbnych symulujących złącza produkcyjne we wszystkich jego istotnych cechach np. wymiarach, utwardzaniu, wpływowi nagrzania, ograniczonemu

dostępowi do niego. Badania należy przeprowadzić przed rozpoczęciem produkcji w odpowiednich warunkach. Próby i badania złączy należy przeprowadzić w sposób najbardziej zbliżony do zakresu wymaganego normą PN-EN ISO 15614 [1]. Badania jednak mogą wymagać specjalnych, uzupełniających prób, zgodnie z naturą badanego złącza, co należy uzasadnić z egzaminatorem lub jednostką egzaminującą.

Ze względu na znaczny koszt uzyskania technologii spawania, na który składają się badania laboratoryjne i certyfikat WPQR i ze względu na produkcję jednostkową korzystniejsze jest uznanie wg normy PN-EN ISO 15614-1 [9]. Uznanie wg tej normy daje całe spectrum zastosowań zgodnie z tabelą 7.3 normy PN-EN 1090-2.

W tabeli 3 przedstawiono metody klasyfikacji technologii spawania przy uwzględnieniu klasy wykonywania konstrukcji.

Tab. 3. Metody kwalifikacji technologii spawania w procesach 111, 114, 12, 13 i 14 wg PN-EN 1090-2 [15]

Metoda kwalifikacji		EXC 2	EXC 3	EXC 4
Badania technologii spawania	PN-EN ISO 15614-1	x	x	x
Przedprodukcyjne badanie spawania	PN-EN ISO 15613	x	x	x
Standardowa technologia spawania	PN-EN ISO 15612	Xa	-	-
Wcześniej nabyte doświadczenie	PN-EN ISO 15611	Xb	-	-
Zbadanie materiałów dodatkowych	PN-EN ISO 15610			
X Dopuszczenie - Niedopuszczalne				
a Tylko do materiałów $\leq S 355$ i do spawania ręcznego lub półautomatycznego				
b Tylko do materiałów $\leq S 275$ i do spawania ręcznego lub półautomatycznego				

Norma PN-EN 1090 „Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych” wprowadza pojęcie klasy wykonania konstrukcji EXC. Opierając się na wytycznych zawartych w niemieckiej Wzorcowej Liście Zarządzeń technicznych otrzymujemy wytyczne do przyporządkowania budowl do poszczególnych klas wykonania.

Klasa wykonania EXC1 - do tej klasy wykonania zalicza się elementy konstrukcyjne, konstrukcje lub konstrukcje nośne poddane obciążeniom przeważająco stałym wykonane ze stali o klasie wytrzymałości do 275MPa, których dotyczy minimum jeden z warunków [24]:

- konstrukcje nośne: z max dwoma kondygnacjami, z profili walcowanych bez sztywnych na zaginanie styków płyt głowicowych; ze słupami o długości wybożenia max 3 m; z belkami zginanymi o rozpiętości max 5 m i wysięgami do 2m;
- schody i poręcze w budynkach mieszkalnych;
- budynki rolnicze bez regularnego ruchu osób (np. stodoły, szklarnie);
- ogrody zimowe w budynkach mieszkalnych;

- domki jednorodzinne z max czterema kondygnacjami;
- budynki, do których osoby wchodzi rzadko, jeśli ich odległość od innych budynków lub powierzchni o częstym użytkowaniu przez osoby wynosi minimum 1,5 razy wysokość budynku.

Klasa wykonania EXC1 obowiązuje również dla innych porównywalnych budowli, konstrukcji nośnych lub elementów konstrukcyjnych.

Klasa wykonania EXC2 - do tej klasy wykonania zalicza się elementy konstrukcyjne lub konstrukcje nośne poddane obciążeniom przeważająco stałym i dynamicznym, wykonane ze stali do klasy wytrzymałości S700, które nie powinny być przyporządkowane klasom wykonania EXC1, EXC3, EXC4.

Klasa wykonania EXC3 - do tej klasy wykonania zalicza się elementy konstrukcyjne lub konstrukcje nośne poddane obciążeniom przeważająco stałym i dynamicznym wykonane ze stali do klasy wytrzymałości S700, których dotyczy minimum jeden z następujących punktów:

- wielkopłaszczynowe konstrukcje dachowe dla miejsc zgromadzeń/stadionów;
- budynki z więcej niż 15 kondygnacjami;
- jazy obciążone przeważająco stale dla ekstremalnych objętości wypływów;
- następujące konstrukcje nośne lub ich elementy konstrukcyjne obciążone w sposób dynamiczny: kładki dla pieszych i rowerzystów, mosty drogowe i kolejowe, konstrukcje przestawne, wieże i maszty (np. konstrukcje antenowe), jezdnie podsuwnicowe, cylindryczne wieże (np. kominy stalowe).

Klasa wykonania EXC3 obowiązuje również dla innych porównywalnych budowli, konstrukcji nośnych lub elementów konstrukcyjnych.

Klasa wykonania EXC4 - do tej klasy wykonania zalicza się wszystkie elementy konstrukcyjne lub konstrukcje nośne klasy o ekstremalnych w skutkach awarii dla ludzi i środowiska, jak np.:

- mosty drogowe i mosty kolejowe ponad obszarami gęsto zasiedlonymi lub ponad instalacjami przemysłowymi o wysokim potencjale zagrożenia;
- zbiornik bezpieczeństwa w siłowni elektrowni atomowych;
- jazy obciążone dynamicznie dla ekstremalnych objętości wypływów.

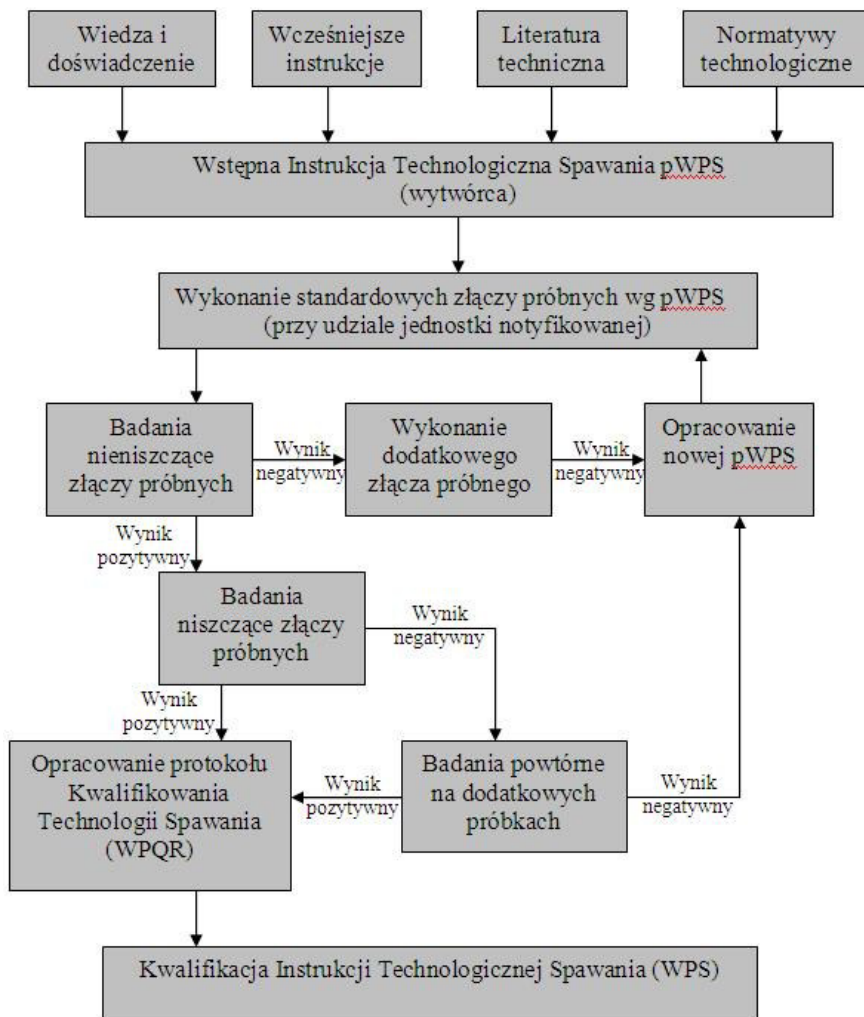
3.5. Kwalifikowanie na podstawie badania technologii spawania

Etapy kwalifikowania technologii spawania wg normy PN-EN ISO 15614-1:

- szczegółowa analiza produkcji spawalniczej (określenie zmiennych zasadniczych spawania): proces spawania, gatunek materiału podstawowego, wymiary elementów, rodzaj złącz - grubość, średnica, pozycja spawania);
- wytypowanie złącza próbnego;
- opracowanie wstępnej instrukcji technologicznej spawania - pWPS;
- wykonanie złącza próbnego;

- badania nieniszczące i niszczące technologii spawania;
- wydanie protokołu kwalifikowania technologii spawania WPQR (*Welding Procedure Qualification Record*) przez jednostkę notyfikowaną;
- opracowanie instrukcji technologicznej spawania WPS (*Welding Procedure Specification*).

Opracowanie algorytmiczne etapów kwalifikowania technologii spawania przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Algorytm kwalifikowania technologii spawania [23]

W pracy zdecydowano się na wybór sposobu uznania technologii spawania na podstawie badania wg PN-EN ISO 15614-1 ze względu na:

- największe spektrum zastosowania,
- możliwość wykonywania konstrukcji najwyższej klasy EXC4, wg PN-EN 1090-2,
- najdłuższy czas ważności WPQR,
- zastosowanie do każdego projektu, w którym występuje dany typ połączenia.

Bazując na wiedzy i doświadczeniu opracowano pWPS. Podczas wykonywania złącza badanego przez spawacza spisano dokładnie natężenie i napięcie spawania, które następnie zostało wpisane w pWPS. Spawanie złącza próbnego odbywało się w obecności inspektora jednostki notyfikowanej (w tym przypadku jednostką notyfikowaną był TUV SUD POLSKA). Próbkę wysłano do laboratorium uznaniowego wg EN ISO 17025. Po pozytywnych badaniach, protokoły z przeprowadzonych badań pWPS, atesty materiałów podstawowych i dodatkowych przesłano do jednostki notyfikowanej, która na ich podstawie wystawiła certyfikat/protokół kwalifikowania technologii spawania WPQR.

4. Podsumowanie i wnioski

Spawanie konstrukcji stalowych powinno odbywać się wg Instrukcji Technologicznych Spawania (WPS), a protokół z badania technologii spawania WPQR umożliwia wystawienie WPS. Według normy EN 1090-2 każdy nowy WPS powinien być poprzedzony pięcioma złączami próbnymi o długości 900 mm. Po pozytywnych badaniach NDT wykonanych własnym personelem WPS jest gotowy do produkcji. Norma EN 1090-2 ustala również zasady ważności kwalifikacji technologii spawania. W przypadku gdy wytwórca konstrukcji stalowych nie stosował w swoim procesie technologii spawania kwalifikowanej wg EN ISO 15614-1 przez okres co najmniej roku, to zobowiązany jest do przeprowadzenia dodatkowych badań:

- gdy przerwa wynosi od jednego roku do trzech lat należy wykonać badania VT, RT lub UT, MT lub PT, badanie makroskopowe i twardości;
- gdy przerwa wynosi więcej niż trzy lata, dla gatunków nie wyższych niż S355 sprawdzić należy (do akceptacji) próbę makroskopową z badań produkcyjnych;
- gdy przerwa wynosi więcej niż trzy lata, dla gatunków wyższych niż S355 należy przeprowadzić ponowne badania technologii spawania.

Należy wspomnieć że kwalifikowanie pWPS na podstawie badania technologii spawania zgodnie z normą EN ISO 15614-1 uzyskane przez wytwórcę jest ważne dla spawania w warunkach produkcyjnych lub montażowych z zachowaniem tego samego technicznego i jakościowego nadzoru tego wytwórcy

Przedstawiona w pracy procedura uznania technologii spawania na przykładzie stalowej konstrukcji podestu balkonowego została wykonana poprawnie co udokumentowano wdrożeniem uznania technologii w zakładzie ślusarskim

AK ANATOL na wykonywanie połączeń spawanych złączy doczołowych z gatunku S235JR w zakresie od 3 do 5,2 mm. (Certyfikat zgodności zakładowej kontroli produkcji zgodnie z normą EN 1090-1:2009+A1:2011 oraz certyfikat spełniający pełne wymagania dotyczące jakości spawania wg normy PN-EN ISO 3834-2:2007).

Literatura

- [1] Pilarczyk J.: *Poradnik inżyniera*. T. 1, WNT, 2012.
- [2] Pilarczyk J.: *Poradnik inżyniera*. T. 2, WNT, 2012.
- [3] PN-EN 1090-1+A1:2012 – *Wykonywanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 1: Zasady oceny zgodności elementów konstrukcyjnych*.
- [4] PN-EN ISO 9001:2009 – *Systemy zarządzania jakością. Wymagania*.
- [5] PN-EN 15610:2006P – *Specyfikacja i kwalifikacja technologii spawania metali. Kwalifikowanie na podstawie zbadanych materiałów dodatkowych do spawania*.
- [6] PN-EN ISO 15611:2006P – *Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali. Kwalifikowanie na podstawie wcześniej nabytego doświadczenia w spawaniu*.
- [7] PN-EN 15612:2006P – *Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali. Kwalifikowanie przez przyjęcie standardowej technologii spawania*.
- [8] PN-EN 15613:2013 – *Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali. Kwalifikowanie na podstawie przedprodukcyjnego badania spawania/zgrzewania*.
- [9] PN-EN ISO 15614-1:2008/A2:2012E – *Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badanie technologii spawania. Część 1: Spawania łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu*.
- [10] ISO/TR 15608:2002 – *Spawanie. Wytyczne systemu podziału materiałów metalowych na grupy*.
- [11] PN-EN ISO 15609:2007 – *Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali. Instrukcja Technologiczna spawania. Część 1: Spawanie łukowe*.
- [12] PN-EN ISO 14731:2008 – *Nadzorowanie spawania. Zadania i odpowiedzialność*.
- [13] PN-EN ISO 3834-1:2007 – *Wymagania jakościowe dotyczące spawania materiałów metalowych . Część 1. Kryteria wyboru odpowiedniego poziomu wymagań jakości*.
- [14] PN-EN 287-1:2011 – *Egzamin kwalifikacyjny spawaczy. Spawanie. Część 1: Stale*.
- [15] PN-EN 1090-2 – *Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych -- Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych*.
- [16] PN-EN 10279:2003P – *Ceowniki stalowe walcowane na gorąco. Tolerancja kształtu, wymiarów i masy*.
- [17] PN-EN 10034:1996P – *Dwuteowniki I i H ze stali konstrukcyjnej. Dopuszczalne odchyłki wymiarowe i odchyłki kształtu*.
- [18] PN-EN ISO 13920:2000P – *Spawalnictwo. Tolerancje ogólne dotyczące konstrukcji spawanych. Wymiary liniowe i kąty*.
- [19] PN-EN 10025-2:2007P – *Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych. Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych*.
- [20] ISO 2768 – *Allgemeintoleranzen. Toleranzen für Längen und Winkelklasse ohne einzelne Toleranzeintragung*.
- [21] PN-EN ISO 5817:2009P – *Spawanie. Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu I ich stopów(z wyjątkiem spawanych wiązek). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych*.

- [22] PN-EN 1993-1-8:2006P – Eurocod 3: *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1: Projektowanie węzłów.*
- [23] <http://www.e-spawalnik.pl> (dostęp 10.2017)
- [24] <http://ikmj.com/klasa-wykonania-konstrukcji-exc-wedlug-wymagan-normy-pn-en-1090-2/> (dostęp 10.2017)

ZARZĄDZANIE WIEDZĄ W FILOZOFII KAIZEN

Anna KOMARNICKA¹, Taras NAHIRNY²

W pracy zostały omówione podstawowe zagadnienia filozofii Kaizen związane ze standaryzacją w celu nakreślenia sposobu zarządzania wiedzą, czyli pozyskania i przekazywania informacji oraz doświadczenia w przedsiębiorstwach produkcyjnych, zarządzanych według zasad Kaizen.

Słowa kluczowe: koło Deminga, flaga Kaizen, standaryzacja, zarządzanie wiedzą

1. Wprowadzenie

Jedno z najważniejszych zadań jakie dziś stoją przed przedsiębiorstwami, to zdobywanie wiedzy i wykorzystanie umiejętności swoich pracowników do kształtowania wartości, które są cenne dla Klientów, uświadamianie Klientom tych wartości oraz bezwzględne spełnianie ich wymagań. Podstawą i jednym z warunków przewagi nad konkurencją jest uczenie się i wprowadzanie zmian szybciej niż konkurencja. Doskonałe rezultaty przynosi wprowadzenie kultury ciągłego doskonalenia czyli Kaizen (jap. Kai – zmiana, Zen – dobrze), która jest sposobem myślenia i nisko kosztowego podejścia do zarządzania w celu ciągłego doskonalenia i usprawniania przedsiębiorstwa. Filozofia ta zrewolucjonizowała przemysł. Kaizen obejmuje zbiór technik i narzędzi zarządzania opracowanych po II wojnie światowej w japońskiej spółce Toyota Motor Company. Jest on ściśle związany z kulturą japońską, dlatego ciężko jest określić dokładne początki funkcjonowania tej filozofii. W firmach takich jak Toyota, Honda, Sony stosowanie Kaizen jest długoletnią praktyką. Za mistrza i guru tej filozofii uznawany jest Japończyk Masaaki Imai, który w 1986 roku wydał książkę pt. „Kaizen”. Jej istotą jest stałe doskonalenie procesów w przedsiębiorstwie na drodze małych usprawnień dokonywanych przez wszystkich zatrudnionych. Codzienne działania w przedsiębiorstwie przebiegają według określonych zasad, które opisane stają się standardami. Poprzez zarządzanie wiedzą w przedsiębiorstwie rozumiemy przestrzeganie i rozwój standardów-algorytmów postępowania w różnych przypadkach podejmowania działań [6].

¹ mgr inż.; Valmet Automotive Sp z o.o. ; e-mail: aniakomarnicka@gmail.com

² prof. dr hab.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: T.Nahirny@iizp.uz.zgora.pl

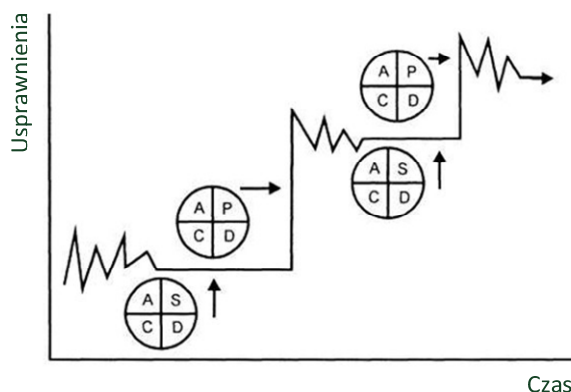
2. Zarządzanie wiedzą w przedsiębiorstwie według filozofii Kaizen

Zarządzanie przedsiębiorstwem przemysłowym, który funkcjonuje według określonych reguł ułatwia standaryzacja tych reguł. Dlatego według filozofii Kaizen standaryzacja umiejscowiona została w centralnej części domu miejsca roboczego Kaizen (Rys. 1). Standardy są integralną częścią rozwiązywania problemów w miejscu pracy i stanowią podstawę codziennej poprawy.



Rys. 1. Dom miejsca roboczego Gemba

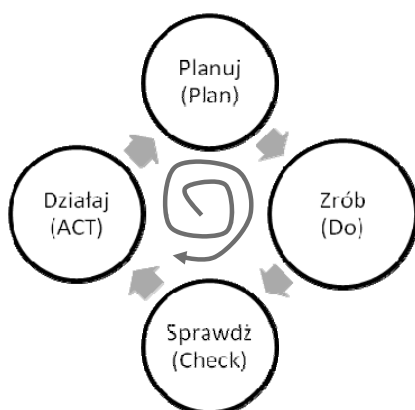
Jeżeli na stanowisku roboczym coś przebiega nieprawidłowo, produkowane są wadliwe części lub inne czynniki destabilizują proces, według ideologii Kaizen kierownictwo zarządzające powinno wdrożyć standardy czyli postępować według cyklu SDCA (Standard-Do-Check-Act) szeroko opisanego w [2].



Rys. 2. Cykle SDCA i PDCA jako narzędzia ciągłego doskonalenia [2]

Istniejące standardy, które są wdrożone i przestrzegane, należy ciągle rozwijać czyli podnosić je na wyższy poziom. Zastosowanie ciągłego doskonalenia standardów odbywa się według cyklu PDCA (Plan-Do-Check-Act). Wdrożenie cyklu PDCA inicjuje nowy etap utrzymania standardów. Na rysunku 2 przedstawiono powiązanie pomiędzy cyklami SDCA i PDCA. Ściśle powiązane między nimi należy traktować jako narzędzia ciągłego doskonalenia.

Proces postępowania według cyklu PDCA (Rys. 3), zwany również cyklem Deminga, rozbity na osiem kroków nazwany został biznesowymi praktykami Toyoty (TBD). Choć został on rozbity na osiem kroków, są one nadal dosyć ogólnymi wskazówkami, które należy jeszcze bardziej uszczegółowić. Warto zwrócić uwagę na to, jak wielką wagę przywiązuje się do etapu planowania, składającego się aż z pięciu kroków. Ukazuje to, jak istotne jest dokładne zdefiniowanie problemu (Tab. 1).



Rys. 3. Cykl Deminga – PDCA [2]

Tab. 1. Budowa konsensusu zgodnie z cyklem PDCA [7]

Etap cyklu PDCA	Ośmiostopniowy praktyczny model rozwiązywania procesów
Zaplanuj (<i>Plan</i>)	1. Zidentyfikuj problem.
	2. Rozbij problem na elementy.
	3. Ustal cel do osiągnięcia.
	4. Przeanalizuj źródła problemu.
	5. Opracuj środki zaradcze.
Zrób (<i>Do</i>)	6. Wdrażaj środki zaradcze.
Sprawdź (<i>Check</i>)	7. Sprawdź proces i rezultaty.
Działaj (<i>Act</i>)	8. Pomyślnie rozwiązania poddaj standaryzacji, wyciągnij wnioski z porażek, zidentyfikuj położenie względem ideału.

Nacisk położony w cyklu PDCA na wolne i dokładne planowanie z jasnym określeniem problemu, ustawienie klarownych celów, odpowiednią analizę źródeł problemu oraz rozważenie wszystkich możliwych środków zaradczych pozwala na osiągnięcie konsensusu wśród członków zespołu i innych osób, na które wpłyną proponowane zmiany.

Istotna jest rola kierownictwa, które musi inicjować PDCA poprzez stawienie ambitnych celów. Kierownictwo powinno ustalać wyższe cele i stawiać przed podwładnymi zadania do realizacji. Kiedy tylko nowy cel zostanie osiągnięty, kierownictwo powinno wskazać kolejny, by w ten sposób nakłonić pracowników do nieustannego doskonalenia. Ważnymi tutaj staje się praca zespołowa, koła jakości oraz system sugestii. Czynniki te pomiędzy sobą ściśle powiązane, podwyższają morale oraz umożliwiają upelnomocnianie pracowników [7]. Tylko wtedy, kiedy kierownictwo pokaże swoją silną motywację, samodyscyplinę oraz nastawienie na Kaizen pracownicy w miejscu roboczym będą mogli wykonywać swoje zadania, dążąc do utrzymania i podnoszenia standardów.

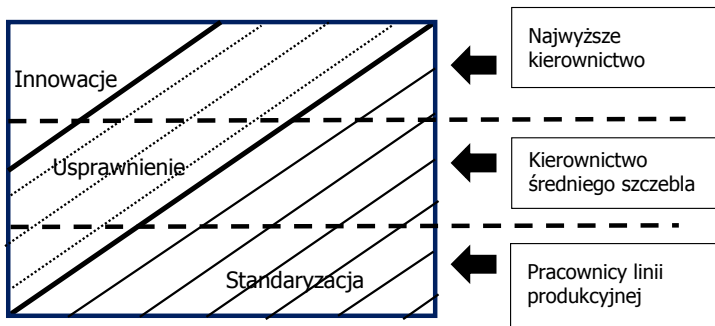
W ideologii Kaizen duży nacisk kładzie się na uczące się przedsiębiorstwo, czyli takie, w którym osoby, zespoły oraz sama organizacja stale się uczą i współdzielą wiedzę i umiejętności w celu stałych usprawnień i przewagi konkurencyjnej. Tworzone jest kooperacyjne środowisko pracy, w którym współpracownicy w biznesie, kierownictwo i pracownicy produkcyjni współdziałają w osiągnięciu wspólnych celów. Praca jest traktowana jako sposób na życie, jako środek rozwoju osobistego. Stanowisko pracy staje się świątynią nauki.

Dziesięć zasad Kaizen w miejscu roboczym przedstawia się następująco [2]:

1. Odrzuć konwencjonalny sposób myślenia na temat produkcji,
2. Myśl o tym jak coś zrobić, a nie o tym, dlaczego nie można tego wykonać,
3. Nie szukaj wymówek. Zaczynj od poddania wątpliwości istniejących metod,
4. Nie szukaj ideału. Rozwiązania wdrażaj natychmiast, nawet, jeśli osiągniesz cel tylko w 50%,
5. Od razu popraw błędy,
6. Nie wydawaj pieniędzy na Kaizen,
7. Zdobędziesz wiedzę, kiedy pojawią się problemy,
8. Pytaj DLACZEGO pięć razy i szukaj główną przyczynę,
9. Polegaj na mądrości dziesięciu osób bardziej jak na mądrości jednej osoby,
10. Pamiętaj, że możliwości Kaizen są nieskończone.

System japoński rozwinął segmenty: sugestie indywidualne i grupowe, w tym grupowe zgłaszane przez koła jakości (Cykl Deminga, cykl rozwiązywania problemów) i koła zero defektów. Oni dają możliwość administracji pomóc pracownikom poradzić sobie z problemami. Jest to system komunikacji dwustronnej, który umożliwia rozwój pracowników. Kiedy pracownicy tworzą nowe lub wyższe standardy rozwijają w sobie poczucie własności tych standardów, dlatego u nich pojawia się samodyscyplina dostosowania się do tych standardów.

Zgodnie z definicją Masaaki Imai proces Kaizen wymaga codziennego zaangażowania w organizację i wykonywanie codziennych niewielkich ulepszeń, co z kolei przyczynia się w dłuższym czasie do znacznej poprawy [2]. Koncepcja ta została przedstawiona w formie "Flagi Kaizen" (Rys. 4), która w sposób obrazowy dzieli role i obowiązki osób w organizacji w utrzymaniu i ulepszaniu standardów. Innowacje zaś są przez Masaaki Imai rozumiane jako radykalna poprawa w wyniku ogromnych inwestycji środków w nowe technologie czy wyposażenie. Z powodu fascynacji innowacjami zachodnie kadry kierownicze oczekują natychmiastowych rezultatów i nie dostrzegają długoterminowych korzyści, jakie mogą przynieść firmie usprawnienia. Natomiast usprawnienia bazują na ludzkich wysiłkach, morale, komunikacji, szkoleniach, pracy zespołowej, zaangażowaniu i samodyscyplinie – to podejście stawia na zdrowy rozsądek i niskie koszty.



Rys. 4. Flaga Kaizen [7]

Jednym z istotnych problemów zarządzania jest wybór odpowiedniego podejścia do standaryzacji działań realizowanych na poszczególnych stanowiskach pracy oraz standaryzacji całych procesów. W praktyce zarządzania przez pojęcie standaryzacji pracy rozumie się ustalanie, komunikowanie, przestrzeganie i doskonalenie procedur (ogólnie określanych jako standardy, normy), dotyczących istotnych aspektów wykonywanej pracy w celu poprawy jej efektywności i skuteczności. W takim ujęciu standard to najlepsza metoda wykonania danej pracy: zasady, zalecenia i procedury ustalone przez kierownictwo dla wszystkich ważniejszych operacji, które służą jako wytyczne umożliwiające wszystkim pracownikom wykonanie ich pracy w sposób zapewniający dobre wyniki. Sposób wykonania zadania (metoda pracy) może być dowolnie ustalony przez samego wykonawcę na podstawie jego wiedzy, intuicji, doświadczenia lub narzucony przez kierownictwo w postaci standardu pracy opracowanego przez odpowiednie komórki funkcjonalne. W praktyce mamy do czynienia zarówno z przypadkami dużej niezależności (praca konstruktora) i całkowitego podporządkowania (praca monter na linii montażowej), jak i z przypadkami mieszanymi, w których pewne aspekty wykonywanego zadania

są narzucane z góry, inne mogą być swobodnie ustalone przez pracownika. Zarówno zbyt wysoki poziom standaryzacji, jaki ma miejsce w wielu przypadkach rutynowej pracy wykonawczej, jak i brak jakichkolwiek standardów w odniesieniu do nierutynowej pracy koncepcyjnej może negatywnie wpływać na efektywność i skuteczność działania. Występuje wiele kontrowersji odnośnie sposobów standaryzacji procesów pracy i jej konsekwencji społecznych, organizacyjnych i ekonomicznych [1].

3. Różnorodność zadań a możliwość standaryzacji

Na podstawie dwóch prostych zmiennych takich jak różnorodność pracy oraz możliwość analizowania zadania, Charles Perrow [8] w 1967 roku opracował całą teorię organizacji. Połączył oba czynniki w matryce przedstawioną na rysunku 5.

Możliwość analizowania	<i>Niska</i>	Przewaga struktury mechanistycznej 1. Standaryzacja od wysokiej do umiarkowanej 2. Formalna struktura umiarkowana do wysokiej 3. Szkolenia monitoring właściwe dla pracy Praca techniczna	Struktura mechanistyczna 1. Wysoka standaryzacja 2. Struktura wysoce sformalizowana 3. Strukturalne szkolenie właściwe dla pracy Praca rutynowa
	<i>Wysoka</i>	Przewaga struktury organicznej 1. Umiarkowana Standaryzacja 2. Umiarkowana struktura formalna 3. Głębokie doświadczenie pracy i formalne praktyki Praca rzemieślnicza	Struktura organiczna 1. Wysoka Standaryzacja 2. Niewiele struktur formalnych 3. Szkolenie zawodowe plus znaczne doświadczenie pod kontrolą mentora Praca nierutynowa
		<i>Wysoka</i>	<i>Niska</i>
		Różnorodność zadań	

Rys. 5. Typologia prac w zależności od różnorodności zadań i możliwości ich analizowania [8]

W każdym czynniku wyróżniono dwa wiersze i kolumny (wysoki i niski) i wykorzystując formę tabeli, określono najbardziej efektywne formy organizacji dla różnych typów prac. Praca rutynowa, w tej kategorii mieści się przy linii montażowej o krótkim cyku. Standardy tej pracy można opisać w arkuszu instrukcji stanowiskowej, czyli przełożony narzuca pracownikowi wyraźną strukturę z jasno zdefiniowanymi rolami, zakresem obowiązków, procedurami pracy i szczegółowym rozkładem dnia. Istnieją również jednoznaczne miary wydajności efektywności i skuteczności, które można monitorować. Praca techniczna opisuje pracę, w której występuje wiele różnych zadań w sekwencjach zależnych od sytuacji, ale każde

zadanie może być ujęte w instrukcjach opisujących algorytm wykonania zadania. Typ tej pracy jest wykonywany przez na przykład laborantów lub techników. Jest to praca dużo bardziej skomplikowana w celu której rozwiązuje się poważne problemy techniczne które mogą wystąpić w każdej chwili. Instrukcje wykonywania tej pracy bardzo często można ująć w tabelach lub procedurach do wykorzystania których należy użyć dużej ilości zakumulowanej wiedzy i doświadczenia. Prace techniczną można podzielić na oddzielne etapy i uczyć się ich w sposób strukturalny. Konieczne jest wsparcie tych działań w postaci trenera „jeden na jeden” w trakcie pracy, aby pracownik mógł poznać praktyczne tajniki wiedzy.

Praca rzemieślnicza – wymaga się znajomości określonej liczby różnych zadań, ale każda sytuacja, w której mogą znaleźć się pracownicy jest odmienna od pozostałych. Pracownicy wykonujący ten typ pracy wykonują czynności sprzątania lub konserwacji urządzeń (lider grupy, brygadzysta, pielęgniarka), ich głównym zadaniem jest rozwiązywanie problemów. Pracownicy muszą wykazać się kreatywnością i odnalezieniem potencjalnych przyczyn problemów. Oczywiście doświadczeni pracownicy dostrzegają pewne schematy i problemy o podobnym charakterze. Wiedzę praktyczną mogą z czasem przekazać swoim uczniom. Od pracowników wykonujących pracę typu rzemieślniczą oczekuję się intuicyjnego rozwiązywania problemów i odczytywania sytuacji. Praca nierutynowa, czyli wysoka różnorodność i niska możliwość analizowania zadania, to praca eksperta na przykład kierownika działu, inżyniera lub konstruktora. Wszystkie osoby wykonujące ten typ pracy często przeskakują z zadania na zadanie a ponieważ każda sytuacja jest wyjątkowa, muszą wykazać się cechami spontanicznego myślenia i podejmowania decyzji. Takich umiejętności można nabyć tylko w trakcie pracy. Standaryzacji w tej pracy podlegają wyłącznie ogólne zasady – procedury, kryteria produktu, organizacja stanowiska pracy. Od pracowników wykonujących ten rodzaj pracy oczekuję się zdolności kreatywnego myślenia, innowacyjności, intuicyjnego rozwiązywania problemów oraz odczytywania sytuacji.

4. Instrukcja pracy jako podstawowe narzędzie standaryzacji

W książce [5] autorzy szczegółowo opisują metodę instrukcji pracy na przykładzie Toyoty i zastosowanego w niej amerykańskiego programu TWI (Training Within Industry). Wyróżniają trzy podstawowe techniki szkolenia metodą instrukcji pracy. Po pierwsze podział pracy zapewnia wprowadzenie metody analizy pracy w celu określenia, co jest istotne i w jaki sposób należy wykonać poszczególne elementy czynności. Zadanie musi być podzielone na takie części składowe, które będą łatwe do nauczenia – skuteczność przekazywania informacji. Po drugie metoda szkoleniowa Instrukcja Pracy znana jest także jako metoda czterostopniowa, są to

kolejno przygotowanie ucznia, zaprezentowanie operacji, wypróbowanie efektywności i kontrola. To podstawa procesu, która pozwala efektywnie przekazywać wiedzę. Ostatnią techniką jest wprowadzenie opracowywania planu szkolenia. Technika ta w firmie Toyota wprowadziła i rozpowszechniła koncepcję robotnika wielofunkcyjnego. Polega ona na ocenie braków w umiejętnościach pracowników i opracowywaniu planów poprawy.

Wstępnym etapem opracowywania instrukcji pracy jest podzielenie całego procesu pracy na poszczególne kategorie zadań w zależności od charakteru wymaganych umiejętności oraz stopnia powtarzalności. Ważne znaczenie ma zidentyfikowanie typowych powtarzalnych elementów procesu podstawowego, w szczególności oddzielenie rutynowych zadań głównych wykonywanych w każdym cyklu pracy od nierutynowych zadań głównych oraz zadań pomocniczych wykonywanych z mniejszą lub większą regularnością. W pracy wykonawczej szczególną uwagę poświęca się rutynowym zadaniom głównym, które mają decydujące znaczenie w tworzeniu wartości dodanej. Dotyczy to również zadań pomocniczych związanych z obsługą techniczną i organizacyjną. Nie zaleca się łączenia pracy cyklicznej z niecykliczną na jednym dokumencie. Zadania główne powinny obejmować spójną zasadniczą część analizowanej pracy oraz różnorodne zadania spójne pod względem metody, ale różniące się pod względem częstotliwości ich wykonywania. Nie należy od razu dokonywać drobiazgowej analizy, dopóki nie zrozumie się podstawowego wzorca pracy, pomimo że często wydaje się, iż praca ma charakter przypadkowy i chaotyczny. Na tym etapie postępowania nie analizuje się zakumulowanej wiedzy know-how. Celem tej wstępnej analizy jest identyfikacja podstawowych etapów cyklicznie powtarzających się zadań głównych oraz niecyklicznych zadań głównych i zadań pomocniczych. Dla cyklicznych zadań głównych oraz szczególnie trudnych i ważnych działań niecyklicznych i pomocniczych opracowuje się arkusze instrukcji pracy. Pierwszym etapem tworzenia instrukcji pracy jest zidentyfikowanie tzw. ważnych kroków, które opisują, co jest robione w kategoriach sekwencyjności. Jeżeli pewne części pracy są oczywiste i nie wymagają żadnych wyjaśnień, nie powinny być wskazywane jako główne kroki. Nie ma sztywnych zasad określających zakres pracy ujętych w jednym kroku, zależy to od wielu czynników, takich jak: stopień trudności, lokalizacja w przestrzeni, liczba wykorzystywanych narzędzi, łączny czas cyklu. Główne kroki opisują co ma być zrobione, z kolei kluczowe punkty wyjaśniają sposób (metodę) wykonywania pracy. Identyfikowanie kluczowych punktów i argumentów przemawiających za ich wyodrębnieniem stanowi najistotniejszy etap opracowywania instrukcji pracy. Kluczowe punkty obejmują elementy związane z bezpieczeństwem pracownika, jakością produktu, wydajnością i kontrolą kosztów. Identyfikacja tych krytycznych aspektów pracy, a następnie zdefiniowanie standardowej sekwencji oraz jej upowszechnianie poprzez szkolenie ma kluczowe znaczenie w całym procesie standaryzacji. O ile stosunkowo łatwo zidentyfikować prawidłową sekwencję pracy,

to o wiele trudniej dostrzec i zrozumieć, w jaki sposób poszczególne działania są wykonywane, w szczególności elementy mające krytyczne znaczenie dla efektywnego i skutecznego wykonania zadania. Identyfikowaniu kluczowych punktów towarzyszy znajdowanie argumentów potwierdzających ich ważność. Każdy punkt krytyczny musi mieć uzasadnienie w postaci argumentu, który spełnia jedno z kryteriów: bezpieczeństwa, jakości, wydajności, kosztów. Argumenty stojące za wyborem punktów kluczowych powinny przekonująco wyjaśnić powody, dla których pracownicy muszą je uwzględniać w trakcie wykonywania pracy. Ten aspekt pracy wiąże się z zakumulowanym know-how, zdobywanym dzięki wielokrotnej praktyce i wynikającemu z niej doświadczeniu. Przez doświadczenie należy rozumieć akumulację wiedzy i opanowanie umiejętności w czasie, co oznacza konieczność ciągłej refleksji nad uzyskiwanymi wynikami i ciągłego uczenia się. Opracowywanie instrukcji pozwala na identyfikowanie tak rozumianego doświadczenia oraz wykorzystywanie go w procesie szkolenia pracowników. Pewne aspekty pracy nawet o charakterze wykonawczym to w większym stopniu „sztuka” niż „nauka”. Pomimo tego dzięki analitycznemu podejściu możliwe jest ich zidentyfikowanie, zrozumienie, opisanie, standaryzowanie i rozpowszechnianie. Na tym etapie postępowania pojawia się problem, w jaki sposób zezwalać na kreatywność i wprowadzanie zamian, a jednocześnie zapewnić spójność wyników, tam gdzie to ma znaczenie. Kreowanie nawet najlepszych praktyk bez umiejętności dyfuzji tej wiedzy byłoby bezużyteczne, a uczenie bez głębokiej znajomości pracy i wyróżniania istotnych jej aspektów prowadziłyby jedynie do przekazywania minimalnej jej ilości. Ważne znaczenie ma skoncentrowanie uwagi na najważniejszych aspektach pracy oraz ściśle egzekwowanie sposobu ich wykonywania. W większości przypadków krytyczne aspekty każdej pracy dotyczą około 15-20% całej jej treści. Według zasady Pareto na tych 20% należy skoncentrować 80% czasu poświęconego na analizę. Jeżeli jednakowe znaczenie przypisze się wszystkim elementom pracy, to nie osiągnie się spodziewanego rezultatu, ponieważ nie jest możliwe dokumentowanie i nadzorowanie wszystkich aspektów pracy. Osiągnięcie pożądanego rezultatu wymaga umiejętności identyfikacji elementów istotnych i koncentrowanie uwagi na nich. Ponieważ krytyczne elementy decydują o wynikach, zatem sposób ich wykonania nie może mieć charakteru opcjonalnego. Te elementy pozwalają na niewielkie zróżnicowanie pod względem parametrów operacyjnych. Odchylenie od zdefiniowanej metody nie jest dopuszczalne. Przypisywanie takiej samej uwagi wszystkim elementom pracy stanowi jedną z przyczyn trudności w standaryzacji pracy z uwagi na opór, jaki stawiają takie-mu podejściu bezpośredni wykonawcy. Instrukcja pracy, jako jedno z narzędzi standaryzacji pracy, powinna służyć nie tylko do dokumentowania, szkolenia i kontroli, ale także stanowić podstawę stymulowania do dalszego doskonalenia metod pracy.

5. Podsumowanie

Masaki Imai w swojej nowatorskiej pracy [3] twierdzi, iż nauczył się, że nie ma mowy o Kaizen bez standaryzacji. Standaryzacja jest w rzeczywistości punktem wyjścia do ciągłej poprawy. Wdrożenie standaryzowanych procesów i procedur jest najważniejszym warunkiem uzyskania wysokiego i spójnego poziomu wydajności. Standaryzacja wiąże się z biurokracją przedsiębiorstw, która ułatwia spisywanie algorytmów postępowania w problemowych sytuacjach opartych na definiowaniu, wyjaśnianiu (najczęściej przez wizualizację) i spójnym stosowaniu metod które zapewniają jak najlepsze rezultaty a co za tym idzie przekazywanie rozwiązań – wiedzy - innym pracownikom.

Literatura

- [1] Bednarz L.: *Metodyczne aspekty standaryzacji procesów pracy*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu, Nr 22, 2011.
- [2] Imai M.: *Gemba Kaizen*. Wyd. MT Biznes sp. z o.o., Warszawa, 2006.
- [3] Imai M.: *Kaizen - klucz do konkurencyjnego sukcesu Japonii*, Wyd. MT Biznes sp. z o.o., Warszawa, 2007.
- [4] Liker J.: *Droga Toyoty. 14 zasad zarządzania wiodącej firmy produkcyjnej świata*, Wyd. MT Biznes sp. z o.o., Warszawa, 2005.
- [5] Likier D. J. K.: *Toyota talent. Rozwijaj swoich pracowników na sposób Toyoty*. Wyd. MT Biznes sp. z o.o., Warszawa, 2008.
- [6] Meier J. L. D.: *Droga Toyoty*. Fieldbook, Wyd. MT Biznes sp. z o.o., Warszawa 2011.
- [7] Miller M. W. J. V. Jon: *Kultura Kaizen. Budowanie i utrzymywanie kultury ciągłego doskonalenia*, Wyd. MT Biznes sp. z o. o., Warszawa, 2014.
- [8] Perrow C.: *A Framework for Comparative Analysis of Organization*. American Sociological Review, 32, pp. 194-208, 1967.

PROCESY KONTROLI JAKOŚCI NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA

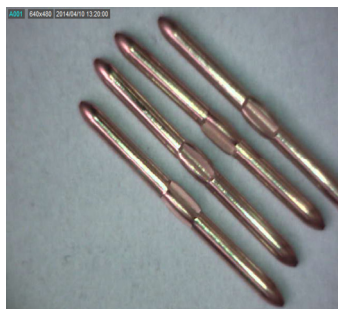
Piotr KURYŁO¹, Dariusz MICHALSKI², Aleksandra MORYŃ³

W pracy zaprezentowano metody kontroli jakości w przedsiębiorstwie produkcyjnym Eucrea Kontakte. Celem artykułu jest zaproponowanie metody kontroli jakości, na podstawie której będzie przeprowadzana statystyczna kontrola wyrobu gotowego. Przedstawiono różne rozwiązania, m. in.: statystyczna kontrola odbiorcza, karty kontrolne Shewarta, karty kontrolne dla cech liczbowych. W końcowej części pracy przedstawiona została wybrana metoda kontroli jakości, według której uzyskuje się najwyższe prawdopodobieństwo uzyskania dobrego jakościowo wyrobu.

Słowa kluczowe: kontrola jakości, kontrola statystyczna, proces produkcyjny

1. Charakterystyka przedsiębiorstwa

Eucrea Kontakte jest firmą zajmującą się produkcją masową styków ciętych termicznie z różnego rodzaju stopów metali, m. in. z mosiądzu (CuZn30) oraz brązu (CuSn6). Na rys. 1 i 2 przedstawiono przykładowe artykuły wytwarzanych wyrobów.



Rys. 1. Proste sztyfty ze stemplami;
średnica drutu 1,55 mm



Rys. 2. Sztyfty z kątem zagięcia 100°;
średnica drutu 1,51 mm

Możliwości technologiczne pozwalają na wytwarzanie pinów z drutu okrągłego i o przekroju kwadratowym, o średnicy $0,605 \pm 1,56$ mm. W asortymencie firmy znajdują się styki proste, styki ze stemplami a także styki z różnym kątem zagięcia.

¹ dr hab. inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: p.kurylo@ibem.uz.zgora.pl

² dr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: d.michalski@ibem.uz.zgora.pl

³ mgr; Eucrea Kontakte sp. z o.o., kontroler jakości

Odbiorcami wyrobów są przedsiębiorstwa z takich branż jak: przemysł elektryczny i budowa maszyn, elektronika samochodowa, elektroniczny sprzęt RTV oraz AGD.

Firma posiada Zintegrowany System Zarządzania. Jest to połączenie procesów, procedur i praktyk działania stosowanych w organizacji w celu wdrożenia jej polityki, które może być bardziej skuteczne w osiągnięciu celów wynikających z polityki niż podejście poprzez oddzielne systemy [4]. Na zintegrowany system zarządzania w przedsiębiorstwie składają się dwie popularne normy:

- norma jakościowa PN-EN ISO 9001:2008P,
- norma środowiskowa PN-EN ISO 14001:2005P.

Są to międzynarodowe normy określające wymagania jakie powinna spełniać organizacja. Normy te mogą stosować wszystkie organizacje, niezależnie od ich wielkości i rodzaju. Ukierunkowane są na zrozumienie i spełnienie wymagań klienta, a więc określonych potrzeb względem wyrobów danej organizacji, przyjęcie podejścia procesowego, dostarczanie wyników skuteczności procesów oraz ich ciągłe doskonalenie, w oparciu o obiektywne pomiary. Standard ten zaleca objęcie procesów organizacji cyklem PDCA, znanym również jako Cykl Deminga. Zawiera chronologicznie uporządkowane działania, typowe dla układu sterowania ze sprzężeniem zwrotnym. Działania te dotyczą jakości procesów technologicznych i produktów. Przebiegają w następującej kolejności:

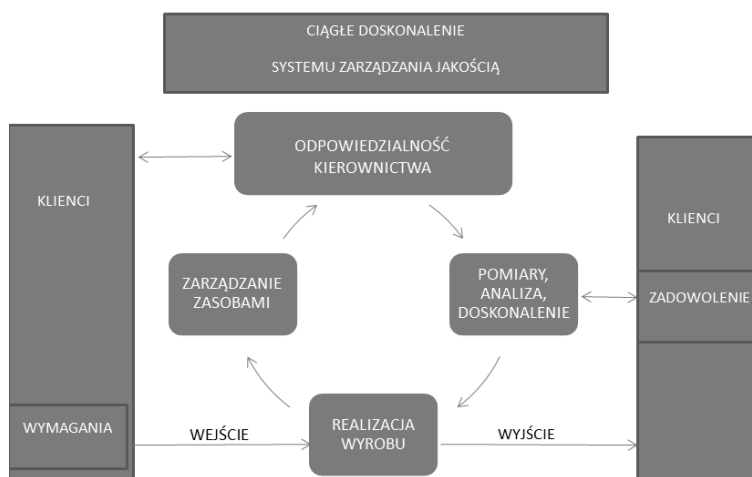
PLANOWANIE – WYKONANIE – SPRAWDZANIE – KORYGOWANIE.

Do głównych wymagań normy ISO 9001 należą m. in.: wprowadzenie nadzoru nad dokumentacją i zapisami, zaangażowanie kierownictwa w budowanie systemu zarządzania jakością, usystematyzowanie zarządzania zasobami, ustanowienie procesów realizacji wyrobu, dokonywanie systematycznych pomiarów (zadowolenia klienta, wyrobów, procesów). Procesy przebiegające w przedsiębiorstwie, przedstawiono na rysunku 3.

Norma opiera się na ośmiu podstawowych zasadach [2]:

- zorientowanie na klienta: organizacja musi spełniać oczekiwania klienta, od tego zależy jej pozycja na rynku;
- przywództwo: kierownictwo organizacji wypracowuje kierunki jego rozwoju, określa spójne cele jakościowe oraz tworzy środowisko wewnętrzne, sprzyjające osiągnięciu postawionych celów;
- zaangażowanie ludzi: ludzie są najcenniejszym dobrem organizacji, dlatego należy dążyć do pełnego wykorzystania ich umiejętności;
- podejście nastawione na proces: skuteczność i efektywność organizacji zależą w głównej mierze od jakości realizowanych w niej procesów. Należy opisać wszystkie procesy występujące w organizacji, określić ich sekwencję i wzajemne oddziaływanie, metody wspomagające ich prawidłowy przebieg oraz należy je prawidłowo monitorować i nadzorować;
- systemowe podejście do zarządzania: zarządzanie wzajemnie ze sobą powiązanymi procesami;

- ciągłe doskonalenie: organizacja dąży nieustannie do doskonalenia procesów występujących w przedsiębiorstwie;
- rzeczowe podejście do podejmowania decyzji: podejmowanie decyzji poprzez szczegółową analizę dostępnych informacji;
- wzajemne korzyści w stosunkach z dostawcami: poprawne relacje z dostawcami są gwarantem jakości otrzymywanych towarów i usług.



Rys. 3. Model systemu zarządzania jakością, którego podstawą jest proces; PN-EN ISO 2009:2008P

Norma zarządzania środowiskowego ISO 14001 jest również ukierunkowana na działanie procesowe. Za kierunek działania ustala się cele środowiskowe, do których organizacja będzie dążyć, a procesy niezbędne do osiągnięcia tych celów będzie nieustannie doskonalić.

2. Kontrola jakości w przedsiębiorstwie

2.1. Kontrola urządzeń pomiarowych

Kontrola urządzeń pomiarowych jest procesem niezbędnym w funkcjonowaniu firmy. Produkty wytwarzane w przedsiębiorstwie charakteryzują się szczegółową dokładnością wytwarzania. Parametry artykułu podawane są w specyfikacji technologicznej z dokładnością do setnych części milimetra. Aby kontrolować tak sprecyzowane wymiary niezbędny jest specjalistyczny sprzęt pomiarowy: suwmiarki elektroniczne (pomiary długości pinów), mikrometr elektroniczny (pomiary grubości drutu), projektor pomiarowy (pomiary pinów - długość, kąt, szpic), wagi (kontrola ilości).

Kontrola urządzeń pod względem metrologicznym odbywa się wg terminów ustalonych w kartach procesu. Każde sprawdzenie urządzenia jest rejestrowane. Suwmiarki sprawdzane są we własnym zakresie przez pracownika działu kontroli jakości jeden raz w miesiącu przy użyciu płytek wzorcowych. W przypadku nieprawidłowego pomiaru (zakres tolerancji dla suwmiarek 0,02 mm) urządzenie jest czyszczone, regulowane, sprawdzane jest zużycie baterii. Jeżeli zabiegi te nie przyniosą efektu, urządzenie jest wycofywane z użycia. W przypadku prawidłowego funkcjonowania, urządzenie jest legalizowane oraz oznaczane poprzez naklejenie zielonej nalepki z datą przydatności do użycia (kolejna legalizacja). Na podobnej zasadzie odbywa się sprawdzanie mikrometru oraz wag (sprawdzenie wzorcami masy).

2.2. Kontrola wstępna półwyrobów

W firmie opracowane są działania kontrolne weryfikujące jakość towarów zakupionych (lista kwalifikowanych dostawców). Działania te zapewniają, że nabyty wyrób spełnia określone wymagania dotyczące zakupu. Firmy zaopatrujące przedsiębiorstwo w produkty lub usługi są oceniane wg kryteriów takich jak: terminowość dostaw, jakość zakupionych towarów, kontakt ze sprzedającym, itp. Warunkiem do zaakceptowania potencjalnego dostawcy jest uzyskanie przez niego minimum 50 punktów. W przypadku nie spełnienia przez dostawcę zadowalającego poziomu świadczonych usług, firma jest wykluczana z listy kwalifikowanych dostawców. W tabeli 1 zaprezentowano przykładową kartę oceny dostawcy.

Tab. 1. Karta oceny dostawcy

Kryterium oceny	Wynik oceny (w skali 1 do 10)
Możliwości logistyczne dostawcy	10
Poziom cenowy oferowanych produktów	9
Kompleksowość oferty	9
Szybkość reakcji	8
Jakość obsługi	9
Ocena jakościowa produktów	9
Ocena jakościowa dostaw	9
Łączna ilość punktów	63

Półwyrobem kontrolowanym w firmie jest drut wykorzystywany do produkcji sztyftów. Towar sprawdzany jest wg następujących kryteriów:

- kontrola ilościowa (masa),
- kontrola wymiarów,

- kontrola specyfikacji chemicznej (wg DIN EN 12166-przyjęte europejskie normy dla miedzi i stopów miedzi),
- zgodność z zamówieniem.

Parametry sprawdzane są przez pracowników produkcji. Z każdej partii (szpuli) pobieranych jest pięć próbek o długości 20 cm każda. Pracownik kontroli jakości sprawdza każdą próbkę przy użyciu mikrometru. Tolerancja wymiarów danego drutu zależy od jego od średnicy. Przykładowo: dla drutu miedzianego CuZn30 o przekroju kwadratowym 0,635x0,635 tolerancja wynosi $\pm 0,005$. Każdy artykuł posiada specyfikację chemiczną, którą sprawdza się wg DIN-EN 12166. Produkt zostaje zwolniony do produkcji, jeżeli spełnia określone kryteria.

2.3. Bieżąca kontrola produkcji

Za bieżącą kontrolę produkcji w firmie odpowiedzialni są pracownicy produkcyjni (ustawiacze maszyn, mechanicy). Maksymalnie dziennie może być produkowanych osiem różnych artykułów. Każdy produkt sprawdzany jest przez pracowników produkcyjnych wg kart kontrolnych, na których zawarte są takie informacje jak: wymiar całkowity sztyftu (na karcie kontrolnej oznaczony jest wymiar nominalny, górna oraz dolna granica wymiaru), wymiar szpica, wymiar kąta zagięcia. Kontrola każdego artykułu odbywa się 1raz / 30 min. Pracownik pobiera 10 próbek z produkcji bieżącej i sprawdza wymiary sztyftów oraz ich powierzchnię. Następnie wyniki nanoszone są na karty kontrolne. Towary z całej produkcji dziennej transportowane są do działu kontroli jakości, gdzie następuje kontrola końcowa wyrobu gotowego.

2.4. Końcowa kontrola wyrobu gotowego

Końcowa kontrola produkcji ma na celu wykazanie czy wyrób spełnia wymagania klienta czy też jest niezgodny ze specyfikacją otrzymaną od klienta. W przypadku niezgodności wyrobu gotowego ze specyfikacją wymaganą przez klienta kontroler jakości podejmuje decyzję o wstrzymaniu wyrobu niezgodnego. W dalszej części postępowania wyrób niezgodny może być naprawiony lub złomowany.

Taka kontrola może także wykazać niestabilność procesu produkcyjnego. Wykryte nieprawidłowości mogą świadczyć o:

- rozregulowaniu parametrów maszyny produkcyjnej (zużycie części maszyn),
- błędzie ludzkim (np. ustawienie maszyny produkcyjnej niezgodnie ze specyfikacją produkowanego artykułu, pomieszenie różnych artykułów).

Końcowa kontrola wyrobu gotowego odbywa się głównie na zasadzie statystycznej odbiorczej kontroli jakości. Prowadzenie przez przedsiębiorstwo produkcji masowej nie daje możliwości przeprowadzania kontroli w 100% każdego artykułu. Wyjątkiem jest jeden produkt przeznaczony dla branży automotiv, gdzie jednym z wymagań klienta jest 100% jakość produktu gotowego (system wizyjny).

2.4.1. Statystyczna kontrola wyrobu gotowego

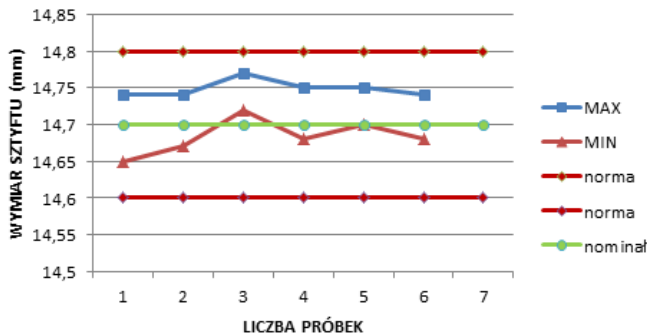
Statystyczna kontrola produkcji jest wykorzystywana w firmie przy kontroli każdego produkowanego artykułu. Ze względu na rodzaj prowadzonej produkcji (produkcja masowa) jest to metoda najodpowiedniejsza. Dzienna produkcja każdego artykułu oscyluje w granicach $20 \div 60$ tys. sztuk. Przy maksymalnym obciążeniu ośmiu maszyn daje to dzienną produkcję wynoszącą $160 \div 480$ tys. sztuk. Sprawdzenie artykułu polega na losowym pobraniu sześciu próbek (po około dziesięć sztyletów w każdej próbce). Każda próbka jest sprawdzana organoleptycznie przy użyciu lupy powiększającej 12-krotnie oraz kamery wizyjnej Digital Microscope Dino Capture 2.0. Na tym etapie kontroli należy wykluczyć takie wady powierzchni jak: przepalenia powierzchni, wżery, spłaszczone kanty, zadry, zabielenia, obtarcia, wgniecenia. Wymienione defekty powierzchni sztyletów mogą skutkować zakłóceniami w przewodzeniu impulsu elektrycznego w częściach wyprodukowanych przy użyciu wadliwego towaru.

Następnie kontrolowane są wymiary każdej próbki przy użyciu suwmiarki elektronicznej oraz projektora pomiarowego. Do pomiarów używane są sprawdzone wcześniej pod względem optycznym próbki. Wyniki pomiarów zamieszcza się w raporcie końcowym kontroli towarów, który jest opracowany na podstawie rysunków technicznych dla każdego artykułu produkowanego w firmie. W tabeli 2 zaprezentowano przykładowy raport końcowej kontroli towarów.

Tab. 2. Przykładowy raport końcowej kontroli towarów

RAPORT KONTROLI TOWARÓW											
KLIENT:					NR ARTYKUŁU:						
WEWNĘTRZNY NR ZAMÓWIENIA.: A/1173					ILOŚĆ: 62 500						
LP.	SPRAWDZANA CECHA	POMIAR	NORMA	1	2	3	4	5	6	ŚRED.	
1.	POWIERZCHNIA	S	V/X	V	V	V	V	V	V		
2.	WYMIARY										
	KRÓTKIE RAMIĘ	MS/PP	11±0,2	11,05	11,03	11,04	11,03	11,03	11,02	11,033	
	DŁUGIE RAMIĘ	MS/PP	15±0,2	15,02	14,98	15	15,01	14,97	15,05	15,005	
	SZPIC	PP	0,2-0,3	0,277	0,278	0,283	0,275	0,27	0,28	0,277	
	KĄT	PP	90±0,5	90,21	90,3	90,18	90,23	90,18	89,93	90,172	
3.	DRUT	ŚREDNICA	BM	0,605							V
		MATERIAŁ	S	CuSn6							V
ZWOLNIENIE		TAK	V	RAPORT WYSTAWIŁ							
		NIE		DATA			21.03.2014				
OBJAŚNIENIA ŚROD. POMIARU		SPRAWDZENIE WIZUALNE		PP-PROJEKTOR	V-OK		UWAGI				
		BM-MIKROMETR		MS-SUWMIARKA	X-ŻŁE						

Naniesione wyniki eksploruje się w postaci wykresów, z zaznaczonym wymiarem ograniczającym proces (linia wyznaczająca wymiar min oraz max) oraz z zaznaczonym wymiarem nominalnym (linia wyznaczająca nominal). Przykładowe wykresy naniesionych wymiarów zaprezentowano na rysunku 4.



Rys. 4. Wykres statystycznego pomiaru produkcji

Przedstawiony wykres prezentuje maksymalne oraz minimalne wyniki pomiarów sztyftów z sześciu próbek pobranych losowo z produkcji dziennej danego artykułu. Wyniki pomiarów pinów oscylują w granicach linii oznaczającej wymiar nominalny, co świadczy o stabilności procesu produkcyjnego.

W przypadku zaobserwowania przez kontrolera jakości niestabilności procesu następuje:

- wzmożona kontrola produkcji bieżącej,
- ustalenie przyczyny rozregulowania procesu,
- ewentualna naprawa maszyny produkcyjnej,
- zdiagnozowanie innych przyczyn wystąpienia niezgodności.

W dalszej kolejności postępowania należy zabezpieczyć wyrób niezgodny. Wystąpienie niezgodności należy udokumentować. W tym celu wypełnia się kartę wyrobu niezgodnego (specjalny formularz dla wewnętrznych reklamacji) oraz występuje się z wnioskiem o przeprowadzenie działania zapobiegawczego bądź korygującego. W dokumentacji zamieszcza się m. in. takie informacje jak:

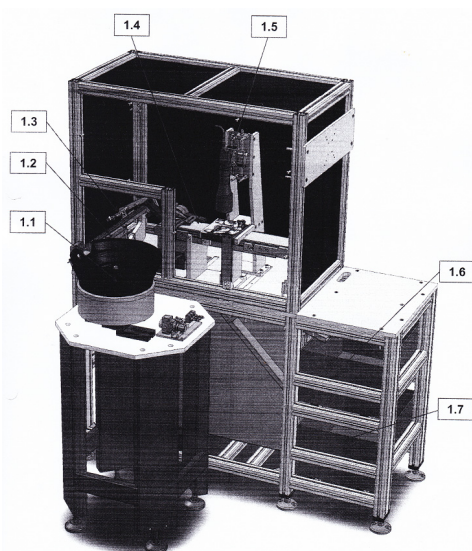
- ustalenie przyczyny wystąpienia niezgodności;
- propozycja usunięcia niezgodności (wyrobu niezgodnego);
- propozycja usunięcia przyczyny wystąpienia niezgodności;
- wyznaczenie osoby odpowiedzialnej za usunięcie przyczyny wystąpienia niezgodności;
- wynik przeprowadzonych działań.

W sytuacji gdy wyrób spełnia wymagania jakościowe dotyczące powierzchni, a wymiary artykułu mieszczą się w granicach tolerancji następuje zwolnienie wyrobu. Produkt zostaje przetransportowany do magazynu wyrobu gotowego, gdzie oczekuje na zakończenie produkcji bieżącego zlecenia. Gdy artykuł jest kompletny, następuje

ostatnia kontrola ilościowa produktu. Artykuł jest ważony, przeliczany na sztuki z listy wag (wszystkie artykuły produkowane w firmie mają ustaloną wagę na 10 tys. sztuk). Waga oraz sztuki sprawdzane są z papierem produkcyjnym wystawionym na dane zlecenie. Do tak przygotowanego artykułu dołącza się papiery produkcyjne, papiery jakościowe drutu oraz raport końcowej kontroli produkcji. W tej postaci zlecenie oczekuje na wysyłkę w magazynie produktu gotowego do wysyłki.

2.4.2. 100% kontrola jakości

Kontrolę 100% stosuje się w produkcji jednostkowej i seryjnej. Stosowanie takiej metody kontroli jakości w produkcji masowej jest wyjątkiem i musi mieć uzasadnienie. W firmie dwa artykuły produkowane dla klienta z branży automotiv poddawane są kontroli 100%. Jednym z wymogów tego ważnego dla firmy klienta było dostarczanie wyrobów zgodnych ze specyfikacją w stu procentach. W tym celu firma zleciła skonstruowanie systemu kontroli wizyjnej, który z powodzeniem działa od lipca 2013 roku. Schemat stanowiska kontroli wizyjnej przedstawiony jest na rysunku 5.



Elementy wyszczególnione na rysunku:

- 1.1 Podajnik wibracyjny – bębny
- 1.2 Podajnik wibracyjno – liniowy
- 1.3 Siłownik dozujący
- 1.4 Taśmociąg
- 1.5 System wizyjny
- 1.6 Skrzynka na piny złe
- 1.7 Skrzynka na piny dobre

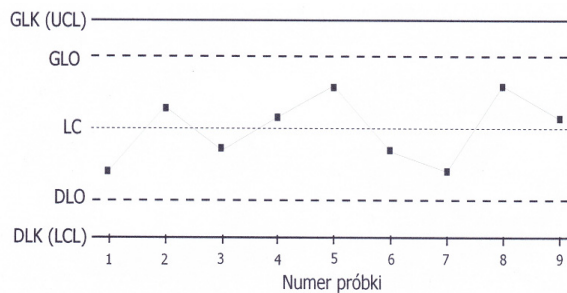
Rys. 5. Schemat budowy stanowiska kontrolno-wizyjnego

System kontroli wizyjnej sprawdza dwa rodzaje artykułów pod względem metrologicznym. Kontrola podlega pięć wymiarów: krótkie i długie ramię sztyftu, kąt zagięcia sztyftu, szpic krótkiego i długiego ramienia. W optymalnych ustawieniach kamera pracuje z wydajnością 5600 szt./h. Jedno zlecenie liczy 120 tys. szt. Kontrola tych artykułów jest czasochłonna i kosztowna, lecz dzięki niej, firma uzyskała obniżenie kosztów związanych z reklamacjami otrzymywanymi od niezadowolonego klienta. Od momentu sortowania sztyftów na danym stanowisku nie było ani jednej reklamacji.

3. Proponowane metody kontroli produkcji

3.1. Karty kontrolne Shewarta

Karty kontrolne po raz pierwszy pojawiły się na początku zeszłego stulecia. Opracował je i wprowadził do użytkowania w firmach produkcyjnych Shewart. Pierwsze wzmianki o kartach kontrolnych pochodzą z 1924 roku. Przeprowadzanie skomplikowanych obliczeń było na owe czasy bardzo czasochłonne, a w niektórych przypadkach niemożliwe do przeliczenia. Dlatego punktowe zaznaczanie przebiegu procesu produkcyjnego pozwalało na szybkie wychwycenie niestabilności procesu. Kontrola produkcji przy użyciu kart kontrolnych Shewarta polega na nanoszeniu na diagram przeglądowy wyników pomiarów uzyskanych z próbek pobieranych w jednakowych odstępach czasowych, gdzie na osi poziomej przedstawione są kolejne próbki pobrane z partii wyrobu a na osi pionowej naniesione są wyniki pomiarów z każdej próbki. Na kolejnej stronie zaprezentowana jest konstrukcja karty kontrolnej. Na rysunku 6 przedstawiono przykładową kartę kontrolną Shewarta.



Rys. 6. Karta kontrolna Shewarta [1]

Karty kontrolne służą monitorowaniu i sterowaniu procesami produkcyjnymi. Wykrywają ewentualne niestabilności procesów produkcyjnych, a co za tym idzie pozwalają wyeliminować produkty niespełniające wymagań specyfikacji [1].

Ze względu na oceniane cechy produktu rozróżniamy dwa rodzaje kart kontrolnych: karty kontrolne dla cech ocenianych liczbowo (mierzalnie) oraz karty kontrolne dla cech ocenianych alternatywnie (niemierzalnie). Z powodu rodzaju prowadzonej działalności (produkcja masowa; określona specyfikacja produktu) w opracowaniu brane są pod uwagę wyłącznie karty kontrolne dla cech ocenianych liczbowo. Charakterystyczne dla produkcji masowej są karty [3]:

- karta wartości średniej (\bar{X} - średnie) i rozstępu (R) - karta (\bar{X} -R),
- karta wartości średniej (\bar{X} - średnie) i odchylenia standardowego (s) - karta (\bar{X} - s),
- karta pojedynczych obserwacji (xi) i ruchomego rozstępu (R) - karta (xi - R),
- karta mediany (Me) i rozstępu (R) - karta (Me - R).

3.2. Statystyczna kontrola odbiorcza (SKO)

Statystyczna kontrola odbiorcza może być stosowana zarówno po zakończeniu procesu produkcyjnego jako ostateczna kontrola końcowa jakości jak i w trakcie trwania procesu jako kontrola międzyoperacyjna jakości. Statystyczną kontrolę SKO stosuje się, gdy nie ma możliwości zastosowania metody 100% ze względu na wysokie koszty takiej kontroli, czas potrzebny na jej przeprowadzenie lub gdy jej zastosowanie jest niemożliwe do przeprowadzenia ze względu na ograniczenia techniczne.

Wiarygodność wyników badania w kontroli SKO zależy od prawidłowego pobrania próbek do badania. Proces ten musi odbywać się według zasad określonych w statystyce, tzn.:

- jednorodność próbek: partia produktu z którego będzie pobierana próbka musi być jednorodna (do produkcji artykułu użyto jednorodnego surowca, maszyny oraz sposobu magazynowania);
- reprezentatywność próbek: zależy od losowego pobierania próbki a także jej liczebności.

Próbki można pobierać na różne sposoby [3]:

- pobieranie z zastosowaniem liczb losowych (wymaga ponumerowania każdej sztuki wyrobu);
- pobieranie „na ślepo” (stosuje się gdy próbki nie są ponumerowane, należy pamiętać tutaj o zachowaniu losowości pobierania; metody tej nie można stosować, gdy wadę wyrobu można zidentyfikować na pierwszy rzut oka);
- pobieranie systematyczne (metoda ma zastosowanie gdy próbki są podawane w sposób potokowy, tj. wprost z maszyny produkcyjnej; pobieranie próbek odbywa się w jednakowych odstępach czasu bądź co określoną liczbę artykułów);
- pobieranie wielostopniowe (stosowane w wyrobach zapakowanych; w pierwszej kolejności pobiera się opakowanie, następnie z opakowania pobiera się próbkę wyrobu z zastosowaniem liczb losowych bądź „na ślepo”);
- pobieranie warstwowe (stosuje się gdy partia z której pobierana jest próbka składa się z kilku podpartii, np. ten sam wyrób produkowany jest na trzech maszynach).

Badanie dla partii wyrobu można przeprowadzić na podstawie odpowiedniej normy: PN-ISO 2859-1:2003, gdzie znajdują się tablice liczebności próbek dla partii w odniesieniu do poziomu AQL (granica akceptowalnej jakości).

3.3. Schemat blokowy

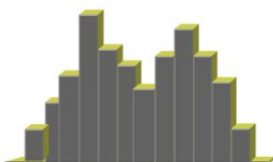
Schemat blokowy to metoda przedstawiająca przebieg procesu przy użyciu sposobu graficznego. Oprócz samego przebiegu procesu prezentuje się również ciąg działań realizowanych w danym procesie. Taki sposób przedstawienia przebiegu procesu pozwala dokładnie go zrozumieć. Już na etapie przygotowywania schematu zauważalne są zależności w procesie, które wcześniej były pominięte lub słabo

widoczne. Konstruowanie schematu blokowego należy sporządzać w zespole. Zakres jaki ma obejmować schemat musi być wyraźnie określony. Następnie, należy zdefiniować wszystkie dane wejściowe i wyjściowe procesu.

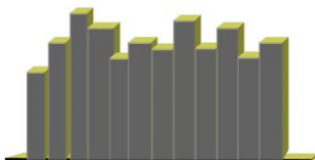
Schemat powinien być przejrzysty. Do jego konstruowania służą ogólnie przyjęte symbole. Schemat powinien być w formie kolumnowej, gdzie główna kolumna odzwierciedla działania stanowiące istotę danego procesu a kolumny pomocnicze zawierają odsyłacze, pętle itp. [2].

3.4. Histogram

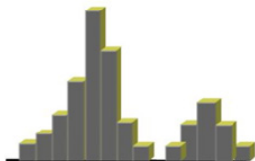
Histogram przedstawia w formie graficznej częstości występowania zmiennej losowej w danym przedziale. Prezentuje przetworzone dane, pozwala zilustrować podjęte decyzje. To rodzaj diagramu słupkowego stosowany w statystyce. W badaniu jakości histogram obrazuje zmienność np. wyników procesu, stanów określonej cechy wyrobu itp. Do sporządzenia histogramu niezbędne są takie dane jak: określenie przedziału zmienności analizowanej wielkości oraz wyznaczenie liczby przedziałów szeregu rozdzielczego [2]. Histogram można sporządzić przy użyciu danych zawartych w arkuszu kontrolnym lub przetwarzając dane uzyskane innym sposobem. Przykłady histogramów przedstawiono na rysunku 7.



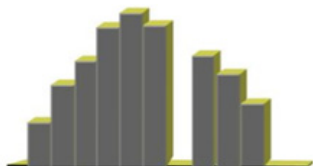
1. Dwa „wierzchołki”
- zmieszane dane, np. wyroby z różnych maszyn.



2. Histogram obcięty:
- przeprowadzono selekcję wstępną,
- procesy nieopanowane.



3. Dwa izolowane histogramy:
- przedstawienie średniej procesu,
- zmieszane dane, np. wyroby z różnych maszyn.



4. „Dziura” w histogramie:
- błąd przyrządu pomiarowego,
- nieprawidłowy odczyt.

Rys. 7. Przykłady histogramów

Kolejność postępowania przy sporządzeniu histogramu jest następująca [5]:

- gromadzenie danych,
- ustalenie rozstępu rozstępu,
- ustalenie liczby przedziałów (optymalna ilość 6-12),
- ustalenie stosunku wartości rozstępu do liczby przedziałów. Wynikiem jest szerokość przedziałów,
- uzyskanie przedziałów poprzez dodawanie do najniższej liczby wartości szerokości przedziałów,
- przyporządkowanie danych do przedziału,
- oznaczenie na wykresie ilości danych przypadających na dany przedział.

4. Podsumowanie

W pierwszej części pracy omówione zostały procesy kontroli jakości obecnie stosowane w firmie. Bieżąca kontrola produkcji jest procesem, który warto udoskonalić. Minusem obecnie obowiązującej kontroli bieżącej produkcji jest zdecydowanie brak prognozowania dalszego przebiegu procesu produkcyjnego. W chwili obecnej kontrola bieżąca opiera się raczej na zasadzie SKO. Statystyczna kontrola odbiorcza pozwala jedynie przedstawić jaka część z kontrolowanej partii wyrobu nie spełnia wymagań specyfikacji produktu. W efekcie firma narażona jest na duże straty spowodowane niedostateczną kontrolą nad produkowanym wyrobem. Pracownicy reagują z opóźnieniem, nie potrafią przewidzieć dalszego przebiegu procesu.

Proponowaną metodą kontroli jakości w produkcji bieżącej jest statystyczna kontrola procesu, a mianowicie karta kontrolna Shewarta \bar{x} – średnie. Zastosowanie tego rodzaju kontroli pozwoli na analizę wybranych cech wyrobu, śledzenie przebiegu procesu oraz oszacowanie czy niestabilność średniej uzyskana z pomiarów próbek świadczy o rozregulowaniu procesu. Odpowiedni moment reakcji na rozregulowanie procesu produkcyjnego pozwoli na zmniejszenie produkcji wyrobu niezgodnego, co znacznie przyczyniłoby się do redukcji kosztów produkcji.

Literatura

- [1] Iwasiewicz A.: *Zarządzanie jakością*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
- [2] Hamrol A., Mantura W.: *Zarządzanie jakością: teoria i praktyka*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.
- [3] Szkoda J.: *Wykorzystanie kart kontrolnych Shewharta do diagnozowania stanów statystycznego uregulowania procesów produkcyjnych*. Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej. Czasopismo Naukowe Diagnostyka, T. 26, s. 53-58, 2002.
- [4] <http://www.woiz.polsl.pl/znwoiz/z60/27%20Wyl%EA%BFek.pdf> (13.11.2016).
- [5] <http://zsiie.icis.pcz.pl/dyplomy/wieleborek.pdf> (15.11.2016 r.).

THE PROGRESSIVE ETALON METHOD APPLICATION TO ANALYSIS OF TECHNICAL DATA: THE SCOPE AND BOUNDARY BEHAVIOR

Ruslan KUZMENKO¹

The progressive etalon method of comparing objects by their technical parameters vector is considered. The method provides a way to build linear efficiency function based on the sequence of vectors representing the succession of improving objects-etalons. In the paper the method application area is discussed and the possibility of applying it to data of given dimension is investigated. It is shown that the method may be applied to almost any (random) data and the possibility of method failure is tested in the case of two quality indicators; the etalons quantity influence is studied. An example illustrates the method applying in the case of three quality indicators.

Keywords: technical improvement level, progressive etalon method, linear efficiency function, Monte Carlo method

1. Introduction

The Progressive etalon method (PEM) is used to compare the quality of objects based on a pre-assigned vector of their characteristics [2, 4]. The objects must be of the same type and purpose. The initial data required for the method applying is the sequence of vectors each one representing a sample, that is considered as a standard and all of them showing the evolution of object of this type. The later samples we shall refer as etalons following [2] and their properties (hereinafter – quality indicators – QIs) are showing the progress in the objects perfection and usually are real or integer positive numbers; each etalon is better than the predecessor (previous in the line) and worse (in some way) than the successors, so the order of etalons is considered.

The PEM consists of two stages: learning and applying. At the first stage the sequence of the etalons is analyzed and is used to construct the efficiency function – EF (or loss function if you change its sign) that is growing at the etalons sequence. The number of the function arguments coincides with the number of QIs. At the second stage the examined objects are compared: the better should be the one with higher value of EF at the vector of its QI.

¹ Ph.D.; National Army Academy named after Hetman Petro Sahaidachnyi; e-mail: kuru1978@gmail.com

The PEM application strongly depends on the nature and quality of etalons QIs: in some rare cases the result is obvious without any computation and in other extreme cases the EF could not be built. The method limitations and the possibility to expand it on the objects with some of QIs missing or being the intervals rather than numbers are considered in [3].

In this paper we apply the Monte Carlo method to estimate the result of PEM application to arbitrary data and to identify and classify the probable results. We investigate its dependence on dimension of the etalon data for linear EF.

2. Theoretical background

Let us consider the background of construction of linear EF according to approach presented in [2]. Let m be the number of etalons improving in sequence E_1, E_2, \dots, E_m , k is the number of objects O_1, O_2, \dots, O_k , to be compared (examined object, EO), n is the number of QIs and the each object or etalon is completely described by its properties (x_1, x_2, \dots, x_n) . The i -th property of the j -th object (etalon or EO) we shall denote x_{ji} .

We shall use geometric analogy while investigating the quality of objects.

Each object or etalon is represented by a point in n -dimensional space. One should seek for an approximating line for these points, usually with the use of least squares method, and choose the components of direction of the line as coefficients in linear EF. The directing vector \mathbf{w} of the line will determine "the direction of the quality increase" and normal planes will contain the points representing the objects of the same quality (technical improvement level).

If $M = (M_1, M_2, \dots, M_n)$ determines the center of gravity for the points of the etalons the distance from etalon E_j to the line is given as

$$\mathbf{w}^T (E_j - M) = \sum_{i=1}^n w_i (x_{ji} - M_i), \quad (1)$$

where superscript T denotes transposition. The sum of squares of these distances is to be minimized to find \mathbf{w} . The constrain $|\mathbf{w}| = 1$ should be added for definiteness and from minimizing the Lagrange function

$$\mathcal{L}(\mathbf{w}, \lambda) = \mathbf{w}^T V \mathbf{w} - \lambda (\mathbf{w}^T V \mathbf{w} - 1),$$

with respect to \mathbf{w} we find that \mathbf{w} must be the eigenvector of the matrix V with components

$$v_{ij} = \sum_{l=1}^m (x_{lj} - M_l) (x_{lj} - M_l).$$

The \mathbf{w} is determined as eigenvector of V corresponding to the greatest eigenvalue (1).

3. Investigation scheme

The algorithm of PEM is as follows starting from $\{x_{ji}\}$ and resulting in $\{w_j\}$. We shall use the relative units to describe QIs of objects (both etalons and EOs)

$$q_{ji} = \frac{x_{ji} - x_{i\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{j\min} = \min_i \{x_{ji}\}, \quad x_{j\max} = \max_i \{x_{ji}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m+k, \quad (2)$$

At the next steps we work with etalons only. We determine the center of gravity

$$\mathbf{w}^T (E_j - M) = \sum_{i=1}^n w_i (x_{ji} - M_i), \quad (3)$$

and build the matrix $R = (r_{ji}) = (q_{ji} - M_j)$ of the size $m \times n$. Then, the dispersion matrix $V = R^T R$.

The way to compute the eigenvalues of a matrix is known. We have used corresponding command of the linalg package in Maple. Let \mathbf{w} be the eigenvector of V corresponding to the least eigenvalue. Then, the linear function $f(\mathbf{x}) = \mathbf{w} \mathbf{x}$ is EF. This function is increasing at the sequence of etalons and if $f(O') > f(O'')$ then, the object O' is more technically perfect than O'' .

For the purpose to benchmark the PEM we shall generate a random matrix representing $\{x_{ji}\}$ and shall study the specifics of obtained $\{w_j\}$. The matrix is generated in Maple system using randmatrix (n, m) procedure with default parameters. This means that the matrix entries are uniformly distributed integer numbers from $[-99; 99]$. Next, the matrix entries are normalized and the dispersion matrix is computed. The eigenvalues and eigenvectors procedures are used to find the eigenvector corresponding to the greatest eigenvalue.

The case of one quality indicator is trivial: based on the etalon sequence one has just to decide whether to increase or decrease it. In the case of two QIs the result allows the geometric interpretation in the plane and may be written as $\mathbf{w} = (w_1; w_2) = (\cos \alpha; \sin \alpha)$ provided that $|\mathbf{w}| = 1$. The PEM will fail if no \mathbf{w} is found due to initial data such that no progress is observed or contradictory trends are found. In the case of two QIs the result allows the geometric interpretation in 3D space and is characterized by three parameters $(w_1; w_2; w_3)$ with only two of them being independent. We shall illustrate PEM application in this case with the example below.

4. Results and discussion

In the case of two QIs the result is analyzed as distribution of values of $\alpha = \arctan(w_2/w_1)$. Since *randmatrix* with default parameters generates matrix entries that are integer and uniformly distributed in $[-99;99]$ the probability to obtain the same one QI in two different etalons is 2 in 199 and the probability that both parameters are the same ($x_{11} = x_{12}$ and $x_{21} = x_{22}$) is about 0.00143. In the case of three etalons the probability is significantly lower.

We consider three etalons with two quality indicators. The four possible results are obtained:

Case A. Incorrect matrix ($x_{j \min} = x_{j \max}$ for some j);

Case B. No progress in one of QIs resulting in $\alpha = \pi / 2$, $\alpha = 0$ or

$\alpha = -\pi / 2$; the problem dimension is reduced to trivial case;

Cases C and D. The solution is found and both QIs are to be increased or decreased simultaneously (C: $0 < \alpha < \pi / 2$) or one QI should increase while another one should decrease (D: $0 < -\alpha < \pi / 2$).

The 8 series, each of 10000 tests, were run and the outcome was analyzed. The results are presented in the table 1 showing the number of outcomes ($n_A + n_B + n_C + n_D = 10^4$) and statistics for parameter α distribution separately for cases A, B, C and D.

Tab. 1. PEM benchmark results for 2 QIs and 3 etalons ($n = 10^4 \times 8$)

Outcome	Series 1	Series 2	Series 3	Series 4	Series 5	Series 6	Series 7	Series 8
A	2	0	2	1	0	1	0	1
B	0	4	3	2	0	0	1	2
C	4985	4897	4954	4937	4960	5055	4926	4973
D	5013	5099	5041	5060	5040	4944	5073	5024
statistics for α (average, variance, skewness, kurtosis for $\alpha > 0$ / $\alpha < 0$)								
AVE	<u>0.7857</u> -0.7841	<u>0.7864</u> -0.7858	<u>0.7868</u> -0.7836	<u>0.7866</u> -0.7876	<u>0.7866</u> -0.7815	<u>0.7862</u> -0.7866	<u>0.7877</u> -0.7851	<u>0.7885</u> -0.7831
VAR	<u>0.0215</u> 0.0222	<u>0.0215</u> 0.0224	<u>0.0213</u> 0.0205	<u>0.0212</u> 0.0211	<u>0.0211</u> 0.0206	<u>0.0211</u> 0.0203	<u>0.0213</u> 0.0183	<u>0.0214</u> 0.0213
SKEW	<u>-0.0019</u> 0.1197	<u>0.0580</u> 0.0387	<u>0.1179</u> 0.0234	<u>0.0818</u> -0.2419	<u>0.0793</u> 0.1618	<u>0.0481</u> 0.0180	<u>0.1834</u> 0.0324	<u>0.2450</u> 0.3157
KURT	<u>10.4863</u> 10.0303	<u>10.3989</u> 9.9302	<u>10.4328</u> 10.5403	<u>10.5057</u> 9.7883	<u>10.6792</u> 10.5234	<u>10.5578</u> 10.4719	<u>10.6934</u> 11.2810	<u>10.7315</u> 10.4451

The average value of α seems to be centered near $\pm\pi/4 = \pm 0,7854$. The variance is about 0.021 with 4.3% relative standard deviation (the coefficient of variation CV)

and kurtosis is about 10.469 with CV = 3.3%. In Figure 1 the distribution of α for this case (a) is illustrated, and the case of 4 etalons (b) is considered.

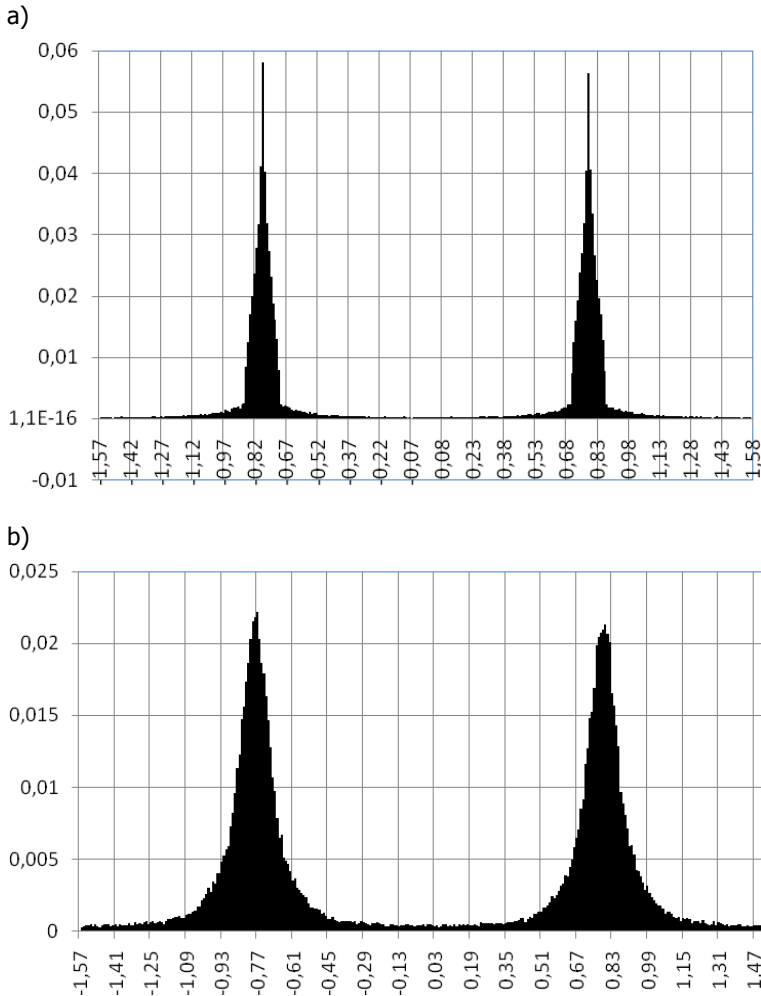


Fig. 1. The distribution of α in the $8 \cdot 10^4$ applications of PEM with 2 QIs and 3 etalons (a) and 4 etalons (b)

If four etalons are used, the number of outcomes of type A is reduced to 0, there were only 4 cases of type B in $8 \cdot 10^4$ tries, the averages and skewness do not change significantly, the variance grows to 0.0384 with CV = 2.7% and kurtosis decreases to 4.005 with CV = 3.8% (see Fig. 1b). The further increase of etalons number (were examined from 5 to 16) leads to variance increase to about 0.121 and kurtosis decrease to about -0.350.

It should be noted that PEM demonstrates good stability and achieves the plausible result on data with no obvious trend found. The method may be used to compare experimental objects with close characteristics and to scrutinize the tendencies of technology development. We shall also demonstrate its application in the case when 4 etalons with 3 quality indicators are present. Note the first stage of investigation: the use of each QI should be justified and the formal parameters should not be used.

5. The example of PEM application

There is a variety of diesel engines (compression-ignition engines) used for various purposes. In the table 2 basic specifications of the 5TD family of tank diesel engines according [5] are presented. These are two-stroke liquid-cooled diesel engines with 5 cylinders, 13.6 l displacement, 120 mm cylinder diameter and the dimensions: the length is 1413 mm, the width is 955 mm and the height is 581 mm. The weight of engines of this line is 1040 kg. Note that more data of such and similar types of engine are presented in [1], including type 3TD engines with 3 cylinders and 6TD with 6 cylinders.

Tab. 2. Basic specifications of the 5TD family of tank diesel engines

	5TD	5TDF	5TDFM	5TDFMA
Year of first production/implementation	1956	1960	1972	1984
Output, hp	580	700	850	1050
Crankshaft rotation rate, min ⁻¹	3000	2800	2800	2850
Output per dimension volume, hp/m ³	729.5	895.0	1084.0	1345.0
Specific weight, kg/hp	1.8	1.47	1.22	0.99
Specific fuel consumption, g/hp h	175	178	165	153

Here hp denotes horse powers, min and h stand for minutes and hours respectively. The conversion to SI units is not necessary for PEM application so the original source values have been used.

Over time the output of engines increases, fuel consumption decreases and general efficiency improves. We shall consider specific characteristics of engines presented in the last three lines of the table 2: specific output, weight and fuel consumption. These properties may be efficiently applied to other types of engines such as 3TD or 6TD and may be considered as valid QIs. From a different perspective the sequence {5TD, 5TDF, 5TDFM, 5TDFMA} clearly demonstrates the progress in engine work and these engines may be considered as etalons.

Tab. 3. Normalized properties (a) and dispersion matrix (b)

a)

	QI1	QI2	QI3
r_{j1}	-0.461	0.531	0.290
r_{j2}	-0.192	0.123	0.410
r_{j3}	0.115	-0.185	-0.110
r_{j4}	0.539	-0.469	-0.590

b)

	QI1	QI2	QI3
QI1	0.55316	-0.54260	-0.54311
QI2	-0.54260	0.55144	0.50173
QI3	-0.54311	0.50173	0.61240

The normalized and centered data (matrix R) are presented in table 3a and dispersion matrix (V) is shown in table 3b. The latter up to a factor coincides with the covariance matrix. The eigenvalues of V are 0.002264311, 0.083688124 and 1.631051629. The last value is the largest and the corresponding eigenvector is

$$\mathbf{w} = (0.580061134, -0.564462976, -0.587290923).$$

The dot product of this vector by normalized and centered parameter vector of the object (etalon) yields its quality estimate. For four etalons considered above (see table 3a for their parameters) we obtain

$$\mathbf{w}(E1) = \mathbf{w}(-0.461, 0.531, 0.290) = -0.7375;$$

$$\mathbf{w}(E2) = \mathbf{w}(-0.192, 0.123, 0.410) = -0.4220;$$

$$\mathbf{w}(E3) = \mathbf{w}(0.115, -0.185, -0.110) = 0.2357;$$

$$\mathbf{w}(E4) = \mathbf{w}(0.539, -0.469, -0.590) = 0.9238.$$

This sequence shows the found progress in the engine development; each successive engine has an indicator of efficiency greater than the previous one $\mathbf{w}(E1) < \mathbf{w}(E2) < \mathbf{w}(E3) < \mathbf{w}(E4)$. The obtained linear function may be applied to initial data in Table 2 (last three rows) yielding same order with just other numerical $\mathbf{w}(5TD) = 319.4 < \mathbf{w}(5TDF) = 413.8 < \mathbf{w}(5TDFM) = 531.2 < \mathbf{w}(5TDFMA) = 689.8$.

Tab. 4. Comparing efficiency of engines of various tank diesel families

Engine model	Output per dimension volume, hp/m ³	Specific weight, kg/hp	Specific fuel consumption, g/hp h	Indicator of efficiency, $\mathbf{w}(E)$
3TD-1	410	3.04	165	139.2
3TD-2	586	2.13	165	241.6
3TD-3	762	1.60	165	344.4
3TD-4	915	1.33	165	433.0
5TDF	895	1.47	178	413.8
5TDFM	1084	1.22	165	531.2
5TDFMA	1345	0.99	153	689.8
6TD1	1125	1.18	158	559.1
6TD2	1350	0.98	160	688.6

Using the obtained linear efficiency function on the other engines data presented in [1, 5] allows comparing them, as shown in the table 4. One can see that engines 5TDFMA and 6TD2 have very close efficiency while each engine of 3TD series is inferior to engines of other series.

6. Conclusions

The progressive etalon method can be effectively used to build the linear efficiency function for a wide range of input data achieving good stability and obtaining a plausible result. In the case of two quality indicators for a uniformly distributed random data set the total number of cases where the method does not allow to get results, not more than 0.05% for the three etalons and 0.02% for the four etalons. The further increase of etalons number leads to variance increase and kurtosis decrease in the distribution of an effective result parameter. The method application for comparing efficiency of tank diesel engines is demonstrated.

References

- [1] Alekhin S. A.: *Modern diesel engines develop KP "Kharkov design bureau for engine constructing"*. Internal combustion engines. Vol. 1, pp. 4-8, 2006. (in Russian)
- [2] Chernoskutov A. I.: *Comprehensive quality assessment of products using the method of progressive etalon*. Reliability and quality control, No 5, pp. 12-16, 1985. (in Russian)
- [3] Kuzmenko R. V.: *Application of progressive etalon for systems with an incomplete information*. Military technical collection. Lviv: National Academy of the Army. Vol. 13, pp. 46-51, 2015. (in Ukrainian)
- [4] Lukjanov P. O.: *Comparative assessment of the technical efficiency of mobile assets maintenance with the use of progressive etalon*. Proceedings of the Central Research Institute of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine, Vol. 3, pp. 89-94, 1999. (in Ukrainian)
- [5] <http://en.uos.ua/produksiya/bronetehnika/60-tankovie-dizelnie-dvigateli> (10.06.2017)

PROGNOZOWANIE GOSPODARCZE DLA USPRAWNIENIA PROCESU PRODUKCYJNEGO WYBRANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA

Kamil LEKSYCKI¹, Roman KIELEC², Aleksandra SZUŁCZYŃSKA³

W artykule zaprezentowano wynik prognozowania zamówień klientów oraz absencji pracowników na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Rezultaty otrzymano z wykorzystaniem odpowiednio metody Wintersa (model addytywny) oraz metody wskaźników na podstawie modelu addytywnego i multiplikatywnego. Poddane prognozie elementy bezpośrednio wpływające na proces produkcyjny zostały określone jako niewłaściwe funkcjonujące oraz znaczące dla prawidłowego funkcjonowania firmy. Celem przeprowadzonej analizy było przewidzenie kształtowania się tych procesów w przyszłości, a następnie zaproponowanie modelu decyzyjnego.

Słowa kluczowe: prognozowanie gospodarcze, proces produkcyjny, model decyzyjny

1. Wprowadzenie

Wymogi gospodarki rynkowej powodują, iż o efektywności działalności gospodarczej przesądza racjonalność podejmowanych decyzji na różnych poziomach, zarówno strategicznym, taktycznym, jaki i operacyjnym. W przedsiębiorstwach produkcyjnych niezwykle istotne jest prognozowanie obszarów działań oraz planowanie i sterowanie produkcją, przy jednoczesnym optymalnym wykorzystaniu zasobów. Najogólniej ujmując, prognozowanie stanowi racjonalne, a także naukowe przewidywanie zdarzeń, które mogą wystąpić w przyszłości na danym obszarze działań. Ponadto, jest to proces polegający na wnioskowaniu zdarzeń nieznanych poprzez ocenę wydarzeń, które miały miejsce w przeszłości. Planowanie i sterowanie natomiast są funkcjami występującymi w zarządzaniu produkcją.

W związku, z tym, iż misją działów produkcyjnych w przedsiębiorstwie jest produkowanie wyrobów we właściwej jakości oraz w wyznaczonej ilości oraz czasie, a także z zachowaniem minimalnego kosztu związanego z ich wytwarzaniem, planowanie produkcji ma odpowiedzieć na pytania: co firma ma produkować? co należy posiadać by produkować? jakie materiały firma posiada do

¹ mgr inż.; Park Naukowo-Technologiczny UZ, e-mail: k.leksycki@pnt.uz.zgora.pl

² dr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: r.kielec@iizp.uz.zgora.pl

³ mgr; Park Naukowo-Technologiczny UZ; e-mail: a.szulczynska@pnt.uz.zgora.pl

wyprodukowania wyrobu? jakie materiały należy zakupić? [9]. Z kolei sterowanie produkcją to nadzorowanie oraz regulowanie odstępstw w procesie produkcyjnym w taki sposób, aby zagwarantować jego terminowe ukończenie. Jednocześnie podczas prowadzenia całego procesu należy dążyć do poziomu optymalnego dla wskazanego działania, uwarunkowanego znajomością prognoz rynkowych, terminem jego zakończenia, cyklem zamówień, jak również terażniejszym stanem magazynowym. Z kolei nie należy dążyć do bezwzględnej minimalizacji stanu zapasów [14].

Zgodnie z koncepcją zasobową poprzez właściwie dobrane i konkurencyjne zasoby, zdolność przedsiębiorstwa do ich innowacyjnego, a także efektywnego wykorzystania decydują o sukcesie przedsiębiorstwa. Potencjał zakładu produkcyjnego to m.in. kapitał, nieruchomości, zakupione technologie, wyposażenie, surowce, sieć dystrybucji, kadra, jej kwalifikacje i motywacja sukcesu, kultura organizacji sprzyjająca dynamicznemu rozwojowi, reputacja firmy, opatentowane i nie opatentowane innowacyjne rozwiązania oraz sprawność struktur i procedur. Koncepcja zasobowa przedstawia szerokie spojrzenie na przedsiębiorstwo jako źródło sukcesów i porażek. Według tej koncepcji sukces na rynku odnoszą te podmioty, które wykazują większe zdolności tworzenia kluczowych umiejętności i ich wykorzystania w walce z konkurencją [7]. Ponadto złożoność procesów gospodarczych, przy jednoczesnej ich niestabilności powoduje, że systemy produkcyjne, które funkcjonują w warunkach konkurencyjności, wykazywać się muszą dużą elastycznością technologiczną [12].

Istotną rolę w analizie przedsiębiorstwa odgrywają Kluczowe Czynniki Sukcesu, które wyznaczają konkurencyjność na rynku. Za ich pomocą można badać mocne i słabe strony przedsiębiorstwa, jego możliwości rozwojowe oraz dokonać rankingu wszystkich podmiotów z danego sektora gospodarki. Wskazują one w jakich obszarach działania firmy powinno się koncentrować uwagę i doskonalić je, aby osiągnąć przewagę konkurencyjną.

Kluczowymi czynnikami do osiągnięcia sukcesu przedsiębiorstwa są m.in. [6, 15]:

- pozycja na rynku – jest to procentowy udział podmiotu w rynku;
- pozycja kosztowa – szacowana wielkością kosztu jednostkowego, relacją kosztów stałych i zmiennych;
- image firmy i jej obecność na rynku – znajomość marki wśród klientów, wiedzy o produktach;
- poziom techniki i technologii – ocena stanu technicznego przedsiębiorstwa, wykorzystywane technologie, konkurencyjność zastosowanych technologii, wielkość środków przeznaczanych na postęp techniczny, kulturę pracy;
- rentowność i możliwość inwestowania;
- organizacja i zarządzanie – umiejętności kadry zarządzającej i pracowników, przystosowanie struktury organizacyjnej i procedur do celów oraz specyfiki przedsiębiorstwa, sprawność systemu informacji, dyscyplinę oraz wydajność pracy.

Wzrastająca złożoność procesów gospodarczych, coraz większe tempo zmian wymuszone przez ewolucje rynkowe powoduje, iż w zakresie procesów zarządzania (procesy decyzyjne) oraz realnego działania (procesy wytwarzania) niezbędne staje się szybkie i skuteczne przetwarzanie danych oraz posługiwanie się wieloprzekrojową informacją. Procedury z zakresu zarządzania procesami wytwarzania, jak i zarządzania przedsiębiorstwem wspomagane są przez urządzenia wykorzystujące specjalistyczne oprogramowanie. Ich użyteczność oparta jest o zdefiniowane algorytmy stanowiące informatyczną formę zapisu wiedzy, a także procedur optymalizacyjnych.

Skuteczne zarządzanie procesami w poszczególnych etapach wytwarzania produktu obliuguje przedsiębiorstwo do opracowania odpowiedniego modelu decyzyjnego. Opracowanie właściwego wzorca w sytuacji wystąpienia dużej ilości operacji, skomplikowanych działań, a także rozwiązań wielowariantowych staje się skomplikowane. Nieprawidłowo zaprojektowana struktura dla poszczególnych komponentów składających się na proces produkcyjny skutkuje m. in.: powstawaniem wysokich kosztów czy wydłużeniem czasu realizacji projektu [8].

Celem pracy jest przeprowadzenie prognozowania gospodarczego dla elementów procesu produkcyjnego występujących w badanym przedsiębiorstwie. Poddane prognozie obszary określono jako niewłaściwie funkcjonujące i znaczące dla prawidłowego działania organizacji, są to zamówienia klientów oraz absencje pracowników. Wyniki otrzymano z wykorzystaniem odpowiednio metody Wintersa (model addytywny), a także metody wskaźników na podstawie modelu addytywnego i multiplikatywnego. Na ich podstawie zaproponowano model decyzyjny oparty na wskazaniu właściwych kierunków działań.

Poddane analizie przedsiębiorstwo funkcjonuje w branży Automotive. Produkuje swoje wyroby oraz rozwiązania systemowe dla wielu znanych marek pojazdów ciężarowych, dostawczych, osobowych, szynowych, autokarów, a także pojazdów specjalistycznych. Firma wykonuje zlecenia dla klientów z niemal całej Europy. Od 2014 roku organizacja boryka się z problemami związanymi z prognozowaniem zamówień od klientów, co przekłada się na niewłaściwe ilości zamawianych surowców wykorzystywanych do produkcji oraz z występującą absencją pracowników, która skutkuje przestojami działu produkcyjnego. Obecna sytuacja powoduje zaburzenia we właściwym funkcjonowaniu przedsiębiorstwa, a to przekłada się w znacznym stopniu na terminowość dostaw produktów gotowych do bezpośrednich odbiorców oraz na straty finansowe. Przeprowadzona w pracy analiza pozwoliła określić zachowanie się tych elementów procesu produkcyjnego w przyszłości oraz umożliwiła opracowanie modelu decyzyjnego.

2. Prognozowanie zamówień klientów

Prognozowanie zamówień klientów na produkty ma kluczowe znaczenie dla każdego przedsiębiorcy. Przewidywanie zapotrzebowania klientów decyduje o ilości wyrobów, które powinny być zakupione, wytwarzane oraz dostarczane do odbiorcy. Firmy produkcyjne, aby funkcjonować właściwie, nie powinny biernie oczekiwać na zamówienia od klientów, a następnie podejmować kluczowe decyzje. Zadaniem przedsiębiorstw jest przewidywanie oraz planowanie przyszłości, tak aby z wyprzedzeniem czasowym reagować na zamówienia klientów. Dzięki tym działaniom organizacja jest w stanie sprostać wymaganiom związanym z zachowaniem terminów oraz zapewnić płynną realizację zadań w całym łańcuchu dostaw.

W ogólnej praktyce prognozowanie zamówień klientów prowadzi do skuteczności działań występujących w obszarze produkcyjnym oraz do wysokiego poziomu obsługi klienta poprzez terminowość dostaw. Brak prognozowania lub jego niewłaściwe wykonanie może prowadzić do nieefektywnie prowadzonych działań, niskiego poziomu obsługi klienta oraz do wysokich kosztów [5, 13].

Prognozowanie zamówień klientów wykonano na podstawie okresu 01.2013-07.2016 wykorzystując metodę Wintersa, która jest modelem wygładzania wykładniczego dla szeregów czasowych z występującymi wahaniami sezonowymi. Model ten może być stosowany w przypadku, gdy szereg czasowy zmiennej prognozowanej zawiera trend, wahania sezonowe, a także wahania przypadkowe [4]. Do analizy wybrano addytywną postać modelu, wyrażaną za pomocą równań (1-4) [4]. Obliczenia wykonano w programie Excel wykorzystując odpowiednie formuły.

$$F_{t-1} = \alpha \cdot (y_{t-1} - C_{t-1-r}) + (1 - \alpha) \cdot (F_{t-2} + S_{t-2}) \quad (1)$$

$$S_{t-1} = \beta \cdot (F_{t-1} - F_{t-2}) + (1 - \beta) \cdot S_{t-2} \quad (2)$$

$$C_{t-1} = \gamma \cdot (y_{t-1} - F_{t-1}) + (1 - \gamma) \cdot C_{t-1-r} \quad (3)$$

gdzie: F_{t-1} – ocena wartości zmiennej prognozowanej w okresie $t-1$, S_{t-1} – ocena przyrostu trendu w okresie $t-1$, C_{t-1} – ocena wskaźnika sezonowości dla okresu $t-1$, r – liczba faz cyklu sezonowego.

Kolejno, według zależności (4) obliczono prognozę [4]:

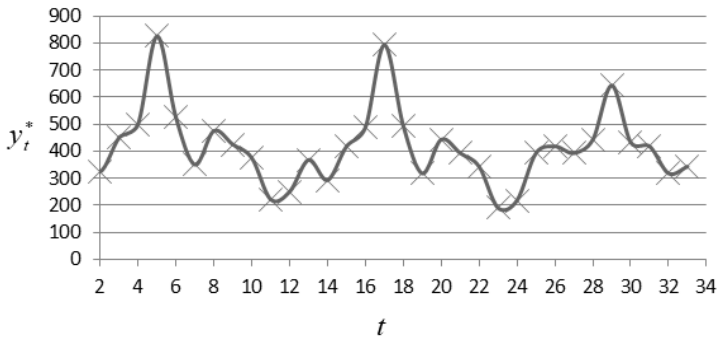
$$y_t^* = F_n + S_n(t - n) + C_{t-r} \quad (4)$$

Wartości współczynników α , β , γ dobierano z przedziału od 0,0 do 1,0. Dla wartości F_{1r} , S_{1r} , C_{1r} , ..., C_{1r} założono odpowiednio:

- z drugiego cyklu – ξ_{13} wartość pierwszej zmiennej y ,
- różnice pierwszych zmiennych występujących w pierwszym i drugim cyklu,

- iloraz odpowiadającej fazie cyklu wartości parametru γ oraz średniej wartości parametru całego cyklu.

Z wykorzystaniem wzorów (1-3) obliczono średni błąd kwadratowy prognoz. Następnie obliczono najmniejszy możliwy błąd, który otrzymano manipulując wartościami α , β , γ , a także wykorzystując wartości F_1 , S_1 , C_1 , ..., C_{12} . Wartości współczynników α , β , γ ustalono odpowiednio na poziomie 0, 0, 1. Wyniki obliczeń dla prognozowania zamówień klientów w okresie 02.2014-10.2016 przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 1.



Rys. 1. Zamówienia klientów okresie od lutego 2014 do października 2016

Średni błąd kwadratowy Δ^2 prognoz otrzymano na poziomie 2914, natomiast prognoza ilości zamówionych elementów dla miesiąca sierpnia, września i października wyniosła odpowiednio 418, 318 oraz 348.

Analizując wyniki znajdujące się w tabeli 1 oraz obserwując wykres (Rys. 1) tendencji przebiegu zamówień klientów (y_t^*) dla poszczególnych miesięcy, należy zwrócić uwagę na występującą sezonowość zamawianych przez klientów produktów. W badanym okresie ilość zamawianych elementów wzrastała z początkiem roku by osiągnąć szczyt w miesiącu czerwcu, natomiast w kolejnych miesiącach wykazywała tendencję opadającą osiągając najgorszy wynik w miesiącu grudniu.

Tab. 1. Metoda Wintersa – wyniki prognozowania gospodarczego

Rok	Miesiąc	t	y_t	F_t	S_t	C_t	y_t^*	Δ^2
2013	Styczeń	1	275			1		
	Luty	2	475			121		
	Marzec	3	500			49		
	Kwiecień	4	475			177		
	Maj	5	525			229		
	Czerwiec	6	675			557		
	Lipiec	7	525			260		
	Sierpień	8	425			87		
	Wrzesień	9	500			215		
	Październik	10	450			168		
	Listopad	11	425			120		
	Grudzień	12	250			-30		
2014	Styczeń	13	300	281	-2,68	1		
	Luty	14	400	279	-2,68	121	400	1,9
	Marzec	15	325	276	-2,68	49	325	2,9
	Kwiecień	16	450	273	-2,68	177	450	2,0
	Maj	17	500	271	-2,68	229	500	3,7
	Czerwiec	18	825	268	-2,68	557	825	8,7
	Lipiec	19	525	265	-2,68	260	525	6,3
	Sierpień	20	350	263	-2,68	87	350	7,0
	Wrzesień	21	475	260	-2,68	215	475	1,6
	Październik	22	425	257	-2,68	168	425	2,2
	Listopad	23	375	255	-2,68	120	375	4,0
	Grudzień	24	222	252	-2,68	-30	222	3,6
2015	Styczeń	25	250	249	-2,68	1	250	5,1
	Luty	26	425	247	-2,68	178	368	3268,0
	Marzec	27	450	244	-2,68	206	293	24701,4
	Kwiecień	28	425	241	-2,68	184	418	51,4
	Maj	29	475	239	-2,68	236	488	51,4
	Czerwiec	30	675	236	-2,68	439	793	13884,7
	Lipiec	31	465	233	-2,68	232	493	774,7
	Sierpień	32	450	231	-2,68	219	318	17468,0
	Wrzesień	33	350	228	-2,68	122	443	8618,0
	Październik	34	375	225	-2,68	150	393	318,0
	Listopad	35	365	223	-2,68	142	343	491,4
	Grudzień	36	125	220	-2,68	-95	190	4203,4
2016	Styczeń	37	175	217	-2,68	-42	218	1834,7
	Luty	38	378	214	-2,68	164	393	220,0
	Marzec	39	450	212	-2,68	238	418	1034,7
	Kwiecień	40	400	209	-2,68	191	393	51,4
	Maj	41	450	206	-2,68	244	443	51,4
	Czerwiec	42	550	204	-2,68	346	643	8618,0
	Lipiec	43	475	201	-2,68	274	433	1778,0
	Sierpień	44					418	2914,0
	Wrzesień	45					318	
Październik	46					343		

3. Prognozowanie absencji pracowników

Koncepcja strategicznego Zarządzania Zasobami Ludzkimi opiera się na przeświadczeniu, iż strategię dotyczące personelu powinny być zintegrowane ze strategiami przedsiębiorstwa. Formułowanie zasobów ludzkich wymaga udzielenia odpowiedzi na pytania [1]:

- gdzie się obecnie znajdujemy?
- gdzie chcemy się znaleźć za rok, dwa, trzy...?
- w jaki sposób chcemy tam dotrzeć?

Mając na uwadze strategię związaną z zarządzaniem personelem mamy na myśli określenie, czy i w jakim stopniu przedsiębiorstwu zagraża niedostosowanie personelu do realizowanej przez nie działań, które może mieć charakter ilościowy lub/i jakościowy. Niedostosowanie może przybierać formy niedoborów pracowników bądź też nadwyżek np.: kwalifikacyjnych. Istotą w zarządzaniu strategicznym zasobami ludzkimi jest znalezienie wskazówek, w jaki sposób przedsiębiorstwo może minimalizować występujące rozbieżności. W związku, z tym konieczne jest określenie nie tylko ilu pracowników będzie w przyszłości potrzebnych do realizacji działań w firmie czy jaki ma być ich profil zdolności do pracy, ale także założenia związane z ich absencją w danym okresie czasu [11]. Przewidzenie takiej tendencji możliwe jest dzięki wykorzystaniu prognozowania gospodarczego.

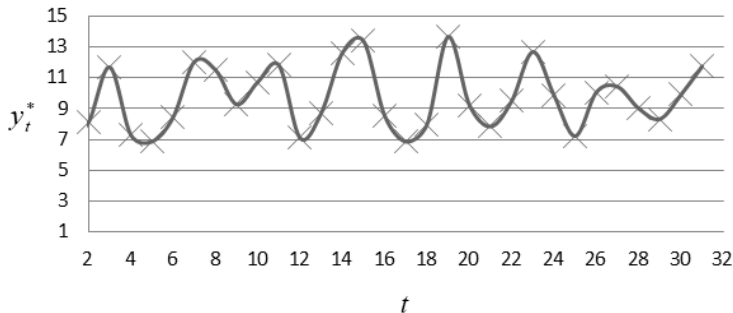
Do prognozowania absencji pracowników, która to skutkuje występowaniem przestoju maszyn w dziale produkcyjnym organizacji wykorzystano metodę Wintersa (model addytywny). W analizowanym przedsiębiorstwie liczba pracowników jest zgodna z zapotrzebowaniem na pracę, wynikającym z liczby realizowanych zleceń. Zgodnie ze strategią zarządzania zasobami ludzkimi firma powinna przewidywać ewentualne absencje pracowników spowodowane następstwami tj.: zwolnienia, choroby, urlopy czy szkolenia. Istotne dla organizacji jest prognozowanie takich sytuacji i przeciwdziałanie w taki sposób, aby nie wpływały one niekorzystnie na proces produkcyjny. W związku z tym, iż przedsiębiorstwo boryka się z absencjami pracowników, które skutkują przestojami maszyn w dziale produkcyjnym przeprowadzono (na podstawie 31 miesięcy) prognozowanie gospodarcze.

Analizując nieobecność pracowników w postaci roboczo-godziny określono procentowo absencje personelu dla danego miesiąca. Wskaźnik absencji pracowników T_p przedstawiono wg wzoru (5) [2]:

$$T_p = \sum \frac{A_1}{A_2} \cdot A_3 \quad (5)$$

gdzie: A_1 – liczba opuszczonych godzin, A_2 – przeciętna liczba zatrudnionych pracowników, A_3 – liczba godzin w pracy.

W ciągu każdego roku kalendarzowego: 2 tygodnie w okresie wakacyjnym, 3 dni w okresie wielkanocnym oraz tydzień w okresie świąteczno-noworocznym firma wstrzymuje produkcję. Okres ten w prognozowaniu gospodarczym nie został uwzględniony.



Rys. 2. Absencje pracowników w okresie od stycznia 2014 do lipca 2016

Analizując rysunek 2 należy zwrócić uwagę, iż w badanym przedsiębiorstwie występują wahania sezonowości. W związku, z tym prognozowanie absencji pracowników określono na podstawie szeregów czasowych oraz metody wskaźników (model addytywny i multiplikatywny). Prognozowanie przeprowadzono na sierpień 2016 r.

Dla modelu addytywnego przeprowadzono następujące obliczenia:

- eliminację z szeregu czasowego tendencji rozwojowej wyznaczono na podstawie różnicy pomiędzy wartościami rzeczywistymi prognozowanej zmiennej i teoretycznymi wynikającymi z modelu tendencji rozwojowej [9]:

$$Z_{ti,add} = y_{ti,add} - \hat{y}_{ti,add} \quad (6)$$

- czyste wskaźniki sezonowości ($c_{i,add}$) wyznaczono ze wzoru [10]:

$$c_{i,add} = Z_{i,add} - q \quad (7)$$

gdzie: $q = (1/r) \sum_{i=1}^r z_i$; r – liczba fazy cyklu.

- prognostyczną wartość zmiennej na okres t wyznaczono z zależności [10]:

$$y_{ti,add}^* = y_{ti,add}^{*(w)} + c_{i,add}, \quad t > n \quad (8)$$

gdzie: $y_{ti,add}^*$ – prognoza zmiennej y wyznaczona na okres t ; $y_{ti,add}^{*(w)}$ – wstępna prognoza zmiennej y na okres t , wyznaczona na podstawie modelu tendencji rozwojowej; $c_{i,add}$ – wskaźnik sezonowości dla i -tej fazy cyklu.

Dla modelu multiplikatywnego wykonano następujące działania:

- eliminację z szeregu czasowego tendencji rozwojowej obliczono na zasadzie różnicy między rzeczywistymi wartościami prognozowanej zmiennej i wartościami teoretycznymi powstałymi z modelu tendencji rozwojowej [3]:

$$z_{ti,mult} = \frac{y_{ti,mult}}{\hat{y}_{ti,mult}} \quad (9)$$

- czyste wskaźniki sezonowości ($c_{i,mult}$) obliczono z zależności [3]:

$$c_{i,mult} = \frac{z_{i,mult}}{q} \quad (10)$$

- prognostyczną wartość zmiennej na okres t otrzymano ze wzoru [3]:

$$y_{ti,mult}^* = y_{ti,mult}^{*(w)} c_{i,mult}, \quad t > n \quad (11)$$

gdzie: $y_{ti,mult}^*$ – liczba jednoimiennych faz w badanym szeregu czasowym; $y_{ti,mult}^{*(w)}$ – wstępna prognoza zmiennej y na okres t , wyznaczona na podstawie modelu tendencji rozwojowej; $c_{i,mult}$ – wskaźnik sezonowości dla i -tej fazy cyklu.

Dla modelu addytywnego oraz multiplikatywnego eliminację oddziaływania składnika losowego na kształtowanie wartości prognozowanej zmiennej przeprowadzono wyznaczając surowe wskaźniki sezonowości (z_i). Na podstawie wielkości (z_{ti}) obliczono wielkości średnie dla tej samej fazy cyklu wahań [3]:

$$z_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k-1} z_{i+j^*,i} \quad (12)$$

gdzie: k – liczba jednoimiennych faz w badanym szeregu czasowym.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki prognozowania absencji pracowników za okres 01.2014 – 07.2016 oraz prognozę na miesiąc sierpień 2016 r. W tabeli 3 natomiast pokazano obliczenia czystych i surowych wskaźniki sezonowości dla modelu addytywnego oraz multiplikatywnego, które zawierają wahania sezonowe, a także przypadkowe.

Na podstawie otrzymanych wyników (Tab. 2) należy zauważyć, iż prognoza na miesiąc sierpień dla modelu addytywnego oraz multiplikatywnego jest na podobnym poziomie i wynosi odpowiednio 10,90% oraz 10,97%.

W tabeli 3 zaprezentowano wyniki czystych wskaźników sezonowości (z_i) oraz surowych wskaźników sezonowości (c_i) dla modelu addytywnego, a także multiplikatywnego. Obliczenia wykonano dla każdego miesiąca w roku kalendarzowym. Najgorszym okresem pod względem absencji w przypadku obu modeli jest miesiąc lipiec, natomiast najniższą liczbę absencji pracowników odnotowano w miesiącu maju.

Tab. 2. Metoda Wskaźników (model addytywny i multiplikatywny) – wyniki prognozowania absencji pracowników

Rok	Miesiąc	t	y_t	y^t	$y_t - y^t$	y_t / y^t	$y_{t,add}$	$y_{t,mult}$
2014	Styczeń	1	6,94	9,19	-2,25	75,49	7,21	7,30
	Luty	2	8,12	9,23	-1,11	88,02	9,86	9,82
	Marzec	3	11,70	9,26	2,44	126,40	11,43	11,36
	Kwiecień	4	7,30	9,29	-1,99	78,60	7,87	7,92
	Maj	5	6,86	9,32	-2,46	73,62	6,94	7,03
	Czerwiec	6	8,44	9,35	-0,91	90,27	8,36	8,39
	Lipiec	7	12,04	9,38	2,66	128,35	12,07	11,97
	Sierpień	8	11,52	9,41	2,11	122,40	10,15	10,16
	Wrzesień	9	9,28	9,44	-0,16	98,28	8,33	8,37
	Październik	10	10,73	9,47	1,26	113,26	9,89	9,89
	Listopad	11	11,81	9,51	2,30	124,25	12,02	11,96
	Grudzień	12	7,10	9,54	-2,44	74,45	8,25	8,26
2015	Styczeń	13	8,72	9,57	-0,85	91,14	7,59	7,60
	Luty	14	12,63	9,60	3,03	131,58	10,23	10,21
	Marzec	15	13,39	9,63	3,76	139,05	11,80	11,82
	Kwiecień	16	8,53	9,66	-1,13	88,30	8,24	8,23
	Maj	17	6,86	9,69	-2,83	70,78	7,31	7,31
	Czerwiec	18	7,98	9,72	-1,74	82,07	8,74	8,73
	Lipiec	19	13,67	9,75	3,92	140,15	12,45	12,45
	Sierpień	20	9,24	9,79	-0,55	94,43	10,53	10,56
	Wrzesień	21	7,84	9,82	-1,98	79,87	8,71	8,71
	Październik	22	9,50	9,85	-0,34	96,50	10,26	10,28
	Listopad	23	12,69	9,88	2,81	128,46	12,40	12,43
	Grudzień	24	9,86	9,91	-0,05	99,50	8,63	8,58
2016	Styczeń	25	7,22	9,94	-2,72	72,63	7,96	7,89
	Luty	26	10,07	9,97	0,10	100,98	10,61	10,61
	Marzec	27	10,43	10,00	0,43	104,27	12,17	12,27
	Kwiecień	28	9,02	10,03	-1,01	89,89	8,62	8,55
	Maj	29	8,33	10,07	-1,74	82,76	7,68	7,59
	Czerwiec	30	9,91	10,10	-0,19	98,15	9,11	9,06
	Lipiec	31	11,75	10,13	1,62	116,02	12,82	12,92
	Sierpień	32		10,16			10,90	10,97

Jak pokazują otrzymane wyniki, wykorzystane do badań modele są narzędziami uniwersalnymi co oznacza, iż można je zastosować dla prognozowania następujących miesięcy.

Tab. 3. Czyste oraz surowe wskaźniki sezonowości dla modelu addytywnego i multiplikatywnego – obliczenia dla absencji pracowników

i	$Z_{i,add}$	$C_{i,add}$	$Z_{i,mult}$	$C_{i,mult}$
1	-1,94	-1,98	79,75	79,41
2	0,67	0,63	106,86	106,40
3	2,21	2,17	123,24	122,71
4	-1,38	-1,42	85,60	85,23
5	-2,34	-2,38	75,72	75,39
6	-0,95	-0,99	90,17	89,78
7	2,73	2,69	128,17	127,62
8	0,78	0,74	108,41	107,95
9	-1,07	-1,11	89,07	88,69
10	0,46	0,41	104,88	104,43
11	2,56	2,52	126,35	125,81
12	-1,24	-1,28	86,98	86,60
z_i średnie	0,041		100,43	

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wynik prognozowania gospodarczego dla zamówień klientów oraz absencji pracowników na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Wyniki z poszczególnych analiz otrzymano przez zastosowanie metody Wintersa - model addytywny dla zamówień klientów, a także metody wskaźników na podstawie modelu addytywnego i multiplikatywnego dla absencji pracowników. Elementy poddane prognozowaniu gospodarczemu zostały wskazane przez osoby zarządzające firmą jako negatywnie wpływające na proces produkcyjny i jednocześnie istotne dla właściwego funkcjonowania przedsiębiorstwa. Na podstawie otrzymanych wyników zaproponowano model decyzyjny.

W przypadku zamówień klientów, należy wdrożyć system umożliwiający ich prognozowanie w przyszłości. Takie rozwiązanie umożliwi osobom zarządzającym oraz specjalistom odpowiadającym za zamówienia surowców używanych do produkcji na dostosowanie ilości zasobów magazynowych do danego miesiąca. Korzyści wynikające z takich działań to m. in.: utrzymanie stanów magazynowych na odpowiednim poziomie ilościowym odpowiadających zamówieniom z danego miesiąca, zysk utraconego czasu wynikający z niedoboru ilości komponentów i skutkujący przestojem produkcyjnym, a także terminowość dostaw części do klientów.

W przypadku analizy wyników dotyczących absencji pracowników zaproponowano następujące rozwiązania - organizacja powinna przygotować się na wystąpienie ewentualnych nadgodzin (szczególnie na miesiąc lipiec), podejmując różnego rodzaju działania, m. in.: wcześniejsze poinformowanie pracowników

i zebranie odpowiedniej liczby osób chętnych do pracy w wyznaczonym czasie. Dodatkowo kierownictwo firmy mogłoby przeprowadzić analizę wydajności pracy w poszczególnych sektorach przedsiębiorstwa, a następnie z działów nieszczególnie eksploatowanych transferować pracowników w obszary osłabione. Kolejnym wartym uwagi byłoby przeprowadzenie szkoleń pracowników w szerszym zakresie np.: z obsługi maszyn i urządzeń, celem uzyskania większej ich mobilności. Ostatecznie, w okresie długoterminowym, trafnym rozwiązaniem byłoby zatrudnienie dodatkowego personelu, co pod względem finansowania nadgodzin oraz efektywności pracy pracowników zwiększyłoby efektywność procesu produkcyjnego.

Warto zwrócić uwagę, iż zaproponowane dla przedsiębiorstwa działania mogą odegrać znaczącą rolę i przyczynić się do rozwiązania wskazanych przez firmę problemów, jakimi są zamówienia klientów oraz absencje pracowników.

Literatura

- [1] Armstrong M.: *Zarządzanie Zasobami Ludzkimi*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków, 2004.
- [2] Cascio W. F.: *Kalkulacja kosztów zasobów ludzkich*. Oficyna Ekonomiczna, Kraków, 2001.
- [3] Cieślak M.: *Prognozowanie gospodarcze: metody i zastosowanie*. PWN, Warszawa, 2008.
- [4] Dittmann P.: *Prognozowanie w przedsiębiorstwie*. Oficyna Ekonomiczna, Warszawa, 2003.
- [5] Dittman P.: *Metody prognozowania sprzedaży w przedsiębiorstwie*. WAE im. O. Langego, Wrocław, 1998.
- [6] Gierszewska G.: *Zarządzanie Strategiczne*. WSPiZ im. L. Koźmińskiego, Warszawa, 2000.
- [7] Gierszewska G., Romanowska M.: *Analiza strategiczna przedsiębiorstwa*. PWN, Warszawa, 2003.
- [8] Kielec R., Leksycki K.: *Optymalizacja procesu projektowania i modyfikacji samochodu seryjnego w pojazd rajdowy*. Przedsiębiorczość i Zarządzanie, T. XVII, Z. 12, cz. 2, s. 139-166, 2016.
- [9] Kraszewska M.: *Wielopoziomowy system planowanie produkcji na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa*. Automatyka, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków, 2008.
- [10] Leksycki K., Kielec R.: *Analiza i prognozowanie procesu produkcyjnego na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa*. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2017.
- [11] Lipka A.: *Strategie personalne firmy*. WPSB, Kraków, 2000.
- [12] Lis S., Santarek K., Strzelczak S.: *Organizacja elastycznych systemów produkcyjnych*. PWN, Warszawa, 1994.
- [13] Skowronek C., Sariusz- Wolski Z.: *Logistyka w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa, 2008.
- [14] Stasiuk A., Werner K.: *Production flow control as a key element in production management*. Production management. Contemporary approaches. Selected aspects, Red. Hadaś Ł., Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2012.
- [15] Strategor: *Zarządzanie firmą. Strategie. Struktury. Decyzje. Tożsamość*. PWE, Warszawa, 2001.

OPTIMALIZACJA PROCESU PRODUKCYJNEGO HUTY MIEDZI „GŁOGÓW II” Z WYKORZYSTANIEM DODATKU TECHNOLOGICZNEGO CaF_2

Maciej WĘDRYCHOWICZ¹, Adam BYDAŁEK²

W artykule przedstawiono problematykę procesu odmiedziowania żużla zawieszinowego w HM „Głogów II”, która może być rozpatrywana na kilku płaszczyznach: ekonomicznej, środowiskowej, zużycia energii elektrycznej oraz wpływu dodatku technologicznego. Spośród wszystkich wymienionych, wybrano ten ostatni i opracowano możliwość prowadzenia procesu odmiedziowania żużla zawieszinowego w piecu elektrycznym przy udziale nowego dodatku technologicznego w postaci CaF_2 . Rezultatem zastosowania nowego dodatku jest poprawa wskaźnika produktywności, zmiana relacji efektów końcowych do poniesionych nakładów oraz optymalizacja kosztów produkcji. Na koniec podsumowano poruszone zagadnienie, podkreślając, że opanowanie procesu produkcyjnego wymaga ciągłych udoskonaleń.

Słowa kluczowe: proces produkcji miedzi, optymalizacja procesu, odmiedziowanie, koszty produkcji

1. Wprowadzenie

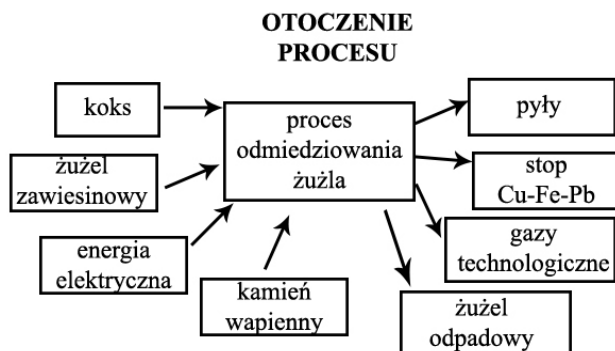
System produkcyjny stanowi celowo zaprojektowany i zorganizowany układ materiałowy, energetyczny i informacyjny eksploatowany przez człowieka i służący wytwarzaniu określonych produktów (wyrobów lub usług) w celu zaspokojenia różnorodnych potrzeb konsumentów. Jego podstawowymi elementami są [10]:

- wektor wejścia, zawierający wszystkie czynniki produkcji,
- wektor wyjścia, czyli wyroby, usługi oraz odpady produkcyjne,
- procesy transformacji wektora wejścia w wektor wyjścia, nazywane procesem produkcyjnym,
- proces zarządzania systemem,
- sprzężenie materiałowe, energetyczne i informacyjne pomiędzy elementami składowymi systemu produkcyjnego.

Przykład takiego systemu został zaprezentowany na przykładzie procesu odmiedziowania żużla zawieszinowego, odbywającego się w Głogowskiej Hucie Miedzi. Schemat tego systemu zaprezentowano na rysunku 1.

¹ mgr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: maciej.wedrychowicz@gmail.com

² prof. dr hab. inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: A.Bydalek@iizp.uz.zgora.pl



Rys. 1. Ogólny schemat procesu odmiedziowania żużła zawieszinowego

Literatura podaje trzy podstawowe cele budowy i funkcjonowania systemów produkcyjnych [10]:

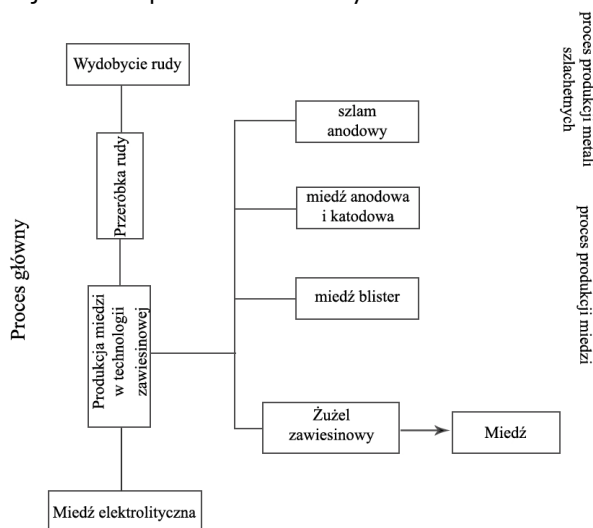
- wzrost jakości i nowoczesności produktów,
- obniżka kosztów własnych wytwarzania,
- wzrost produktywności.

W procesie odmiedziowania żużła można wymienić parametry procesu produkcyjnego, które bezpośrednio wpływają na jakość całego procesu i są to: temperatura, dodatki technologiczne, skład żużła, ciśnienie.

Motywacją do przeprowadzenia optymalizacji procesu odmiedziowania żużła są zyski płynące z bardziej efektywnego przebiegu procesu produkcyjnego poprzez poprawę parametrów technologicznych. Jest to istotne zwłaszcza z punktu widzenia wzrostu popytu miedzi na rynku. Według International Copper Study Group (ICSG) światowe zużycie miedzi wzrosło w 2014 r. o około 4% w stosunku do roku poprzedniego [7]. Dane pochodzące z ICSG zanotowały niewielki wzrost popytu na ten metal o 0,3% w 2015 roku. Tak więc światowi liderzy produkujących miedź (w tym m. in. KGHM) zmuszani są do zwiększenia produkcji miedzi i ograniczania ich kosztów. Jednocześnie odbiorcy wymagają od wytwórców miedzi wysokiej czystości, co skłania technologów do optymalizacji przebiegu całego procesu z jednoczesnym utrzymaniem wysokich standardów produkcji. Według autorki artykułu [9], publikacje i opracowania naukowo – badawcze z zakresu przeróbki koncentratów miedzionośnych i złóż, a także ilości produkowanego żużła pomiedziowego koncentrują się głównie na efektywności produkcji górniczej i przetwórczej, najczęściej korzystając z formuły dochodowej NSR jako formy oceny tej efektywności. Natomiast dla lepszego rozpoznania zagadnienia produkcji miedzi powinno stosować się kryteria technologiczno-ekonomiczne, ponieważ ten kierunek badawczy jest ważny dla rozwoju technologii jak i optymalizacji procesów produkcyjnych.

2. Proces odmiedziowania jako proces produkcji

Proces produkcyjny w przemyśle może być rozpatrywany w ujęciu komórki produkcyjnej w której rozpatrywane są cząstkowe procesy produkcyjne w danym przedsiębiorstwie. Produkcja w hutach KGHM oparta jest głównie o przerób własnych koncentratów miedzi, a strategia Kombinatoru Górniczo-Hutniczego Miedzi polega głównie na utrzymaniu skali produkcji na poziomie ponad 500 tys. ton miedzi elektrolitycznej z jednoczesnym wzrostem wydajności górnictwa w kopalniach na całym świecie. Firma planuje też zwiększenie odzysku pierwiastków towarzyszących produkcji miedzi i ciągłe doskonalenie technologii metalurgicznych. Ogólny schemat procesu produkcji w KGHM przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Ogólny schemat procesu produkcyjnego miedzi w technologii zawiesinowej HM „Głogów II”

W złożonych procesach produkcyjnych, m. in. te które wykorzystywane są w Hutach KGHM, należałoby by dokonać podziału całego procesu technologicznego na mniejsze procesy. I tak w procesie wytwarzania miedzi z żużła zawiesinowego można wyróżnić:

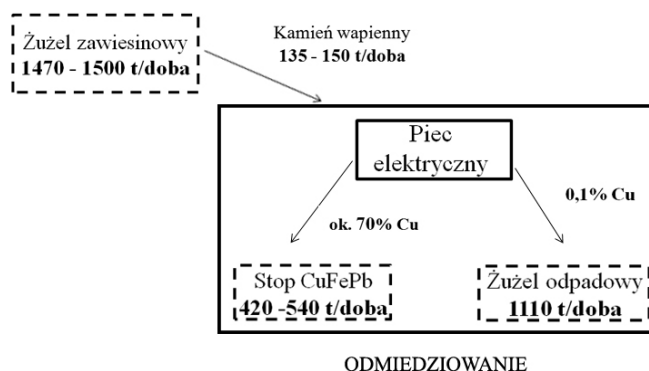
- odmiedziowanie żużła zawiesinowego,
- konwertowanie stopu Cu - Fe - Pb,
- oczyszczanie gazów technologicznych.

Żużel zawiesinowy poddaje się procesowi odmiedziowania w piecu elektrycznym z którego otrzymuje się stop miedzi ołowiu i żelaza oraz żużel odpadowy. KGHM żużel odpadowy wykorzystuje do wyrobu wszelkiego rodzaju ścierniwa oraz do budowy dróg. W skład żużła wchodzi głównie tlenki miedzi, ołowiu, cynku, żelaza oraz wapnia.

W procesie odmiedziowania żużla w piecu elektrycznym można uszczegółowić następujące podprocesy:

1. Zalewanie pieca elektrycznego żużlem zawiesinowym w ilości 450 – 550 t/cykl oraz żużlem konwertorowym w ilości około 35 t/cykl.
2. Wprowadzenie części kamienia wapiennego do pieca elektrycznego, który zwyczajowo stanowi 40 – 65 t/cykl masy żużla zawiesinowego. Etap 1 oraz 2 trwa od 2 do 3 godzin.
3. Redukcja żużla zawiesinowego, która trwa do momentu w którym zawartość miedzi w żużlu jest mniejsza niż 0,8%. Etap ten trwa zwykle od 4 do 5 godzin.
4. Spust odmiedziowanego żużla oraz stopu Cu - Fe - Pb trwający od 2 do 2,5 godziny. W końcowym etapie spustu dodatkowo wprowadzana jest część koksu, żużla stałego oraz kamienia wapiennego. Ostateczna zawartość miedzi w żużlu wynosi od 0,3% do 0,5%.

Proces odmiedziowania żużla zawiesinowego odbywający się w piecu elektrycznym można przedstawić za pomocą krótkiego schematu przedstawionego na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat procesu produkcyjnego odmiedziowania żużla zawiesinowego

3. Optymalizacja procesu odmiedziowania żużla zawiesinowego poprzez zastosowanie fluorytu

Według definicji optymalizacja to poszukiwanie najlepszego rozwiązania ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych [1]. Skuteczność optymalizacji przebiegu procesu zależy nie tylko od przyjętego kryterium jakości sterowania czy rodzaju parametrów technologicznych, ale także, w znacznej mierze od właściwości i cech tych parametrów. Praktycznym celem optymalizacji jest poszukiwanie rozwiązania problemu i optymalizowanie podjętej decyzji. Argumentem przemawiającym za próbą optymalizacji procesu odzysku miedzi z żużla zawiesinowego jest ilość produkowanego żużla odpadowego który z roku na rok się powiększa jak wynika to z tabeli 1.

Tab. 1. Ilość żużla odpadowego wytwarzanego przez KGHM w latach 1991 – 2012 [5]

Rok	1991	2001	2006	2012	do 2018
Ilość [t]	259 632	394 700	390 000	400 000	1 000 000

Analizując dane przedstawione w tabeli 1 można wysnuć wniosek, że KGHM będzie miało problemy ze składowaniem żużla odpadowego oraz jego wpływem na środowisko. Występujące problemy z odpadami produkcyjnymi oraz spadek zainteresowania w wielu krajach wyrobami nieprzyjaznymi dla środowiska wpływają w istotny sposób na sprzedaż wyrobu. Zagadnienia ochronny środowiska dotyczą wszystkich przedsiębiorstw, a głównie tych trudniących się procesem wytwórczym. Poszukiwanie możliwości modyfikacji procesu produkcji lub jego zmiana na inny może przyczynić się do poprawy ochronny środowiska.

Jednym z ważnych etapów optymalnego projektowania jest wybór właściwej procedury optymalizacyjnej jako narzędzia do rozwiązania problemu inżynierskiego. Wybór takiej metody nie jest prosty, gdyż nie ma jednej uniwersalnej metody jednakowo efektywnej dla wszystkich problemów inżynierskich.

W celu znalezienia najlepszego rozwiązania dla procesu odmiedziowania przedstawiono następujący jego problem: w obecnym procesie odmiedziowania żużla zawiesinowego dodawany jest węglan wapnia, który z jednej strony wpływa na odzysk miedzi z żużla zawiesinowego, a z drugiej strony jest:

- dodatkiem wysoce energochłonnym,
- sztucznie zaniża zawartość miedzi w żużlu,
- powiększa masę żużla.

Optymalizacja procesu może więc polegać na:

- zwiększeniu temperatury prowadzenia procesu odmiedziowania żużla,
- obniżeniem ciśnienia w piecu elektrycznym,
- zamiany dodatku technologicznego na mniej energochłonny.

Spośród wszystkich możliwych rozwiązań optymalizacyjnych w piecu elektrycznym, tj. podwyższenie temperatury żużla redukowanego, obniżenie ciśnienia w piecu elektrycznym itp., najbardziej optymalnym rozwiązaniem wydaje się zamiana obecnie wprowadzanego dodatku technologicznego, ponieważ nie wpływa ona na zmiany parametrów procesu (temperatura oraz ciśnienie), które z góry są narzucone przez Hutę Miedzi „Głogów II”. Literatura przedmiotu mówi o kilku zamiennikach, które mogłyby zastąpić obecnie dodawany węglan wapnia [2]. Spośród wszystkich możliwych stosowanych zamienników technologicznych tzn. FeO, CaF₂, Na₂O, CaO wybrano CaF₂.

Wybór nowego dodatku dokonano w oparciu o następujące przesłanki:

- właściwości fizykochemiczne związku,
- dostępność oraz postać pod jaką występuje,
- wpływ na temperaturę procesu tzn. w kierunku jej obniżenia,
- wpływ na czas trwania procesu.

W celu zbadania wpływu dodatków technologicznych zastosowano badania ilościowe z wykorzystaniem lepkościomierza rotacyjnego wysokotemperaturowego [11].

4. Rachunek kosztów dla obecnego procesu odmiedziowania

W przypadku prowadzenia procesu odmiedziowania wiele czynników wpływa na koszt jego przebiegu, a najważniejsze z nich to [6]:

- koszty transportu materiału wsadowego,
- koszty transportu produktu.

Bezpośrednie koszty eksploatacyjne tzn.:

- koszty pracy,
- przygotowanie instalacji produkcyjnych,
- zasilanie energetyczne,
- zużycie materiału eksploatacyjnego,
- koszty topnika oraz dodatku technologicznego,
- koszty remontu, itp.

Przedstawione czynniki wskazują, że bardzo trudno podać wiarygodne dane dotyczące kosztów, które mogłyby być stosowane w bardziej ogólnym znaczeniu bez ryzyka wprowadzających w błąd wyników. Kompletna i wiarygodna kalkulacja ekonomiczna może zostać dokonana tylko dla inwestycji w konkretnym miejscu [3]. Tylko na takiej podstawie dostępne są określone dane dotyczące kosztów. Czynniki które również mają wpływ na aspekt ekonomiczny, ale nie zawsze mogą być oszacowane to:

- koszty obróbki i rafinacji koncentratu,
- koszty koncentratu, topnika i innych zakupów,
- cena zakupu surowców,
- cena zakupu rafinowanego metalu,
- sprzedaż produktów ubocznych jak kwas siarkowy lub podobne,
- wydajność instalacji, itp.

W przypadku oszacowania kosztów związanych z cząstkowym procesem należy uwzględnić całkowity koszt prowadzenia procesu. Na całkowity koszt prowadzenia procesu odmiędziowania przyjęto:

- koszt zużycia energii elektrycznej,
- koszt dodatku technologicznego wprowadzanego do pieca elektrycznego,
- średni koszt pracowników,
- koszty operacyjne,
- kary i odszkodowania za przestój w prowadzeniu procesu odmiędziowania,
- odprawy pracownicze.

Przy czym przyjęto:

- zwyczajowo w procesie odmiędziowania w ciągu jednego dnia prowadzone są trzy wytopy w piecu elektrycznym, a jeden przetop trwa około 8 godzin;
- ceny węgla wapnia nie podlegają notowaniom, lecz są negocjowane i ustalane w kontraktach między sprzedawcą a nabywcą. Zwykle ceny węgla wapnia na rynku amerykańskim czy europejskim mieszczą się w przedziale 200 – 290 USD/t. Przyjęto cenę 200 USD za tonę surowca;
- średni koszt pracowników w 2009 r. wyniósł 9 000 zł, a w samej hucie Głogów II pracowało około 2500 pracowników;
- ilość przerabianego żużla zawieszinowego wynosi 500 t;
- jednostkowe koszty operacyjne na jedną tonę przerabianego żużla wyniosły 17,5 USD;
- kary i odszkodowania związane są również z karami środowiskowym, wypadkowymi pracownikami, itp.;
- w skład odpraw pracowniczych wchodzi również odprawy emerytalno - rentowe;
- średni koszt zużycia energii elektrycznej na 1 kWh wynosi 45 groszy.

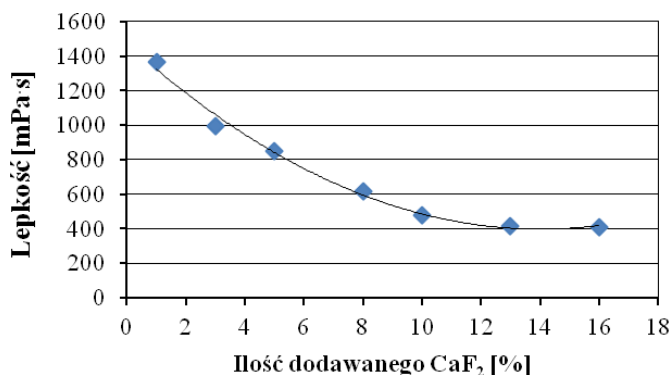
Koszty związane z samym procesem odmiędziowania przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Teoretyczny koszt prowadzenia procesu odmiędziowania w ciągu roku

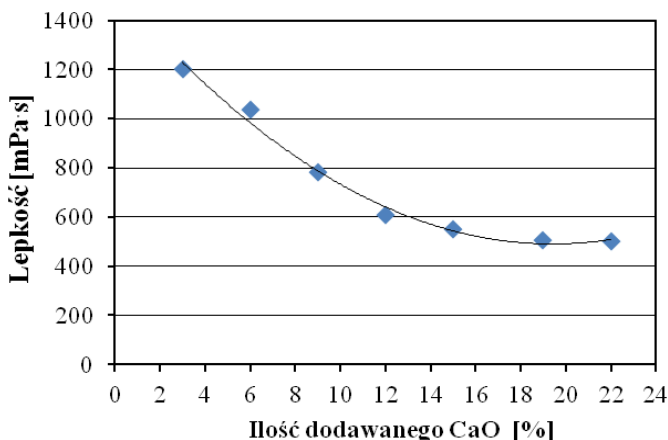
Rodzaj kosztu	Koszt [tys. zł]
Koszty zużycia energii elektrycznej	22 950
Koszt dodatku technologicznego	16 425
Średni koszt pracowników	22 500
Koszty operacyjne	12 455
Kary i odszkodowania za przestój w prowadzeniu procesu odmiędziowania	4 298
Odprawy pracownicze	45 259
Ogółem koszty	123 887

5. Koszt po wprowadzeniu fluorytu do procesu odmiędziowania żużła

Wprowadzenie fluorytu do procesu odmiędziowania sprzyja odzysku miedzi z żużła zawiesinowego. Wpływ ilości dodawanego fluorku wapnia na jego lepkość przedstawiono na rysunku 4, z którego wynika, że graniczna wartość ilości dodawanego fluorku wapnia wynosi niewiele ponad 10% i można tą wartość przyjąć jako umowną. Inaczej mówiąc, przekroczenie tej wartości nie wpłynie w sposób istotny na poprawienie procesu produkcji miedzi. Niemniej jednak jest to i tak zdecydowanie mniej niż w przypadku węglanu wapnia dodawanego w obecnej technologii, którego graniczną wartość można przyjąć 15%.



Rys. 4. Wpływ ilości dodawanego fluorytu na wartość jego lepkości w temperaturze 1300°C



Rys. 5. Wpływ ilości dodawanego tlenku wapnia na wartość jego lepkości w temperaturze 1300°C

W związku z powyższym na 500 ton przerabianego żużla zawieszinowego będzie zużywane na jeden cykl prowadzenia procesu około 50 ton fluorytu, a nie jak w obecnej technologii 75 ton węgla wapnia, co przekłada się na zmniejszenie kosztów dodatku technologicznego. Oprócz tego, obliczenia termodynamiczne zmiany entalpii swobodnej reakcji rozkładu fluorku wapnia pokazują, że na jego rozkład w trakcie wprowadzania nowego dodatku technologicznego zużywane jest znacznie mniej energii bo około 10% [8]. Koszty związane z wprowadzeniem nowego dodatku technologicznego, po uwzględnieniu ceny fluorku wapnia który, wg danych z 2013 [4], wyniósł 230 USD zostały przedstawione w tabeli 3.

Tab. 3. Teoretyczny koszt po wprowadzeniu fluorytu do pieca elektrycznego

Rodzaj kosztu	Koszt [tys. zł]
Koszty zużycia energii elektrycznej	21 307
Koszt dodatku technologicznego	12 592
Średni koszt pracowników	22 500
Koszty operacyjne	12 455
Kary i odszkodowania za przestój w prowadzeniu procesu odmiedziowania	4 298
Odprawy pracownicze	45 259
Ogółem koszty	118 411

6. Podsumowanie

Procesy produkcyjne występujące w Kombinacie Górniczo - Hutniczym Miedzi są procesami skomplikowanymi i wymagają od klientów coraz wyższej jakości produktów, przy relatywnie jak najniższej cenie. Sytuacja taka powoduje wzrost znaczenia optymalizacji procesów. Ponieważ technologie i produkty zmieniają się bardzo szybko, technolodzy Głogowskiego Kombinatu mają coraz mniej czasu, aby optymalizować go na podstawie własnego doświadczenia. Analizując dany proces możemy wykrywać m. in. zakłócenia w procesie, znajdować przyczyny wpływające na problemy z jakością procesu, dobierać optymalne ustawienia dla procesu lub porównywać różne procedury wytwarzania. Podstawę optymalizacji procesu stanowi analiza przebiegu procesu produkcyjnego. W przypadku procesu odmiedziowania żużla w niniejszej pracy dokonano wstępnej analizy procesu, ich głównych wad jak i zalet, a także kosztów związanych z prowadzoną działalnością. Na ich podstawie został opracowany wariant rozwiązania, którego efektem jest poprawa

procesu produkcji miedzi. Korzyści jakie płyną z wykorzystaniem nowego dodatku technologicznego to przede wszystkim zwiększenie udziału miedzi w stopie, obniżenie kosztów produkcji, a także zmniejszenie energii elektrycznej oraz skrócenie czasu prowadzenia procesu. W wyniku przeprowadzonych badań laboratoryjnych zrealizowano założone cele tzn. wykazano, że zmieniając (modyfikując) dodatek technologiczny można zwiększyć uzysk miedzi w stopie, zmniejszyć energochłonność procesu oraz skrócić czas prowadzenia procesu z ośmiu do sześciu godzin.

Artykuł powstał przy wsparciu projektu NCBiR No. PBS3/A5/45/2015

Literatura

- [1] Banaszak Z., Muszyński W.: *Systemy elastycznej automatyzacji dyskretnych procesów produkcyjnych*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1991.
- [2] Czarnecki J., Śmieszek Z., Milczkowski Z.: *Proces odmiedziowania żużła zawieszinowego i konwertorownia stopu Cu Pb Fe w HM „Głogów II”*. Rudy i Metale Nieżelazne, T. 46, Nr 5-6, s. 221-227, 2001.
- [3] Dyrektywa IPPC - Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń, *Dokument Referencyjny BAT dla najlepszych dostępnych technik w produkcji metali nieżelaznych*. Grudzień, 2001.
- [4] Galos K., Guzik K.: *Bilans Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polski i Świata*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 2015.
- [5] Gembal P.: *Wpływ struktury żużła pomiedziowego z pieca elektrycznego na wybrane cechy matrycy cementowej*. Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, Poznań, 2013.
- [6] Gornowicz M., Romaniuk K., Szczubetek G.: *Ekonomika Produkcji*. Olsztyn, 2014.
- [7] Gulik M., Jarosz P., Kusiak J. i in.: *Modelowanie procesu produkcji miedzi blister z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych*. Rudy i Metale Nieżelazne, T. 61, 2016.
- [8] HSC Chemistry for Windows XP, ver. 5.0.
- [9] Krzemińska M.: *Ekonomika produkcji miedzi ze złóż LGOM w pracach naukowo-badawczych i publikacjach krajowych*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Nr 42, Wrocław, 2012.
- [10] Pasternak K.: *Żarys zarządzania produkcją*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2005.
- [11] Wędrychowicz M., Pietrzyk S.: *Zastosowanie modeli matematycznych do obliczania lepkości żużli z jednostadialnego procesu otrzymywania miedzi*. Rudy i Metale Nieżelazne, T. 59, Nr 12, s. 581-588, 2014.

ANALIZA ZASTOSOWANIA INSTRUMENTARIUM ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ W PROCESIE PRODUKCJI WYBRANEGO TYPU KABLA

Paulina WOŁEK, Katarzyna ŁYP-WROŃSKA ¹, Agata WZOREK ²

Dynamiczny rozwój gospodarczy na świecie oraz wzrost oczekiwań konsumentów zmusza producentów do ciągłego doskonalenia jakości wyrobów. Zadaniem instrumentów zarządzania jakością jest zapewnienie jakości na każdym z etapów procesu produkcyjnego. W artykule dokonano analizy zastosowania wybranych metod i narzędzi zarządzania jakością tj. m.in. analiza Pareto-Lorenza oraz Diagram Ishikawy w wybranym przedsiębiorstwie kablowym. Analiza została dokonana na podstawie jednego typu kabla. Stosowanie tego instrumentarium jakości pozwoliło rozwiązać problemy jakościowe występujące w procesie produkcyjnym.

Słowa kluczowe: zarządzanie jakością, instrumentarium jakości, doskonalenie jakości, jakość wyrobów

1. Wstęp

W połowie dwudziestego wieku w związku z rewolucją przemysłową na świecie, przedsiębiorstwa zaczęły zwracać uwagę na jakość produkowanych przez siebie wyrobów. W związku z tym na przestrzeni wielu dekad podejście do jakości zmieniało się, a co za tym idzie zmieniały się koncepcje zarządzania jakością. Realizowanie szczegółowo zaplanowanych produktów przez pewne klasy społeczeństwa opierając się na konkretnych wytycznych, uznawane jest za początek realizowania zadań związanych z zarządzaniem jakością. Podczas wykonywania założonych czynności żaden z pracowników nie wiedział i nie zdawał sobie sprawy, czym tak naprawdę jest jakość i zarządzanie nią. Dopiero w wyniku trudnej sytuacji gospodarczej, w fabrykach powstały działy, których zadaniem było nadzorowanie pracy robotników. Po wielu latach grupa ta została w wyniku wielu przemian została wyodrębniona i nazwana kontrolą jakości. Z chwilą powstania kontroli technicznej nastąpił silny rozwój organów organizacyjnych zajmujących się szeroko pojętym zarządzaniem jakością. Przez wiele lat coraz intensywniej rozwijano liczne koncepcje związane z tematem jakości, którym wspólnym ogniwem jest filozofia TQM

¹ dr inż.; Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych;
e-mail: klyp@agh.edu.pl

² mgr; Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Zarządzania;
e-mail: aga.wzorek@gmail.com

(z ang. *Total Quality Management*), co tłumaczyć można jako kompleksowe zarządzanie jakością. Analizując kolejne nowopowstałe idee można wnioskować, że każda z nich powstała na bazie swoich poprzedników [6].

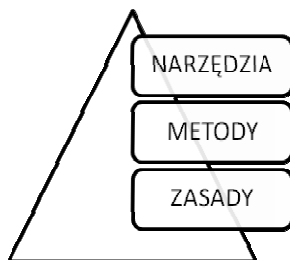
Obecnie przedsiębiorstwo, aby zapewnić sobie płynne funkcjonowanie musi doskonalić jakość wyrobów poprzez dobrze funkcjonujący system zarządzania jakością. W celu zdefiniowania terminu „system zarządzania jakością”, należy odnieść się do normy PN-EN ISO 9000: 2006. Znajduje się w niej zapis, że *system zarządzania jakością jest to zbiór wzajemnie powiązanych lub wzajemnie oddziałujących ze sobą elementów do kierowania organizacją i jej nadzorowania w odniesieniu do jakości* [7]. Na podstawie przytoczonej definicji można wnioskować, że system ten jest sposobem postępowania przedsiębiorstwa, które dąży do ciągłego doskonalenia.

2. Instrumentarium zarządzania jakością

Do osiągnięcia założonych przez siebie celów każde przedsiębiorstwo potrzebuje odpowiednich instrumentów, które na podstawie literatury można podzielić na:

- zasady zarządzania jakością, opisują podejście zarządzania przedsiębiorstwem, biorąc pod uwagę kadre pracowniczą do szeroko pojętych problemów jakościowych, (oddziaływanie długoterminowe),
- metody zarządzania jakością, stanowią ściśle określony, powtarzalny i opierający się na podstawach naukowych schemat postępowania podczas realizowania misji związanych z zarządzaniem jakością (oddziaływanie średnioterminowe),
- narzędzia zarządzania jakością, do ich podstawowych zadań należy archiwizacja i analiza wyników powiązanych z elementami zarządzania jakością (oddziaływanie bieżące) [2].

Obszary instrumentarium zarządzania jakością przedstawione zostały na rysunku 1.



Rys. 1. Instrumentarium zarządzania jakością [2]

3. Metody i narzędzia zarządzania jakością

Gdy w danym przedsiębiorstwie wprowadzany jest system zarządzania jakością warto wykorzystać metody i narzędzia zarządzania jakością, które w dużym stopieniu wzajemnie się uzupełniają. Zadaniem ich jest zapewnienie odpowiednio wysokiej jakości produktu na każdym z etapów procesu produkcyjnego. Jakość produktów powinna być zapewniona przez cały cykl trwania życia produktu. Tylko właściwe zapewnienie jakości zwiększy zaufanie konsumentów do przedsiębiorstwa oraz umożliwi wyeliminowanie niezgodności [1]. Tradycyjne narzędzia zarządzania jakością to [5]:

- schemat blokowy,
- wykres przyczynowo-skutkowy Ishikawy,
- diagram Pareto,
- arkusze kontrolne,
- wykresy korelacji,
- karty kontrolne Shewharta.

W ostatnich latach powstało kilka tzw. „nowych” narzędzi zarządzania jakością. Stanowią one uzupełnienie tych tradycyjnych, dzięki czemu zapewnienie właściwej jakości produktów jest o wiele łatwiejsze. Zalicza się do nich [6, 10]:

- diagram relacji,
- diagram pokrewieństwa,
- diagram systematyki,
- diagram macierzowy,
- macierzowa analiza danych,
- wykres programowy procesu decyzji,
- diagram strzałkowy.

Wszystkie wymienione metody i narzędzia są dosyć uniwersalne dla każdej branży, ale ich stosowanie zależy od wielu czynników tym np. miejsca w procesie, w którym jest do rozwiązania problem jakościowy.

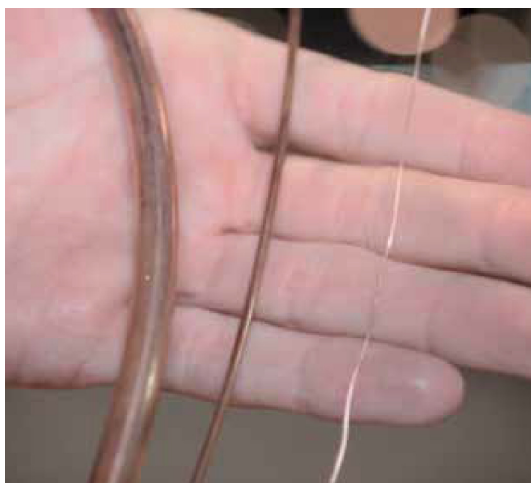
4. Proces produkcyjny wybranego typu kabla elektrycznego

Proces produkcji kabla typu H07V-R 1x1 5 składa się z kilku etapów. Pierwszym etapem jest dostarczenie walcówki miedzianej klasy II o średnicy 8 mm (Rys. 2). Właściwy etap produkcji rozpoczyna procesem ciągnięcia drutów (Rys. 3). Polega on na przeciąganiu otrzymanej walcówki przez otwór matrycy, zwanej popularnie ciągadłem, pod wpływem użytej z zewnątrz siły ciągnięcia [8]. Tylko dzięki wielokrotnemu przeciągnięciu walcówki przez matryce o różnej średnicy, finalnie otrzymuje się drut o żądanym wymiarze. Dla tego typu kabla jest to średnica

2,69 mm z tolerancją $\pm 0,01$ mm., Aby uzyskać i zapewnić drutowi odpowiednie własności plastyczne i przewodności wykonuje się kolejną operację, jaką jest wyżarzanie (Rys. 4).



Rys. 2. Walcówka miedziana 8 mm [4]

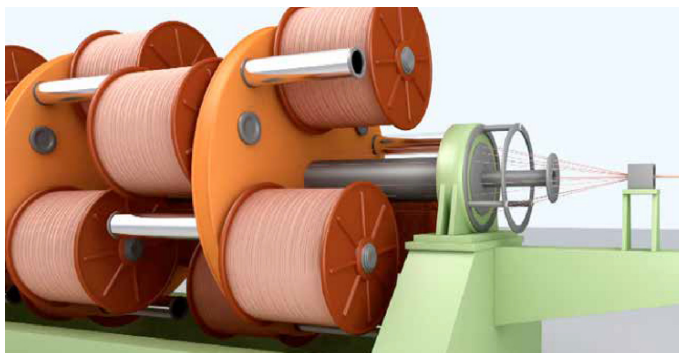


Rys. 3. Wyroby po procesie ciągnięcia [4]



Rys. 4. Proces wyżarzania drutu miedzianego [4]

Po przygotowaniu odpowiedniej ilości drutów następuje ich skręcenie w jedną żyłę. Cykl skręcania drutów ilustruje rysunek 5. Podczas procesu skręcania wytwarzane są żyły o różnych średnicach. W kablu wybranego typu występuje żyła składająca się z 7 drutów. Właściwy wybór urządzenia do tworzenia żył zależy od tego, jakiej średnicy kabla wymagają klienci.



Rys. 5. Proces skręcania drutów miedzianych [4]

Gdy żyła kabla zostanie już wytworzona, kolejnym krokiem w procesie produkcji jest proces wytłaczania izolacji (Rys. 6). Izolacja nakładana jest na pojedyncze druty w celu zabezpieczenia ich przed przebiciami elektrycznymi w trakcie użytkowania. W zależności od wymaganych właściwości elektrycznych należy wybrać odpowiedni rodzaj izolacji. Dodatkowo rodzaj ten wpływa na zakres temperaturowy pracy kabla, jego temperaturę zwarciovą oraz obciążalność prądową.



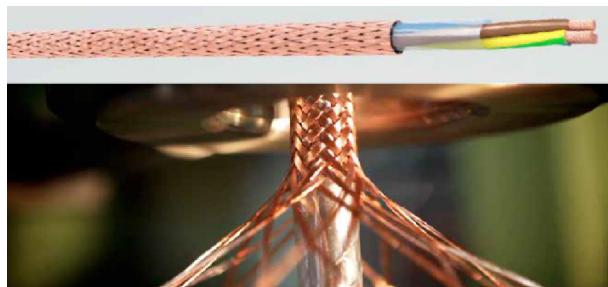
Rys. 6. Proces nakładania izolacji [4]

Gdy wszystkie żyły wraz z izolacjami są gotowe, skręca się je w jedną całość, co zostało pokazane na rysunku 7. W przypadku przewodów z większą liczbą żył należy każdą z nich ponumerować. Po etapie skręcania następuje wykonanie kontroli napięciowej na wytworzonym odcinku.



Rys. 7. Proces skręcania ośrodków [4]

W niektórych rodzajach przewodów wymagane jest zamontowanie dodatkowej warstwy zwanej pancerzem lub ekranem (Rys. 8). Te pomocnicze elementy zwiększają ochronę przewodu i w znacznym stopniu poprawiają jego funkcjonalność. Jednym z zadań ekranu w kablu jest chronienie go przed nadmierną emisją zakłóceń elektromagnetycznym i zapewnienie zgodności odpowiedniej pracy w środowisku elektromagnetycznym. Natomiast pancerz chroni kabel przed uszkodzeniami mechanicznymi.



Rys. 8. Nakładanie pancerza [4]

Ostatnim etapem procesu produkcyjnego kabla jest nakładanie powłoki zewnętrznej, co jest przedstawione na rysunku 9. Jego głównym zadaniem jest zapewnienie właściwej ochrony przed zewnętrznymi czynnikami atmosferycznymi, np. wilgocią. Dzięki tej warstwie wszystkie elementy znajdujące się wewnątrz kabla są chronione przed uszkodzeniami mechanicznymi w trakcie instalacji przewodu.



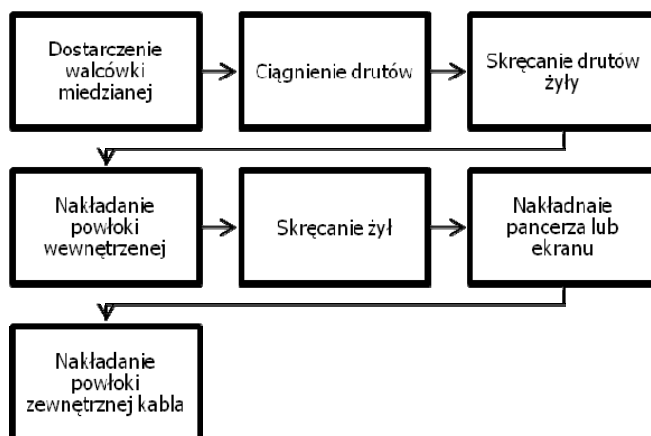
Rys. 9. Nakładanie powłoki zewnętrznej kabla [4]

Po ostatecznym nałożeniu warstwy każdy wyrób gotowy cechowany. Cechowanie (Rys. 10) to czynność w trakcie której na powłokach wewnętrznych i zewnętrznych umieszczone są najważniejsze informacje takie jak: nazwa producenta, typ kabla, liczba żył, przekrój. [4]



Rys. 10. Cechowanie wyrobu gotowego [4]

Uproszczony schemat opisanego procesu produkcyjnego z podziałem na główne etapy przedstawiony został na rysunku 11.



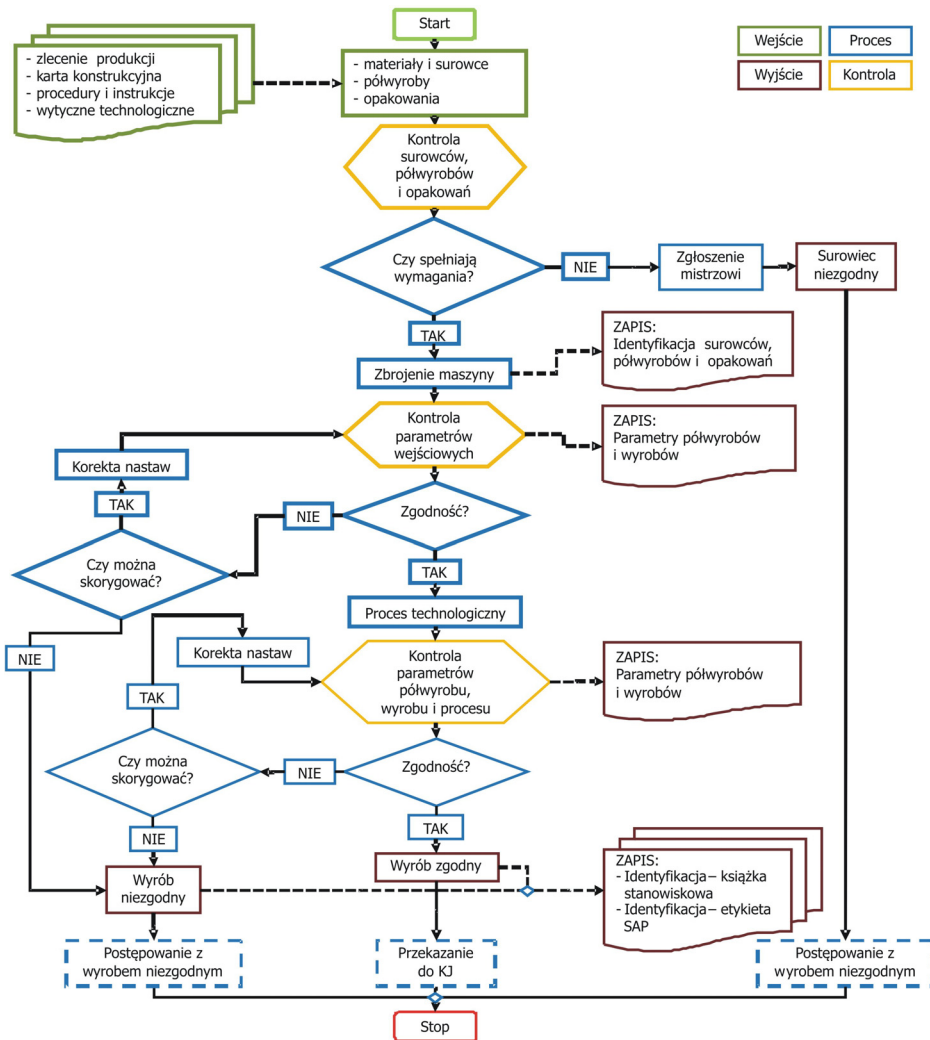
Rys. 11. Schemat procesu produkcyjnego kabla elektrycznego [4]

Biorąc pod uwagę analizę całego procesu można stwierdzić, że proces produkcyjny kabla elektrycznego jest procesem wieloetapowym, a co za to idzie bardzo skomplikowanym. Im więcej etapów tym więcej możliwości popełnienia błędów, dlatego na każdym z etapów należy dbać o zapewnienie jakości. Zapewnienie jej jest możliwe między innymi dzięki zastosowaniu odpowiedniego instrumentarium.

5. Analiza zastosowania narzędzi i metod zarządzania jakością

Celem przedsiębiorstwa jest zysk, który można uzyskać poprzez spełnienie wymagań klienta, czyli w przypadku badanego przedsiębiorstwa wytwarzanie kabli i przewodów o jak najmniejszej liczbie wad procesowych. Według kompleksowego podejścia do jakości wszystkie błędy powinny być wykryte w trakcie trwania procesu produkcyjnego. Zastosowanie w tym przypadku mają procedury kontroli, które są opisane za pomocą schematu blokowego.

Schemat blokowy jest graficznym przedstawieniem ciągu działań wykonywanych w procesie produkcyjnym. Dzięki przedstawionej grafice w znaczącym stopniu pozwala zrozumieć ideę procesu produkcyjnego. Rekomenduje się, aby budową takiego schematu zajmowała się większa liczba osób. Wyróżnia się dwa główne kryteria budowy schematu: określenie zakresu schematu oraz ustalenie elementów wejściowych i wyjściowych istotnych dla całego badanego procesu. Przykładowy schemat blokowy stosowany w firmie przedstawiono na rysunku 12. [3]



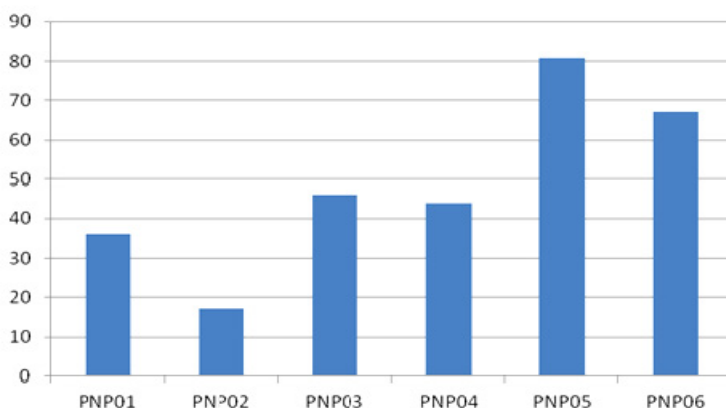
Rys. 12. Kontrola procesu produkcyjnego jako przykład schematu blokowego [4]

Kolejnym stosowanym narzędziem w przedsiębiorstwie jest histogram.

Histogram to rodzaj wykresu słupkowego, na którym przedstawiane są częstotliwości pojawiania się pewnej wartości zmiennej losowej w danym przedziale. Przed przystąpieniem do tworzenia histogramu należy wykonać: określenie przedziału, oraz wyznaczenie liczby przedziałów. Liczba przedziałów jest niezwykle ważna, gdyż determinuje ona kształt histogramu, gdzie zachowana powinna być zależność – im więcej danych tym więcej powinno być przedziałów [9].

Narzędzie to wykorzystywane jest do wizualizacji określonych informacji dotyczących przebiegu procesu produkcyjnego oraz do podejmowania decyzji. W przypadku firmy

wykorzystywane jest w przypadku badania wad w procesie, występujących na danych liniach produkcyjnych. Dzięki takiemu przedstawieniu danych w firmie łatwiej jest podjąć decyzję na czym w pierwszej kolejności trzeba się skupić, aby wyeliminować wady procesowe. Oznaczenia przyjęte na przykładowym histogramie przedstawionym na rysunku 13 symbolizują oznaczenie linii powłokowych [4].



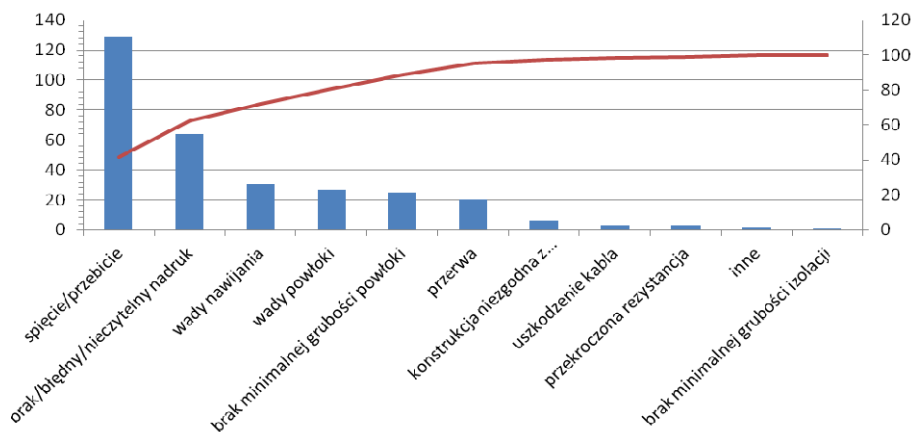
Rys. 13. Przykładowy histogram [4]

Biorąc pod uwagę dane zawarte na rysunku zauważyć można, na której z linii produkcyjnych występuje najwięcej wad wyrobów gotowych. Zastosowanie histogramu umożliwiło w firmie wskazanie najczęstszych powodów reklamacji wytwarzanych produktów.

Diagram Pareto –Lorenza stosowany jest w firmie stosunkowo często, ponieważ daje możliwość uszeregowania problemów [9]. Główną ideą tego narzędzia jest empiryczna prawidłowość, że we wszystkich dziedzinach otaczającego nas świata 20-30% czynników generuje 70-80 % skutków. Dzięki sprawnej identyfikacji przyczyn umożliwia się opracowanie działań zmierzających do poprawy, a co za tym idzie podniesienia jakości produktów. W budowie diagramu wyróżnia się następujące fazy:

- zebranie danych na temat analizowanego procesu produkcji związanych z danym problemem,
- wyznaczenie wielkości umożliwiającej mierzenie wyniku procesu,
- usystematyzowanie przyczyn i oszacowanie ich siły wpływu na proces uwzględniając zdobyte dane i posiadaną wiedzę,
- wyznaczenie skumulowanych wartości procentowych dla każdej przyczyny,
- połączenie wspólną linią tych samych wartości skumulowanych,
- dokonanie analizy otrzymanego wykresu, której celem jest wytypowanie grupy przyczyn, które należy uznać za zbędne i je usunąć, ograniczyć itp. w pierwszej kolejności.

W przedsiębiorstwie przykład zastosowania tego instrumentu jakości przedstawia rysunek 13. Dotyczy on badania jakie wady miały największe znaczenie.



Rys. 14. Diagram Pareto-Lorenza - przykład zastosowania [4]

Z przedstawionych na rysunku danych wynika, że 80% błędów spowodowanych było przez dwie przyczyny: spięcie, nieczytelny/błędny nadruk oraz niewłaściwą jakość powłoki. Dzięki dokonanej analizie wyznaczono te błędy, których szybkie wyeliminowanie umożliwi rozwiązanie wybranych problemów jakościowych. Każdy z powstałych błędów był wynikiem oddziaływania niewłaściwych czynników na poszczególne etapy procesu produkcji kabla. Aby móc sprawnie odnaleźć tzw. czynniki krytyczne w laboratorium Kontroli Jakości wykorzystano wykres Ishikawy.

Wykres przyczynowo-skutkowy Ishikawy wyróżnia się graficzną prezentacją wzajemnych powiązań przyczyn wywołujących określony skutek. Stosowany jest zazwyczaj w pracy zespołowej w połączeniu z innymi narzędziami, zwłaszcza z burzą mózgów. Najważniejszymi cechami narzędzia są:

- uporządkowany przekaz informacji,
- trafność analizy,
- kompleksowe podejście do rozpatrywanego zagadnienia,
- hierarchizacja danych,
- przejrzystość i komunikatywność zapisu,
- nacisk na lokalizację i eliminację przyczyn problemu [9].

Opracowywanie diagramu odbywa się w kilku etapach:

1. Określenie przyczyn głównych – zastosowanie metody 5M (przedstawienie najważniejszych grup czynników wpływających na przebieg procesu):

- człowiek (*ang. Man*),
- maszyna (*ang. Machine*),
- metoda (*ang. Method*),

- materiał (*ang. Material*),
- środowisko i zarządzanie (*ang. Management*).

W niektórych sytuacjach metoda 5M rozszerzana jest o szóstą kategorię Pomiar (*ang. Measurement*). Należy pamiętać, że te sześć kryteriów nie jest sztywną regułą. Każdy problem powinien mieć opracowane własne grupy czynników szkodliwych dla procesu. Na rysunku czynniki oznaczane są jako linie dochodzące do głównej osi.

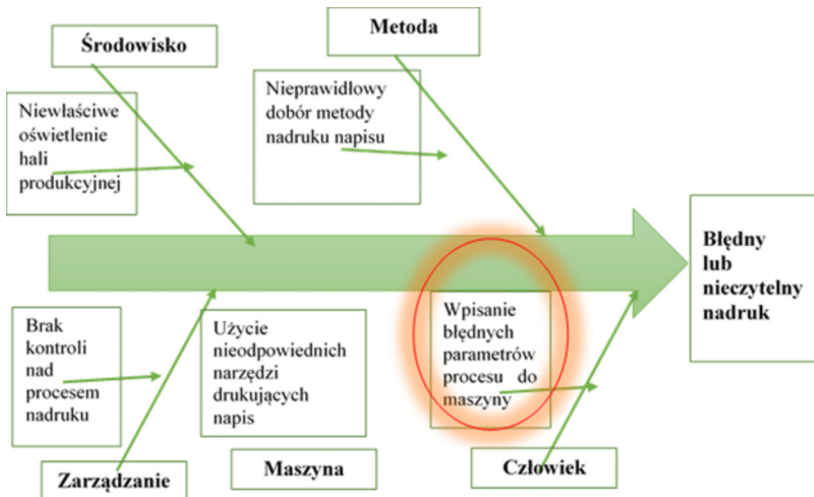
2. Określenie czynników drugorzędnych (tzw. szczegółowych)

W tej fazie każda z przyczyn głównych jest rozwijana przez wytypowanie bezpośrednich przyczyn. Przy większej liczbie zalecane jest ograniczenie lub zastosowanie trzeciego poziomu rozwinięcia.

3. Wybór czynnika krytycznego

W zależności, od której strony zaczyna się odczytywanie wykresu Ishikawy, można go różnie interpretować. Jeżeli analizę rozpoczyna od osi głównej to otrzymuje się odpowiedź na pytanie „Dlaczego wystąpiła wada?”. Natomiast analiza przeprowadzona w drugą stronę daje odpowiedź „Jaki mamy skutek?”. Wykresy Ishikawy mają dynamiczny charakter, a więc wymagana jest jego ciągła aktualizacja [9].

W badanym przedsiębiorstwie po zastosowaniu diagramu Pareto-Lorenza i zastosowano wykres Ishikawy dla wady: błędny nadruk, który przedstawiony został na rysunku 15.



Rys. 15. Zastosowanie wykresu Ishikawy [4]

Rozpatrując przedstawione na wykresie wartości można stwierdzić że źródłem problemu było wpisanie niewłaściwych parametrów do maszyny. Problem ten spowodowany był przez niewłaściwe działanie człowieka, dlatego też kolejnym krokiem było szkolenie pracowników w tym zakresie.

6. Podsumowanie

Dla każdego przedsiębiorstwa produkcyjnego najważniejszym elementem powinno być zapewnienie wysokiej jakości wyrobów, gdyż tylko dzięki niej możliwe jest generowanie jak najwyższych zysków i zagwarantowanie najwyższej pozycji na rynku światowym. Proces produkcyjny wybranego typu kabla składa się w kilku etapów, co może powodować szereg różnych problemów jakościowych. Dlatego też na każdym etapie stosuje się instrumentarium jakości. W badanym przedsiębiorstwie analizie zostały poddane takie jak: schemat blokowy, histogram analiza Pareto oraz wykres Ishikawy. Schemat blokowy dał możliwość jasnego przekazu w jaki sposób należy postępować, aby zapewnić właściwe parametry procesowe. Po dokonaniu analizy histogramu pracownicy można było stwierdzić, na której z lin produkcyjnych występuje najwięcej wad.

Wykonanie analizy Pareto pozwoliło na ustalenie wad najbardziej krytycznych w procesie produkcyjnym, jakim był m.in. błędny napis. Drugie z zastosowanych narzędzi umożliwiło wskazanie głównych czynników krytycznych. Właściwa analiza wykresu Ishikawy umożliwiła podjęcie natychmiastowych działań korygujących. Dzięki zastosowaniu tych metod i narzędzi udało się rozwiązać problemy jakościowe w procesie produkcyjnym.

Praca została sfinansowana w ramach funduszy statutowych, nr tematu: 11.11.180.653/2017

Literatura

- [1] Edys J., Kobylińska U., Lulewicz-Sas A.: *Zintegrowane systemy zarządzania jakością, środowiskiem i bezpieczeństwem pracy*. Oficyna Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, s. 28-30, 2012.
- [2] Hamrol A., Mantura W.: *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*. PWN, Warszawa, 2002.
- [3] Hamrol A.: *Zarządzanie jakością z przykładami*. Wydawnictwo PWN, Warszawa, 2008.
- [4] Materiały wewnętrzne firmy.
- [5] Mazur A., Golaś H.: *Zasady, metody i techniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2010.
- [6] Mindor K.: *An analysis of the cause of product defects using quality management tools*. Management Systems in Production Engineering, Vol. 4 (16), pp. 162-167, 2014.
- [7] PN-EN ISO 9000: 2006 System zarządzania jakością – Podstawy i terminologia.
- [8] Sińczak J.: *Procesy przeróbki plastycznej – Ćwiczenia Laboratoryjne. Podstawy teoretyczne i wykonawstwo ćwiczeń*, Praca zbiorowa, AGH.
- [9] Wawak S.: *Zarządzanie jakością. Podstawy, systemy i narzędzia*. Wydawnictwo Onepress, Gliwice, s. 163-176, 2011.
- [10] Żuchowski J., Łagowski E.: *Narzędzia i metody doskonalenia jakości*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom, 2004.

REVERSE ENGINEERING AS A PROTOTYPE MANUFACTURING TOOL

Peter TREBUŇA¹, Radko POPOVIČ², Daniel Kottfer³,
Piotr KURYŁO⁴, Dariusz MICHALSKI⁵

Reverse engineering shows a common aspect in different areas, such as aerospace, chemical, or engineering, but also in computer, electronic and software engineering. In common practice, when a new product is placed on the market, competitors try to import one product for detailed analysis, trying to determine the manufacturing process and the principle of product operation itself. The chemical industry is specific, that competition is trying to detect patent production that has been used in product manufacturing. The aim of these processes is to shorten the development and innovation cycle by taking advantage of positive features and positive ideas in the next generation of products with the aim of minimizing potential risks.

Keywords: Reverse Engineering, 3D scan, 3D printing

1. Product development

At the beginning of the reverse engineering process, it is necessary to make sure that the maximum effort has been made to obtain the given technical data. The need for reverse engineer engineering arises when there is a requirement for the production of spare parts but the necessary technical documentation is not available. Because in this case the cost of obtaining it exceeds the budget of the reverse engineering process itself. In the matter of reverse engineering during the accelerated development, it is necessary to look in particular at four aspects. During the planning of reverse engineering, it is necessary to take account of each of these areas in order to achieve the optimum result.

¹ Doc. ing., PhD; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: peter.trebuna@tuke.sk

² Ing.; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: radko.popovic@tuke.sk

³ Doc. ing., PhD; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: daniel.kottfer@tuke.sk

⁴ Dr hab. inż.; University of Zielona Góra, Faculty of Mechanical Engineering;
e-mail: p.kurylo@ibem.uz.zgora.pl

⁵ Dr inż.; University of Zielona Góra, Faculty of Mechanical Engineering;
e-mail: d.michalski@ibem.uz.zgora.pl

2. Digitization

One of the main components of reverse engineering is digitization, which is one of the main features of today, and is projected in most industries. The main applications of reverse engineering are:

- determination of material properties,
- formal analysis,
- digitization,
- measurement technology.

The basis of all of these reverse engineering applications is the digitization of real components.

In general, digitization can be used to designate a process in which real objects are converted to digital form. In the machine industry, digitization plays an important role in drawing documentation. The advantage of such digitized data is clear archiving of the documentation on the computer, minimizing storage space and faster innovative progress.

Currently 2D drawings are considered obsolete and they are continuously going into the 3D modeling process using CAD and CAD / CAM software. Using the 3D model, you can:

- making technical documentation of the model in shorter time,
- performing analysis,
- simulation of the machining process with CL data output,
- transfer the data to the NC program for a given NC (CNC) machine through the postprocessor.

By creating a 3D model, it is possible to avoid conflicting situations, such as machining the components themselves, as well as creating reports and subassemblies. This results in a shorter production time for the product, minimizing costs and raising the quality level. The model can thus be the basis for making various modifications and producing similar components.

Digitization is the main application for component design and manufacturing itself. In the engineering industry, great emphasis is placed on the accuracy with regard to the use of manufactured articles at least in micrometers. Production digitization also includes measurement and comparison operations. One of the important steps to achieve high-quality production is to control the production produced according to standards. Digitization gives new measurement options that could not be measured in a classical manner because it would take a long time. These data can be used in various parts of the engineering industry, from component design to work directly in the production process. The main part in engineering is drawing documentation. This is the start of digitization. Frequently, drawing documentation is missing or available in 2D format only. With digitization, these articles can be replaced and processed.

3D optical sensors are a means of reverse engineering and virtual reality for digitizing 3D surfaces. They can be divided into optical, image-based or laser-based systems that work on the principle of point scoring. The basis of such a process is to transfer the amount of points that are obtained by means of sensors into a parametric CAD model. This is an automatic method where, based on curves or flat triangles, a surface description is generated. To capture the area, it is necessary to capture a large number of images captured by optical sensors, since it is desirable to minimize variations arising from different shadows in surface sensing or loss of data. Such a surface can be labeled as reliable.

In this way, captured data is not yet directly compatible with the CAD/CAM system. It's just a quantum of images that consist of a number of separate points. Subsequently, such data is transferred to the co-ordination system. These data are usually distorted by various inaccuracies. To get quality scanned area data, you need to remove several issues:

- recording of data in a single coordination system,
- reconstruction of surfaces into 3D formations,
- surface geometry modeling to minimize variance and amount of data,
- reconstruction of the body texture for the following use in virtual applications.

3. Technological support for reverse engineering

The main activity in the reverse engineering process can be digitized. It can be done using a scanning device that converts real 3D objects into digital form. This device is called a 3D scanner. The very principle of this scanner is based on sensing the subject's surface at discrete points. The object itself appears after the digitization as an infinite number of points in the space. At this time, a variety of scanners are available that differ in the principle of scanning the subject's surface.

Depending on the scanning capability, the devices are divided into two main categories. On contact and contactless, which can be passive and active. In the case of contact scanners, one is a touch scanning device, including stationary coordinate systems and 3D touch scanners that scan the surface of the object through the probe. Such scanners can take three forms:

- system equipped with fixed vertical perpendicular arms along the track along the track,
- articulated arm with high precision angular encoder,
- combination of previous methods.

With this method, it is possible to achieve very accurate scanning but the drawback is the very contact with the scanned object. If the scanned object is too gentle or sensitive, there is a risk that it may be damaged, and this method is not recommended for scanning historical artifacts. The second disadvantage is the scanning speed itself compared to other methods. Physical movement of the arms

with the probes is lengthy and their speed can be measured in several hundred Hz compared to laser technologies operating in the 10 to 500 kHz range. This category offers desktop scanners and scanners designed to measure large-area objects.

Contactless technology is based on laser or optical sensing of the object surface. These devices are characterized by higher productivity and result in a dense set of points. Most of the 3D scanner's advantage is its non-destructiveness when scanning an object. The choice of a suitable scanner is based on the exact accuracy requirements between the real and the digital model as well as the length of scanning itself, the size of the scanned object, and the like. The scanner is mostly limited by its scanning workspace. Typical scanning of custom scanners is usually limited to objects up to 50 cm in size. Based on the principle of scanning itself, 3D scanners can be divided into:

- ultrasound,
- destructive,
- X-ray, CT, magnetic resonance,
- optical,
- touch,
- laser.

Non-contact passive scanning devices do not require any kind of radiation, but rely on emitting reflected light from the scanned object. Passive methods can be classified as a cheap form of scanning, since no special hardware is required, but only digital cameras. We distinguish three base types of non-contact passive scanning:

1. Stereoscopic systems usually contain 2 camcorders slightly distant from each other, shooting the same scene. While analyzing the video, you can see slight differences that help determine the distance at each point of capture.
2. Photometric systems use one camera that scans the subject under different lighting conditions.
3. A system that uses silhouettes to use the contours of the scanned object against a well-contrasting background. By this method, it is not possible to scan the internal cavities.

The technological aspects are focused on direct decision making on a specific method of reverse engineering from the point of view of applied technology. Based on an analysis of their geometric parameters, a technical specification for a device such as:

- device accuracy,
- processing of collected data,
- required removable volume,
- process quality,
- speed and accuracy of shooting.

4. Production options for prototypes

3D printer is an additive way of production very similar to conventional printers as they are used to make copies. However, with the information contained on the computers, the 3D printer creates a solid three-dimensional object from the printed material. The printer has been used by industry to create prototypes, through medicine where they are involved in implant production and hobby users.

The principle of subject printing differs depending on the printer, but every printed model is based on CAD documentation. The most common printing principles are: Stereolithography, Selective Laser Sintering, Laminated Object Manufacturing, Fused Deposition Modeling, Powder Bed and Inkjet Head.

Stereolithography (SLA)

It can be labeled as the oldest technology (Fig. 1). This method employs a photopolymer, which, when irradiated, is used to co-polymerize and cure a light-sensitive plastic. Subsequently, the print head moves to a higher level and the printing continues with the next layer. The irradiation takes place in places where the material is solidified. When finishing the printing, the liquid material is removed. The advantage of this method is the smooth surface of the object but the disadvantage is the print speed.

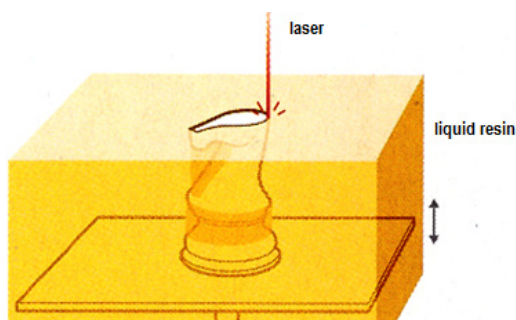


Fig. 1. Stereolithography (SLA)

Selective Laser Sintering (SLS)

This method is in principle similar to stereolithography, but the medium forms a powder. This method minimizes waste and allows the use of a wide range of materials such as plastic, ceramics, metal. A print preview can be seen in the following diagram (Fig. 2).

Laminated Object Manufacturing

Using this method, a thin layer of plastic film cuts the layer, which then glues to the other layers. The disadvantage is the high share of waste as it is advised between low-cost 3D printing methods.

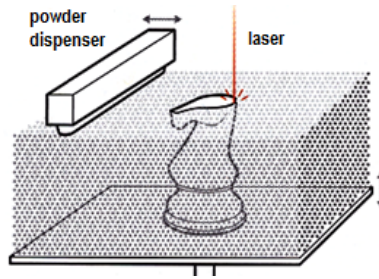


Fig. 2. Selective Laser Sintering (SLS)

Fused Deposition Modeling (FDM)

This method uses the point-to-point application of the molten material through the print head. This technology uses mostly thermoplastics and can be included among the most used forms of 3D printing. An open workspace is used. You can see the principle of printing in Figure 3.

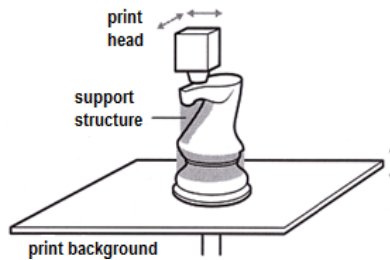


Fig. 3. Fused Deposition Modeling (FDM)

Powder Bed and Inkjet Head

It is a form of printing where the powder layers are joined together with resin-based adhesives. The advantage of this print is its own speed, but the disadvantage of marking the fragility of printed products.

The materials also vary depending on the printing method and the quality requirements for the printed item. The most used ones are:

- ABS plastic is one of the basic materials used for 3D printing;
- plastic PLA is produced from renewable sources and can be considered as the most accessible printing material;
- the hardwood composite is characterized by high brittleness and postproduction such as hot salt, water, epoxy, glue, wax;
- the photopolymer is based on an acrylic base and can be made as both rigid and flexible prints;
- polyamide is used in SLS technology;
- other materials including bitumen, paper, glass, wax, ceramics, metal, etc.

5. Addition of prototypes

Regardless of the different techniques used in the development of additive manufacturing systems, they all work on the same principle:

1. The model or component is based on the creation of a CAD/CAM design of computer support for production. The model that describes the physical part must be created and represented as a surface that uniquely defines its volume. This means that the data must be limited by the dimensions of our model. This means that the virtual model will always have a closed space. This requirement ensures that all horizontal cross-sections necessary for additive production are curves forming a solid object.
2. The component model or the surface of the component itself is converted to the STL file format. The STL file format works with the surface of the model based on simple polygons and triangles. Highly curved surfaces contain more triangles than less curved surfaces, that is, the set for the curved surface can be very large. Some additional processes are able to process data in the IGES (initial graphic exchange specification) format.
3. The computer model analyzes an STL file that defines the desired model by layers. The layers of the model are then automatically formed by solidifying the material from which the object is produced. Another option is laminating thin films that are bonded with adhesive to create the desired 3D model.

The development of additive production can be described in four main areas. These areas include:

- Inputs reflect the electronic information needed to describe the object in 3D. There are two alternatives, namely data or physical model. From a computer model in CAD systems, we can precisely produce the desired shapes. In a physical model, there is a need for data collection where we have to employ reverse engineering methods, which is not that easy. The collected data must, in the end, also undergo adaptation in CAD programs.
- Material - its initial state can be in three stages, solid, liquid and powdery. The rigid material may take various forms than wire, laminate, pellets and others. At the same time, the most accessible materials include paper, wax, resin, metal, ceramics, various types of polymers and others.
- Currently there are more than 40 suppliers to additional production methods. Each of the methods is different and can generally be divided into cutting, bonding, curing methods. They can also be classified according to the number of laser beams used.
- Applications of most additive production products have been completed with application methods or possibly come to a close before they are completed. The applications themselves can be divided into design applications, engineering analysis and planning, manufacturing applications, and used tools.

Therefore, a wide range of industries such as aerospace, automotive, biomedical, and electrotechnical industries can benefit from additive production.

It is likely that additive production will gradually transform the various industries. This can ultimately affect companies involved in the transport and storage of products.

At present, there are three basic ways of forming components, namely:

- Subtractive methods. In this method, the desired component is produced from a solid composite material that is larger than the dimensions of the desired component. By gradually removing the parts, the desired shape of the component is achieved.
- Additive methods. This method works on the reverse system as a substrates method. By gradual layering of the material, the desired shape is achieved.
- Forming methods. There are those which, by using the mechanical force or mold, shape the part into the desired shape.

There are many examples for each of these basic manufacturing processes. Subtractive methods include mostly all CNC forming processes and the like. These include operations such as cutting, grinding, milling, turning, EDM, laser, waterjet, drilling, and the like. Most forms of 3D printing and additive production are SLA and SLS methods. Forming processes are bending, fitting, plastic injection and electromagnetic shaping. Hybrid manufacturing processes that combine two or more methods are also possible.

6. Prototype analysis

The prototype analyzed (Fig. 4) is produced at the Magneti Marelli production plant in Kechnec in the Powertrain division. It is used when assembling a pump of a high pressure pump, pushing the fuel from the tank into the cylinder head at an operating pressure of 250 bar. Technologically, emphasis is placed on accuracy, surface quality, resistance to material fatigue and chemical and electrochemical resistance to corrosion.

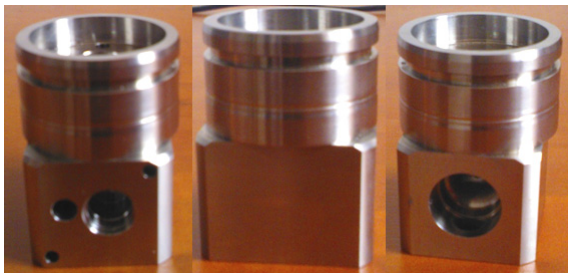


Fig. 4. The original component

Therefore, high-alloyed martensitic steel X4CrNiMo16-5-1 UNI EN 10088-3 is used for manufacturing, which meets these properties. Steel is characterized by a low carbon content, a tensile slope of $R_{p0.2} = 550 \div 700$ MPa and a tensile strength test $R_m = 760 \div 1100$ MPa.

The scanning was carried out in the Reverse Engineering Laboratory at the Department of Industrial Engineering, where a 3D scanner Matter and Form was used to scan the prototype (Fig. 5). The scanner itself is in the laser scanner class and has a pair of laser pointers. The dimensions of the scanned object are limited to a maximum of 25 cm, the subject's diameter is 18 cm and the maximum weight is 3 kg. The scanner captures detail with a dimension of 0.43 mm and operates at a tolerance of ± 0.25 mm. The scanner optics are HD CMOS laser sensors. A USB connection is used to transfer data. Scanner includes software support that is compatible with Windows. Data export itself is possible in several formats, namely STL, OBJ, PLY, XYZ. We range it into a group of desktop scanners.



Fig. 5. 3D scanner Matter and Form

During the scan of the prototype to obtain digital data, a cloud of points is created, from which the software will then draw a digital model. The digitization of the chosen prototype from Magneti Marelli was not possible because the scanning object had internal cavities that the scanner could not capture from a technical point of view and the gloss of the surface of the prototype itself, which even after the confusion failed to absorb the laser radiation.

The actual software interface that was included with the scanner package is very simple and intuitive. Three options are available, such as new scanning, calibration, and scanning. The calibration of the device itself is recommended before the start of each scan. To start the scanning itself, just click on the "New scan" icon when the device starts scanning itself and does not need to do any other tasks. When the scan is complete, you will be able to save the digital model while the process is complete.

The realization of the print was done at the Department of Industrial Engineering in the Laboratory of Reverse Engineering. The Easy3DMaker printer was available for printing itself (Fig. 6). The printer is based on Fused Deposition Modeling.

The advantage of the printer itself is a solid frame that allows for even more demanding projects. The molten material is applied from the print head to a 200x200 mm heated pad, the printing height alone is limited to a maximum of 230 mm, resulting in a total model space of 9200 cm³. The layer of the printed material can be 0.08 mm, 0.125 mm and 0.25 mm. The print nozzles themselves are in the size of 0.5 mm, 0.3 mm and 0.2 mm. The dimensions of the printer itself are 400x400x500 mm with a weight of 16 kg.

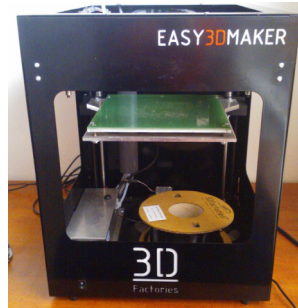


Fig. 6. Easy3DMaker

There are two types of materials available during the printing process: ABS plastic and PLA plastic. The difference between the materials is in the plastic production itself.

- ABS plastic polymers are made from oil, are solid with a relatively high melting point and suitable for printing technical components;
- PLA plastic is made of corn, potato or sugar beet. It has worse mechanical properties than ABS plastic.

Together with the printer, the software is also available for printing. Which is intuitive and does not require trained print staff. In the base interface you can see the print space where the digital model is placed. In the top bar you can see icons for loading the model, storing settings, starting and pausing printing, connecting the printer and the printer settings as well as the printing process.

When you insert a digital model into the virtual interface, the icons in the right bar are available. They serve for the desired positioning of the model on the print surface, its possible rotation, or the increase or reduction of the model. In the lower right-hand box, select the material to be used during printing to select the thickness of the printed layer, adjust the print density, and adjust the thickness of the outer layer before printing. In the case of models with a lower contact surface to the substrate, it is advisable to use a support layer which helps to better contact the printed model with the pad and thus prevents the model from peeling during printing. Rotation of the digital model by 180° in the X axis is shown in the following diagram (Fig. 7).

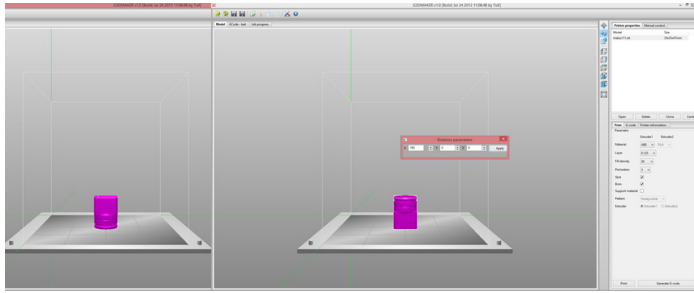


Fig. 7. Rotating a digital model

In print settings, the thickness of the printed layer is selected as the first parameter. In the next step, general print settings are set, such as the thickness of the first layer from 0 % to 100 %, as well as the filling of each N-th layer. Then, the string tension is set to a nozzle in the range of 300÷500 mm/s and the length of the drawn beam is chosen into the nozzle, where the low value causes fiber drawing and large air sucking and bubble formation. Reverse values of the PLA plastic printing strap are 1.5÷3 mm and for ABS plastic 1.5÷2 mm. By adjusting the shift of the pad during reversing, the quality of the model increases. The recommended setting of the amount of impressed fiber in the return nozzle is in the range of 0 to 0.1 mm. In the solid layer field, the number of full horizontal layers is set, and the last selected is the selection of the printed structure in the fill pattern field. The described settings can be seen in the diagram Figure 8.

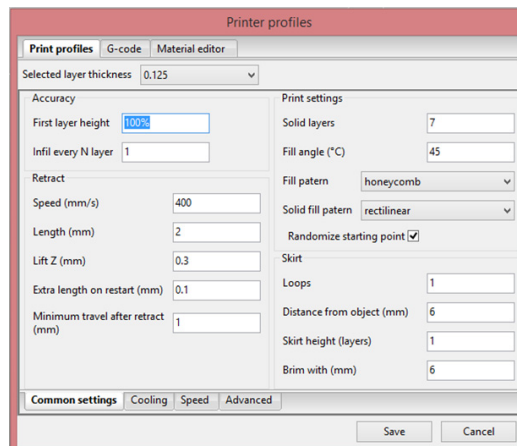


Fig. 8. Print settings

Other print settings resolve print cooling settings during print time. It is possible to switch on continuous cooling during printing time or more detailed specification of cooling itself. A more detailed specification is how to set the minimum and

maximum fan power, the option to switch on cooling, and whether the printing time of a single layer is a shortcut or the possibility of adjusting the printing delay due to the cooling of the print itself. The use of cooling is recommended when pushing from PLA plastic. On the contrary, when pushing from ABS plastic, setting 0 is advisable due to early cooling and subsequent deformation caused by shrinking or withdrawal of the print.

Then you need to set the speed of the print itself. The first is to adjust the perimeter print speed as needed, while adjusting the small arcs and circles can be adjusted separately for the need to slow down the printer. Recommended speed values are in the range 20÷30 mm/s. The fill print speed is based on the thickness of the printed layer. For 0.25 mm layers, a speed setting of 60÷80 mm/s and vice versa, for smaller layers, is a maximum speed of 40÷50 mm/s. To set the "Solid infill" parameter, the same values are recommended as in the previous step. The value of the top coat layer is based on qualitative printing requirements. It is advisable to set the speed parameter 40÷50 mm/s. When setting the value in the "Bridges" box, it is necessary to consider the thickness of the printed layer. In the case of 0.25 mm thick printing, the maximum speed can be 80 mm/s; for lower thicknesses, the maximum speed is 60 mm/s. To set the print quality of high-quality external perimeters, a speed value of 20 mm/s is selected.

In advanced settings, you can adjust the theoretical width of the printed material from the nozzle. From this setting the value of the printed material for nozzles with a diameter of 0.5 mm, which may be in the range of 0.45÷0.56 mm, is developed. For 0.3 mm diameter nozzles, the diameter of the printed material is 0.36 mm and the 0.25 mm recommended for nozzles 0.2 mm in diameter. In the following boxes, it is advisable to leave factory settings. In the "Overhang threshold" column, it is possible to adjust the angle to create the support, the smaller the value is entered, the slower the creation of the supports, which will ultimately create fewer supports. Subsequently, it is possible to determine the distance between supports from 1 mm to 5 mm. Finally, you can adjust the support angle itself.

In the material editor, you can customize the settings of the materials themselves, or add and remove materials. The diameter parameter determines the diameter of the string itself, which may vary due to the surrounding conditions or the tolerance of the strings producer. The printer may adjust the dosage as a result of entering correction values in the range of 1.65÷1.8 mm. Subsequently, the value of the diameter of the string itself is 0.9÷1.1 mm. When pushing the first layer of ABS plastic it is recommended to set the heating of the washer to 75÷80°C and for PLA plastic this temperature is lower to 50°C. Setting the permanent temperature during the printing of the remaining layers is recommended for the ABS plastic temperature of 70÷75°C and for the PLA plastic remains at 50°C. As with the substrate, the first layer temperature is also set for the print nozzle itself, for ABS plastic at 240÷260°C

and for PLA plastic 210÷230°C. For the remaining layers, the nozzle temperature is reduced for ABS plastic at 240÷255°C and for PLA plastic at 190÷220°C.

Before the beginning of each print, it is necessary to carry out a basic check of the plane of the pad. With the help of a manual controller, it is possible to move in two axes with a print nozzle and one axle with a pad. After pressing the "Home all" option, the print nozzle and the base position take the place where the nozzle and washer spacing is needed. The required distance is checked with conventional office paper, where paper is inserted between the nozzle and the mat and slight pressure is required. If the pressure is increased or the paper can not be inserted between the nozzle and the washer, it is possible to adjust the stroke of the washer by means of a correction screw on the underside of the nozzle. This process needs to be transferred at 3 different endpoints of the pad.

The base of the maintenance operation also includes the introduction of plastic strings. The introduction is carried out by means of a manual control, where the nozzle temperature is set at 230°C, the feed rate is 100 mm/min and the string length is 50÷100 mm. After loading the nozzles, you can start the string loading process. During the string insertion process itself, this string is inserted into a white plastic tube. Once the preset nozzle temperature has been reached, use the "forward" icon to enter the nozzle between the drive and the pushrod. Following visual inspection, it is necessary to make sure that the molten material flows out of the nozzle.

7. Conclusion

The use of reverse engineering in business practice should focus on application aspects. They have a major impact on system design, process planning, and available resources. Adoption should be made to optimize the use of the potential of accessible technology and decide to select a suitable approach based on the needs and capabilities of the business. It is necessary to re-evaluate the use of reverse engineering for the quality of control as well. Frequent business changes need to be validated, line validation, benefits, speed of scanning, printing, CNC machine or CNC programmer not needed, subsequent changes to the new product can be quickly tested using a plastic prototype.

Acknowledgement

This article was created by implementation of the grant project VEGA 1/0708/16 "Development of a new research methods for simulation, assessment, evaluation and quantification of advanced methods of production".

References

- [1] Edl M., Kudrna J.: *Metody průmyslového inženýrství*, 1 vyd. Plzeň: Smart Motion, s.r.o., 2013.
- [2] Klos S., Patalas-Maliszewska J.: *The impact of ERP on maintenance anagement*, Management and Production Engineering Review, Vol. 4, No 3, pp. 15-25, 2013.
- [3] Laciak M., Sofranko M.: *Designing of the technological line in the SCADA system PROMOTIC*, Proceedings of the 14th International Carpathian Control Conference ICC 2013, Article number 6560538, pp. 202-207.
- [4] Lenort R., Klepek R., Samolejová A., Besta P.: *Production paths - An Innovative concept for heavy machinery production planning and control*. Metalurgija, Vol. 53, No 1, pp. 78-80, 2014.
- [5] Rosova A., Malindzakova M.: *Material flow - starting point for recovery of inputs in the production company*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM, Vol. 3, No 5, 2014.
- [6] Sendler U.: *Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM*. Berlin: Springer Vieweg, 2013.
- [7] Straka M., Bindzár P., Kaduková A.: *Utilization of the multicriteria decision-making methods for the needs of mining industry*. Acta Montanistica Slovaca, Vol. 19, No 4, pp. 199-206, 2014.

MODELING AND OPTIMIZATION OF MANUFACTURING PROCESSES IN THE DIGITAL FACTORY ENVIRONMENT

Peter TREBUŇA¹, Radko POPOVIČ², Daniel KOTTFER³,
Andrea PETRIKOVÁ⁴, Miriam PEKARČIKOVÁ⁵

This article deals with the term of Digital Factory and its possibilities of use with interaction between digital environment and production processes. Digital Factory as part of the PLM (Product Lifecycle Management) philosophy consists of different sub-areas of production. Every product manufactured in the company goes through many phases of closed cycle and using PLM tools, especially software tools to manage and optimize all processes in the digital environment. Each production process in the engineering company is formed by factors such as planning, design, simulation, tooling, machinery and equipment, installation and robotics, manufacturing cells, quality, production, suppliers, technical support. Digital Factory effort is to analyze, mapping and digitized this platform to produce a realistic picture of the production.

Keywords: modeling, digital factory, simulation, tecnomatix

1. Introduction

Digital factory, as a philosophy of PLM systems, is using for managing of products during their lifetime. For that it is necessary to use a package of software tools, which can help with lots of data around the product and the data about the processes. Especially if we want to handle pre-production phase – modeling of the process. The main core is to get fully functional virtual system before it will be created in real production. This virtual system needs to be modeled according to requirements of product and its process of production. This concept is called Virtual Commissioning. Environment, which contains machines, robots, equipment, workers and products, needs to be simulated with all possible scenarios before it will be implemented to real production. The resolution of this idea is not only cost saving, but also shorter commissioning time.

¹ Doc. ing., PhD; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: peter.trebuna@tuke.sk

² Ing.; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: radko.popovic@tuke.sk

³ Doc. ing., PhD; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: daniel.kottfer@tuke.sk

⁴ Ing., PhD; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: andrea.petrikova@tuke.sk

⁵ Ing., PhD; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: miriam.pekarcikova@tuke.sk

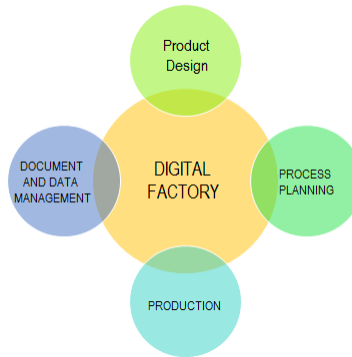


Fig. 1. Digital Factory

2. Digitization

The aim of Digital Factory is mutually and digitally link all activities from product design through proposals for individual production processes continuing to run production to the management of all business documents and data. In a narrower sense it is possible to understand the concept of Digital Factory in respect of production itself. In this case, it is a digital image of the real production which displays, respectively it shows the different production processes in a virtual reality. The aim is mainly planning, simulation and optimization of production. In this case, we can talk about the digitization of production.

The digitization of production implies the following activities:

- creating 3D models of machinery, industrial equipment and products (modeling),
- planning of production processes,
- 3D design of production and logistic systems,
- simulation of production and logistics systems and subsequent optimization.

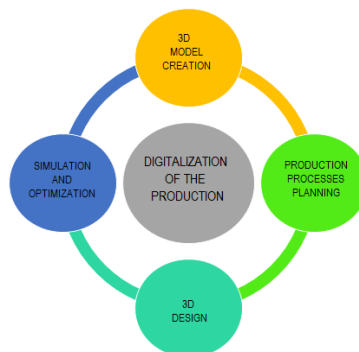


Fig. 2. Digitalization of the production

Simplified, we can therefore say that the term digitization of production can be seen as a substitution of the real production system, a virtual computer model, which then works to achieve its optimization. To create a digital model of the production system, it is necessary to have knowledge of modeling and simulation, and also have the necessary software.

3. Process modeling

In the context of digitization of production is to be understood as modeling and the creation of 3D models of various objects in CAD softwares. It includes the creation of 3D models of machines, equipment, products, transport and handling equipment and other objects. Creating such models with the use of CAD software significantly grow the speed of creation. By modeling it is creating a 3D model, which replaces the real object. Now, there is a wide range of CAD software that allows you to create 3D models of objects from the simple to complex structures. Such software to create 3D models are:

- AutoCAD,
- CATIA,
- Solid Edge,
- NX, etc.

Definitions of the concept of simulation are presented in the literature in various forms. All of these definitions are based on the very concept of simulation, which means imitation, pretense. By simulating, it is replaced, or imitates the action of the real system simulation models. In principle, the simulation of production systems is a mimicking, respectively creating a real production system (simulation model), with the follow-up experiments. The aim of experimenting with the simulation model is its optimization and improvement. Simulation of the production processes can be done in many softwares. At present, the market with simulation software offer a wide range of products from various manufacturers. Individual products differ mainly features, compatibility and price. In addition to the simple, single-purpose simulation software, which focus only on a specific area, while on the other hand, there are software packages that address the entire life cycle of products. For the two areas mentioned below there are some selected simulation software:

1. Tecnomatix (Siemens),
2. Delmia Quest (Dassault Systemes),
3. Witness (Lanner),
4. Arena (Rockwell),
5. Simio (Simio LLC).

One of them, especially module of Siemens Tecnomatix software, has many possibilities how to simulate the process. Tecnomatix Process Simulate (Fig. 3) is designed for building new or modifying existing production processes.

On the base of simulation you can imagine the future picture of the real production system. 3D Simulation can reflect the actual status and conditions on the running system and of course, after some improvements, it can show the possible figure of the production system. The question about creation of simulation is simple. Engineers need to know, if the created simulation will be managed by time sequence (time based) or controlled by signals (event based).

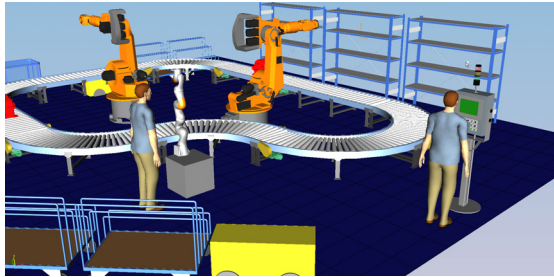


Fig. 3. Tecnomatix Process Simulate

4. Virtual commissioning

Process Simulate with its realistic 3D simulation of production processes have a one big advantage. Module Virtual Commissioning is used for connection between real production process and software Tecnomatix Process Simulate. It can easily create a realistic shadow of the production environment, test and debug PLC codes.

First of all, Process Simulate Virtual Commissioning looks like a classic simulation. It works with the same 3D .jt (.cojt) models, but those objects have the same parameters as the real machines, robots and human in the production process. It means the same size, shapes, color and of course behavior. On the other way, Virtual Commissioning is working only based on CEE (Cyclic Event Evaluator) simulation, which can be simple called event based simulation.

On the Figure 3 there is a basic schema of Virtual Commissioning environment. Engineer, especially software expert, creates production layout, which will be tested in the software simulation. After test and debug there is a possibility to export PLC (programmable logic controller) program for real production system.

Among other things, please find below a simplified basic structure of the project to create simulation by Virtual Commissioning:

- defining components necessary to create robotic cells,
- creation of kinematics of individual components,
- creation of logical block, Smart Components.
- development of sensors,
- creating a simulation of signals from associated sensors.

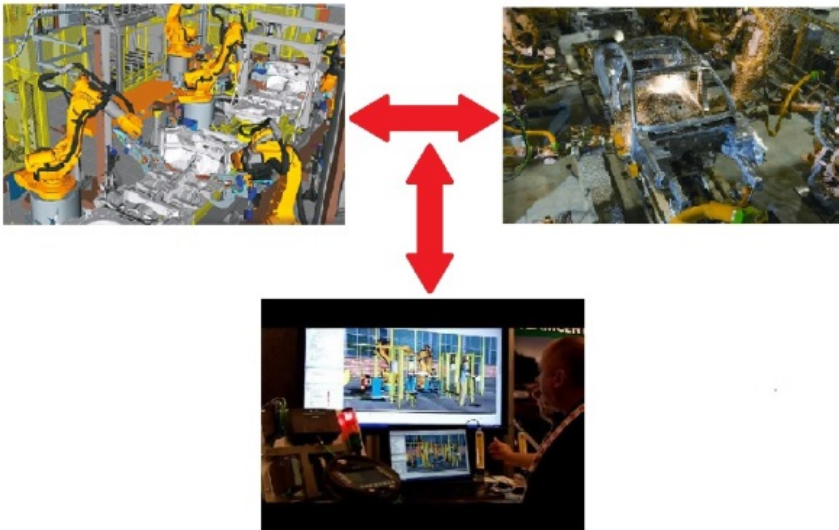


Fig. 4. Virtual Commissioning environment

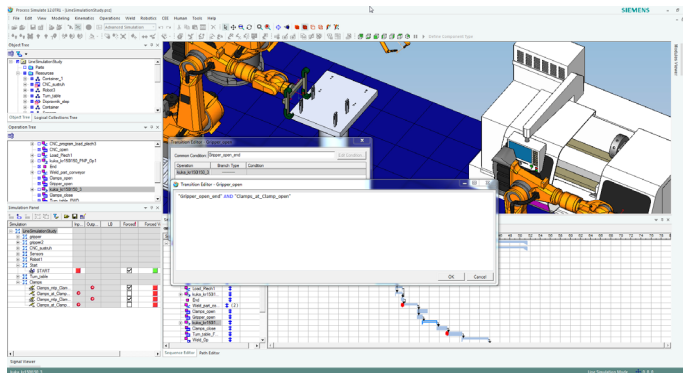


Fig. 5. Tecnomatix Process Simulate Virtual Commissioning

First of all, if we want to implement processes by innovative way, there is a Tecnomatix Process Simulate module as a software necessary for virtual commissioning. During the project creation some steps needs to be executed:

1. Preparing 3D models of all production objects (models are in the .jt or .cojt format, designed in the NX software or downloaded from the producer of machine – ABB, KUKA, etc.);
2. New project in the software Process Simulate (especially module virtual commissioning);
3. Objects library (Navigation tree), which consists of parts (product parts) and resources (machines, robots, human, etc.);

4. Building a layout using imported 3D models;
5. Operation Tree – modeling of process structure (type of process, relationships between processes);
6. Welding operations – welding points assignment;
7. Robot controller:
 - default robot controller – included in the Process Simulate – robot movements corresponds to 80 % with real robot movements,
 - customized controller settings – robot movements corresponds to 95 % with real robot movements - consist of RCS (Robot Controller Simulation) and OLP (Off Line Programming package). OLP package needs to be installed and RCS module needs to be downloaded for a specific robot;
8. Robot program – program inventory – creating a new robot program or download default robot program where we can make a change according to process requirements.
9. Simulation – Event Based Simulation – managed by signals (not based on time)
10. Virtual Commissioning – need to create OPC connection – connection between PLC and Process Simulate;
11. Virtual Commissioning consist of PLC and logic blocks;
12. Virtual Commissioning works with 4 types of signal, and the most important (for Virtual Commissioning) are Resource Input Signal and Resource Output Signal, which give us signals about start or finish the operation. All signals can be shown and edited in the Signal Viewer window;
13. Each operation must have own default input signal, where we can generate output signal;
14. Sensors definition;
15. Logic blocks – represents relationships between input and output signals (e.g. if the signal change from 1 to 0, then 1st event will be executed);
16. Creating a connection between Process Simulate Virtual Commissioning and PLC through OPC server or SimbaBox.

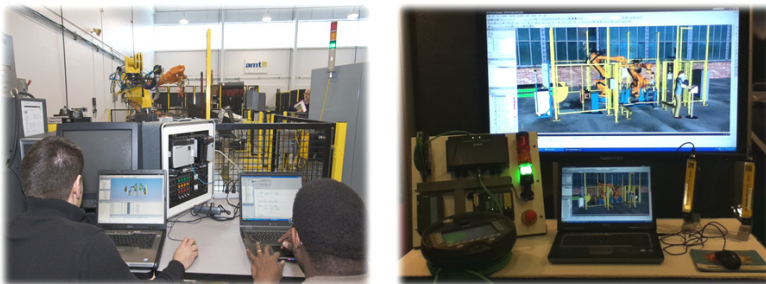


Fig. 6. Virtual Commissioning

5. Conclusion

Requirement for computer-simulated production system is to optimize production, where the resolution needs to be ultimately maximizing the savings in production costs and minimizing production time with respect to the quality of the final product. Resources of the computer simulations in the coming years will be increasingly powerful means of competitive producers. Knowledge of simulation and its application in a virtual environment in a connection with real production is already a key tool for the success of many companies nowadays.

Acknowledgement

This article was created by implementation of the grant project VEGA 1/0708/16 "Development of a new research methods for simulation, assessment, evaluation and quantification of advanced methods of production".

References

- [1] Bureš M., Šrajcar V., Görner T.: *Projektování výrobních systémů a DP*. SmartMotion, Plzeň, 2012.
- [2] Edl M., Kudrna J.: *Metody průmyslového inženýrství*, 1 vyd. Plzeň: Smart Motion, s.r.o., 2013.
- [3] Gregor M.: *A kolektív: Simulácia systémov*. Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov v Žiline, 1992.
- [4] Laciak M., Sofranko M.: *Designing of the technological line in the SCADA system PROMOTIC*. Proceedings of the 14th International Carpathian Control Conference, ICC 2013, Article number 6560538, pp. 202-207.
- [5] Lenort R., Klepek R., Samolejová A., Besta P.: *Production paths - An Innovative concept for heavy machinery production planning and control*. Metalurgija, Vol. 53, No 1, pp. 78-80, 2014.
- [6] Rosova A.: *Analysis of corporate logistic processes and their modelling*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2013.
- [7] Saniuk S., Saniuk A.: *Rapid prototyping of constraint-based production flows in outsourcing*. Advanced Materials Research, Vol. 44-46, pp. 355-360, Switzerland, 2008.
- [8] Straka M.: *Diskrétna a spojitá simulácia v simulačnom jazyku EXTEND*. Košice: TU F BERG, Edičné stredisko/AMS.
- [9] Trebuňa P., Filo M., Pekarčíková M.: *Supply and distribution logistics*. Ostrava, Amos 2013.



UNIWERSYTET
ZIELONOGÓRSKI

ISBN 978-83-65200-09-9

ISSN 2544-641X