

INSTYTUT INFORMATYKI I ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

METODY I NARZĘDZIA W INŻYNIERII PRODUKCJI

**REDAKCJA
TARAS NAHIRNY
TOMASZ BELICA**

**UNIwersytet ZIELONOGÓRSKI
ZIELONA GÓRA 2016**



METODY I NARZĘDZIA W INŻYNIERII PRODUKCJI

Tom 1

REDAKCJA

TARAS NAHIRNY

TOMASZ BELICA

UNIwersytet Zielonogórski
Zielona Góra 2016

UNIwersytet Zielonogórski
WYDZIAŁ MECHANICZNY
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 skład

dr inż. Tomasz Belica

© COPYRIGHT BY UNIVERSITY OF ZIELONA GÓRA
ZIELONA GÓRA 2016

ISBN 978-83-65200-03-7

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. 068 328-78-64; Sekretariat@ow.uz.zgora.pl

Spis treści

Przedmowa	5
Wykorzystanie technik Rapid Prototyping do modernizacji urządzeń wytwórczych przemysłu spożywczego	7
<i>Babirecki Wojciech</i>	
Zastosowanie strukturalnej macierzy zależności w dekompozycji procesów wytwórczych	19
<i>Belica Tomasz, Apolinarska Katarzyna</i>	
Inventory optimization using the decomposition of the time series	31
<i>Ižaričková Gabriela, Trebuňa Peter, Pekarčíková Miriam, Petriková Andrea, Popovič Radko</i>	
Ocena efektywności wybranych narzędzi projakościowych w doskonaleniu procesu produkcyjnego	39
<i>Jakubowski Julian, Woźniak Waldemar, Szaszkiwicz Łukasz, Nawrocki Witold</i>	
Reorganizacja rzeczywistego procesu projektowo-konstrukcyjnego z wykorzystaniem programu Mag Projekt	55
<i>Kielec Roman, Leksycki Kamil</i>	
PFMEA w kształtowaniu procesów produkcyjnych	73
<i>Komarnicka Anna, Nahirny Taras</i>	
Praktyczne sposoby redukcji przebrojeń w produkcji gniazdowej	89
<i>Kowalczyk Piotr, Stryjski Roman, Woźniak Waldemar</i>	
Requirements for simulation process data management in product lifecycle management systems	99
<i>Krause Chris, Otto Dierk, Krebs Irene</i>	
System do bezpośredniej komunikacji w zakładzie GEDIA Poland Assembly sp. z o.o.	109
<i>Salamaj Marek, Bourgeois Paweł, Cholewiński Tomasz</i>	
EASYASSEMBLE - komputerowe wspomaganie generowania sekwencji montażu	123
<i>Sąsiadek Michał, Mazur Łukasz</i>	
Virtual commissioning as an innovative tool of industrial engineering for use in the production processes	137
<i>Trebuňa Peter, Popovič Radko, Pekarčíková Miriam, Petriková Andrea, Petrik Marián</i>	

Przedmowa

Oddawany do rąk czytelnika pierwszy tom opracowania pod tytułem *Metody i Narzędzia w Inżynierii Produkcji* jest zbiorem prac związanych z prężnie rozwijającą się dyscypliną naukową. Na monografię składa się łącznie 11 artykułów naukowych opracowanych głównie przez pracowników naukowo dydaktycznych oraz praktyków gospodarczych. Zamieszczone prace reprezentują wiele zagadnień wpisujących się w Inżynierię Produkcji, nie wyczerpując jednak całej tematyki. Dotyczą one zastosowania wybranych metod i narzędzi do usprawnienia i optymalizacji rzeczywistych procesów produkcyjnych oraz funkcjonowania zakładów.

Książkę otwierają zagadnienia związane z możliwością wykorzystania technik Rapid Prototyping do modernizacji istniejących linii i maszyn technologicznych w branży przemysłu spożywczego. Kolejne opracowanie dotyczy przykładu zastosowania strukturalnej macierzy zależności do dekompozycji procesów wytwórczych w celu racjonalizacji produkcji wyrobów. Przykład zastosowania dekompozycji szeregow czasowych do optymalnego zarządzania zapasami w gospodarce magazynowej zamieszczono w kolejnym artykule. Następna praca przedstawia analizę rzeczywistego procesu produkcyjnego oraz jego udoskonalenia za pomocą wybranych narzędzi jakościowych poprzez redukcję braków. W kolejnym opracowaniu analizie poddano obieg informacji związanych z procesem wytworzenia obiektu technicznego oraz opracowano optymalny harmonogram dla poszczególnych etapów produkcji w oparciu o macierz zależności i algorytm ewolucyjny. Kolejny artykuł przedstawia zagadnienia dotyczące zastosowania metody PFMEA do planowania procesów produkcyjnych. Zwrócono uwagę na korzyści wynikające z zastosowania tej metody we wczesnych fazach projektowania wyrobu. Następna praca omawia metodykę wykorzystania wybranych narzędzi Lean do redukcji czasu przeobrażenia środków produkcji w przemyśle samochodowym oraz wyposażenia badanych stanowisk pracy w odpowiednie narzędzia. Autorzy kolejnego opracowania, na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa z branży przemysłu lotniczego, określili wymagania dotyczące przechowywania danych symulacyjnych z wykorzystaniem narzędzia PLM systemu Siemens. Propozycja i wdrożenie systemu komunikacyjnego zwiększającego wydajność i efektywność produkcji poprzez usprawnienie współpracy pracowników działów technicznych oraz magazynu w rzeczywistym zakładzie jest przedmiotem kolejnego artykułu. Następna praca dotyczy wspomaganie komputerowego wyznaczania optymalnej sekwencji montażu z uwzględnieniem wymogów "projektowania dla montażu". Ostatni artykuł dotyczy modelowania, symulacji i optymalizacji linii produkcyjnych w oparciu o moduł Process Simulate oprogramowania Siemens Tecnomatix.

WYKORZYSTANIE TECHNIK RAPID PROTOTYPING DO MODERNIZACJI URZĄDZEŃ WYTWÓRCZYCH PRZEMYSŁU SPOŻYWCZEGO

Wojciech BABIRECKI¹

W pracy przedstawiono proces modernizacji urządzenia wytwórczego, będącego elementem linii produkcyjnej stosowanej w branży spożywczej. Określono problem, oraz zaproponowano koncepcję jego rozwiązania. Przeanalizowano istniejące technologie, po czym poddano je ocenie i wybrano najlepszą w zaistniałej sytuacji. Dowiedziono, że technologie szybkiego prototypowania można wykorzystać do modernizacji istniejących maszyn technologicznych, minimalizując przy tym koszty takich działań.

1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach sukces rynkowy przedsiębiorstwa produkcyjnego zapewniany jest przez popyt na oferowane dobra, sterowany gustami klienta. Niezależnie od branży, masowy klient podąża w swych wyborach za lansowanymi w mediach wzorcami, w każdej w zasadzie dziedzinie życia. Producenci dóbr ze wszystkich obszarów, w tym w szczególności z rynku produktów *fmcg*, stają co chwilę przed nowymi wyzwaniami. Prym wiedzie tu branża spożywcza, gdzie mody na wszelkiego rodzaju wyroby określane mianem *eko* czy *fit*, trafiają w gusta klientów równie szybko, jak i szybko zostają wypierane przez kolejne. Producenci wyrobów spożywczych stają często przed wyzwaniem polegającym na zmianie cech wizualnych, smakowych, wartości odżywczych, czy zawartości poszczególnych związków w swoich wyrobach. Nie zawsze wystarczy zmienić recepturę, skład, kolor czy nazwę wyrobu. Znacznie częściej zachodzi konieczność zmiany kształtu czy cech zewnętrznych produktu. W takiej sytuacji, przy założeniu zautomatyzowanej produkcji masowej wymagane jest dostosowanie maszyn wytwórczych do produkcji zmienionego wyrobu. I tu pojawiają się problemy techniczne, gdyż wysoce specjalistyczne urządzenia i linie wytwórcze, są projektowane i wytwarzane w sposób nierzadko utrudniający lub całkowicie uniemożliwiający szybkie ich przestawienie na inny rodzaj produkowanego wyrobu. Czasem możliwa i wystarczająca jest regulacja czy zmiana niektórych parametrów urządzenia technologicznego. W innym przypadku możliwa jest wymiana oprzyrządowania

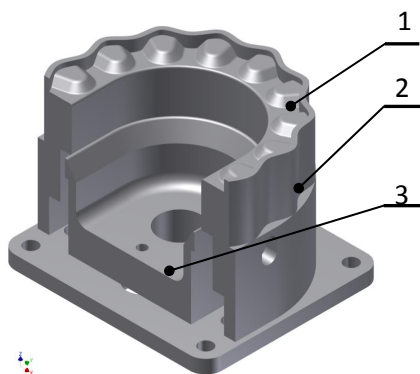
¹ dr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: w.babirecki@iizp.uz.zgora.pl

czy niektórych elementów urządzenia. Jednakże zdarza się, że konieczne jest przeprojektowanie i przeróbka poszczególnych węzłów linii produkcyjnych celem dostosowania ich do produkcji nowego czy zmienionego wyrobu. Należy maszynę zatrzymać, zdemontować poszczególne elementy podlegające modernizacji, dokonać pomiarów, zaprojektować alternatywne wersje, wykonać je, zamontować, przetestować, itp. Zdarza się, że nie uda się za pierwszym razem wykonać przeróbki, która pozwalałaby na osiągnięcie oczekiwanego efektu końcowego. Często działania takie są powtarzane iteracyjnie po kilka razy, aż do uzyskania zadowalającego wyniku. Próbuje się stosować nowe rozwiązania poszczególnych węzłów czy elementów, za każdym razem tracąc czas na zatrzymanie maszyny, wykonanie co raz to nowych elementów, ich montaż, testy, itp. Każda zmiana, każda próba, test czy regulacja zmusza wytwórcę do podjęcia decyzji o wyłączeniu maszyny na trudny do oszacowania czas, lub też całkowitego zatrzymania linii produkcyjnej, co pociąga za sobą wymierne straty [1]. Aby je zminimalizować, zwłaszcza w sytuacji gdzie optymalne rozwiązanie należy uzyskać metodą kolejnych prób i testów, możliwe jest zastosowanie technologii *rapid prototyping*. Rozpowszechnienie tych technologii sprawia, że są one coraz tańsze, przez co bardziej dostępne. Możliwe do zastosowania w technologii druku 3D materiały mają właściwości coraz bardziej zbliżone do metali, co pozwala na wykonanie prototypu już nie tylko celem weryfikacji kształtu i geometrii, ale umożliwia także przeprowadzenie badań funkcjonalnych [2]. Takie podejście powoduje znaczne skrócenie czasu realizacji zadania. W dalszej części opracowania scharakteryzowane pokrótce zostaną współczesne technologie *rapid prototyping*, oraz zaprezentowane będzie wykorzystanie jednej z nich do modernizacji wytwórczego stanowiska w przedsiębiorstwie branży spożywczej. Obecne realia wymagają niskich nakładów materiałowych, ergonomiki produktu, wysokiej jakości oraz minimalizacji czasu przeznaczonego na wprowadzenie produktu na rynek [3]. W przeciwnym razie należy spodziewać się strat w udziałach rynkowych na rzecz konkurenta, który podobny lub lepszy wyrób zaoferuje w znacznie krótszym czasie. Stąd właśnie wynika coraz szersze zainteresowanie technologiami szybkiego prototypowania, które to techniki znajdują coraz większe zastosowanie w działaniach remontowych i modernizacyjnych istniejących urządzeń technologicznych.

2. Analiza problemu i przesłanki wymuszające zmiany w procesie produkcyjnym

Firma Nordis Sp. z o.o. to producent i dystrybutor żywności mrożonej działający od 1968 r. Jest jednym z kluczowych krajowych producentów lodów, mrożonych warzyw i owoców, czy dań gotowych. Jednym z podstawowych wyrobów z grupy dań gotowych, są mrożone pierogi. Firma produkuje je w dużych ilościach, na jedynej przeznaczony do tego specjalistycznej linii produkcyjnej. Linia ta, funkcjonująca od lat, sprawia coraz więcej problemów. Jej awarie i coraz częstsze przestoje, w połączeniu ze spadkiem sprzedaży produkowanych na niej wyrobów, zmusiły kierownictwo firmy do przebadania zaistniałej sytuacji. Podjęto dwukierunkowe działania zmierzające do ustalenia przyczyn zarówno spadku wydajności produkcyjnej przedmiotowej linii, jak i zmniejszenia zainteresowania wytwarzanymi na niej wyrobami. Przeprowadzono analizę FMEA procesu wytórczego, dzięki której określono najważniejsze wady występujące w obecnym procesie.

Z przeprowadzonej analizy FMEA badanego procesu, której fragment przedstawiono w tabeli 1 wynika, że kluczowe są wady związane z modułem wykrawającym. Moduł ten, składa się z ruchomej, napędzanej pneumatycznie belki, na której zamocowano dziesięć wykrojników, składających się z następujących elementów: stempel, obudowa i wypychacz (Rys. 1).



Rys. 1. Wykrojnik; 1-stempel, 2-obudowa, 3-wypychacz

Ponadto, zarówno wśród kluczowych odbiorców, jak i bezpośrednio wśród końcowych klientów, przeprowadzono ankiety oceniające produkt z grupy dań gotowych, jakim są pierogi mrożone. Z analizy ankiet wynika, że klienci mają uwagi dotyczące jakości oferowanego wyrobu. Są to przede wszystkim zarzuty dotyczące:

- rozklejania się pierogów podczas gotowania,
- wypływania farszu z pierogów podczas gotowania,

- zbyt małej zawartości farszu w pierogach,
- zbyt grubej warstwy ciasta na łączeniu,
- wskazujący na "wyrób maszynowy" kształt pieroga.

Tab. 1. Fragment analizy FMEA rozpatrywanego procesu

Nazwa procesu	Potencjalny rodzaj wady	Potencjalny skutek wady	Znaczenie	Potencjalne przyczynowe wady	występowanie	detekcja	RPN
Walcowanie ciasta	Nierównomierna grubość ciasta	Za grube lub za cienkie ciasto na wyrobie finalnym	4	Niestabilna konstrukcja mechanizmu walcarki	3	4	48
Przenośnik taśmowy	Przylewanie się ciasta do taśmy i "powrót" ciasta wraz z taśmą na łączeniach przenośników	Straty wyrobów gotowych, nakładanie się warstw ciasta, zatrzymanie procesu	3	Złe położenie taśmociągów względem siebie, brak możliwości regulacji odległości w dwóch osiach,	5	3	45
	Ruch ciasta w kierunku prostopadłym do przesuwu taśmy	Nierówno pocięte paski ciasta, dużo odpadów	2	Brak prowadnic bocznych	4	4	32
Moduł wykrawający	Wypływanie farszu podczas formowania pierogów, rozklejanie podczas gotowania	Źle zaklejony pieróg, wyroby zabrudzone farszem	8	Niewłaściwy mechanizm zawijania ciasta, brak regulacji	3	4	96
				Za dużo farszu, źle działający dozownik,	3	5	120
				Niewłaściwy kształt stempli,	5	7	280
				Uszkodzone stemple krojące/zaciskowe	5	6	240

Analizując powyższe podjęto decyzję, że w pierwszej kolejności należy wprowadzić zmiany mające na celu odzyskanie zainteresowania klienta produkowanym wyrobem. Kluczowym zadaniem w tym kierunku będzie zwiększenie jakości mrożonych pierogów, polegające na:

- zwiększeniu zawartości farszu w wyrobie,

- wyeliminowanie problemu "rozklejania" się pierogów podczas procesu gotowania,
- zachowanie po procesie gotowania oryginalnego, nadanego w czasie produkcji kształtu wyrobu,
- zmiana kształtu pieroga na przypominający "domowy".

Odpowiadający za wymienione wyżej cechy wyrobu jest moduł wykrawający, wraz z wykrojnikami, pokazany na rysunku 2.



Rys. 2. Moduł wykrawający

Moduł ten składa się z wspartej na dwóch słupach prowadnicy, do której przytwierdzonych jest dziesięć wykrojników. Budowa stempla będącego elementem wykrojnika ma bezpośredni wpływ na kształt wykrawanego wyrobu. Wypusty i wgłębienia umieszczone na wieńcu stempla odpowiadają za kształt skleiny imitujący ręczne odciski palców, a zewnętrzny kołnierz decyduje o poprawnym wycięciu pieroga z paska ciasta. Stosowany obecnie wykrojnik przedstawiono na rysunku 3.



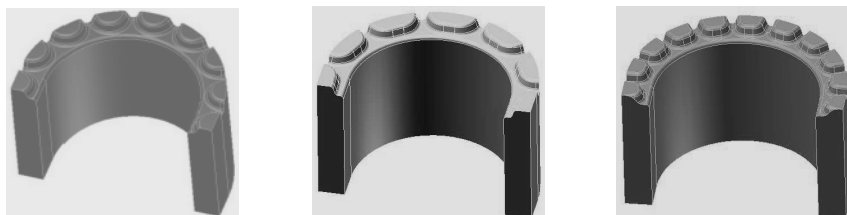
Rys. 3. Stosowany obecnie wykrojnik

Geometria wykrojnika decyduje również o jakości sklejenia pieroga, co wpływa na jego zachowanie podczas gotowania. Zmiana tego elementu, zaprojektowanie i wykonanie nowego rozwiązania umożliwi poprawę zależnych od niego cech

wyrobu. Postanowiono więc, że wykrojnik jako kluczowy element mający największy wpływ na występowanie zdiagnozowanych wad procesu, będzie modernizowany w pierwszej kolejności. Wpływ na taką kolejność działań miał również fakt, że określonych zmian modernizacyjnych można dokonać praktycznie bez zatrzymywania procesu. W fazie testów poszczególnych wariantów nowych rozwiązań wykrojnika można zatrzymać proces tylko na krótki czas, zamontować na urządzeniu badany wykrojnik, licząc się ze stratą 10% produkcji - odpadnie 1 z 10 wykrawanych jednocześnie pierogów. Postanowiono, że nowy wariant wykrojnika jest kluczowy dla funkcjonowania całego procesu, stąd dalsze działania modernizacyjne pozostałych elementów linii produkcyjnej będą realizowane po wyeliminowaniu podstawowych wad procesu ujawnionych podczas analizy FMEA oraz wskazanych przez klientów.

3. Wirtualny model nowego rozwiązania

Postanowiono zaprojektować nowy wykrojnik zakładając, że jego kształt i szczegóły konstrukcyjne wyeliminują wszelkie wady dotychczasowego rozwiązania. Problem polega na tym, że wyrób wykrojony i zamrożony w stanie surowym, zmienia swój kształt po ugotowaniu. Projektując model nowego wykrojnika można wpływać na kształt surowego wyrobu, natomiast nie ma możliwości przewidzenia kształtu wyrobu po ugotowaniu. Jedyny sposób osiągnięcia oczekiwanych rezultatów, to iteracyjne eksperymenty z kolejnymi kształtami stempla. Drobne zmiany w kolejnych wykonaniach mogą doprowadzić do akceptowalnego rozwiązania. Należało więc zamodelować kilka wersji stempla, wykonać prototypy i przeprowadzić próby działania, poddając ocenie wykonany za każdym razem wyrób, zarówno w stanie surowym, jak i po ugotowaniu. W systemie CAD opracowano kilka modeli stempla (Rys. 4), różniących się ilością odcisków, ich głębokością, kształtem, powierzchnią, itp.




Rys. 4. Przykładowe trzy modele stempla

Aby ocenić efekt prac, należy wykonać fizycznie prototypy, zamontować je na linii na stanowisku wykrawającym i przeprowadzić wiele prób. Zdecydowano, że elementy wykrojnika takie jak obudowa i wypychacz pozostaną niezmienione, gdyż firma dysponuje większą ilością wykonanych wcześniej elementów. Wykonanych zostanie

więc kilka wariantów stempla, jako najważniejszego elementu wykrojnika mającego wpływ na wymagane do zmiany parametry. Zastanawiając się nad sposobem wykonania części wzięto pod uwagę technologie: frezowania, dłutowania, drażenia elektroerozyjnego, drażenia drutem, druku 3D. W związku z tym, wraz z wirtualnym modelem 3D wysłano zapytania ofertowe do okolicznych przedsiębiorstw świadczących usługi obróbki metali. Pozyskane oferty, wraz z cechami prototypów uzyskanych w poszczególnych technologiach zestawiono w tabeli 2. W tabeli tej zawarto również współczynniki wag dla poszczególnych cech i dokonano wyboru najwłaściwszej w danej sytuacji technologii wykonania stempla.

Tab. 2. Ocena dostępnych technologii wykonania stempla

	Kryteria oceny										Ocena końcowa
	cena		masa		własności mech.		dokładność wykonania		Czas realizacji		
technologia	w_1	o_1	w_2	o_2	w_3	o_3	w_4	o_4	w_5	o_5	
frezowanie	0,3	2	0,05	3	0,25	4	0,2	4	0,2	2	2,15
dłutowanie		2		3		4		3		3	2,35
drażenie elektroerozyjne		1		3		4		4		1	1,65
drażenie drutem		1		3		4		4		2	1,85
druk 3D		4		5		3		3		4	3

w_i - waga kryterium [0-1],

o_i - ocena technologii pod względem i-tego kryterium [1-5].

Z powyższej oceny wynika, że najwłaściwszą technologią do wykonania stempla będzie technologia druku 3D.

4. Przegląd współczesnych technik RP

Szybkie prototypowanie (z ang. Rapid Prototyping) to termin, powstały w połowie lat 1980-tych. Używano go jako opis technologii, które mogłyby wykonać docelowy wyrób we wczesnych etapach rozwoju projektu w szybki i zautomatyzowany sposób. Wiele z tych technik opiera się na płaskim łączeniu warstw materiału tworząc w efekcie trójwymiarowy obiekt. Obecnie wiele technologii wykracza poza tradycyjne prototypowanie rozwijając się w sposób wykładniczy. Starsze i znane maszyny opierają się m.in. na fotopolimerowaniu czy spiekaniu proszków. Zrezygnowano obecnie z metody bazującej na laminowaniu arkusza LOM, być może przez wzgląd na stosunkowo wysokie marnotrawstwo surowca – czyli dużą ilość generowanych odpadów [4]. Technologie głównie wykorzystywane na rynku to [5]:

DMLS - czyli selektywne spiekanie i przetapianie sproszkowanych metali za pomocą lasera. Technologia charakteryzuje się dokładnością Ra 4-20 mikrometrów. Dzięki DMLS można wytwarzać delikatne i drobne struktury 3D, które bardzo ciężko uzyskać w klasycznym odlewnictwie czy poprzez techniki ubytkowe.

FDM – tworzywo sztuczne (głównie ABS, PC, PC-ABS) zostaje podgrzane do temperatury topnienia i wyciskane przez automatycznie przemieszczaną dyszę tworząc kolejne warstwy prototypu. W technologii tej możliwe jest uzyskanie wysokiej wytrzymałości nawet dużych obiektów przy stosunkowo niskiej cenie.

SDL – polega na tworzeniu modeli z laminatu wielu warstw papieru, cechą charakterystyczną jest dowolna kolorystyka, duża wytrzymałość na ściskanie i dokładność wykonania rzędu 0,05-0,1 mm.

DLP – (ang. Digital Light Processing) pozwala na stworzenie modeli przy wykorzystaniu cyfrowej projekcji światła działającego na powierzchnię żywicy fotoutwardzalnej. Precyzja wykonania mieści się w przedziale 0,03-0,05 mm. Uzyskane w ten sposób trwałe i precyzyjne modele są odporne na działanie temp do 160°C.

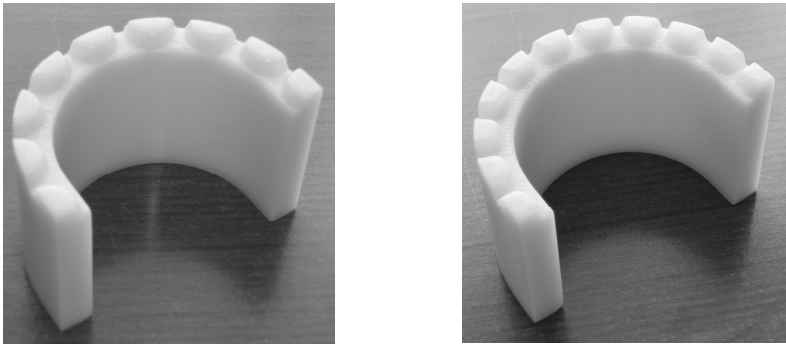
3SP – (ang. Scan, Spin and Selectively Photocure) modele tworzy się przy wykorzystaniu lasera, który utwardza żywicę (fotopolimeracja). System ten pozwala na osiągnięcie wysokiej dokładności 0,025-0,03 mm. Otrzymany model jest wytrzymały i odporny na wysokie temperatury. Stosowany materiał może symulować parametry fizyczne wosku.

SLS – (ang. Selective Laser Sintering) – technologia charakteryzuje się wytwarzaniem obiektu poprzez nanoszenie warstwy proszku a następnie jego selektywne spiekanie wiązką laserową. Do procesu zwykle używa się poliamidów (PA11 i PA12) oraz ich mieszanin. Technika stosowana w odlewnictwie, przy kreacji złożonych kształtów bez stosowania podpór. Grubość ścianki modelu waha się w granicy 0,6mm.

Analizując powyższe cechy charakterystyczne dostępnych metod zdecydowano, że docelową technologią wykonania stempla wykrojnika będzie metoda FDM. Jest to jedna z najbardziej popularnych technik *rapid prototyping*. Stosowana jest z powodzeniem w przemyśle, we wzornictwie, w medycynie, niejednokrotnie jako części mechaniczne w samych drukarkach 3D, jak choćby w modelach marki DEXER. Technologia ta charakteryzuje się wysoką dokładnością wykonywanych modeli, a wytrzymałość mechaniczna jest wystarczająca przy założeniu sił obciążających stemple rzędu kilkuset niutonów. Dla pewności, opracowane modele 3D poddano analizom wytrzymałościowym, celem określenia występujących w nich w trakcie obciążenia naprężeń. Ich wielkość dla różnych wariantów nie przekraczała 20-30 MPa, przy dopuszczalnych dla materiału ABS naprężeń rzędu 54 MPa [6].

W następnym etapie opracowane wirtualne modele kilkunastu wariantów stempla, zapisano w formacie STL, obsługiwanych przez drukarki 3D.

Tak przygotowane modele rozesłano do firm zajmujących się profesjonalnie drukiem 3D. Po otrzymaniu ofert wybrano najkorzystniejszą, po czym zlecono wykonanie stempli w kilkunastu wariantach. Dwa przykładowe wykonania przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przykładowe dwa wykonania stempla

Otrzymane prototypy poddano ocenie wizualnej, zmierzono, zamontowano w wykrojniku łącząc z posiadanymi obudowami i wypychaczami. Następnie, każdy z tak przygotowanych wykrojników montowano kolejno na module wykrawającym i uruchamiano proces produkcyjny. Z każdego stempla wykonano po 50 sztuk pierogów. 25 sztuk z każdej partii zostało zamrożonych i poddanych ocenie w tym stanie. Oceniano kształt, wielkość, powtarzalność, wzór zagnieceń, itp. Następnie kolejne 25 sztuk z każdej serii, wykonanej przy użyciu wszystkich nowych stempli ugotowano. Tak przygotowany wyrób znów poddano ocenie, zwracając uwagę na te same cechy co dla pierogów zamrożonych. Ponadto sprawdzano czy pierogi się nie rozkleiły podczas gotowania, oceniano zmianę ich kształtu i wielkości, sprawdzano wielkość i powtarzalność kształtu. Podobnie jak przy wyborze technologii wykonania stempli, do oceny poszczególnych wariantów posłużono się metodą punktowo-ważoną [7]. Określono kryteria oceny, przypisano wagi poszczególnym kryteriom, po czym dokonano oceny każdego z wariantów. Ocen dokonywała komisja, w której skład wchodził prezes firmy, główny technolog, pracownicy produkcyjni oraz pracownicy laboratorium. Po dokonaniu oceny dokonano ostatecznego wyboru optymalnego stempla.

Wybrany model został zaakceptowany, a jego docelowy wariant zlecono do wykonania technologią drążenia drutem, z docelowego materiału, jakim był stop aluminium z atestem do kontaktu z żywnością. Tak wykonane ostateczne wykrojniki zamontowano na linii produkcyjnej i uruchomiono produkcję. Długotrwałe testy wypadły zadowalająco, dlatego zdecydowano o zleceniu kolejnych sztuk stempli, wyposażając w nie wszystkie linie produkcyjne pierogów funkcjonujące w przedsiębiorstwie. Firma Nordis do tej pory korzysta z powodzeniem z efektów zrealizowanego projektu.

Poniżej zestawiono cechy nowego rozwiązania:

zalety:

- wyeliminowanie niekorzystnego zjawiska rozklejania się pierogów podczas obróbki termicznej,
- zmniejszenie objętości pieroga przy zachowaniu objętości farszu, zwiększenie stosunku ilości farszu do ilości ciasta,
- uzyskanie bardziej zwartej formy wyrobu,
- uzyskanie wzoru zgniotu ciasta zbliżonego do pierogów zagniatanych "ręcznie",
- zakłada się, że wprowadzone zmiany wpłyną bezpośrednio na wzrost sprzedaży i zwiększenie zadowolenia klienta.

wady:

- zwiększenie ilości ciasta powracająca do produkcji wtórnej (mniejszy pieróg, więcej odpadów)

Porównanie ze stanem pierwotnym, przed wprowadzeniem zmian modernizacyjnych przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Zestawienie cech rozwiązania pierwotnego z rozwiązaniem zmodernizowanym

Stan pierwotny	Stan po modernizacji
Rozklejanie się pierogów podczas gotowania	Pierogi podczas gotowania nie rozklejają się
Większy rozmiar wyrobu (stosunkowo duża ilość ciasta)	Produkt mniejszy (zmniejszona ilość ciasta, ilość farszu bez zmian)
Płaski kształt pieroga po ugotowaniu	Wysoki, zwarty kształt pieroga po ugotowaniu
Niska jakość wyrobu	Wysoka jakość wyrobu
Minimalna ilość ciasta powracająca do produkcji wtórnej	Większa ilość ciasta powracającego do produkcji wtórnej
Mniejsza ilość pierogów w opakowaniu	Większa ilość pierogów w opakowaniu
Niezadowolenie klienta	Klient zadowolony
Spadek sprzedaży dań gotowych	Wzrost sprzedaży dań gotowych

5. Wnioski

Dbanie o utrzymanie wysokiej jakości wyrobów, mającej bezpośrednie przełożenie na wolumen sprzedaży, to obowiązek każdego wytwórcy, niezależnie od obszaru działalności przedsiębiorstwa. Tylko stałe monitorowanie jakości, utrzymywanie parametrów wdrożonych norm jakościowych, badanie zadowolenia klienta i właściwie szybka reakcja na wszelkie odstępstwa, pozwala na utrzymanie wysokiej pozycji na rynku. Analizowane przedsiębiorstwo to producent z branży spożywczej, jeden z kilku oferujących podobne wyroby w kraju. Wysoce wyspecjalizowane urządzenia wytwórcze, stopień ich skomplikowania, brak doświadczenia w ich obsłudze i eksploatacji, to wszystko sprawia, że utrzymanie ich w wysokiej sprawności zapewniającej zakładaną wydajność i jakość wytwarzanych przy ich pomocy dóbr, jest procesem skomplikowanym. Każda naprawa, regulacja, zmiana oprzyrządowania czy zmiana parametrów wymaga zatrzymania produkcji, i wielokrotnych prób w celu poszukiwania właściwego rozwiązania. Każde zatrzymanie procesu wytwórczego to konkretne straty dla producenta. Niezmiernie ważna jest więc umiejętność i możliwość poszukiwania takich rozwiązań podczas wspomnianych procesów, aby czas przestoju maszyny czy linii można było ograniczyć do niezbędnego minimum. W opracowaniu przedstawiono możliwości zastosowania technologii wytwórczych określanymi mianem *rapid prototyping*, do modernizacji i usprawniania urządzeń technologicznych. Zastosowanie druku 3D, a konkretnie technologii FDM, pozwoliło na szybkie wykonanie kilkunastu alternatywnych rozwiązań stempla wykrojnika. Po ocenie wybrano jedno rozwiązanie, które następnie zostało wdrożone pod postacią części wykonanych w technologii docelowej z właściwego materiału. Takie podejście pozwoliło na znaczne oszczędności wynikające z krótkiego czasu wykonania różnych wariantów przedmiotowego elementu, ale także na minimalizację strat związanych z przestojem urządzenia wytwórczego. Czas poszukiwania właściwego rozwiązania skrócono do tygodnia z zakładanych trzech przy wykonywaniu elementów w technologii pierwotnej. Koszt wykonania kilkunastu wariantów przedmiotowej części był kilkanaście razy mniejszy od kosztu, jaki należałoby ponieść wykonując części w technologii pierwotnej. Wykazano, że technologie wykorzystywane dotąd do wytwarzania prototypów nowych urządzeń, można z powodzeniem wykorzystać do modernizacji i usprawniania istniejących maszyn wytwórczych. W krótkim czasie osiągnięto zakładany cel, jakim była poprawa jakości produkowanych wyrobów. Wpłynęło to bezpośrednio na wzrost sprzedaży i zwiększenie zadowolenia klienta. Zadowolenie firmy z realizacji projektu spowodowało, że w kolejnych działaniach usprawniających przy okazji modernizacji innych urządzeń funkcjonujących w przedsiębiorstwie również stosowano podobne metody.

Literatura

- [1] Martyniak Z. *Metody organizacji i zarządzania*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków 2002.
- [2] Feld M., *Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn*, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 2003.
- [3] Muller R., Rupper P., *Proces Reengineeringu*, Astrum, 2000.
- [4] Patri K. Venuvinod, Weiyin M, *Rapid prototyping Laser-based and Other Technologies*, Springer, 2004.
- [5] Campbell, Ian, Bourell, David and Gibson, *Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age*, Rapid prototyping journal, vol. 18, no. 4, Jan 2012.
- [6] <http://www.solveere.pl/technologie.html>, dostęp: 10.09.2016
- [7] Branowski B., *Metody twórczego rozwiązywania problemów inżynierskich*, Wydawnictwo Wielkopolska Korporacja Techniczna NOT, Poznań 1999.

ZASTOSOWANIE STRUKTURALNEJ MACIERZY ZALEŻNOŚCI W DEKOMPOZYCJI PROCESÓW WYTWÓRCZYCH

Tomasz BELICA¹, Katarzyna APOLINARSKA²

W pracy przedstawiono możliwość zastosowania strukturalnej macierzy zależności (DSM - Design Structure Matrix) do dekompozycji procesów wytwórczych. Scharakteryzowano proces tworzenia macierzy oraz jej transformację. Przykładową analizę przeprowadzono dla urządzenia do korkowania butelek. Dla określonego zadania zdefiniowano szereg działań związanych z jego procesem wytwórczym. Określono możliwości dekompozycji danego procesu na mniejsze, niezależne podgrupy zadaniowe.

1. Wprowadzenie

Coraz większe wymagania rynku sprawiają, że przedsiębiorstwa produkcyjne powinny charakteryzować się wysokim poziomem elastyczności produkcji. Jednym z istotnych czynników jest tutaj skracanie czasu oraz zmniejszenie kosztów produkcji wyrobów, przy jednoczesnym zachowaniu jego wysokiej jakości. Jedną z możliwości przyspieszenia realizacji procesów wytwórczych jest ich dekompozycja, czyli podział na wiele, realizowanych równolegle zadań. Planując procesy, zarówno produkcyjne jak i wytwórcze, należy mieć również na uwadze takie czynniki jak efektywne i ekonomiczne sprzężenie elementów produkcji (urządzeń, pracy ludzkiej, itp.), w taki sposób by proces wytwarzania stał się jak najbardziej płynny. Sprawny przepływ produkcji wpływa na dobre wykorzystanie możliwości produkcyjnych przedsiębiorstwa, racjonalizację posiadanych zasobów, minimalizację przestoju, itp. Zagadnienia związane z projektowaniem oraz organizacją procesów produkcyjnych w różnych aspektach, były opisywane przez wielu autorów [4, 5, 7, 10].

W pracy przedstawiono możliwość zastosowania macierzy zależności do dekompozycji procesu wytwórczego. Macierz ta jest użytecznym narzędziem do identyfikacji zależności pomiędzy powiązaniem, występującymi w procesach wytwarzania. Zastosowanie macierzy strukturalnych do projektowania organizacji

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

² inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny

zadań przedstawił Eppinger [6]. Aggraval [1] zaprezentował algorytmy zarządzania ograniczeniami opierając się na jej rozkładzie. Zastosowanie macierzy zależności do tworzenia algorytmów obliczeniowych elementów maszyn oraz dekompozycji złożonych zadań optymalizacji w celu skrócenia procesu obliczeniowego przedstawili w swoich pracach Rohatyński i Babirecki [2, 3, 8, 9]. Zasadniczo, dekompozycja procesu za pomocą macierzy zależności polega na ustaleniu wszystkich możliwych związków między zadaniami, następnie uszeregowaniu ich w macierzy oraz właściwym pogrupowaniu. Działanie to ma na celu wyselekcjonowanie poszczególnych grup zadaniowych, w których proces może przebiegać równolegle i może być realizowany przez niezależne od siebie zespoły. Rezultatem takiego działania jest przede wszystkim racjonalizacja oraz skrócenie czasu całego procesu.

2. Macierz zależności i jej transformacja

Funkcjonalny stosunek pomiędzy różnymi zadaniami i parametrami może zostać przedstawiony za pomocą macierzy zdarzeń. Macierz taką tworzymy poprzez przedstawienie w kolumnach poziomych zadań (f_1, f_2, \dots, f_n), a w pionowych parametrów (x_1, x_2, \dots, x_n) oraz określeniu zachodzących pomiędzy nimi powiązań (Rys. 1). W przypadku procesów wytwórczych zadaniem może być element lub wyrób, parametrami – operacje potrzebne do jego wykonania.

a)	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td>x_1</td><td>x_2</td><td>x_3</td><td>x_4</td><td>x_5</td><td>x_6</td><td>x_7</td></tr> <tr><td>f_1</td><td>x</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>f_2</td><td></td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>f_3</td><td>x</td><td></td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>f_4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>x</td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>f_5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>x</td><td>x</td><td></td></tr> <tr><td>f_6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>x</td><td>x</td></tr> </table>		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	f_1	x	x						f_2		x	x	x				f_3	x		x					f_4					x		x	f_5					x	x		f_6						x	x
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7																																																		
f_1	x	x																																																							
f_2		x	x	x																																																					
f_3	x		x																																																						
f_4					x		x																																																		
f_5					x	x																																																			
f_6						x	x																																																		
b)	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td>x_1</td><td>x_2</td><td>x_3</td><td>x_4</td><td>x_5</td><td>x_6</td><td>x_7</td></tr> <tr><td>f_1</td><td>x</td><td></td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>f_2</td><td>x</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>f_3</td><td></td><td>x</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>f_4</td><td></td><td></td><td></td><td>x</td><td>x</td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>f_5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>x</td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>f_6</td><td></td><td></td><td></td><td>x</td><td></td><td>x</td><td></td></tr> </table>		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	f_1	x		x				x	f_2	x	x						f_3		x	x				x	f_4				x	x		x	f_5					x	x	x	f_6				x		x	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7																																																		
f_1	x		x				x																																																		
f_2	x	x																																																							
f_3		x	x				x																																																		
f_4				x	x		x																																																		
f_5					x	x	x																																																		
f_6				x		x																																																			
c)	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td>x_1</td><td>x_2</td><td>x_3</td><td>x_4</td><td>x_5</td><td>x_6</td><td>x_7</td></tr> <tr><td>f_1</td><td>x</td><td></td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>f_2</td><td>x</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>f_3</td><td></td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>f_4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>x</td><td>x</td></tr> <tr><td>f_5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>f_6</td><td>x</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td>x</td><td>x</td></tr> </table>		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	f_1	x		x					f_2	x	x						f_3		x	x	x				f_4						x	x	f_5							x	f_6	x	x				x	x
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7																																																		
f_1	x		x																																																						
f_2	x	x																																																							
f_3		x	x	x																																																					
f_4						x	x																																																		
f_5							x																																																		
f_6	x	x				x	x																																																		

Rys. 1. Rodzaje macierzy zależności

Macierze mogą być klasyfikowane jako rozkładalne (Rys. 1a) i nierozkładalne (Rys. 1b,c). Macierz zdarzeń jest rozkładalna, jeżeli jej rzędy i kolumny mogą być pogrupowane w taki sposób, że tworzą oddzielne, mniejsze „podmacierze”. Uzyskane grupy zadaniowe powinny zawierać oddziaływujące na siebie zadania i parametry, które nie mają wpływu na zadania wchodzące w skład innych „podmacierzy”. W tym przypadku zadania mogą być realizowane niezależnie od siebie. W przypadku macierzy nierozkładalnej, uzyskane grupy zadaniowe są współzależne od siebie z powodu ich zależności od wspólnych parametrów (np. parametr x_7 – Rys. 1b) lub zachodzących zadań (np. zadanie f_6 – Rys. 1c).

W tym przypadku poszczególne „podmacierze” mogą być rozpatrywane niezależnie ale pod warunkiem, że wspólne parametry zostaną wyznaczone przez każdy zespół osobno (lub razem przez wszystkie zespoły).

Proces tworzenia macierzy zależności oraz jej transformację można podzielić na kilka etapów. Pierwszy polega na określeniu poszczególnych operacji składających się na proces wytwórczy oraz ich zależności, a następnie przedstawienie ich w macierzy. Kolejnym krokiem jest połączenie w grupy (podmacierze) odpowiednich zadań i parametrów. Kolejność postępowania zostanie omówiona na hipotetycznie przyjętym przykładzie. Dla każdego z parametrów obliczamy tzw. „miarę zachodzenia” - MZ, którą określa się jako liczbę sytuacji, w których pozostałe parametry występują w zadaniach wspólnie z analizowanym parametrem. Na rysunku 2a przedstawiono przykład tego postępowania dla parametru x_3 . Wyróżniono wszystkie zadania w których jest wykorzystywany dany parametr (f_2, f_5, f_6, f_7) oraz obliczono liczbę pozostałych parametrów występujących w tych zadaniach. Analogicznie postępujemy dla pozostałych parametrów (Rys. 2b).

a)							
6							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
f_1	x	x					
f_2			x				
f_3				x	x		
f_4		x				x	
f_5			x				
f_6			x				
f_7			x				

b)							
3 5 6 1 3 4 3							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
f_1	x	x					
f_2			x				
f_3				x	x		
f_4		x				x	
f_5			x		x		x
f_6			x				x
f_7	x	x	x			x	

Rys. 2. Proces transformacji macierzy zależności

Następnie kolumna (parametr) posiadająca największy wskaźnik MZ jest przestawiana do lewej strony macierzy a wraz z nią wiersze (funkcje) mające powiązanie z danym parametrem. Podobnie postępujemy z pozostałymi kolumnami i wierszami. Rezultat został przedstawiony na rysunku 4a. Jeżeli w otrzymanej macierzy można wydzielić poszczególne grupy zadanie można uznać za zakończone. W innym przypadku należy przesunąć poza macierz parametr (kolumnę) posiadający największy wskaźnik MZ oraz zadanie (wiersz) na podstawie którego ten parametr wyznaczono (Rys. 4b). Jeżeli w tym zadaniu są wykorzystywane jeszcze inne parametry, to również należy je przesunąć poza macierz.

a)

	6	5	4	3	3	3	1
	X ₃	X ₂	X ₆	X ₁	X ₇	X ₅	X ₄
f ₇	x	x	x	x			
f ₅	x				x	x	
f ₆	x				x		
f ₂	x						
f ₄		x	x				
f ₁		x		x			
f ₃						x	x

b)

	4	3	3	1	2	1	
	X ₂	X ₆	X ₁	X ₇	X ₅	X ₄	X ₃
f ₇	x	x	x				x
f ₅				x	x		x
f ₆				x			x
f ₄	x	x					
f ₁	x		x				
f ₃					x	x	
f ₂							x

Rys. 3. Proces transformacji macierzy zależności

W otrzymanej macierzy ponownie oblicza się wskaźnik MZ nie uwzględniając kolumn i wierszy przesuniętych na zewnątrz, a następnie przekształca się macierz jak wcześniej. Rezultat przedstawiono na rysunku 4. Ponieważ w otrzymanej macierzy można wydzielić poszczególne grupy, zadanie można uznać za zakończone. Otrzymałą w przykładzie macierz można rozłożyć na dwie grupy, przy czym należy pamiętać że zadania wysunięte poza macierz muszą być zrealizowane wspólnie.

	4	3	3	2	1	1	
	X ₂	X ₆	X ₁	X ₄	X ₅	X ₇	X ₃
f ₁	x		x				x
f ₄	x	x					
f ₇	x	x	x				
f ₃				x	x		
f ₅					x	x	x
f ₆						x	x
f ₂							x

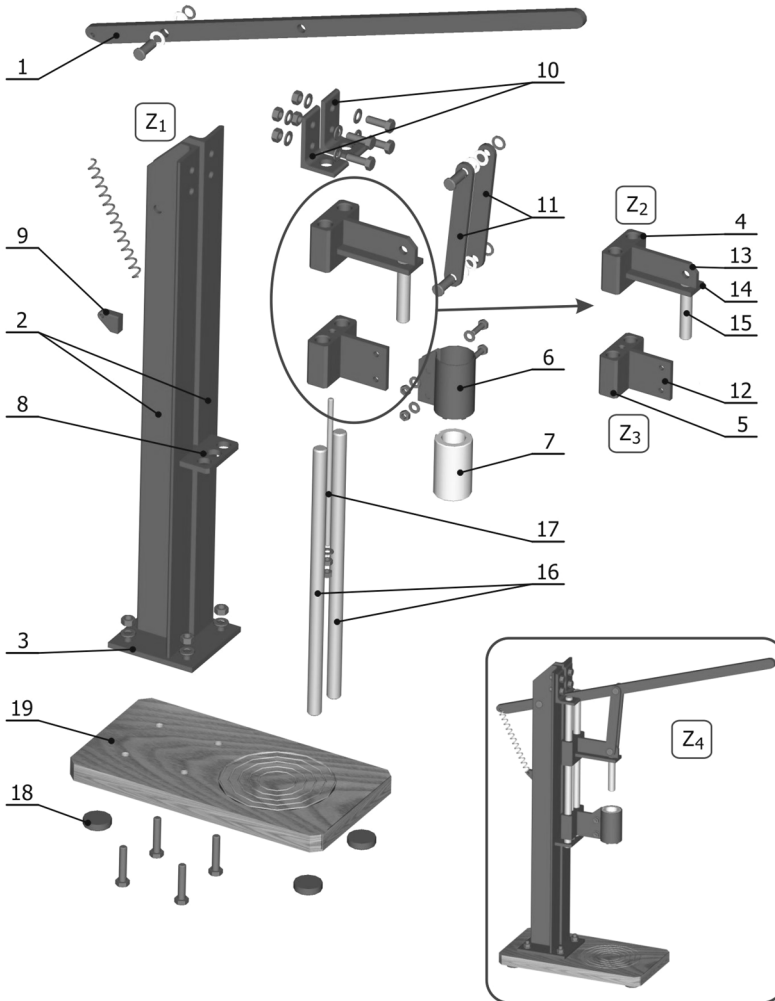
Rys. 4. Efekt końcowy transformacji

Ostatnim etapem jest ocena „jakości” rozkładu. Miarą oceny może być analiza wielkości poszczególnych grup. Należy dążyć do tego, aby poszczególne bloki były sobie równe, przy czym nie należy analizować liczby funkcji zawartych w każdej grupie, ale czas potrzebny do ich rozwiązania. W tym celu dla każdego zadania należy określić czas potrzebny do jego wyznaczenia. Na tej podstawie można również określić skrócenie czasu trwania procesu dzięki zastosowaniu dekompozycji.

3. Dekompozycja procesu wytwórczego wybranego urządzenia

Proces wytwórczy jest to zbiór czynności niezbędnych do wytworzenia określonego produktu, czyli jego przetworzenia ze stanu surowca lub półproduktu do stanu właściwego – gotowego wyrobu. Do przykładowej analizy przyjęto urządzenie przeznaczone do korkowania butelek (Rys. 5). W konstrukcji korkownicy wyróżnić można 19 wymagających wytworzenia elementów składowych, 4 zespoły określone jako Z_i (3 zespoły spawane, jako czwarty określono gotowy wyrób) oraz szereg elementów znormalizowanych (typowych elementów handlowych). Planując procesy wytwórcze bierze się pod uwagę szereg czynników: od podstawowych (procesy technologiczne, magazynowania, kontrolne, itp.) poprzez pomocnicze (utrzymanie ruchu, stany magazynowe, transport, itp.) na obsługowych kończąc (administracja, szkolenia, porządek, itp.). Analizując proces wytwórczy danego urządzenia wzięto pod uwagę przede wszystkim takie czynniki jak: możliwości wytwórcze zakładu, operacje potrzebne do wykonania poszczególnych elementów urządzenia oraz ich szacowany czas, zasoby ludzkie. Operacje niezbędne do wykonania określonego urządzenia wraz z szacowanymi czasami wyszczególniono w tabeli 1 dla poszczególnych elementów oraz tabeli 2 dla zespołów. W tabelach zastosowano następujące oznaczenia: C_i – proces cięcia, W_i – wiercenie, F_i – frezowanie, S_i – szlifowanie/gratowanie, Gw_i – gwintowanie, G_i – gięcie, T_i – toczenie, Sp_i – spawanie, L_i – malowanie, M – proces montażu, a – parametr definiujący czas wykonania danej czynności poprzez zależność (np. uwzględniającą czas wykonania danej operacji z udziałem pracownika oraz bez jego udziału), b – parametr określający łączny czas wykonania danej czynności, którego podział jest z różnych przyczyn nieuzasadniony lub niemożliwy.

Poszczególne operacje oraz czasy wykonania elementów zaplanowano w oparciu o możliwości wytwórcze określonego zakładu produkcyjnego. Podany czas w minutach odnosi się do wykonania jednego elementu i uwzględnia wszystkie czynności z tym związane (pobór materiału, zamocowanie na stanowisku, określony proces, itp.) przy założeniu poprawnie zaplanowanej infrastruktury stanowiska roboczego oraz produkcji małoseryjnej.



Rys. 5. Części składowe analizowanego urządzenia

W danym przypadku, parametrem a opisano proces malowania określonych części wyrobu. Zakład produkcyjny dysponuje półautomatyczną malarnią proszkową, której wielkość umożliwia w jednym procesie pomalowanie 10 kompletów elementów danego urządzenia. Całkowity czas procesu wynosi $a^* = 210\text{min}$ (załadunek, naniesienie powłoki przez pracownika, proces wygrzewania oraz studzenia). W danym procesie udział pracownika dla jednego kompletnego wyrobu wynosi $a = 15\text{min}$. Każdy kolejny komplet (max 10) powiększa ten czas o kolejne 2 minuty (przy pełnym załadunku komory lakierniczej $a^* = 228\text{min}$, natomiast $a = 33\text{min}$). Parametr b określa całkowity czas montażu, który oszacowano na 10 minut.

Tab. 1. Operacje niezbędne do wykonania poszczególnych elementów

Nr części	Ilość	Operacja	Czas
1	1	C ₁	0,5
		W ₁	3
		S ₁	1
		L ₁	<i>a</i>
2	2	C ₂	1,5
		W ₂	3
		S ₂	2
3	1	C ₃	1
		W ₃	4
		S ₃	1
4	1	C ₄	2
		F ₁	4
		W ₄	6
		GW ₁	2
5	1	S ₄	1
		C ₅	2
		F ₂	4
		W ₅	8
6	1	S ₅	1
		C ₆	5
		G ₁	2
		W ₆	2
7	1	L ₂	<i>a</i>
		C ₇	1
		F ₃	2
		T ₁	0,5
8	1	T ₂	4
		T ₃	0,5
		C ₈	2
9	1	W ₇	3
		S ₆	1
		C ₉	1,5
10	2	W ₈	1
		S ₇	1
		C ₁₀	1
11	2	W ₉	3
		S ₈	1
		L ₃	<i>a</i>
12	1	C ₁₁	0,5
		W ₁₀	2
		S ₉	1
13	1	L ₄	<i>a</i>
		C ₁₂	1
		W ₁₁	2
14	1	S ₁₀	1
		C ₁₃	0,5
		W ₁₂	1
15	1	S ₁₁	1
		C ₁₄	0,5
		W ₁₃	1
16	2	S ₁₂	1
		C ₁₅	0,5
		S ₁₃	0,6
17	1	C ₁₆	0,5
		S ₁₄	0,6
		C ₁₇	0,5
18	4	S ₁₅	0,5
		GW ₂	1
		C ₁₈	1
19	1	S ₁₆	1
		L ₅	<i>a</i>
		kooperacja	

Tak zdefiniowany proces wytwórczy przedstawiono w macierzy zależności (Tab. 3). Ze względu na jej obszerność i czytelność wprowadzono tutaj parametr f_i definiujący zespół czynności potrzebnych do wykonania i -tego elementu. Zakładając że poszczególne operacje będą wykonywane sekwencyjnie, czas potrzebny na ich realizację wyniesie 130,3 minuty (bez uwzględnienia parametrów a i b).

Tab. 2. Zespoły elementów spawanych

Nr zespołu	Części składowe	Operacja	Czas
Z1	2, 3, 8, 9	Sp ₁	5
		L ₆	<i>a</i>
Z2	4, 13, 14, 15	Sp ₂	4
		L ₇	<i>a</i>
Z3	5, 12	Sp ₃	2
		L ₈	<i>a</i>
Z4	całość	M	<i>b</i>

Tab. 3. Pierwotna macierz zależności dla analizowanego procesu

	48	43	14	3	3	3	3	13	3	3	3	2	8	3	3	2	2	2	2	1	1	1	
	f ₂₃	f ₂₂	f ₁₉	f ₂	f ₃	f ₈	f ₉	f ₂₀	f ₄	f ₁₃	f ₁₄	f ₁₅	f ₂₁	f ₅	f ₁₂	f ₁	f ₆	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₈	f ₇	f ₁₆	f ₁₇
2	0	0	0	13																			
3	0	0	0		6																		
8	0	0	0			6																	
9	0	0	0				3,5																
Z ₁	<i>b</i> ₁	<i>a</i>	5																				
4	0	0					0	15															
13	0	0					0		2,5														
14	0	0					0			2,5													
15	0						0				1,1												
Z ₂	<i>b</i> ₂	<i>a</i>					4																
5	0	0										0	15										
12	0	0										0		4									
Z ₃	<i>b</i> ₃	<i>a</i>										2											
1	<i>b</i> ₄	<i>a</i>														4,5							
6	<i>b</i> ₅	<i>a</i>															9						
10	<i>b</i> ₇	<i>a</i>																10					
11	<i>b</i> ₈	<i>a</i>																	7				
18	<i>b</i> ₉	<i>a</i>																		8			
7	<i>b</i> ₆																				8		
16	<i>b</i> ₁₀																					2,2	
17	<i>b</i> ₁₁																						2
Z ₄	Σb_i																						

W kolejnym kroku tabelę przekształcono zgodnie z procedurą przedstawioną w rozdziale 2. Rezultat działań przedstawiono w tabeli 4. Dla analizowanego procesu uzyskano podział na 11 bloków, które mogą być realizowane równocześnie przez 11 niezależnych zespołów. Należy jednak zwrócić uwagę na nierównomierny czas realizacji poszczególnych grup. Dlatego w dalszym etapie postanowiono tak przegrupować otrzymaną macierz (sumując niektóre grupy) aby czasy realizacji określonych bloków były jak najbardziej do siebie zbliżone.

Tab. 4. Zdekomponowana macierz dla analizowanego procesu

	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	f_{23}	f_{22}
	f_{19}	f_2	f_3	f_8	f_9	f_{20}	f_4	f_{13}	f_{14}	f_{15}	f_{21}	f_5	f_{12}	f_1	f_6	f_{10}	f_{11}	f_{18}	f_7	f_{16}	f_{17}				
2	0	13																					0	0	
3	0		6																				0	0	
8	0			6																			0	0	
9	0				3,5																		0	0	
Z ₁	5																						b_1	a	
4						0	15																0	0	
13						0		2,5															0	0	
14						0			2,5														0	0	
15						0				1,1													0	0	
Z ₂						4																	b_2	a	
5											0	15											0	0	
12											0		4										0	0	
Z ₃											2												b_3	a	
1														4,5									b_4	a	
6															9								b_5	a	
10																10							b_7	a	
11																	7						b_8	a	
18																		8					b_9	a	
7																			8				b_6	a	
16																					2,2		b_{10}	a	
17																						2	b_{11}	a	
Z ₄																								Σb_i	

Tab. 5. Propozycja podziału na dwa bloki zadaniowe

	f_{19}	f_2	f_3	f_8	f_9	f_1	f_{11}	f_{18}	f_7	f_{16}	f_{17}	f_{20}	f_4	f_{13}	f_{14}	f_{15}	f_{21}	f_5	f_{12}	f_6	f_{10}	f_{23}	f_{22}		
2	0	13																					0	0	
3	0		6																				0	0	
8	0			6																			0	0	
9	0				3,5																		0	0	
Z ₁	5																						b_1	a	
1						4,5																	b_4	a	
11							7																b_8	a	
18								8															b_9	a	
7									8														b_6	a	
16										2,2													b_{10}	a	
17											2												b_{11}	a	
4						65,2						0	15										0	0	
13												0		2,5									0	0	
14												0			2,5								0	0	
15												0				1,1							0	0	
Z ₂												4											b_2	a	
5																0	15						0	0	
12																0		4					0	0	
Z ₃																2							b_3	a	
6																						9	b_5	a	
10																							10	b_7	a
Z ₄																								Σb_i	

W wariancie drugim (Tab. 6) przyjęto podział na trzy bloki. W tym przypadku czas realizacji procesu będzie trwał 43,5 minuty. Trzeci wariant zakłada podział na cztery bloki (Tab. 7). Przy takim założeniu czas realizacji procesu wyniesie 33,5 minuty. Do podanych czasów (podobnie jak w modelu sekwencyjnym) należy doliczyć czasy określone parametrem a i b . W analizowanym przypadku, czynności związane danymi parametrami należy wykonać na końcu całego procesu (malowanie określonych elementów i zespołów oraz montaż urządzenia). Dekompozycję procesu wytwórczego urządzenia przeprowadzono bazując jedynie na czasach realizacji poszczególnych podprocesów. W praktyce należy dodatkowo zwrócić uwagę na szereg czynników związanych z możliwościami wytwórczymi zakładu, obciążeniem stanowisk roboczych, kwalifikacjami pracowników do wykonywania określonych czynności, itp. Czynniki te można uwzględnić już na wstępie, podczas tworzenia macierzy zależności, poprzez pogrupowanie ich w określone zbiory działań. Zaletą takiego podejścia jest znaczące zmniejszenie wielkości macierzy, przeznaczonej do dalszej analizy.

5. Wnioski

W pracy przedstawiono możliwości związane z zastosowaniem macierzy zależności do dekompozycji procesów wytwórczych. Bazując na określonym przykładzie uzyskano podział na szereg, możliwych do niezależnej realizacji działań, których celem jest przede wszystkim racjonalizacja oraz skrócenie czasu realizacji procesu wytwórczego. Zaletą przedstawionej metody jest jej prostota, przejrzystość wykonywanych działań oraz dowolne konfigurowanie uzyskanego rozwiązania. Podstawową wadą jest wielkość macierzy w przypadku analizowania dużych procesów wytwórczych.

Literatura

- [1] Aggraval, R., Engineering Constraint Management Based on an Occurrence Approach, *Journal of Mechanical Design*, 1993, Vol. 115, pp. 103-109.
- [2] Babirecki W., Rohatyński R., Zagadnienia algorytmizacji obliczeń elementów i zespołów maszyn. Przykład walcowej sprężyny naciskowej, XIV Konferencja Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo, Warszawa, 2003, s. 45-53.
- [3] Babirecki W., Rohatyński R., Meta-algorytm obliczeń konstrukcyjnych w projektowaniu maszyn, XXII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wyd. Fundacji Rozwoju Akademii Morskiej, Gdynia – Jurata, 2005, s. 33-40.
- [4] Brzeziński M. (red.), Organizacja i sterowanie produkcją, Wyd. Placet, Warszawa, 2002.

- [5] Durlik I., Inżynieria produkcji. Strategia i projektowanie systemów produkcyjnych, Wyd. Placet, Warszawa, 2007.
- [6] Eppinger S., Model-Based Approaches to Managing Concurrent Engineering, ICED Zurich, 1991.
- [7] Pająk E., Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja, Wyd. PWN, Warszawa, 2006.
- [8] Rohatyński R., Babirecki W., A contribution to methodology of engineering calculations, Proceedings of the DESIGN 2006: 9th International Design Conference, Dubrovnik, 2006, Vol. 1, pp. 323-330.
- [9] Rohatyński R., Babirecki W., Formułowanie zadań optymalizacyjnych w projektowaniu maszyn. Część I. Dekompozycja i tworzenie algorytmów obliczeniowych, Acta Mechanica et Automatica, 2009, Vol. 3, No.2, pp. 74-76.
- [10] Świć A., Taranienko W., Projektowanie technologiczne elastycznych systemów produkcyjnych, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2003.

INVENTORY OPTIMIZATION USING THE DECOMPOSITION OF THE TIME SERIES

Gabriela IŽARÍKOVÁ¹, Peter TREBUŇA², Miriam PEKARČÍKOVÁ³,
Andrea PETRIKOVÁ⁴, Radko POPOVIČ⁵

The article deals with the optimization inventory levels in a commercial company using the decomposition of the time series. This methodology is applied in the case study, in which the goal was based on the development of sales in the previous period predicted future needs. This prediction serve as a basis for determining the optimal level of orders against minimizing costs associated with maintaining inventory and maintaining a high level of customer service.

1. Introduction

Modern decision making will not pass without scientific predictions without a foresight and perspective projects. In accordance with the evaluation of the fulfilment of the goals it is then possible to assess to what extent has affected forecast the result. Forecasting methods include the bridging principles, i.e. reasoning future based on knowledge of the present and the past. This principle was used in the case study for forecasting future developments using the decomposition of the time series.

It is necessary to define what high quality stock company must maintain in order to be able to best fulfill two conflicting tasks, i.e. meet customer requirements in time, which is related to sales growth and on the other to keep it at a level to minimize costs tied up in stocks and adversely affect the continuity of production, resp. sales.

Advantage in inventories is that they solve time, local, capacity and assortment discrepancy between production and consumption, also ensures the smooth production process and covers fluctuations in demand. Their main disadvantage is that bind the funds and the risk of their impairment, resp. excess of inventory.

¹ Mgr PhD; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: gabriela.izarikova@tuke.sk

² Doc. ing., PhD; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: peter.trebuna@tuke.sk

³ Ing., PhD; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: miriam.pekarcikova@tuke.sk

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

⁵ Ing.; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: radko.popovic@tuke.sk

2. Forecasting of future demand

In addition to analysis of the items it is a very important part of the process of inventory management forecasting future demand for individual products.

Qualitative forecasting methods

Qualitative methods are subjective, based on intuition and experience. They are used when the information on past demand insufficient, contradictory, expensive, or not significant. When qualitative methods are next interested buyers can examine for example, through questionnaires, resp. telephone or personal interviews, this method does not guarantee accurate results and is relatively expensive. Another method is educated guesses, i.e. estimates of sales representatives and experts from the area. The advantage of this method is its speed and that it is relatively cheap. The disadvantage of this method, certain personal variations, that depends on the quality of the addressed experts, resp. dealer.

Quantitative forecasting methods

Many businesses estimated future sales based on past sales. This is a short-term forecasting, thus forecasting horizon one month to one year. If forecasting using mathematical models and historical data, we are talking about quantitative methods, with two types of models:

- time series models - are used to identify trends, seasonal and cyclical factors that affect demand,
- causal models.

If a trend in demand or seasonal influences, or other types of cyclicity it is useful in analysing data from the past and forecasting the future adhere to following procedure:

- graphically depict demand/sales in the past for various periods,
- calculate seasonal factors for each period,
- purge data from seasonality and recognize the existence or absence of trends and determine the trend line,
- predict the average consumption for the next period reinstalled in trend curves.

If the trend does not exist or is insignificant, the average consumption forecast for the next period determined by a moving average for one year or by exponential smoothing. It has been established that there is seasonality, it is necessary to average forecasted consumption multiplied by the appropriate seasonal coefficient for given period. Time is the most important factor which ensures success in a business. It's difficult to keep up with the pace of time. But, technology has developed some powerful methods using which we can see things ahead of time. We are talking about the methods of prediction and forecasting. One such method, which deals with time based data, is Time Series Modelling. As the name suggests, it involves working on time (years, days, hours, minutes) based data, to derive hidden insights to make informed decision making.

3. Decomposition of the time series

This one-dimensional model can be written in the form $y_t = f(t, \varepsilon)$ where t is time, y_t is the value of a variable, ε is a random component. Time series decomposition involves separating a time series into several distinct components. There are three components that are typically of interest:

- T_t a deterministic, nonseasonal secular trend component. This component is sometimes restricted to being a linear trend, though higher-degree polynomials are also used;
- S_t and C_t a deterministic seasonal component with known periodicity. This component captures level shifts that repeat systematically within the same period (e.g., month or quarter) between successive years. It is often considered to be a nuisance component, and seasonal adjustment is a process for eliminating it;
- $I_t(\varepsilon)$ a stochastic irregular component. This component is not necessarily a white noise process. It can exhibit autocorrelation and cycles of unpredictable duration. For this reason, it is often thought to contain information about the business cycle, and is usually the most interesting component.

Division of the time series for each component is called decomposition. Presence of all four components in each time series is not required and depends on the nature of the observed effect. Creating an accurate prediction often requires separate summing up of the components ($T_t, S_t, C_t, \varepsilon$). Decomposition of time series into its individual components may be:

- *Additive decomposition*, where $y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon$.

This is the classical decomposition. It is appropriate when there is no exponential growth in the series, and the amplitude of the seasonal component remains constant over time. For identifiability from the trend component, the seasonal and irregular components are assumed to fluctuate around zero.

- *Multiplicative decomposition*, where $y_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot \varepsilon$.

This decomposition is appropriate when there is exponential growth in the series, and This decomposition is appropriate when there is exponential growth in the series, and the amplitude of the seasonal component grows with the level of the series. For identifiability from the trend component, the seasonal and irregular components are assumed to fluctuate around one.

- *Log-additive decomposition*, where $\log y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon$.

This is an alternative to the multiplicative decomposition. If the original series has a multiplicative decomposition, then the logged series has an additive decomposition. Using the logs can be preferable when the time series contains many small observations. For identifiability from the trend component, the seasonal and irregular components are assumed to fluctuate around zero.

You can estimate the trend and seasonal components by using filters (moving averages) or parametric regression models. We use an additive model where individual components of the model is independent of each other as if the amount of seasonal fluctuation does not affect the trend. The individual components have approximately the same variability for different values of the time series.

3.1. Model

The company since 2000, began selling the same product, its sales to gradually rise. Based on forecast sales of the company it wants to determine the size of orders in the future. Development of a number of products sold (thousand units) in the period since 2000 has grown each year (Fig.1).

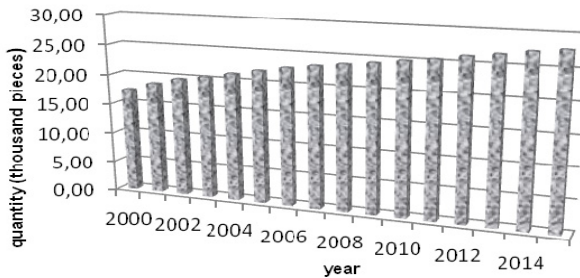


Fig. 1. Quantity of products sold in 2000-2015

To analyse the time series, we used present, which are listed in Table 1. The annual value of the quantity of product is growing but within the quarter to fluctuate. This data is graphically indicated by a line graph in Figure 2. From the graph it is possible to determine the presence of the components of the time series, we see that our range is growing and has also seasonality.

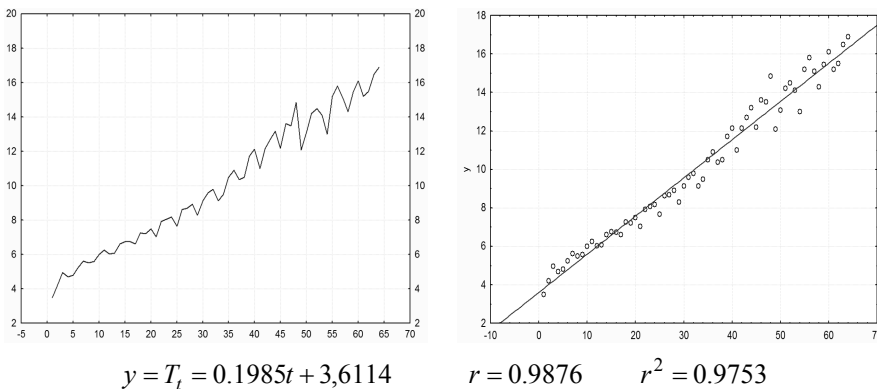


Fig. 2. Quantity of products sold - linear trend

Tab. 1. Quarterly data quantity of products sold in 2000-2015

year	quantity (th)	year	quantity (th)	year	quantity (th)	year	quantity (th)
2000	3,50	2004	6,61	2008	9,14	2012	12,08
	4,20		7,27		9,50		13,08
	4,96		7,21		10,49		14,20
	4,70		7,50		10,90		14,50
2001	4,80	2005	7,02	2009	10,37	2013	14,10
	5,25		7,92		10,50		13,80
	5,63		8,06		11,72		15,20
	5,50		8,17		12,14		16,00
2002	5,58	2006	7,65	2010	11,00	2014	15,10
	6,01		8,63		12,15		14,30
	6,25		8,69		12,70		16,45
	6,02		8,91		13,20		16,10
2003	6,07	2007	8,30	2011	12,18	2015	15,20
	6,61		9,12		13,61		16,31
	6,75		9,59		13,50		17,46
	6,74		9,80		14,85		16,89

The graphic presentation of quarterly data (Fig. 2) shows that there is sufficient balance for linear function (correlation coefficient $r^2 = 0.9753$) the equation is:

$$T_t = 0.1985t + 3,6114, \quad t = 1, 2, \dots$$

Knowing the behavior of the seasonal component is important, because the analysis will give us information about, seasonal fluctuations in the behavior of the output or other variables in less than one year. Periodic fluctuations can largely obscure dynamics of economic phenomena; this should be therefore called seasonal adjustment, which is intended to eliminate the seasonal component of the series examined.

In our case we remove seasonality using seasonal indices. Suppose multiplicative model without the cyclical component: $y_t = T_t \cdot S_t \cdot \varepsilon$. Time series adjusted by the shape of the trend: $y_t / T_t = S_t \cdot \varepsilon$ and reflects seasonal and random fluctuations. The average seasonal indices computed as the average of the values accruing to each season, all years

$$\frac{y_t}{T_t} = S_t \cdot \varepsilon, \quad S_{zi} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{y_t}{T_t}, \quad i = 1, 2, \dots, s.$$

The average seasonal indices reflect the relative degree of fluctuation values of the time series in the i -th season of the trend. The sum of the average seasonal indices should be equal to the number of seasons - s . If this condition is not met, the average seasonal indices are corrected. The rate of correction is given by:

$$k = s \left(\sum_{i=1}^s S_{zi} \right)^{-1}$$

Since we have quarterly quantity of products sold calculated average four seasonal indices, their sum should be approximately four.

Calculation of average seasonal indices divided between individual quarters:

$$S_{z1} = 0,9524, \quad S_{z2} = 0,9954, \quad S_{z3} = 1,0343, \quad S_{z4} = 1,0308,$$

$$S_{z1} + S_{z2} + S_{z3} + S_{z4} = 4,0129, \quad k = \frac{4}{4,0129} = 0,9968.$$

Average seasonally adjusted indices:

$$S_{z1} = 0,9494, \quad S_{z2} = 0,9922, \quad S_{z3} = 1,0309, \quad S_{z4} = 1,0275.$$

Seasonal adjustment is the process of estimating and then removing from a time series influences that are systematic and calendar related. Observed data needs to be seasonally adjusted as seasonal effects can conceal both the true underlying movement in the series, as well as certain non-seasonal characteristics which may be of interest to analysts. From the above analysis it is clear that the number of products sold during the reporting period of growth and in the second half of the year was higher than at the beginning. Graphical representation of empirical (observed) and theoretical (offset) the values are in Fig. 3.

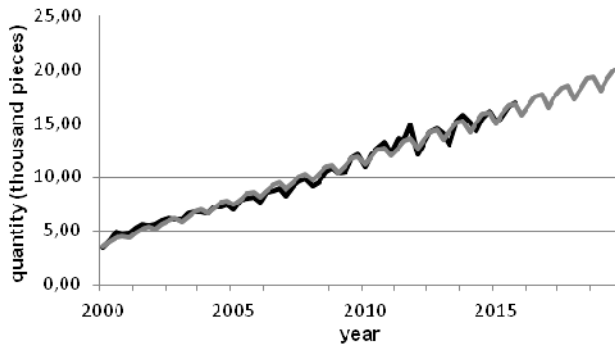


Fig. 3. Empirical and theoretical values quantity of products sold

The aim of decomposition of time series and forecasting of the values, observed phenomenon in other periods. Forecast for the following year in the case of quarterly data is computed using the following relations:

$$y_{n+1} = T_{t(n+1)} \cdot S_{z1} \quad y_{n+2} = T_{t(n+2)} \cdot S_{z2} \quad y_{n+3} = T_{t(n+3)} \cdot S_{z3}$$

$$y_{n+4} = T_{t(n+4)} \cdot S_{z4} \cdot$$

In Table 2 are the projections of quantity of products for each quarter of 2016. The projections of quantity of products for each quarter of 2016-2019 are in Figure 3. Sale of annual increase, but during the year will fluctuate.

Tab. 2. Projections of quantity of products for each quarter of 2016

Quarter 2016	I	II	III	IV
Trend	16,51	16,71	16,91	17,10
Seasonally adjusted indices	0,9494	0,9922	1,0309	1,0275
Forecast	15,73	16,64	17,49	17,64

Conclusion

Prediction of demand is needed for inventory management as inputs into the production process, the amount of work in progress as well as the volume of finished products. Also, its importance lies in the provision of information relating to the planned size of capacity, timing of the realization of auxiliary and service processes related to the supply, production and distribution. Predictions are generated by combining the experience and intuition of specialists with the help of statistical methods, as was done in that case study.

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, ISBN: 978-80-87539-40-8
- [2] Klos S., Patalas-Maliszewska J., *The impact of ERP on maintenance management*, Management and Production Engineering Review, 2013, Vol. 4, no. 3, s. 15-25
- [3] Tuček D., Tučková Z., Zámečník R., *Business Process Management with Software Support*. In Proceedings of the 13th International-Business-Information-Management-Association Conference: Knowledge Management and Innovation in Advancing Economies Analyses & Solutions, pp. 1060-1073, Norristown: IBIMA, 2009
- [4] Malindžáková M., Rosová A., Baranová V., Futó J., *Modelling of outbursts and ejections occurrences during steel production*, Metalurgija, 2015, Vol. 54, Issue 1, 1 January 2015, p.p. 247-250
- [5] Rosová A., *Analysis of corporate logistic processes and their modeling*, 1. Vyd. Ostrava, VŠB TU Ostrava, 2013. - 95 p. - ISBN 978-80-248-3206-7
- [6] Saniuk S., Saniuk A., *Rapid prototyping of constraint-based production flows in outsourcing*, in: Advanced Materials Research [online]. Trans Tech Publications, Switzerland, 2008, Vol. 44-46, p. 355-360, <http://www.scientific.net/0-87849-376-x/355/>, ISSN: 1022-6680
- [7] Saniuk S., Saniuk A., Lenort R., Samolejova A., *Formation and planning of virtual production networks in metallurgical clusters*, Metalurgija, 2014, 53 (4), pp. 725-727
- [8] Straka M., Bindzár P., Kaduková A., *Utilization of the multicriteria decision-making methods for the needs of mining industry*, Acta Montanistica Slovaca, Vol. 19, Issue 4, 2014, p.p. 199-206
- [9] Laciak M., Sofranko M., *Designing of the technological line in the SCADA system PROMOTIC*, Proceedings of the 2013 14th International Carpathian Control Conference, ICC 2013, Article number 6560538, p.p. 202-207
- [10] Vilamová Š., Besta P., Kozel R., Piecha M., Vaněk M., Samolejová A., Janovská K., Čech M., *Increasing the efficiency of production of iron by means of reduction of harmful elements*, Metalurgija, 2015, Vol. 54, Issue 4
- [11] Votava V., Ulrych Z., Edl M., Korecky M., Trkovsky V., *Analysis And Optimization Of Complex Small-Lot Production*, In New Manufacturing Facilities Based On Discrete Simulation. EMSS 2008: 20TH European Modeling And Simulation Symposium, p.p. 198-203, 17 – 19.9.2008, Amantea, ITALY, ISBN 978-88-903724-0-7

OCENA EFEKTYWNOŚCI WYBRANYCH NARZĘDZI PROJAKOŚCIOWYCH W DOSKONALENIU PROCESU PRODUKCYJNEGO

Julian JAKUBOWSKI¹, Waldemar WOŹNIAK²,
Łukasz SZASZKIEWICZ³, Witold NAWROCKI⁴

W artykule przedstawiono wpływ zastosowania wybranych narzędzi i metod zarządzania jakością na proces doskonalenia działalności przedsiębiorstwa produkcyjnego Johnson Controls Polska. Wykazano, że trwale i ciągle doskonalenie jakości może być osiągnięte tylko przez kierowanie wysiłków organizacji na planowanie i zapobieganie problemom pojawiającym się u źródła. Na podstawie analizy COPQ wykazano wzrost kosztów jakości w wyniku czego zaczęto poszukiwać metod rozwiązania problemu. Przeanalizowano kilka narzędzi i metod projakościowych wskazując na efektywność ich stosowania a tym samym na doskonalenie całego procesu.

1. Wstęp

We współczesnej gospodarce jakość produktów stanowi kluczowe kryterium wpływające na sukces przedsiębiorstwa. Coraz więcej firm wdraża kompleksowe systemy zarządzania jakością w celu doskonalenia poziomu pracy, procesów oraz produktów. Trwale i ciągle doskonalenie jakości osiągnane jest poprzez kierowanie wysiłków na planowanie oraz zapobieganie problemom pojawiającym się u źródła. Aby zapewnić odpowiednią jakość wytwarzanych wyrobów kładzie się coraz większy nacisk na planowanie jakości, szkolenia, poprawę procesu, a także wyrobu oraz zaangażowanie ludzi. Doskonalenie i poprawa jakości wymaga nie tylko znajomości oczekiwań klienta, ale także zbierania danych z procesów.

Narzędzia zarządzania jakością służą do zbierania i przetwarzania danych związanych z różnymi aspektami Jakości [2]. Do tradycyjnych narzędzi zarządzania jakością zalicza się: schemat blokowy, diagram Ishikawy, diagram Pareto-Lorenza, histogram, karty kontrolne Shewharta, wykres korelacji zmiennych i arkusze kontrolne [2,3,6]. Narzędzia te stosowane są zazwyczaj jako składnik metod zarządzania jakością, ale też mogą być stosowane samodzielnie (Rys. 1).

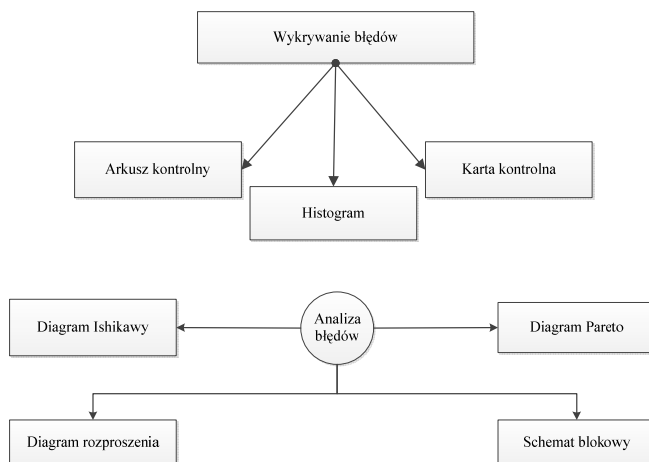
¹ dr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: j.jakubowski@iizp.uz.zgora.pl

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

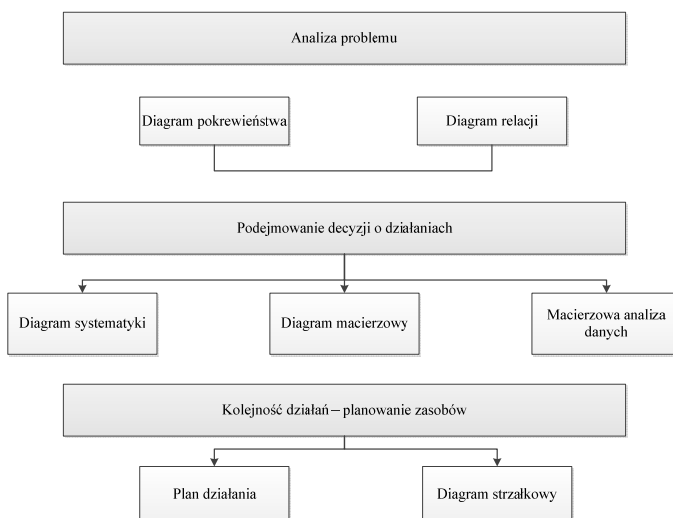
³ inż.; Johnson Controls Polska

⁴ inż.; Toyota Motor Manufacturing Poland Sp. z o.o.

Nowe narzędzia jakościowe (Rys. 2), mają korzenie w technikach organizatorskich. Określane są one jako „nowe”, ponieważ stanowią uzupełnienie narzędzi tradycyjnych i są na nowo odkrywane w zarządzaniu jakością. Zalicza się do nich: macierzową analizę danych, diagram pokrewieństwa, wykres programu decyzyjnego (plan działania), diagram relacji, diagram systematyki, diagram strzałkowy (sieć działań) i diagram macierzowy [1,4]. Przydają się do przetwarzania danych w procesach przedprodukcyjnych, w badaniach preferencji oraz opinii klientów, projektowania wyrobów, itp.



Rys. 1. Tradycyjne narzędzia zarządzania jakością [2]



Rys.2. Nowe narzędzia jakościowe [2]

W artykule przedstawiono doskonalenie procesów produkcyjnych za pomocą narzędzi projakościowych używanych w firmie Johnson Controls Polska. W firmie od szeregu lat stosowany jest cykl Deminga. W pierwszym etapie wytypowano elementy generujące najwyższe wartości ujemne, przeprowadzono szczegółową analizę i zaproponowano w kolejnych etapach wprowadzenie działań korygujących. W tym celu zastosowano narzędzia służące do sprawdzenia stanu obecnego, takie jak analiza kosztów złej jakości COPQ czy analiza Pareto Lorenza, a następnie przeprowadzono analizę mającą na celu wskazanie przyczyny źródłowej odchyleń. Efektem jest opis skutecznego procesu redukcji kosztów złej jakości, jednocześnie będącego częścią ciągłego cyklu doskonalenia.

2. Charakterystyka obiektu analizy

Firma Johnson Controls Polska w Świebodzinie, były zakład KEIPER Polska, specjalizuje się przede wszystkim w produkcji stelaży siedzisk samochodowych oraz ich części (oparcia, siedziska). Produkuje również komponenty służące do regulacji pozycji siedzisk. Są one zarówno półproduktem w produkcji większych struktur jak i sprzedawanym produktem.

W artykule przedstawiono rozwiązywanie problemów jakościowych na przykładzie produktu przeznaczonego do samochodu marki Volkswagen, modelu Sharan (II). Finalnym produktem jest stelaż siedziska przeznaczony dla drugiego rzędu siedzisk (Rys. 3), uzbrojony w elementy mocujące do podłogi samochodu, mechanizmy ryglujące, ustalające pozycję fotela np. w pozycji przeznaczonej dla pasażera czy pozycji złożonej, powiększającej przestrzeń bagażową. Gotowy produkt jest przeznaczony do dalszej zabudowy w tapicerkę oraz pozostałe elementy takie jak zagłówki, pasy bezpieczeństwa, poduszki powietrzne, systemy podgrzewające siedzenia oraz elektronikę niezbędną do obsługi wcześniej wymienionych elementów.



Rys. 3. Widok stelażu siedziska, przeznaczonego dla drugiego rzędu siedzeń w samochodzie VW Sharan (II)

Proces technologiczny wyrobu składa się z następujących operacji:

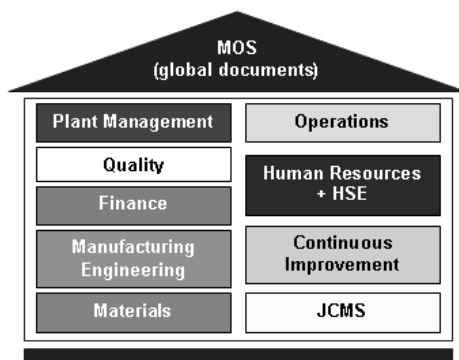
- spawania laserowego,
- spawania metodą MIG,
- nitowania,
- prasowania,
- klejenia,
- lakierowania elektrokatodowego.

Wszelkie procesy w zakładzie Johnson Controls Świebodzin, zostały oparte o metodologię Lean (lean manufacturing lub lean management) dążącej do minimalizacji strat, przekładając się na wzrost wydajności przedsiębiorstwa za pomocą narzędzi takich jak TPM, 5S, VSM czy SMED.

Ważną metodą w zarządzaniu w firmie jest również metodologia Kanban odnosząca się w tym przypadku przede wszystkim do gospodarki magazynowej oraz strumienia przepływu materiału.

3. Analiza stanu aktualnego w zakresie zarządzania jakością w przedsiębiorstwie

Wszelkie procedury oraz narzędzia jakościowe zostały zdefiniowane poprzez procedury korporacyjne ujęte pod nazwą BOS – Business Operating System. System ten jest podzielony na cztery filary, z których to jeden MOS – Manufacturing Operating System definiuje procedury związane z wytwarzaniem produktu.



Rys. 4. MOS - jeden z czterech filarów systemu zarządzania w przedsiębiorstwach Jonson Controls [5]

Na rysunku 4 przedstawiono podział filaru MOS na wytyczne dla poszczególnych komórek zakładu oraz na działy związane z zarządzaniem przedsiębiorstwem:

- plant management – zarząd zakładu,
- quality – dział jakości,

- finance – dział kontrolingu/księgowość,
- manufacturing engineering – dział zarządzania produkcją,
- operations – dział zarządzania operacyjnego,
- human resources – dział kadr,
- continuous improvement – dział optymalizacji,
- johnsons control manufacturing system – zbiór narzędzi oraz wytycznych w zarządzaniu jednostką produkcyjną.

Jednocześnie wszystkie procedury korporacyjne są skonstruowane zgodnie z wymaganiami ISO-9000, a w przypadku zakładów z branży motoryzacyjnej ISO-16949, procedury są również dostosowywane do specyficznych wymagań klienta [7]. Wprowadzony jest również system QSB wg. wymogów GM, którego elementy są stale wykorzystywane:

1. Fast Response,
2. Nonconforming Product,
3. Verification Stations,
4. Standardized Operations,
5. Standard Operator Training,
6. Error Proof Verification,
7. Layered Process Audits,
8. Risk Reduction,
9. Contamination Control,
10. Supply Chain Management,
11. Managing Change,

jak również pozostałe narzędzia oraz wskaźniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością:

12. Analiza PPM,
13. COPQ,
14. SPC,
15. Analiza Pareto Lorenza,
16. CAQ,
17. 8D,
18. Trójkąt jakościowy.

Fast Response – natychmiastowa reakcja. W tym celu stworzono narzędzie zbliżone do 8D skupiające się na szukaniu rozwiązania problemu, zawiera przeznaczone do tego narzędzia takie jak diagram Ishikawy (rybiej ości), czy 5xWhy?

Raport ten odnosi się do problemu jaki powstał u odbiorcy produktu, na linii produkcyjnej lub u dostawcy komponentów. Jak sama nazwa wskazuje wspomaga szybkie i prawidłowe reagowanie na powstałe problemy. Wzór dokumentu (Rys. 5 i 6), przedstawia ustandaryzowaną wersję obowiązującą w przedsiębiorstwie.

Johnson Controls		RAPORT ROZWIĄZYWANIA PROBLEMÓW			
Nr raportu: _____ (projekt rr-mm-dd-hh-mm)		Załącznik: M. Grela Wydruk: A. Bartel			
Projekt _____ AFO _____		Przyczyna mobilnych trudności? 1. _____ 2. _____			
Data otwarcia (usunąć jest powyżej)		Na jakim etapie (D1...D8)? 1. _____ 2. _____			
D1 Właściciel problemu		Moderator			
Telefon właściciela problemu (usunąć)		Team projektowy wg. listy LOP. W przypadku innych osób należy wisać imię i nazwisko.			
D2 Opis problemu		Nr reklamacji: _____ Czas/Postój linii _____ Nr części: _____ Nazwa części: _____			
D3 Środki zabezpieczające (czas do zamknięcia 24h)		Osoba odpowiedzialna			
<input type="checkbox"/> Kontrola stanów magazynowych wyrobów gotowych <input type="checkbox"/> Kontrola stanów magazynowych u klienta <input type="checkbox"/> Kontrola stanów magazynowych części pojedynczych <input type="checkbox"/> Kontrola części w toku produkcyjnym (bufor międzystanowiskowy) <input type="checkbox"/> Wprowadzenie 100% kontroli w procesie produkcyjnym Nr. Auftrag..... Vorgabe..... <input type="checkbox"/> Prace poprawkowe <input type="checkbox"/> inne (podać jakie)		Data otwarcia			
		Data zamknięcia			
		Nr dokumentu			
D4 Analiza potencjalnych przyczyn Ishikawa (2 dni)					

Rys. 5. Wzór dokumentu Fast Response używany w JC Świebodzin



RAPORT ROZWIĄZYWANIA PROBLEMÓW

D4 Analiza przyczyny źródłowej:
 Przy pierwszym Dlaczego? Wpisz potencjalną przyczynę

Dlaczego?

dlatego, że

Dlaczego?

dlatego, że

Dlaczego?

dlatego, że

Dlaczego?

dlatego, że

Dlaczego?

Przyczyna źródłowa:

D5 Środki korygujące (czas do zamknięcia 7 dni)

Odpowiedzialny	Data zamknięcia	Czy działania skuteczne?
<input type="text"/>	<input type="text"/>	TAK / NIE
<input type="text"/>	<input type="text"/>	TAK / NIE
<input type="text"/>	<input type="text"/>	TAK / NIE
<input type="text"/>	<input type="text"/>	TAK / NIE
<input type="text"/>	<input type="text"/>	TAK / NIE
<input type="text"/>	<input type="text"/>	TAK / NIE

D6 Sposób weryfikacji skuteczności działań (czas do zamknięcia 2 dni – 10 dni czas weryfikacji)

Ocena skuteczność działań 10 dni roboczych

1	2
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>

D7 Środki zapobiegawcze/prewencyjne (czas do zamknięcia 2 dni)

Odpowiedzialny	Data zamknięcia	Czy działania skuteczne? Usunięte
<input type="text"/>	<input type="text"/>	TAK / NIE
<input type="text"/>	<input type="text"/>	TAK / NIE
<input type="text"/>	<input type="text"/>	TAK / NIE

Zaktualizowano:

- Flow chart
- Instrukcja pracy
- Instrukcja kontroli
- Plan przeglądu maszyn
- Plan kontroli
- Instrukcja kontroli
- FMEA

Czy problem wystąpił ponownie? TAK / NIE

Po ilu dniach wystąpił problem? (usunąć) Jeśli TAK, to kiedy?

D8 Potwierdzenie zamknięcia problemu (do zamknięcia problemu wymagane są podpisy wszystkich członków Grupy Projektowej)

AV QS

Produkcja Logistyka

Data zamknięcia problemu: Podpis właściciela problemu: Podpis Moderatora: Podpis Championa:

Rys. 6. Wzór dokumentu Fast Response używany w JC Świebodzin

Nadzór nad wyrobem niezgodnym: wszystkie części uznane za podejrzane lub niezgodne zostają oznaczone kartką o odpowiednim kolorze (Rys. 7), z opisem wady oraz opisanymi danymi, takimi jak nr części, data produkcji, zmiana, itd. Kolorem czerwonym zostają oznaczone części niezgodne. Żółtym części podejrzane, do analizy lub do poprawy. Zielony jest używany dla części zgodnych. Karty koloru zielonego wykorzystuje się głównie jako karty sterujące w przekazywaniu wyrobu zgodnego do dalszej produkcji pomiędzy stanowiskami. Wszystkie części niezgodne lub podejrzane trafiają do odpowiednich pojemników umieszczonych obok stanowisk pracy, o takich samych kolorach jak opisy. Firma JC Świebodzin, dąży do ograniczenia dostępu do wyrobów niezgodnych przez osoby trzecie, tym samym pojemniki są odpowiednio zamykane, a możliwość ich otworzenia mają jedynie wyznaczone osoby, co ogranicza możliwość niekontrolowanego powrotu produktu niezgodnego do procesu produkcyjnego. Rozwiązanie zamykanych skrzyń jest wprowadzane pilotażowo wraz z uruchomieniem nowego projektu.

Dobre	Zatrzymane	ZŁOM
Projekt	Projekt	Projekt
Nr części	Nr części	Nr części
Ostatnia operacja - AFO	Ostatnia operacja - AFO	Ostatnia operacja - AFO
Data / Zm / Nr personalny	Ilość	Data / Zm / Nr personalny
Ilość	Data / Zm / Nr personalny	Ilość
Uwagi	Przyczyna - opis	Przyczyna - opis
	<input type="checkbox"/> Decyzja klienta <input type="checkbox"/> Zwrot do dost. <input type="checkbox"/> 100% Kontroli <input type="checkbox"/> Zwrot od klienta <input type="checkbox"/> Przepakowanie <input type="checkbox"/> Naprawa	

Rys 7. Karty sterujące, służą do oznaczania produktów o dobrej jakości (kolor zielony - przeznaczone do dalszej produkcji) podejrzanej (kolor żółty - przeznaczone do weryfikacji) lub złej jakości (kolor czerwony - wyrób niezgodny)

Ważnym elementem w procesie zarządzania było wprowadzenie współczynnika COPQ Jest to współczynnik kosztów złej jakości w stosunku do sprzedaży, raportowany w zadanym interwale czasowym. W skład obliczanego wskaźnika wchodzi koszty poprawy części oraz dodatkowych, niezaplanowanych w stanowiskowym takcie pracy czynności wynikających ze złej jakości produktu, części wadliwych niepodlegających poprawie - wyrzucanych, złomowanych. Są to również koszty ponoszone zarówno wewnątrz zakładu jak i na zewnątrz - u klienta, którymi to zakład jest obciążany ze względu na złą jakość produktów jak np. sortowania, opóźnienia w produkcji spowodowane złą jakością produktu, czy ich poprawa.

W zakresie SPC, w firmie stosowane są dwa wskaźniki: C_p oraz C_{pk} . C_p - wskaźnik zdolności procesu obliczany ze wzoru (1), służy do oceny procesu długoterminowego w produkcji seryjnej. Warunkiem granicznym zdolności procesu, przyjętym w przemyśle jest $C_p \geq 1.33$. Jednak w przypadku wysokich wymagań przemysłu motoryzacyjnego, wymaga się wskaźnika $C_p \geq 1.66$.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \delta} = \frac{T}{6 \delta} \quad (1)$$

Gdzie USL - górna granica specyfikacji; LSL - dolna granica specyfikacji; δ - odchylenie standardowe zmienności własnej procesu.

C_{pk} - wskaźnik wycentrowania procesu, jest stosunkiem wartości średniej zebranych pomiarów, a brzegiem linii tolerancji, obliczany wg wzoru (2). Wartość tego wskaźnika musi być przynajmniej równa C_p .

$$C_{pk} = \frac{\min(|\bar{x} - LSL|, |USL - \bar{x}|)}{3 \delta} \quad (2)$$

Przedsiębiorstwo stosuje także metodykę 8D. Jest to stosowany w branży samochodowej raport, np. w przypadku reklamacji, przedstawiający najważniejsze z punktu widzenia klienta punkty działań po reklamacyjnych, takich jak działania korekcyjne, analiza źródłowa problemu, działania zapobiegawcze. Przykładowy formularz 8D używany w JC Świebodzin jest dokumentem ustandaryzowanym i obowiązującym w całym przedsiębiorstwie (Rys. 8).

Dodatkowo firma stosuje metodykę tzw. trójkąta jakościowego (Rys. 9). Wizualizacja statusu jakościowego, z każdego miesiąca, odbywa się poprzez zaznaczenia odpowiednim kolorem kolejnych trójkątów oznaczających dni miesiąca. Kolor zielony – oznacza brak problemów jakościowych. Kolor niebieski – oznacza problemy wewnętrzne, problemy jakościowe, które spowodowały zatrzymanie procesu produkcyjnego oraz stanu magazynowego celem kontroli. Kolor czerwony - oznacza zgłoszenie jakościowe od klienta – odbiorcy produktu.

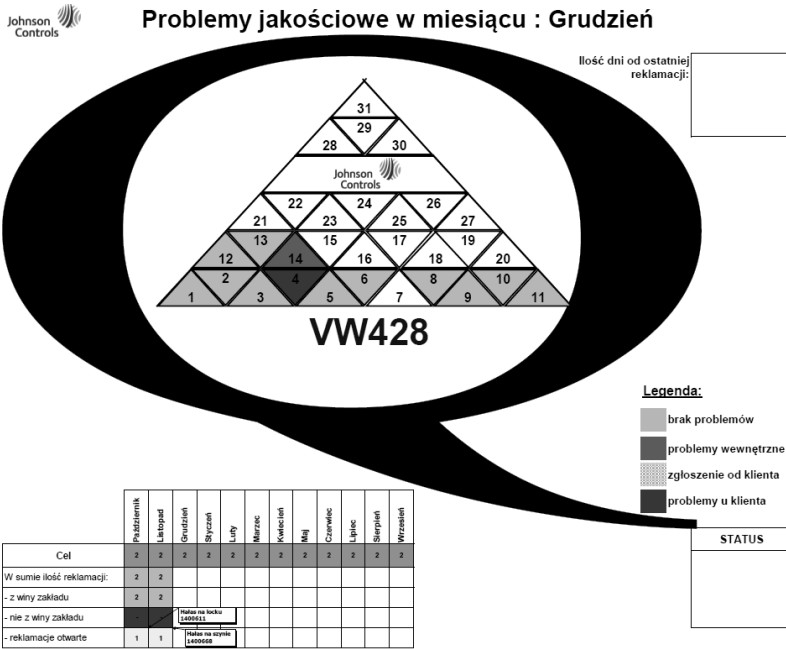
Źródłem potrzeby doskonalenia procesów produkcyjnych jest to, iż wytwarzanie produktów o określonej jakości wiąże się z większymi bądź mniejszymi kosztami, związanymi przede wszystkim z faktem niespełnienia określonych wymogów jakościowych lub podwyższonym kosztem procesów wymaganych do ich osiągnięcia. W obu przypadkach istotnym jest ustalenie przyczyny źródłowej wystąpienia takiego zjawiska. W większości przedsiębiorstw produkcyjnych wykorzystuje się narzędzia projakościowe do analizy i oceny procesu produkcyjnego oraz do wykrycia i wskazania przyczyn powstawania nadmiernych kosztów powodowanych brakami, do których należy następnie zastosować działania korygujące i zapobiegawcze, które w przyszłości pozwolą na uniknięcie podobnych wad i niezgodności [1].

8D Formularz rozwiązywania problemu

Projekt: _____ Data wystąpienia problemu: _____ Advanced Development
 AFO: _____ 4D Termin wykonania: _____ Concept Development
 Nr. Części _____ 8D Termin wykonania: _____ Product Definition
 Nazwa części _____ Data zamknięcia: _____

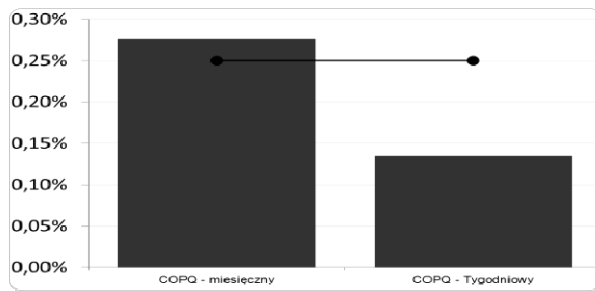
1. Team Members/ Team	Imię i nazwisko moderatora	Stanowisko moderatora	Numer telefonu moderatora	E-mail moderatora
	Osoba odpowiedzialna za problem	Stanowisko osoby odpowiedzialnej za problem	Numer telefonu osoby odpowiedzialnej za problem	E-mail Address(es)
2. Problem Description / Opis problemu	Description (Describe issue in terms of what, where, when and how many) / Opis problemu (Co, Kiedy, Gdzie, Jak)			
	Impact on Customer (Identify the potential for shut down, line interruptions, yard recalls, warranty, etc..) / klienta (postoj linii, zatrzymanie wysyłki itp.) 			
	Zaangażowane zakłady (Klient, JCI i dostawca)			
3. Interim Containment/ Działania natychmiastowe	What actions were taken to immediately protect the customer and contain any suspect inventory? / Jakie środki zabezpieczające zostały podjęte, aby zabezpieczyć klienta przed otrzymaniem podejrzanych części?			
	Other Product/Platform at Risk ? / Inne produkty, zagrożone?		Identification of certified material ? Identyfikacja materiału zgodnego?	
	Sorting Results (Time, Date, Total Number Sorted and Quantity Rejected) / Wynik sortowania (godzina, data, całkowita liczba sortowanych części i liczba części odrzuconych)			
	Sorted #	Defect #	Interim Containment Start Date	
4. Root Cause / Zródłowa przyczyna	ROOT CAUSE/ Zródłowa przyczyna			
	Why Made & How Verified / Dlaczego powstał problem i jak został zweryfikowany?			

Rys. 8. Przykładowy wzór dokumentu 8D używany w JC Świebodzin



Rys. 9. Trójkąt jakościowy – wzór stosowany w firmie Johnson Controls

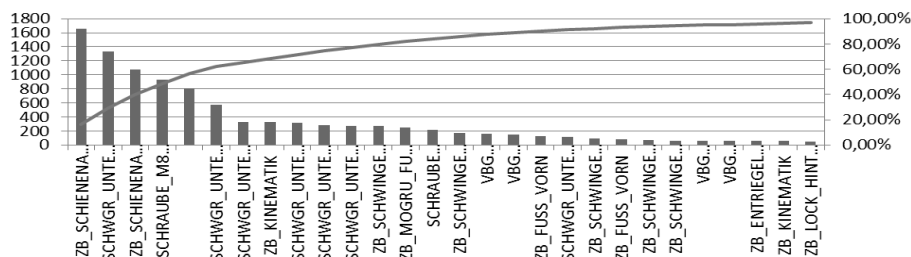
Jednym z elementów rozpoczynających analizę stanu faktycznego opisanego projektu jest comiesięczny przegląd wskaźnika COPQ (Rys. 10), który wykazał przekroczenia określonego celu dla kosztów wynikających z produktów wadliwych, które zostały ześlomowane. Zostaje on uznany jako punkt wyjściowy do prowadzenia dalszej analizy przyczyn.



Rys. 10. Wynik wskaźnika COPQ w miesięcznym oraz tygodniowym interwale czasowym

Wykorzystując Analizę Pareto Lorenca (Rys. 11) określono produkty, których wady jakościowe stanowiły główną przyczynę wysokich kosztów złomu. W tym celu zebrano dane z okresu 5 tygodni, następnie zestawiono je w tabeli i zsumowano

wartości przyporządkowując je do technicznych nazw zespołów części. Analizie kosztów złej jakości podlegają przede wszystkim zespoły części, nie pojedyncze elementy.



Rys. 11. Wykres Pareto Lorenca wskazujący, które części mają największy wpływ na wysokie koszty złomu.

Założeniem analizy Pareto Lorenca jest stwierdzenie, że 20% wad powoduje 80% kosztów. Założenie nie do końca sprawdziło się w tym przypadku, jednak metoda bardzo wyraźnie wskazała 3 elementy (Tab. 1), których defekty w znacznym stopniu składają się na wysokie koszty złomu.

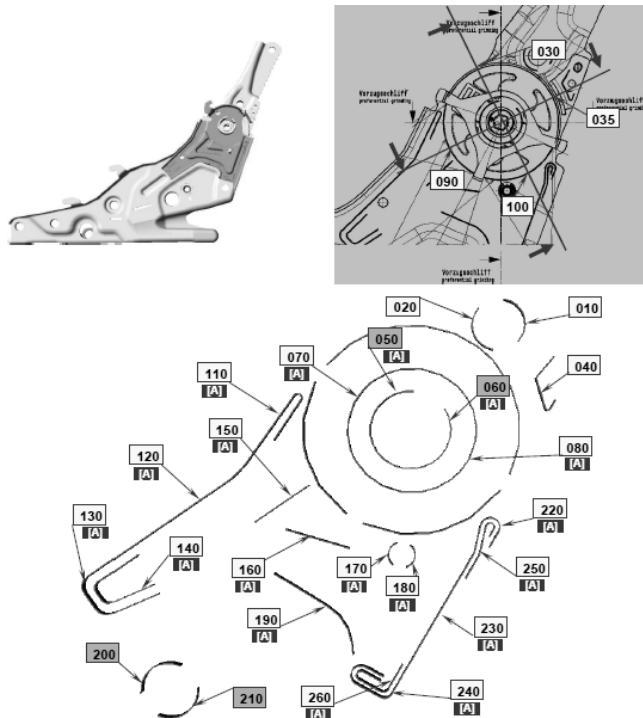
Tab. 1. Elementy o największym udziale w kosztach złej jakości.

Nazwa zespołu części	Wartość wy złomowanych elementach przedstawiona w procentach
ZB_SCHIENENADAPTER LI	16,16%
SCHWGR_UNTERBAU_MS	12,95%
ZB_SCHIENENADAPTER RE	10,51%



Rys. 12. Części poddane szczegółowej analizie

Znając już elementy, które były powodem największych strat przeprowadzono szczegółową analizę części: „ZB_SCHIENENADAPTER” oraz „LI ZB_SCHIENENADAPTER RE”. „SCHWGR_UNTERBAU_MS”



Rys. 13. Mapa spoin na elemencie „LI ZB_SCHIENENADAPTER RE” każda spoina ma przypisany numer, długie spoiny są dzielone na 3cm fragmenty, do których przypisuje się numery

Detale te są spawane są na stanowiskach spawania laserowego, gdzie wykorzystywany jest system LWM – Precitec. W przypadku części SCHIENENADAPTER wady spoin pojawiały się w pozycjach przedstawionych na rysunku 13 pod numerami: 10; 20 30; 35; 90; 100. Połączenia te oznaczone cechą bezpieczeństwa [CC] wpływają na funkcję zespołu. Tym samym poprawa ich jest niedozwolona. W dalszej kolejności została wykorzystana analiza Fast Respons w odniesieniu do wskazanych wad. Została ona przeprowadzona na ustandaryzowanym dokumencie używanym w JC Świebodzin. Każdy z punktów arkusza zawierał wytyczne, informacje, które powinny zostać w nich zawarte. Uzupełniano tylko te punkty, które mają znaczenie dla opisu problemu lub są znaczące dla rozwiązania. Jednakże każdy punkt powinien zawierać maksymalną ilość dostępnych informacji. W przypadku diagramu rybiej ości oraz analizy 5xWhy najbardziej znaczące informacje zostały oznaczone na czerwono. Przykładowy

dokument będący efektem zrealizowanych czynności przedstawiono na rysunku 14. Podobną analizę przeprowadzono dla pozostałych elementów.

D4 Analiza przyczyn źródłowej: Przy pierwszym Dlaczego? Wpisz potencjalną przyczynę Dlaczego? <u>zabrudzenia elementów pozycjonujących części; zurzycie elementów pozycjonujących.</u> ↓ dlatego, że Dlaczego? <u>Duża ilość odprysków spawalniczych w gniazdach; uszkodzenia elementów spawalniczych powodowane wiązką lasera.</u> ↓ dlatego, że Dlaczego? <u>z założenia spawanie laserowe jest bezodpryskowe; że dobrany materiał nie wystarczająco odporny na temperaturę, przesunięcia pozycji spawów</u> ↓ dlatego, że Dlaczego? <u>Błąd konstrukcyjny.</u> ↓ dlatego, że Dlaczego? ↓ Przewidywana przyczyna źródłowa: <u>Błąd konstrukcyjny</u>																								
D5 Środki korygujące (czas do zamknięcia 7 dni)		Odpowiedzialny	Data zamknięcia	Czy działania skuteczne? TAK / NIE																				
wprowadzenie czyszczenia oraz przeglądu gniazd pozycjonujących		Dział AV	24.11.2014	TAK / NIE																				
Zaprojektowanie bardziej odpornych elementów, oraz ich wymiana		Dział AV	24.11.2014	TAK / NIE																				
				TAK / NIE																				
				TAK / NIE																				
D6 Spósb weryfikacji skuteczności działań (czas do zamknięcia 2 dni + 10 dni czas weryfikacji)																								
Obserwacja ilości występujących wadliwych spoin na podstawie danych z systemu Precitec		Ocena skuteczności działań 10 dni roboczych																						
		<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>OK</td> <td>2</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>OK</td> <td>4</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>OK</td> <td>6</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>OK</td> <td>8</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>OK</td> <td>10</td> <td>OK</td> </tr> </table>			1	OK	2	OK	3	OK	4	OK	5	OK	6	OK	7	OK	8	OK	9	OK	10	OK
1	OK	2	OK																					
3	OK	4	OK																					
5	OK	6	OK																					
7	OK	8	OK																					
9	OK	10	OK																					
D7 Środki zapobiegawcze/prewencyjne (czas do zamknięcia 2 dni)		Odpowiedzialny	Data zamknięcia	Czy działania skuteczne? Usunięte TAK / NIE																				
dodanie czyszczenia stanowika do kroków pracy operatora maszyny oraz umieszczenie opisanie tego w instrukcji.		Dział AV	1.12.2014	TAK																				
Dodanie przeglądu pod względem zurzycia oraz czystości docisków do planu przeglądu maszyn		Dział AV	1.12.2014	TAK																				
Zaktualizowano:																								
Flow chart <input type="checkbox"/>																								
Instrukcja pracy <input checked="" type="checkbox"/>		Czy problem wystąpił ponownie? NIE _____																						
Instrukcja kontroli <input type="checkbox"/>																								
Plan przeglądu maszyn <input type="checkbox"/>																								
Plan kontroli <input type="checkbox"/>																								
Instrukcja kontroli <input type="checkbox"/>																								
FMEA <input checked="" type="checkbox"/>																								
D8 Potwierdzenie zamknięcia problemu (do zamknięcia problemu wymagane są podpisy wszystkich członków Grupy Projektowej)																								
AV _____		QS _____																						
Produkcja _____		Logistyka _____																						
Data zamknięcia problemu: _____		Podpis właściciela problemu: _____																						
		Podpis Moderatora : _____																						
		Podpis Championa: _____																						

Rys. 14. Analiza Fast Response dla elementu „LI ZB_SCHIENENADAPTER RE”

4. Dyskusja i wnioski

Po wprowadzeniu zmian w procesie ponownie przeprowadzono analizę na bazie danych z kolejnych 5 tygodni, które zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Trzy elementy o największym udziale w kosztach złej jakości.

Nazwa elementu	Procentowy spadek kosztu złomu w stosunku do poprzedniej analizy
ZB_SCHIENENADAPTER LI	43%
SCHWGR_UNTERBAU_MS	53%
ZB_SCHIENENADAPTER RE	27%

Widoczny był znaczący spadek wartości złomu, tym samym działania można uznać za skuteczne. Opisywane wcześniej elementy wciąż jednak generują koszty związane ze złomowaniem części niezgodnych. Jednak w myśl zasady Continuous Improvement analiza powinna rozpocząć się ponownie od zestawienia listy kosztów złomu z całego projektu, wykonania analizy Pareto Lorenca, następnie wytyczenia aktualnych celów i rozpoczęcia dla nich szczegółowej analizy przyczyn.

Przedstawiona analiza wykorzystania szeregu narzędzi jakościowych pomocnych w rozwiązywaniu danego problemu okazała się bardzo przydatna. Każde z zawartych w niej narzędzi ma konkretne zadanie jak np. wskazanie głównych problemów w przypadku analizy Pareto. Diagram rybiej ości zmusza do szukania przyczyn w różnych częściach składowych procesu, zamiast skupiania się na jednym, który początkowo wydaje się oczywisty. Metoda 5Why przyczynia się do coraz głębszej analizy problemu, aż do znalezienia jego przyczyny źródłowej. Jednocześnie narzędzia te mogą być elastycznie wykorzystywane, jeżeli dany problem nie wymaga wykorzystania jednego z nich, nie ma potrzeby tworzenia analizy, która i tak nie da żadnej odpowiedzi. W przypadku analizy przyczyny źródłowej 5xWhy, głównym założeniem jest pięciokrotne, kolejne zadawanie pytania dlaczego powstał błąd. Jednak doprowadzając analizę do momentu, w którym napotykamy problem, którego rozwiązanie jest zbyt pracochłonne w porównaniu do oczekiwanych efektów. Sens dalszego rozpisywania jest znikomy. Tutaj można przytoczyć przykład, kiedy to struktura organizacyjna i niesprecyzowane procedury spowodowały powstanie błędu. Teoretycznie wskazuje to punkt do usprawnienia, jednak nie z poziomu inżyniera zajmującego się danym problemem w procesie produkcyjnym.

Powstaje pytanie czy korzystanie z gotowych, złożonych narzędzi jakościowych jakim jest arkusz Fast Respons w ogóle ułatwia pracę. Owszem, ponieważ mimo konieczności uzupełniania informacji, które nie zawsze są wykorzystywane, pomaga on układać i systematyzować rozwiązywanie problemów. Przypomina o punktach ważnych, jak weryfikacja, sprawdzenie czy problem się nie powtarza, zanim

działania zostaną zamknięte. Zmusza do próby wykorzystania narzędzi jakimi są 5Why oraz Diagram Ichikawy, które mogą pozornie nie przynosić korzyści, jednak każdorazowa próba wypełniania, może naprowadzić na rozwiązania których, wcześniej nie brało się pod uwagę.

Ważnym punktem jest dokumentowanie działań, które później mogą być podstawą do wykorzystania rozwiązań ponownie na zasadzie „Lessons Learned”, przemyślenie jakie wnioski można wyciągnąć z rozwiązanego danego problemu oraz czego to uczy. Udokumentowane działania dają możliwość każdorazowego powrotu do nich, ponownej analizy i wyciągania wniosków lub wykorzystania tych samych rozwiązań w podobnych przypadkach.

Świadome korzystanie z narzędzi jakościowych, prowadzi do ich elastycznego wykorzystywania, przystosowywania i używania w różnych sytuacjach w zależności od potrzeby, pomimo wymaganego schematu działań. Takie podejście nie tylko ułatwia pracę, ale jednocześnie może prowadzić do rozwoju narzędzi oraz technik doskonalenia procesów.

Literatura

- [1] Durlik I., *Inżynieria Zarządzania. Strategia i projektowanie systemów produkcyjnych*, cz. 1 i 2, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1996.
- [2] Hamrol A., Mantura W., *Zarządzanie Jakością. Teoria i praktyka*. PWN, Warszawa, 2005.
- [3] Hiroyuki Hirano, *5 Pillars of the Visual Workplace. The Sourcebook for 5S Implementation*. New York: Productivity Press, 1995.
- [4] Kraszewski R., *Nowoczesne Koncepcje Zarządzania Jakością*, TNOiK, Toruń, 2006.
- [5] Materiały szkoleniowe udostępnione dostawcom branży motoryzacyjnej, z zakresu Lean Management, QSB, ISO.
- [6] Mikiharu Aoki, *Jak działa fabryka Toyoty*, *Shinsei Consulting Sp. z o.o.* Sp.k., Poznań 2013, ISBN 978-83-936049-0-6.
- [7] VDA 6.3, *Quality Management in the Automotive Industry*, June 2010.

REORGANIZACJA RZECZYWISTEGO PROCESU PROJEKTOWO-KONSTRUKCYJNEGO Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU MAG PROJEKT

Roman KIELEC¹, Kamil LEKSYCKI²

Prezentowano rzeczywisty przykład zaczerpnięty z przemysłu, dotyczący budowy pojazdu sportowego. Analizie poddano obieg rozrzuconych (nieposegregowanych) informacji związanych z procesem wytworzenia, a następnie opracowano rzeczywisty oraz optymalny harmonogram dla poszczególnych etapów. Do przeprowadzenia badań wykorzystano program Mag Projekt, w którym zaimplementowany jest algorytm ewolucyjny. Otrzymane wyniki przedstawiono w formie wizualnej, w postaci macierzy zależności. Na podstawie mapowania obiegu informacji zaplanowano system decyzyjny.

1. Wprowadzenie

Efektywne zarządzanie złożonymi procesami na różnych etapach powstawania produktu wymaga opracowania właściwego harmonogramu. Wykonanie takiego harmonogramu jest zadaniem trudnym w przypadku wystąpienia dużej ilości operacji, działań paralelnych, a także ze względu na wielowariantowość rozwiązań. Niewłaściwie zaplanowany harmonogram zadań dla poszczególnych operacji prowadzi do powstania niepożądanych, wysokich kosztów oraz do wydłużenia czasu realizacji produktu. W związku, z tym istotnym elementem przy wprowadzaniu nowych produktów na rynek, a także przy modyfikowaniu istniejących jest właściwe planowanie i podejmowanie trafnych decyzji [1,2].

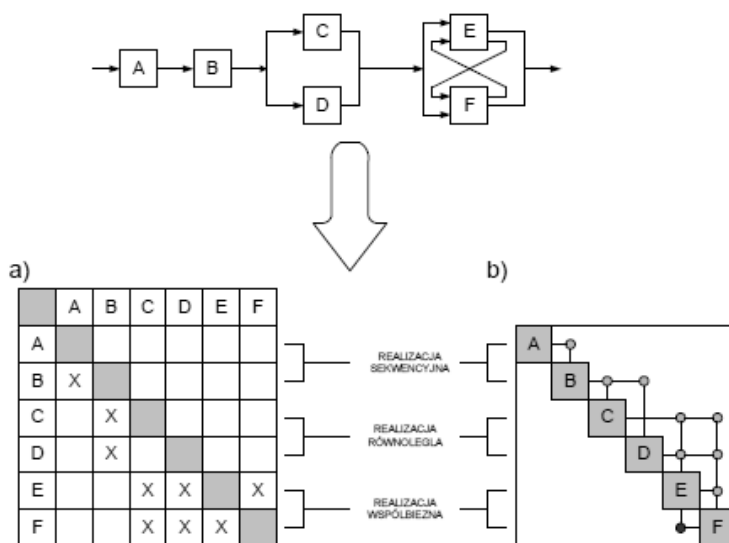
Dotychczas stosowane sieciowe narzędzia planowania takie jak: Gantt, CPM czy PERT gwarantują wizualizację kolejnych zadań wraz z zależnościami występującymi między nimi. Narzędzia te nie posiadają zdolności analizowania struktury oraz pracochłonnych zmian, które wynikają ze sprzężeń zwrotnych między zadaniami. W przypadku podjętych kroków ukierunkowanych na optymalizację przedsięwzięć w.w. metody stają się nieefektywne. Do zaplanowania procesu projektowo-konstrukcyjnego na wybranym przykładzie użyto programu Mag Projekt. Powstał on z myślą o optymalizacji projektów, a jego założeniami są zmniejszenie kosztów

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

² mgr. inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Park Naukowo – Technologiczny; e-mail: k.leksycki@pnt.uz.zgora.pl

i skrócenie czasu realizacji produktu. Program wykorzystuje jedną z najnowocześniejszych i najbardziej rozwijających się metod planowania procesów, a są to metody bazujące na tzw. „macierzy zależności” [3-6]. Wynika ona ze zdefiniowanych zadań częściowych procesu oraz z zależności, które występują pomiędzy nimi. Do optymalizacji procesu zastosowany został zaimplementowany w programie Mag Project algorytm ewolucyjny. Umożliwia to wygenerowanie zbioru wariantów przebiegu procesów. Spośród rozwiązań wybierany jest optymalny, gotowy do wdrożenia w przedsiębiorstwie.

Wykorzystanie macierzowej formy zapisu przy planowaniu poszczególnych etapów procesu polega na dekompozycji tego procesu na zadania częściowe, a następnie na odwzorowaniu n zadań częściowych na macierz kwadratową $n \times n$ [7,8]. Macierz ta (Rys. 1) charakteryzuje się jawnym przedstawieniem wszystkich relacji występujących między zadaniami: sprzężeń progresywnych i sprzężeń zwrotnych.



Rys. 1. Macierzowa reprezentacja realizacji zadań częściowych [8]

Dodatkowo, dzięki macierzowej reprezentacji procesu można ustalić trzy typy realizacji występujące między zadaniami (rys. 1) [1,5]:

- sekwencyjne (zadania A, B),
- równoległe (C, D),
- współbieżne (E, F).

2. Dekompozycja procesu projektowo-konstrukcyjnego

W niniejszym rozdziale pokazano rzeczywisty przykład zaczerpnięty z przemysłu, przedstawiający zdekomponowane zadania, które należy spełnić w procesie tworzenia pojazdu sportowego. Rozpatrywany proces budowy samochodu składa się z 48 zadań częściowych, co obrazuje rysunek 2.

ZADANIA CZĘŚCIOWE

Zewnętrzne oklejanie pojazdu	Montaż skrzyni biegów	Zakup katalogowy elementów układu hamulcowego	Modyfikacja (zwiększenie mocy) silnika - kooperacja
Dobór właściwych elementów zawieszenia sportowego	Montaż elementów karoserii (maska, drzwi, zderzaki, błotniki, lusterka, szyby itd.)	Montaż systemu gaśniczego	Zakup katalogowy elementów wnętrza (kierownica, pasy bezpieczeństwa, sportowe fotele)
Montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa	Montaż osi	Wykonanie elementów wnętrza (deska rozdzielcza, boczki drzwi)	Projekt - odwzorowanie elementów karoserii
Dobór elementów wnętrza (kierownica, pasy bezpieczeństwa, sportowe fotele)	Montaż silnika	Dobór właściwych elementów układu hamulcowego	Ustawienie geometrii zawieszenia
Zakup katalogowy zawieszenia sportowego	Projekt - odwzorowanie elementów wnętrza (deska rozdzielcza, boczki drzwi)	Montaż układu kierowniczego	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu
Montaż osprzętu silnika	Wykonanie układu wydechowego - kooperacja	Montaż układu hamulcowego	Projektowanie klatki bezpieczeństwa
Projekt układu wydechowego	Montaż układu paliwowego	Zakup katalogowy elementów systemu gaśniczego	Projektowanie układu paliwowego
Projekt systemu gaśniczego	Budowa (spawanie) wzmocnień karoserii	Piaskowanie karoserii	Montaż elementów oświetlenia
Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze	Montaż zawieszenia	Przeprowadzanie testów	Malowanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki)
Ustawienie elektroniki samochodu	Wykonanie elementów układu paliwowego - kooperacja	Malowanie kompleksowe nadwozia	Wytwarzanie detali wzmocnienia karoserii - kooperacja
Montaż układu wydechowego	Projekt instalacji elektrycznej	Projektowanie elementów wzmocnienia karoserii	Montaż elementów wnętrza (deska rozdzielcza, kierownica, pasy bezpieczeństwa, boczki drzwi)
Montaż instalacji elektrycznej	Wykonanie klatki bezpieczeństwa - kooperacja	Montaż układu napędowego	Wykonanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki, szyby) - kooperacja

Rys. 2. Dekompozycja rzeczywistego procesu projektowo-konstrukcyjnego

Zależności pomiędzy przedstawionymi zadaniami częściowymi są najważniejszymi elementami w dalszej analizie, ze względu na ich duże znaczenie oraz wpływ na realizację procesu. Należy zatem dokładnie określić relacje zachodzące pomiędzy zadaniami. Sprzężenia informacyjne określono przy udziale osób odpowiedzialnych w przedsiębiorstwie za realizację wszystkich zadań w procesie, a wynik pokazano w tabeli 1.

Tab. 1. Zdekomponowane czynności podstawowe oraz sprzężenia informacyjne

Zadania częściowe	Sprzężenia informacyjne
Wytwarzanie detali wzmocnienia karoserii – kooperacja	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu, demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, projektowanie elementów wzmocnienia karoserii
Budowa (spawanie) wzmocnień karoserii	Projektowanie elementów wzmocnienia karoserii, wytwarzanie detali wzmocnienia karoserii – kooperacja
Projektowanie klatki bezpieczeństwa	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii
Projektowanie elementów wzmocnienia karoserii	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu, demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze
Wykonanie klatki bezpieczeństwa - kooperacja	Projektowanie klatki bezpieczeństwa
Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu
Zewnętrzne oklejanie pojazdu	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, piaskowanie karoserii, malowanie kompleksowe nadwozia, wykonanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki, szyby) - kooperacja, malowanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki), montaż elementów karoserii (maska, drzwi, zderzaki, błotniki, lusterka, szyby itd.)
Dobór właściwych elementów zawieszenia sportowego	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu, demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze
Montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa	Wykonanie klatki bezpieczeństwa - kooperacja

cd. Tab. 1. Zdekomponowane czynności podstawowe oraz sprzężenia informacyjne

Zadania częściowe	Sprzężenia informacyjne
Dobór elementów wnętrza (kierownica, pasy bezpieczeństwa, sportowe fotele)	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze
Zakup katalogowy zawieszania sportowego	Dobór właściwych elementów zawieszania sportowego
Montaż osprzętu silnika	Montaż silnika, montaż układu napędowego
Projekt systemu gaśniczego	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia, montaż instalacji elektrycznej
Projekt układu wydechowego	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu, demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, modyfikacja (zwiększenie mocy) silnika – kooperacja, montaż silnika, montaż osprzętu silnika
Ustawienie elektroniki samochodu	Budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia, modyfikacja (zwiększenie mocy) silnika – kooperacja, montaż silnika, montaż osprzętu silnika, montaż układu wydechowego, montaż skrzyni biegów, montaż instalacji elektrycznej, montaż układu paliwowego, montaż układu hamulcowego
Montaż układu wydechowego	Malowanie kompleksowe nadwozia, montaż silnika, montaż osprzętu silnika, wykonanie układu wydechowego - kooperacja, montaż układu napędowego, montaż osi
Montaż instalacji elektrycznej	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia,
Montaż skrzyni biegów	Malowanie kompleksowe nadwozia, montaż silnika, montaż osprzętu silnika, montaż układu napędowego, montaż osi, montaż instalacji elektrycznej
Montaż elementów karoserii (maska, drzwi, zderzaki, błotniki, lusterka, szyby itd.)	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia,
Montaż osi	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia

cd. Tab. 1. Zdekomponowane czynności podstawowe oraz sprzężenia informacyjne

Zadania częściowe	Sprzężenia informacyjne
Montaż silnika	Malowanie kompleksowe nadwozia, modyfikacja (zwiększenie mocy) silnika – kooperacja, montaż układu kierowniczego, montaż układu napędowego, montaż osi, montaż instalacji elektrycznej, montaż układu paliwowego
Projekt – odwzorowanie elementów wnętrza (deska rozdzielcza, boczki drzwi)	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze
Wykonanie układu wydechowego - kooperacja	Projekt układu wydechowego
Projekt instalacji elektrycznej	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu, demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze
Montaż układu napędowego	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia, montaż zawieszania, montaż instalacji elektrycznej
Montaż zawieszania	Projektowanie elementów wzmocnienia karoserii, malowanie kompleksowe nadwozia, zakup katalogowy zawieszania sportowego, montaż układu napędowego
Wykonanie elementów układu paliwowego – kooperacja	Projektowanie układu paliwowego
Wykonanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki, szyby) - kooperacja	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, projekt – odwzorowanie elementów karoserii
Zakup katalogowy elementów układu hamulcowego	Dobór właściwych elementów układu hamulcowego
Montaż systemu gaśniczego	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, montaż instalacji elektrycznej, montaż elementów wnętrza (deska rozdzielcza, kierownica, pasy bezpieczeństwa, boczki drzwi), zakup katalogowy elementów systemu gaśniczego

cd. Tab. 1. Zdekomponowane czynności podstawowe oraz sprzężenia informacyjne

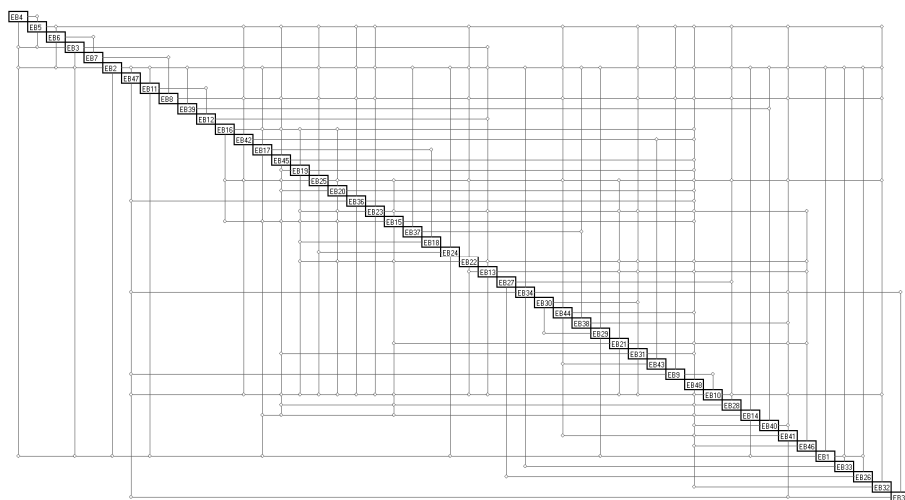
Zadania częściowe	Sprzężenia informacyjne
Wykonanie elementów wnętrza (deska rozdzielcza, boczki drzwi)	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, projekt – odwzorowanie elementów wnętrza (deska rozdzielcza, boczki drzwi)
Dobór właściwych elementów układu hamulcowego	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu, demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze
Montaż układu kierowniczego	Malowanie kompleksowe nadwozia, montaż zawieszenia, montaż układu napędowego, montaż osi, montaż instalacji elektrycznej
Montaż układu hamulcowego	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia, montaż zawieszenia, montaż układu napędowego, montaż osi, zakup katalogowy elementów układu hamulcowego
Zakup katalogowy elementów systemu gaśniczego	Projekt systemu gaśniczego
Piaskowanie karoserii	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa
Przeprowadzanie testów	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia, montaż zawieszenia, modyfikacja (zwiększenie mocy) silnika – kooperacja, montaż silnika, montaż osprzętu silnika, montaż układu wydechowego, montaż skrzyni biegów, montaż układu kierowniczego, montaż układu napędowego, montaż osi, montaż instalacji elektrycznej, montaż układu paliwowego, montaż układu hamulcowego, montaż elementów oświetlenia, montaż elementów karoserii (maska, drzwi, zderzaki, błotniki, lusterka, szyby itd.), montaż elementów wnętrza (deska rozdzielcza, kierownica, pasy bezpieczeństwa, boczki drzwi), projekt systemu gaśniczego, montaż systemu gaśniczego, ustawienie elektroniki samochodu, ustawienie geometrii zawieszenia
Malowanie kompleksowe nadwozia	Piaskowanie karoserii
Montaż układu paliwowego	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia, montaż instalacji elektrycznej, wykonanie elementów układu paliwowego – kooperacja

cd. Tab. 1. Zdekomponowane czynności podstawowe oraz sprzężenia informacyjne

Zadania częściowe	Sprzężenia informacyjne
Modyfikacja (zwiększenie mocy) silnika – kooperacja	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu, demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze
Zakup katalogowy elementów wnętrza (kierownica, pasy bezpieczeństwa, sportowe fotele)	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, dobór elementów wnętrza (kierownica, pasy bezpieczeństwa, sportowe fotele)
Montaż elementów wnętrza (deska rozdzielcza, kierownica, pasy bezpieczeństwa, boczki drzwi)	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia, montaż układu kierowniczego, montaż instalacji elektrycznej, wykonanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki, szyby) - kooperacja, malowanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki), wykonanie elementów wnętrza (deska rozdzielcza, boczki drzwi), zakup katalogowy elementów wnętrza (kierownica, pasy bezpieczeństwa, sportowe fotele)
Ustawienie geometrii zawieszenia	Montaż zawieszenia, montaż układu kierowniczego, montaż układu napędowego, montaż osi
Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze
Projekt – odwzorowanie elementów karoserii	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu, demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze
Projektowanie układu paliwowego	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu, demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze
Montaż elementów oświetlenia	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze, budowa (spawanie) wzmocnień karoserii, montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa, malowanie kompleksowe nadwozia, montaż instalacji elektrycznej
Malowanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki)	Wykonanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki, szyby) - kooperacja

Na podstawie nieuporządkowanych zadań częściowych oraz określonych sprzężeń informacyjnych, przy użyciu programu Mag Projekt utworzono macierz zależności (Rys. 3). Obrazuje ona przebieg zadań częściowych procesu, przy zachowaniu wszystkich powiązań między nimi. Poniżej głównej przekątnej występują sprzężenia progresywne, a poniżej sprzężenia zwrotne, wpływające na wydłużony czas realizacji procesu.

Z przedstawionej na rysunku 3 w postaci macierzy zależności zdekomponowanego procesu wynika, iż etapy tworzenia pojazdu sportowego wymagają optymalizacji. Zadania częściowe są rozproszone i nieuporządkowane. Obrazują to liczne sprzężenia zwrotne oraz skrzyżowania występujące poniżej przekątnej.



Rys. 3. Macierz zależności procesu projektowo-konstrukcyjnego

3. Rzeczywisty harmonogram procesu projektowo-konstrukcyjnego

Zadania częściowe określone w tabeli 1 uporządkowano w sposób rzeczywisty (Tab. 2), przy czym sprzężenia informacyjne występujące pomiędzy nimi nie zmodyfikowano. Powstała całość stanowi przebieg procesu w kolejności zgodnej z rzeczywistą realizacją procesu budowy pojazdu sportowego w przedsiębiorstwie.

Na podstawie znajdujących się w tabeli 2 danych wygenerowano macierz sprzężeń, którą obrazuje rysunek 4. Na głównej przekątnej znajdują się zadania częściowe rzeczywistego procesu przebudowy pojazdu, powyżej przekątnej sprzężenia progresywne, a poniżej sprzężenia zwrotne.

Bez znajomości zależności występujących między zadaniami, odczytywanie wykonywanych zadań w postaci współbieżności oraz równoległości na macierzy strukturalnej nie jest proste. W związku, z powyższym realizację macierzy należy przedstawić w formie graficznej (Rys. 5).

Tab. 2. Uporządkowane czynności podstawowe oraz sprzężenia informacyjne

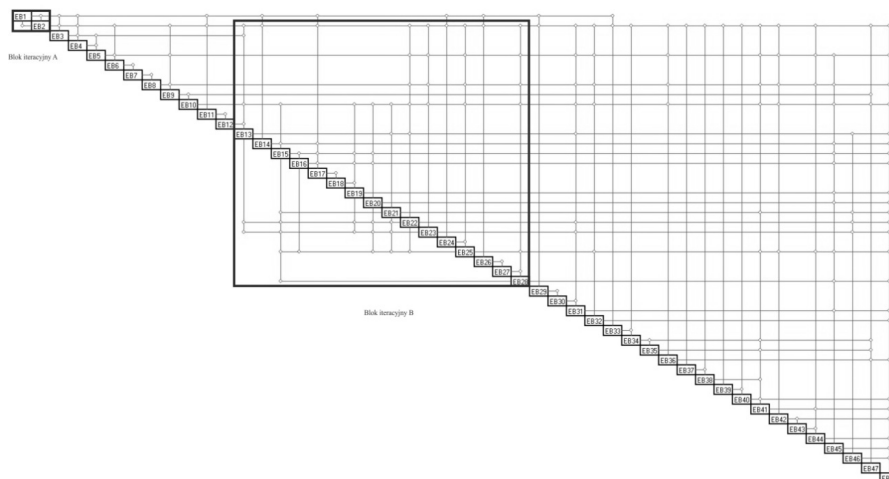
Nr zad. (etap budowy)	Zadanie częściowe	Sprzężenia informacyjne
1.	Zapoznanie się z dokumentacją techniczną pojazdu	2
2.	Demontaż elementów samochodu na czynniki pierwsze	1
3.	Projektowanie elementów wzmocnienia karoserii	1, 2
4.	Wytwarzanie detali wzmocnienia karoserii – kooperacja	1, 2, 3
5.	Budowa (spawanie) wzmocnień karoserii	3, 4
6.	Projektowanie klatki bezpieczeństwa	2, 5
7.	Wykonanie klatki bezpieczeństwa - kooperacja	6
8.	Montaż (spawanie) klatki bezpieczeństwa	7
9.	Piaskowanie karoserii	2, 5, 8
10.	Malowanie kompleksowe nadwozia	9
11.	Dobór właściwych elementów zawieszenia sportowego	1, 2
12.	Zakup katalogowy zawieszenia sportowego	11
13.	Montaż zawieszenia	3, 10, 12, 22
14.	Modyfikacja (zwiększenie mocy) silnika – kooperacja	1, 2
15.	Montaż silnika	10, 14, 21, 22, 23, 25, 28
16.	Montaż osprzętu silnika	15, 22
17.	Projekt układu wydechowego	1, 2, 14, 15, 16
18.	Wykonanie układu wydechowego - kooperacja	17
19.	Montaż układu wydechowego	10, 15, 16, 18, 22, 23
20.	Montaż skrzyni biegów	10, 15, 16, 22, 23, 25
21.	Montaż układu kierowniczego	10, 13, 22, 23, 25
22.	Montaż układu napędowego	2, 5, 8, 10, 13, 25
23.	Montaż osi	2, 5, 8, 10
24.	Projekt instalacji elektrycznej	1, 2
25.	Montaż instalacji elektrycznej	2, 5, 8, 10, 24
26.	Projektowanie układu paliwowego	1, 2
27.	Wykonanie elementów układu paliwowego – kooperacja	26

cd. Tab. 2. Uporządkowane czynności podstawowe oraz sprzężenia informacyjne

Nr zad. (etap budowy)	Zadanie częściowe	Sprzężenia informacyjne
28.	Montaż układu paliwowego	2, 5, 8, 10, 25, 27
29.	Dobór właściwych elementów układu hamulcowego	1, 2
30.	Zakup katalogowy elementów układu hamulcowego	29
31.	Montaż układu hamulcowego	2, 5, 8, 10, 13, 22, 23, 30
32.	Montaż elementów oświetlenia	2, 5, 8, 10, 25
33.	Projekt – odwzorowanie elementów karoserii	1, 2
34.	Wykonanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki, szyby) - kooperacja	2, 33
35.	Malowanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego (maska, zderzaki, błotniki)	34
36.	Montaż elementów karoserii (maska, drzwi, zderzaki, błotniki, lusterka, szyby itd.)	2, 5, 8, 10
37.	Projekt – odwzorowanie elementów wnętrza (deska rozdzielcza, boczki drzwi)	2
38.	Wykonanie elementów wnętrza (deska rozdzielcza, boczki drzwi)	2, 37
39.	Dobór elementów wnętrza (kierownica, pasy bezpieczeństwa, sportowe fotele)	2
40.	Zakup katalogowy elementów wnętrza (kierownica, pasy bezpieczeństwa, sportowe fotele)	2, 39
41.	Montaż elementów wnętrza (deska rozdzielcza, kierownica, pasy bezpieczeństwa, boczki drzwi)	2, 5, 8, 10, 21, 25, 34, 35, 38, 40
42.	Projekt systemu gaśniczego	2, 5, 8, 10, 25
43.	Zakup katalogowy elementów systemu gaśniczego	42
44.	Montaż systemu gaśniczego	2, 5, 8, 25, 41, 43
45.	Ustawienie elektroniki samochodu	5, 8, 10, 14, 15, 16, 19, 20, 25, 28, 31
46.	Ustawienie geometrii zawieszenia	13, 21, 22, 23
47.	Zewnętrzne oklejanie pojazdu	2, 9, 10, 34, 35, 36
48.	Przeprowadzanie testów	2, 5, 8, 10, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 31, 32, 36, 41, 42, 44, 45, 46

Graf realizacji zadań częściowych (Rys. 5) obrazuje rzeczywisty proces projektowo-konstrukcyjny realizowany przez przedsiębiorstwo. Przedstawia poziomy,

według których realizowany jest proces tworzenia pojazdu. Na każdym poziomie występują zadania częściowe, które przedsiębiorstwo może realizować równolegle.



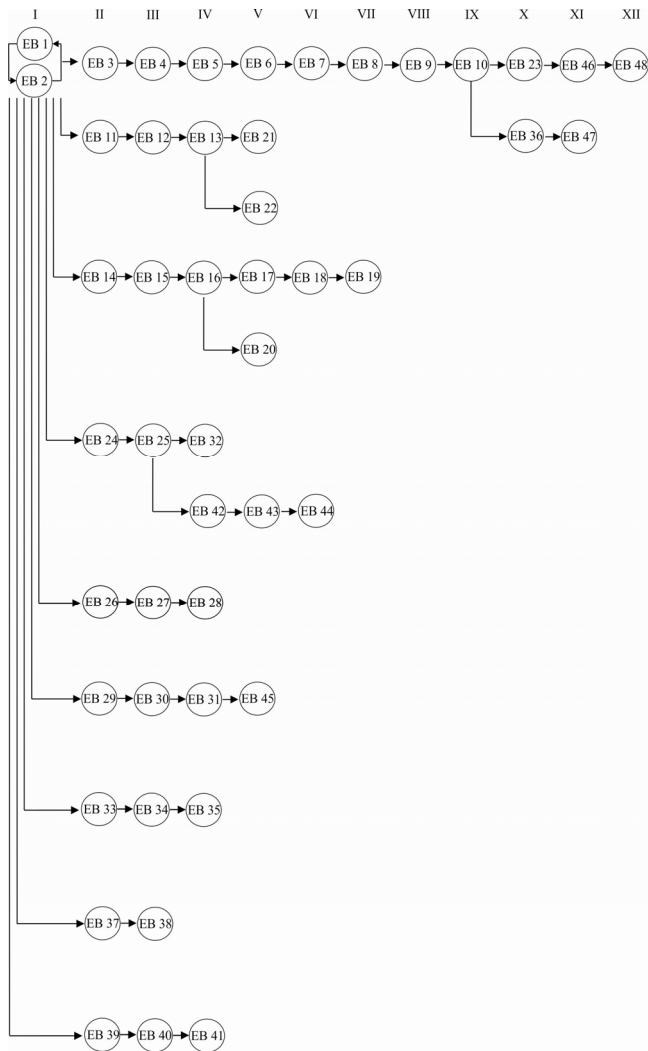
Rys. 4. Rzeczywista macierz zależności procesu projektowo-konstrukcyjnego

Poniżej przedstawiono poziomy realizacji procesu oraz przypisane im zadania częściowe:

- a) Poziomu I: EB1 i EB2;
- b) Poziom II: EB3, EB11, EB14, EB24, EB26, EB29, EB33, EB37, EB39;
- c) Poziom III: EB4, EB12, EB15, EB25, EB27, EB30, EB34, EB38, EB40;
- d) Poziom IV: EB5, EB13, EB16, EB32, EB42, EB28, EB31, EB35, EB41;
- e) Poziom V: EB6, EB21, EB22, EB17, EB20, EB43, EB45;
- f) Poziom VI: EB7, EB18, EB44;
- g) Poziom VII: EB8, EB19;
- h) Poziom VIII: EB9;
- i) Poziom IX: EB10;
- j) Poziom X: EB23, EB36;
- k) Poziom XI: EB46, EB47;
- l) Poziom XII: EB48.

Analizując poszczególne poziomy równoległości realizacji zadań częściowych stwierdzono, iż: na poziomie I występuje współbieżna realizacja zadań EB1 i EB2. Oznacza to intensywną wymianę informacji w tym samym czasie pomiędzy zapoznaniem się z dokumentacją techniczną pojazdu oraz demontażem elementów samochodu na czynniki pierwsze. Poziom II wyszczególnia zadania związane z etapem projektowania elementów wzmocnienia karoserii, doбором właściwych elementów zawieszenia sportowego, modyfikacji silnika, projektem instalacji elektrycznej, projektowaniem układu paliwowego, doбором właściwych elementów

układu hamulcowego, odwzorowanie elementów karoserii, odwzorowanie elementów wnętrza, doborem elementów wnętrza.



Rys. 5. Graf realizacji zadań częściowych dla rzeczywistej macierzy zależności

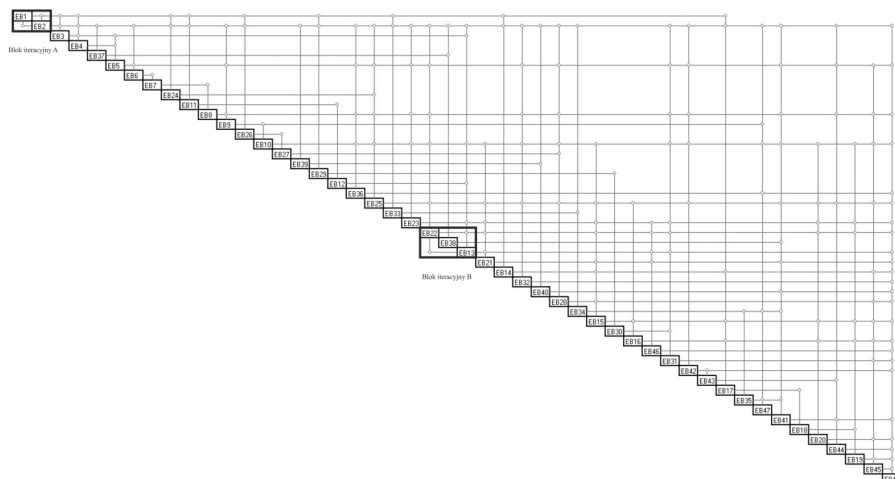
Na poziomie III realizowane są zadania: wytwarzanie detali wzmocnienia karoserii - kooperacja, zakup katalogowy zawieszania sportowego, montaż silnika, montaż instalacji elektrycznej, wykonanie elementów układu paliwowego – kooperacja, zakup katalogowy elementów układu hamulcowego, wykonanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego, wykonanie elementów wnętrza, zakup katalogowy elementów wnętrza. Poziom IV to zadania: budowa wzmocnień

karoserii, montaż zawieszenia, montaż osprzętu silnika, montaż elementów oświetlenia, projekt systemu gaśniczego, montaż układu paliwowego, montaż układu hamulcowego, malowanie elementów z tworzywa sztucznego, montaż elementów wnętrza. Poziom V uwzględnia realizację zadań: projektowanie klatki bezpieczeństwa, montaż układu kierowniczego, montaż układu napędowego, projekt układu wydechowego, montaż skrzyni biegów, zakup katalogowy elementów systemu gaśniczego, ustawienie elektroniki samochodu. Poziom VI to zadania: wykonanie klatki bezpieczeństwa, wykonanie układu wydechowego – kooperacja, montaż systemu gaśniczego. Poziom VII składa się z zadań: montaż klatki bezpieczeństwa oraz montaż układu wydechowego. Poziom VIII to piaskowanie karoserii. Poziom IX to kompleksowe malowanie nadwozia. Poziom X uwzględnia zadania: montaż osi oraz montaż elementów karoserii. Poziom XI to zadania: ustawienie geometrii zawieszenia oraz zewnętrzne oklejanie pojazdu. Poziom XII to zadanie dotyczące przeprowadzanie testów.

Graf realizacji zadań częściowych dla rzeczywistej macierzy sprzężeń (Rys. 5) przedstawia 12 poziomów ich realizacji. Na poziomy te składa się 48 zadań częściowych, wśród których u 18 z nich występują sprzężenia zwrotne. Zadania powiązane sprzężeniami zwrotnymi oraz zadania, na które sprzężenia zwrotne wpływają w sposób bezpośredni tworzą bloki iteracyjne. Na macierzy wystąpiły dwa bloki iteracyjne A i B, których obszary zaznaczono w kwadratowe ramki (Rys.4). Blok A zawiera 2 zadania: EB1 i EB2, natomiast blok B – 16 zadań: EB13, EB14, EB15, EB16, EB17, EB18, EB19, EB20, EB21, EB22, EB23, EB24, EB25, EB26, EB27, EB28. Należy zauważyć, iż graf realizacji zadań częściowych w porównaniu do macierzy zależności procesu nie obrazuje sprzężeń zwrotnych oraz skrzyżowań występujących między zadaniami, które mają znaczący wpływ na wydłużenie czasu oraz na koszt związany z realizacją całego procesu produkcyjnego.

4. Optymalny harmonogram procesu projektowo-konstrukcyjnego

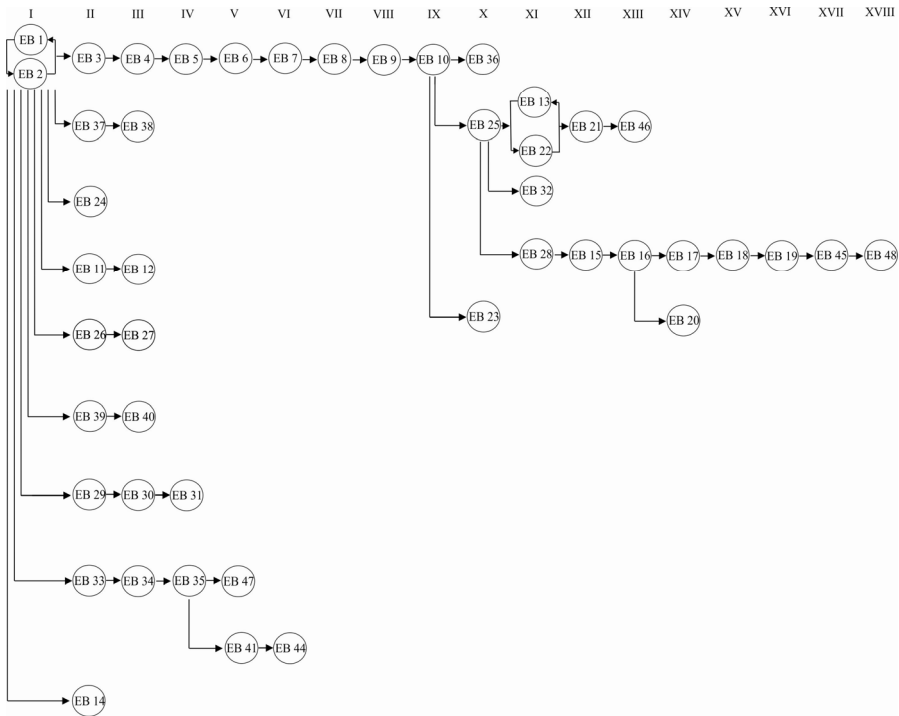
Rzeczywistą macierz sprzężeń poddano procesowej ewolucji z wykorzystaniem algorytmu ewolucyjnego zaimplementowanego w autorskim programie komputerowym Mag Projekt. Optymalizację przeprowadzono pod względem sprzężeń zwrotnych. Wnikliwie analizując różne kombinacje parametrów ewolucji genetycznej wybrano najbardziej optymalne. Na ich podstawie wykonano macierz zależności procesu projektowo-konstrukcyjnego, a następnie graf realizacji zadań częściowych. W ewolucji nie uwzględniono kosztów oraz czasu wykonania zadania częściowego. Wynik graficzny zoptymalizowanego procesu budowy pojazdu sportowego przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Macierz zależności procesu projektowo-konstrukcyjnego

Na podstawie optymalnej macierzy zależności procesu projektowo-konstrukcyjnego, którą wygenerowano przy użyciu programu Mag Projekt opracowano graf realizacji zadań częściowych (Rys. 7). Zadania częściowe dla poszczególnych poziomów realizowane są według następującej kolejności:

- a) Poziom I: EB1 i EB2;
- b) Poziom II: EB3, EB37, EB24, EB11, EB26, EB39, EB29, EB33, EB14;
- c) Poziom III: EB4, EB38, EB12, EB27, EB40, EB30, EB34;
- d) Poziom IV: EB5, EB31, EB35;
- e) Poziom V: EB6, EB47, EB41;
- f) Poziom VI: EB7, EB44;
- g) Poziom VII: EB8;
- h) Poziom VIII: EB9;
- i) Poziom IX: EB10;
- j) Poziom X: EB36, EB25, EB23;
- k) Poziom XI: EB22, EB13, EB32, EB28;
- l) Poziom XII: EB21, EB15;
- m) Poziom XIII: EB46, EB16;
- n) Poziom XIV: EB17, EB20;
- o) Poziom XV: EB18;
- p) Poziom XVI: EB19;
- q) Poziom XVII: EB45;
- r) Poziom XVIII: EB48.



Rys. 7. Graf realizacji zadań częściowych dla optymalnej macierzy zależności

Analizując występujące poziomy równoległości wykonywanych zadań częściowych zauważono, iż: na poziomie I występuje współbieżność w realizacji zadań EB1 i EB2, na zasadzie intensywnej wymiany informacji, w tym samym czasie. Dotyczy ona zapoznania się z dokumentacją techniczną pojazdu oraz demontażu elementów samochodu na czynniki pierwsze. Na poziomie II możliwe jest wykonywanie zadań: projektowanie elementów wzmocnienia karoserii, projekt – odwzorowanie elementów wnętrza, projekt instalacji elektrycznej, dobór właściwych elementów zawieszenia sportowego, projektowanie układu paliwowego, dobór elementów wnętrza, dobór właściwych elementów układu hamulcowego, projekt – odwzorowanie elementów karoserii, modyfikacja silnika. Na poziomie III realizowane są zadania tj.: wytwarzanie detali wzmocnienia karoserii, wykonanie elementów wnętrza, zakup katalogowy zawieszenia sportowego, wykonanie elementów układu paliwowego, zakup katalogowy elementów wnętrza, zakup katalogowy elementów układu hamulcowego, wykonanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego.

Poziom IV to zadania: budowa wzmocnień karoserii, montaż układu hamulcowego, malowanie elementów karoserii z tworzywa sztucznego. Na poziomie V występują zadania: projektowanie klatki bezpieczeństwa, zewnętrzne oklejanie pojazdu, montaż elementów wnętrza. Na poziomie VI występują zadania: wykonanie

klatki bezpieczeństwa, montaż systemu gaśniczego. Poziom VII to zadanie związane z montażem klatki bezpieczeństwa. Poziom VIII to zadanie związane z piaskowaniem karoserii. Poziom IX malowanie kompleksowe nadwozia. Poziom X to zadania: montaż elementów karoserii, montaż instalacji elektrycznej oraz montaż osi. Na poziomie XI realizowane są zadania: montaż układu napędowego, montaż zawieszania, montaż elementów oświetlenia, montaż układu paliwowego. Poziom XII to zadania: montaż układu kierowniczego, montaż silnika. Poziom XIII wyodrębnia zadania tj.: ustawienie geometrii zawieszania, montaż osprzętu silnika. Poziom XIV to zadania: projekt układu wydechowego, montaż skrzyni biegów. Poziom XV to zadanie dotyczące wykonania układu wydechowego. Poziom XVI to zadanie dotyczące montażu układu wydechowego. Poziom XVII: ustawienie elektroniki samochodu. Poziom XVIII to zadanie dotyczące przeprowadzania testów.

Wynikiem optymalizacji jest reorganizacja kolejności wykonywania zadań częściowych. Porównując harmonogram rzeczywisty procesu projektowo-konstrukcyjnego z harmonogramem optymalnym należy zwrócić uwagę, iż liczby poziomów realizacji zadań są od siebie różne. W harmonogramie rzeczywistym występuje 12 poziomów realizacji zadań, a w harmonogramie optymalnym 18. W praktyce nie oznacza to wydłużenia czasu realizacji procesu oraz zwiększenia kosztów jego realizacji. Zwiększona liczba poziomów realizacji procesu jest skutkiem reorganizacji i uporządkowania zadań częściowych. Dzięki temu, ilość sprzężeń zwrotnych zmalała z 18 do 2. Należy zwrócić uwagę, iż ilość bloków iteracyjnych w obu przypadkach pozostała taka sama. Blok iteracyjny A (w obu przypadkach poziom I) nie uległ zmianie i nadal zawiera 2 zadania: EB1 i EB2, natomiast blok iteracyjny B uległ zmianie z 16 zadań częściowych (EB13, EB14, EB15, EB16, EB17, EB18, EB19, EB20, EB21, EB22, EB23, EB24, EB25, EB26, EB27, EB28), 17 sprzężeń zwrotnych oraz 6 skrzyżowań do 3 zadań częściowych (EB13, EB22, EB38), 1 sprzężenia zwrotnego i 0 skrzyżowań. W praktyce sprzężenia zwrotne oraz skrzyżowania oznaczają występujące niepożądane zaburzenia podczas realizacji procesu produkcyjnego.

W inżynierii współbieżnej można zredukować sprzężenia zwrotne do „0”, wynika to z realizacji zadań w tym samym czasie przy intensywnej wymianie informacji. Stąd zadania występujące w optymalnym procesie projektowo-konstrukcyjnym w bloku iteracyjnym: A - zadania EB1 i EB2 oraz B - zadania EB13 i EB22 określane są jako zadania nieposiadające sprzężeń zwrotnych.

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono analizę i reorganizację planowania procesu projektowo-konstrukcyjnego samochodu sportowego z wykorzystaniem programu Mag Projekt, w którym zaimplementowany jest algorytm ewolucyjny. Analizie poddano kolejno:

nieposegregowany obieg informacji procesu budowy pojazdu sportowego, a następnie proces rzeczywisty. Proces rzeczywisty poddano wnikliwej analizie przeprowadzając ewolucję genetyczną i otrzymano zoptymalizowany harmonogram, który pozwala na wdrożenie w przedsiębiorstwie.

Z analizy procesu projektowo-konstrukcyjnego wynika, iż struktura procesu rzeczywistego w znacznym stopniu różni się od procesu optymalnego. Wskazuje to zmniejszona ilość sprzężeń zwrotnych do „0”, które są istotne zwłaszcza w inżynierii współbieżnej. Ustalony optymalny system decyzyjny realizacji procesu zagwarantuje właściwy i kontrolowany przepływ wymaganych informacji, które występują pomiędzy zadaniami. W konsekwencji przedsiębiorstwo zyska wymierne korzyści w postaci oszczędności czasu, a co za tym idzie zmniejszenia kosztów.

Warto podkreślić, iż każde rozwiązanie, zwłaszcza w produkcji jednostkowej tworzy zbiór dostępnych, optymalnych przebiegów prac projektowo-konstrukcyjnych o nazwie „BAZA DANYCH”. Posłużyć to może do m. in. otrzymania przez przedsiębiorstwo międzynarodowej normy określającej wymagania, które powinien spełniać system zarządzania jakością w organizacji (ISO).

Literatura

- [1] Kielec R., Sasiadek M., *Reorganizacja rzeczywistego procesu przemysłowego z wykorzystaniem macierzy zależności i algorytmu ewolucyjnego*, Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2008, s. 541-549.
- [2] Kielec R., Edl M., *System decyzyjny w optymalnym harmonogramowaniu procesów produkcyjnych*, Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2012, s. 284-295.
- [3] Mazur Ł., Shi-Jie Chen, Sasiadek M., Kielec R., Semik W., *Project task coordination using Design Structure Matrix and Genetic Algorithm*, Portland International Conference on Management of Engineering and Technology - PICMET '05: Proceedings Technology Management: A unifying discipline for melting the boundaries. Portland, USA, 2005.
- [4] Rohatyński R., Kielec R. Sasiadek M., *Implementation of the dependency matrix in the assembly process planning*, Computer integrated manufacturing: advanced design and management, Warszawa, Wydaw. Naukowo-Techniczne, 2003.
- [5] Rogers J.L., *Reducing Design Cycle Time and Cost Through Process Resequencing*, International Conf. On Engineering Design, ICED 97, Tampere 1997.
- [6] Steward D. V., *The Design Structure Systems: A Method for Managing the Design of Complex Systems*. IEEE Transactions on Engineering Management. Aug. 1981.
- [7] Kielec R., Śmirski Ł., *Matrix method in rationalization of special arranging of machines and devices*, Selected economic and technological aspects of management, ed. N. Iwaszczuk, AGH University of Science and Technology Press, Kraków 2013.
- [8] Ahmadi R., Roemer T., Wang R., *Structuring Product Development Processes*, European Journal of Operational Research, 2001, 130, p. 539-558.

PFMEA W KSZTAŁTOWANIU PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Anna KOMARNICKA¹, Taras NAHIRNY²

W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące zastosowania metody PFMEA do planowania procesów produkcyjnych. Omówiono algorytm przeprowadzenia metody według normy VDA 4. Szczególną uwagę zwrócono na inne sposoby ustalenia działań wymagających doskonalenia, ocenę ryzyka, skuteczność zrealizowanych działań. Wykazano korzyści, jakie płyną z zastosowania metody we wczesnych fazach projektowania wyrobu oraz linii produkcyjnych.

1. Wprowadzenie

Metoda FMEA po raz pierwszy została wydana w 1949 roku w formie instrukcji przez departament obrony USA jako: MIL-P 1629 Procedure for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. Na podstawie tej instrukcji w roku 1963 dla potrzeb programu kosmicznego Apollo została opracowana metoda o nazwie „Failure Mode and Effects Analysis” (FMEA). Sukces metody spowodował, że dwa lata później została ona przyjęta przez przemysł lotniczy, a około roku 1975 była stosowana również przez przemysł jądrowy i chemiczny. W branży Automotive prekursorem stosowania metody FMEA była firma Ford. W 1977 r. po słynnej wtedy aferze „Pinto” [1], zastosowała ona pierwszy raz FMEA do analizy swych samochodów do celów prewencyjnych zapewnienia jakości. W 1994 producenci z branży samochodowej (Ford, Chrysler, GM), zwani potocznie „The Big Three”, opracowali standard QS-9000 określający, jakie wymagania muszą spełniać dostawcy komponentów do fabryk „Wielkiej Trójki”. Wraz ze standardem QS-9000 wydano też kilka podręczników referencyjnych między innymi Failure Mode and Effect Analysis (SAE Paper J1739). Wdrożenie standardu QS-9000 wymaga obowiązkowego stosowania metody FMEA według podręcznika referencyjnego [2].

W Europie w 1980 r. została wydana norma DIN 25 448 aby znormalizować analizę skutków awarii. Metoda ta zadomowiła się przez Verband der Automobilindustrie (VDA – Zrzeszenie Przemysłu Motoryzacyjnego), które poszerzyło FMEA dla celów specyficznych przemysłu motoryzacyjnego. Pierwszy opis

¹ mgr inż.; Valmet Automotive Polska; e-mail: aniakomarnicka@gmail.com

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

metody został zaprezentowany w tomie VDA 4 „Zapewnienie jakości przed produkcją seryjną” w 1986 roku. Na podstawie doświadczenia niemieckich producentów przemysłu motoryzacyjnego i jego dostawców ustalono sposób realizacji FMEA i opisano go w drugiej części tomu VDA 4 przez co zapewniono jednolity sposób postępowania w trakcie przeprowadzania FMEA. Obecnie QS-9000 jest zastępowany nowym standardem ISO-TS 16949, ale podręczniki referencyjne są także dopełnieniem nowego standardu, więc sama metoda FMEA się nie dezaktualizuje.

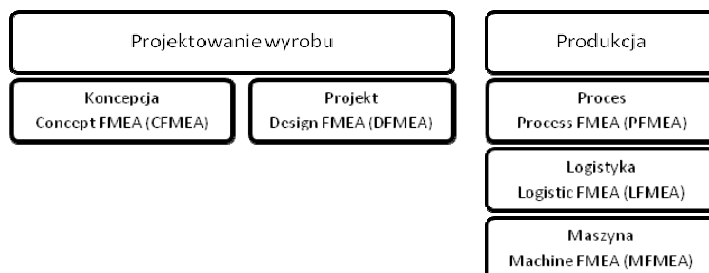
W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku metoda znalazła zastosowanie również w branżach techniki medycznej i komunikacji. FMEA jest również stosowane w branżach niezwiązanych z techniką na przykład w zarządzaniu nieruchomościami. Metoda jest uniwersalna i powszechnie stosowana, o czym świadczą liczne publikacje [3 - 6, 19].

Celem przeprowadzania metody FMEA jest analiza przyczyn i skutków wad wyrobów, usług lub procesów produkcyjnych, a także wskazanie działań, które mogłyby wyeliminować lub przynajmniej ograniczyć możliwości wystąpienia potencjalnych błędów w wyrobie lub procesie. Zapis przeprowadzania analizy FMEA ułatwia zastosowanie narzędzi wspomagania komputerowego. Najczęściej stosuje się tabele programu Microsoft Office Excel [7, 8]. Na rynku dostępne są specjalistyczne narzędzia szerzej opisane w [9]. Na potrzeby artykułu zaprezentowane dane będą przetworzone przez program IQ FMEA firmy APIS.

2. Metoda FMEA

W zależności od obszaru zastosowania metody FMEA rozróżniamy kilka wariantów (Rys. 1) metody takich jak [4,10,11]:

- Concept FMEA (CFMEA),
- Design FMEA (DFMEA),
- Process FMEA (PFMEA),
- Logistic FMEA (LFMEA),
- Machine FMEA (MFMEA).

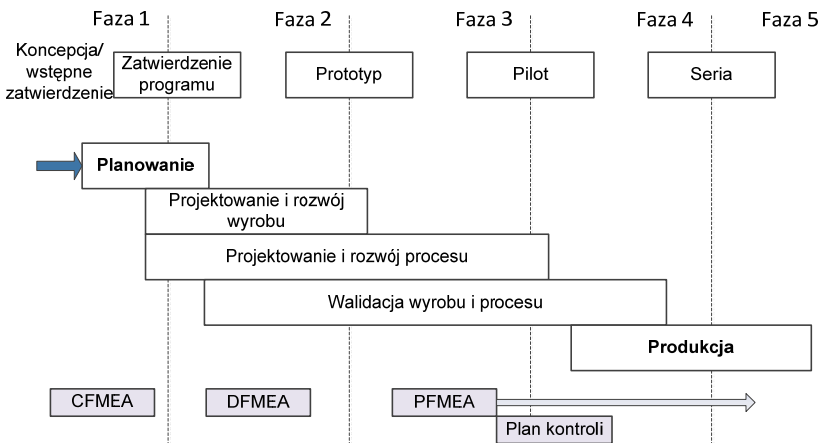


Rys. 1. Rodzaje FMEA [12]

Metoda polega na analitycznym ustalaniu związków przyczynowo-skutkowych powstawania potencjalnych wad produktu oraz uwzględnieniu w analizie czynnika krytyczności (ryzyka). Jej celem jest konsekwentne i systematyczne identyfikowanie potencjalnych wad produktu/procesu, a następnie ich eliminowanie lub minimalizowanie ryzyka z nimi związanego.

Dzięki metodzie FMEA możemy ciągle doskonalić produkt/proces poprzez poddawanie go kolejnym analizom i na tej podstawie wprowadzać nowe poprawki i rozwiązania, skutecznie eliminujące źródła wad oraz poprzez wdrożenie nowych pomysłów ulepszających właściwości wyrobu. Metodę można wykorzystywać do procesów bardzo złożonych zarówno w produkcji masowej jak i jednostkowej. Analizę możemy przeprowadzić dla całego wyrobu, pojedynczego podzespołu lub elementu konstrukcyjnego wyrobu, a także dla całego procesu technologicznego lub jego dowolnej operacji.

Norma ISO TS 16949 wymaga zastosowanie dwóch wariantów metody FMEA: projektowania wyrobu (DFMEA) i planowania procesów (PFMEA). Proces rozpoczyna się w momencie zamówienia materiałów lub surowców, poprzez dostawę, proces produkcyjny następnie pakowanie oraz wysyłkę do klienta. Rysunek 2 przedstawia kolejne etapy zatwierdzeń linii produkcyjnej oraz momenty inicjacji kolejnych wariantów FMEA i dokumentów z nimi powiązanych [13].



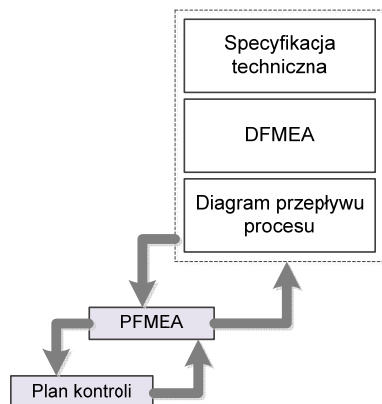
Rys. 2. Etapy zatwierdzenia produkcji na podstawie [14]

Proces tworzenia DFMEA oraz PFMEA kończy się w myśl cyklu Deminga (PDCA) w momencie wyprodukowania ostatniej sztuki wyrobu na linii produkcyjnej i stanowi podstawę do tworzenia następnych dokumentów FMEA dla nowych linii produkcyjnych.

Na rysunku 3 strzałki między dokumentami symbolizują przepływ informacji oraz dane wejściowe do następnych dokumentów. Dane wejściowe do PFMEA zawierają się w DFMEA, w diagramie przepływu procesu (Flowchart) oraz innych dokumentach

i specyfikacjach takich jak na przykład rysunki techniczne produktu. Wszystkie te dokumenty są powiązane, to znaczy, że nie stanowią tylko danych wejściowych do PFMEA, muszą być również aktualizowane o dane wyjściowe z PFMEA.

Flowchart definiuje przebieg procesu produkcyjnego oraz stanowi opis numeracji poszczególnych operacji, które powinny znaleźć odzwierciedlenie w takich dokumentach jak: PFMEA, plan kontroli i instrukcje operacyjne. DFMEA zawiera wszystkie charakterystyki produktu oraz ich efekty, dane te należy przenieść do PFMEA [14].



Rys. 3. Relacja przepływu informacji między dokumentami na podstawie [14]

Analizę FMEA należy rozpocząć jak najwcześniej ze względu na koszty, jakie wiążą się z wytworzeniem wadliwego produktu oraz wiążą się ze zmianami linii produkcyjnej po jej zatwierdzeniu [13]. Harmonogram wykonania analizy należy dopasować do planu przebiegu procesu.

Aby wykonać rzetelnie analizę FMEA, poza danymi wejściowymi, planując działania, należy powołać zespół interdyscyplinarny, składający się ze specjalistów, znających dokładnie istotę analizowanego problemu. Dobór członków zespołu zależy także od celu analizy, bowiem określenie skutku wady wymaga niejednokrotnie specjalistycznej wiedzy wykraczającej często poza znajomość technicznej strony problemu. Analiza wymaga dużej cierpliwości, bowiem najczęściej należy przeanalizować drobiazgowo wszystkie potencjalne i teoretyczne wady, analizując najdrobniejsze elementy konstrukcji lub procesów. W efekcie jednak jej stosowanie przynosi konkretne i wymierne skutki, pozwalając wychwycić wszelkie niedoskonałości wyrobu bądź procesu [15].

2.1. FMEA projektu (Design FMEA - DFMEA)

Według ISO TS 16949:2009 dane wyjściowe z projektowania powinny obejmować między innymi FMEA projektu. Przeprowadzenie metody, już podczas prac projektowych, daje możliwość uzyskania informacji o słabych i silnych stronach wyrobu, który chcemy stworzyć. Umożliwia to zmianę pierwotnych założeń konstrukcyjnych jeszcze przed podjęciem właściwych prac nad wyrobem, a także pozwala:

- określić ryzyko uszkodzeń i awarii mogących wystąpić w wyrobie;
- wyznaczyć te punkty wyrobu, które stanowią jego czułe miejsca, określić sposoby i środki niezbędne do ich usunięcia;
- zebrać wszystkie niezbędne informacje, które pomogą w planowaniu dokładnych i sprawnych programów testowych oraz rozwojowych, a także pozwolą wyeliminować zbędne często kosztowne badania;
- stworzyć listę potencjalnych stanów uszkodzeń uszeregowanych według ich wpływu na klienta.

FMEA projektu powinno być stosowane w następujących przypadkach:

- nowe projekty, nowe technologie.
- zmiany w istniejącym projekcie (zakładając, że istnieje FMEA dla obecnego projektu):
 - ✓ wprowadzanie nowej lub bardzo zmodyfikowanej części lub podzespołu;
 - ✓ wprowadzanie nowego materiału;
- zastosowanie istniejącego projektu lub procesu w nowym otoczeniu, lokalizacji lub dla nowych zastosowań (zakładając, że istnieje FMEA dla obecnego):
 - ✓ wprowadzenie nowego zastosowania produkowanego wyrobu;
 - ✓ eksploatacja wyrobu w trudnych warunkach albo, gdy został wyprodukowany dużym nakładem pracy.

2.2. FMEA procesu (Process FMEA - PFMEA)

PFMEA pozwala rozpoznać problemy i niezgodności, które mogą wystąpić w trakcie przebiegu procesu produkcyjnego. Podstawową zaletą tej metody jest to, że w bardzo wczesnym stadium (na etapie planowania procesu) można z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym:

- zdecydować o przydatności procesu;
- wykryć słabe punkty i problemy, jakie mogą wystąpić podczas procesu;
- zastosować odpowiednie środki, jeśli wystąpiły słabe punkty procesu;
- stworzyć listę zagrożeń występujących w trakcie procesu i określić je według wpływu na jakość wyrobu.

FMEA procesu jest najczęściej stosowane przed uruchomieniem produkcji seryjnej, a także w celu doskonalenia procesów, które nie zapewniają wymagań określonych w normach dla danego wyrobu.

2.2.1. Etapy tworzenia PFMEA według VDA4

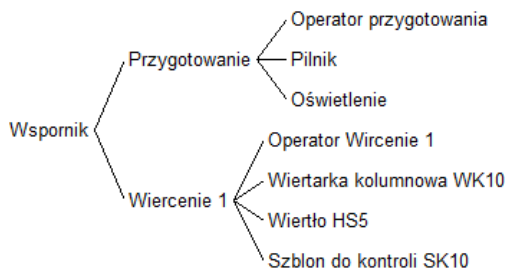
Norma VDA 4 przewiduje pięć etapów realizacji PFMEA (Rys. 4). Dwa pierwsze z nich są etapami analizy systemu. Pierwszy etap to analiza struktury procesu, która to ma na celu utworzenie struktury drzewa procesu [16].



Rys. 4. Etapy realizacji FMEA [16]

Etap 1

Pierwszy stopień struktury drzewa to nazwa produktu lub projektu. Drugi blok drzewa to stanowiska lub fazy procesu. Najniższy blok, w trzystopniowej strukturze, w procesie tworzą przyczyny rozpatrywane według kategorii przyczyn (zgodnie z zasadą 3M+E), do których należą (Rys. 5): człowiek (Man), materiał (Material), sprzęt/maszyna (Machine), środowisko/otoczenie (Environment).



Rys. 5. Struktura drzewa przykładowego procesu w APIS IQ FMEA

Stanowią one pomoc w zapamiętywaniu, iż w procesie należy przedstawić wszystkie istotne czynniki wpływu. Zestaw kategorii przyczyn należy dostosować do analizowanego problemu.

Etap 2

Utworzenie sieci funkcji należy podzielić na dwa podetapy. Pierwszy z nich to określenie funkcji dla każdego elementu struktury drzewa. Najniższy blok przyczyn należy uzupełnić w funkcje danego elementu. Pracownik ma za zadanie wykonać operacje zawarte w instrukcji stanowiskowej takie jak np. ustawić prędkość obrotową wkrętarki, zamontować wiertło itp. W najniższym bloku - przyczyn znajdują się będą również wszystkie charakterystyki procesu (parametry nastaw maszyn lub otoczenia). W środkowym bloku drzewa struktury opiszemy wszystkie charakterystyki produktu, które zostaną wytworzone na danym stanowisku. Charakterystyki te zostały szczegółowo przeanalizowane w DFMEA, z której należy je przenieść do PFMEA na tym etapie. Po lewej stronie drzewa struktury opiszemy funkcje, jakie są wymogami klienta lub użytkownika końcowego produktu oraz funkcje, jakie półprodukt powinien spełniać na następnych stanowiskach procesu produkcyjnego. Wszystkie funkcje efektów należy z połączeniami również skopiować z DFMEA.

Drugim podetapem jest utworzenie sieci funkcji (Rys. 6). Należy powiązać wymagania końcowe (użytkownika, klienta) z charakterystyką produktu oraz funkcją lub charakterystyką procesu z bloku najniższego.

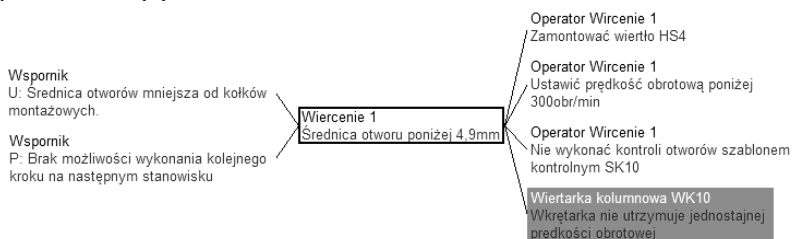


Rys. 6. Przykładowa sieć funkcji opracowana w APIS IQ FMEA

Etap 3

Określenie błędów dla funkcji i charakterystyk z poprzedniego etapu, powinno być jednoznaczne. Zbyt ogólne nazewnictwo będzie nie zrozumiałe dla przyporządkowania przyczyny i skutku błędu oraz ustalenia działania. W przypadku sieci błędów należy rozpocząć opisywanie błędów w środkowym bloku struktury drzewa. Znajdują się tam wcześniej wpisane (skopiowane) charakterystyki produktu. W tym przypadku błędem będziemy nazywać jednoznaczne zaprzeczenie charakterystyki. Przykładem problemowej charakterystyki jest - średnica otworu 5 +/- 0,1 mm. Zaprzeczenie charakterystyki: „Niewłaściwa średnica otworu” nie jest określona jednoznacznie. Błąd należy określić dwu torowo: Średnica otworu poniżej 4,9 mm oraz średnica otworu powyżej 5,1 mm. Istnieje możliwość, że nie spełnienie charakterystyki może mieć inne przyczyny i inne efekty w obu przypadkach, dlatego właściwe opisanie błędu ułatwi w odnalezieniu właściwych przyczyn błędów i efektów jego następstw. Siecią błędów (Rys. 7) nazywamy powiązanie niewłaściwie wykonanych funkcji przez elementy procesu z bloku przyczyn z błędem

z środkowego bloku drzewa struktury oraz efektu, jaki uzyskamy poprzez niespełnienie charakterystyki produktu. Efekty błędów rozpatrujemy, co najmniej w trzech przypadkach: niespełnienie wymagań użytkownika wyrobu końcowego (U), utrudnień w wewnętrznym procesie produkcyjnym (P) oraz utrudnień w produkcji u wszystkich klientów wyrobu pośredniczącego między procesem produkcyjnym a użytkownikiem (K).



Rys.7. Przykładowa sieć błędów opracowana w APIS IQ FMEA

Tak przygotowane sieci błędów tworzą podstawę do kolejnego etapu analizy PFMEA.

Etap 4

Analiza działania to etap utworzenia tabeli PFMEA oraz wypełnienie właściwe wszystkich jej kolumn. Norma VDA4 proponuje nagłówek oraz rozstawienie kolumn zapisanych w inny sposób od wytycznych AIAG, jednak zawartość tabeli jest taka sama.

Effects	S	C	Failure Mode	Causes	Preventive Action	O	Detection Action	D	RPN	R/D		
F M E A Process												
Number: 1.1												
Type/Model/Fabrication/Load: system	Item Code: 2		Revision State: 3		Responsible: 4	Company: 4		Created: 5	2016-09-12			
FMEA/System Element: stanowisko pierwsze	Item Code:		Revision State:		Responsible:	Company:		Created: 6	2016-09-12			
Effects	S	C	Failure Mode	Causes	Preventive Action	O	Detection Action	D	RPN	R/D		
Prz	7	ent: 1	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Rys. 8. Nagłówek tabeli FMEA w Apis IQ FMEA

W nagłówku odnajdziemy dane obowiązkowe takie jak:

1. wariant FMEA (procesu),
2. numer modelu,
3. rewizja rysunkowa modelu,
4. osoby odpowiedzialne,
5. data utworzenia,
6. data ostatniej modyfikacji.

Kolumny poniżej nagłówku dokumentu rozkładają się następująco:

7. efekty wystąpienia błędu,
8. kolumna S, którą należy uzupełnić wsp. od 1-10 wagi efektu (Tab. 1),

9. kolumna C w której należy oznaczyć klasyfikacje charakterystyk krytycznych lub funkcji,
10. kolumnę błędów są to zaprzeczenia charakterystyk z środkowego bloku struktury drzewa,
11. kolumna przyczyn są to błędy rozpatrywane na najniższym poziomie struktury drzewa, akcje zapobiegawcze (prewencje),
12. kolumna O, którą należy uzupełnić wsp. od 1-10 występowalność przyczyny błędów na podstawie tabeli 1,
13. kolumna wykrywalności (detekcji),
14. kolumna D którą należy uzupełnić wsp. od 1-10 wykrywalności (Tab. 2),
15. kolumna RPN, w której należy obliczyć iloczyn współczynników $SxOxD$,
16. kolumna odpowiedzialności, w której identyfikujemy osoby odpowiedzialne za wprowadzenie zmiany w procesie/produkcje oraz termin zakończenia działań, kolumnę tą wypełnia się w etapie 5 tworzenia PFMEA.

Tabela uzupełniona według powyższych wytycznych stanowi gotowy formularz FMEA procesu. Tabele 1, 2, 3 sumują zalecenia podręczników referencyjnych VDA4 oraz AIAG, nie są natomiast ścisłym wymaganiami. Wartości można określić specyficznie ze względu na działalność firmy i jej produkty.

Tab. 1. Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia przyczyny dla PFMEA [14, 16]

Wsp. O	Występowanie przyczyn na tysiąc sztuk	Kryterium występowania przyczyn. Niezawodność projektu na sztuki / samochody	Wskaźnik awarii na okres użytkowania PPM
10	≥ 100 na tysiąc ≥ 1 w 10	Nowy proces bez doświadczeń	500.000
9	50 na tysiąc 1 w 20		100.000
8	20 na tysiąc 1 w 50	Nowy proces ze znanymi jednakże problematycznymi technologiami (procedurami)	30.000
7	10 na tysiąc 1 w 100		10.000
6	2 na tysiąc 1 w 500	Nowy proces z przejściem znanej technologii. Sprawdzony proces z pozytywnym doświadczeniem z produkcji seryjnej w zmienionych warunkach.	5000
5	0,5 na tysiąc 1 w 2000		2000
4	0,1 na tysiąc 1 w 10 000		500
3	0,01 na tysiąc 1 w 100 000	Zmiana detali w sprawdzonych procesach z pozytywnym doświadczeniem z produkcji seryjnej w warunkach porównywalnych.	100
2	$\leq 0,001$ na tysiąc 1 w 1 000 000		10
1	Usterka wyeliminowana poprzez działania zapobiegawcze	Nowy proces w zmienionych warunkach z pozytywnie zakończona procedurą dostarczania dowodu zdolności maszyn / zdolności procesowej. Sprawdzony proces z pozytywnym doświadczeniem z produkcji seryjnej w warunkach porównywalnych na porównywalnych urządzeniach.	1

Tab. 2. Ocena prawdopodobieństwa wykrycia błędu w celu zabezpieczenia projektu wyrobu dla PFMEA [14, 16]

Współczynnik D	Kryterium wykrycia błędu w procesie poprzez kontrolę według AIAG	Kryterium wykrycia błędu w procesie według VDA 4
10	Brak bieżącej kontroli projektu; Brak zdolności wykrycia lub brak analizy.	Bardzo małe prawdopodobieństwo wykrycia błędu, ponieważ nie jest znana lub nie jest ustalona żadna procedura dostarczania dowodu.
9	Usterka i / lub przyczyna błędu jest trudna do wykrycia (np: kontrola wyrwykowa).	
8	Wykrywanie wady przez operatora poprzez kontrolę wizualną / manualną / nasłuch wykonywana po procesie.	Małe prawdopodobieństwo wykrycia błędu, ponieważ procedura dostarczania dowodu jest niepewna lub brak doświadczeń z ustaloną procedurą dostarczania dowodu.
7	Wykrywanie wady przez operatora poprzez kontrolę wizualną / manualną / nasłuch wykonywana na stanowisku LUB po procesie z wykorzystaniem pomiarów atrybutowych (wzorce GO/NO-GO; manualnie moment obrotowy; klucz montażowy; itp.).	
6	Wykrywanie usterki przez operatora z wykorzystaniem pomiarów wartości zmiennych po wykonaniu procesu lub na stanowisku przez operatora poprzez kontrolę wizualną / manualną / nasłuch z wykorzystaniem pomiarów atrybutowych (wzorce GO/NO-GO; manualnie moment obrotowy; klucz montażowy; itp.).	Średnie prawdopodobieństwo wykrycia błędu. Sprawdzona procedura dostarczania dowodu z procesów porównywalnych w nowych warunkach zastosowania/warunkach brzegowych (maszyny, materiał)
5	Wykrywanie wady lub błędu (przyczyny wady) na stanowisku przez operatora z wykorzystaniem pomiarów wartości zmiennych LUB poprzez automatyczną kontrolę na stanowisku, która po wykryciu sztuki niezgodnej poinformuje operatora sygnalizacją świetlną lub dźwiękową. Pomiar wykonywane podczas ustawień oraz kontroli pierwszej sztuki (tylko dla przyczyn konfiguracyjnych).	
4	Wykrywanie wady po procesie poprzez automatyczną kontrolę, która po wykryciu sztuki niezgodnej zablokuje ją zapobiegając dalszemu przetwarzaniu.	
3	Wykrywanie wady na stanowisku poprzez automatyczną kontrolę, która po wykryciu sztuki niezgodnej zablokuje ją zapobiegając dalszemu przetwarzaniu.	Wysokie prawdopodobieństwo wykrycia błędu na podstawie sprawdzonej procedury dostarczania dowodu.
2	Wykrywanie błędu (przyczyny wady) na stanowisku poprzez automatyczną kontrolę, która wykryje błąd i zapobiegnie powstaniu sztuki niezgodnej.	Żądana zdolność urządzeń pomiarowych procedury dostarczania dowodu dla celów identyfikacji błędów jest potwierdzona.
1	Zapobieganie powstaniu błędu (przyczyny wady), jako rezultat zastosowania gniazd kształtowych maszyn, fixture, projektu maszyny lub projektu części. Części niezgodne nie mogą być wytworzone – zabezpieczenie (error-proof) poprzez proces lub projekt.	Bardzo wysokie prawdopodobieństwo wykrycia błędu na podstawie sprawdzonej procedury dostarczania dowodu z wcześniejszych generacji wyrobu. Skuteczność została potwierdzona na tym wyrobie.

Tab. 3. Ogólne kryteria znaczenia skutku błędu dla procesu dla PFMEA [14, 16]

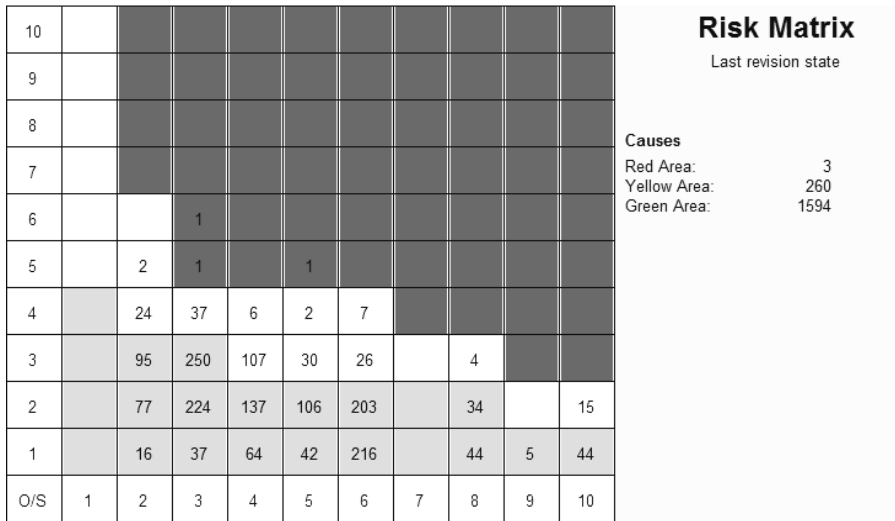
Współczynnik S	Kryterium: Dotkliwość efektu wpływ na klienta (użytkownika końcowego) AIAG	Kryterium: Dotkliwość efektu wpływ na proces montażowy AIAG	Dotkliwość efektu -wpływ na klienta VDA 4
10	Potencjalna wada wpływa na bezpieczeństwo użytkownika pojazdu i /lub narusza przepisy rządowe. Wada pojawia się bez ostrzeżenia.	Może nieść zagrożenie dla operatora (maszyn lub zespołu) bez ostrzeżenia	Bardzo poważny błąd, wpływający negatywnie na bezpieczeństwo i/lub naruszający dotrzymanie przepisów prawa. Ryzyko dla firmy, zagrażającej jej egzystencji. Ze względów jakościowych wyrób nie może zostać dostarczony. Nieakceptowane przekroczenie kosztów.
9	Potencjalna wpływa na bezpieczeństwo użytkownika pojazdu i /lub narusza przepisy rządowe. Wada pojawia się z ostrzeżeniem.	Może nieść zagrożenie dla operatora (maszyn lub zespołu) z ostrzeżeniem.	
8	Utrata zdolności do wykonywania podstawowej funkcji (pojazd niesprawny). Bez wpływu na bezpieczeństwo.	Możliwa konieczność złomowania 100% wyrobów. Zatrzymanie linii lub wstrzymanie wysyłek.	Bardzo opóźniona dostawa. Wysoki procent przeróbek. Przystój linii. Wysokie zużycie/ uszkodzenie narzędzi. Wysokie przekroczenie kosztów. Wysokie koszty złomowania.
7	Pogorszenie działania podstawowej funkcji (pojazd działa, ale z obniżonym stopniem sprawności)	Możliwa konieczność złomowania części wyrobów. Odchylenie od podstawowego przebiegu procesu włączając spowolnienie produkcji lub zwiększenie siły roboczej.	
6	Utrata zdolności do wykonywania drugorzędnej funkcji (pojazd sprawny, lecz elementy odpowiedzialne za komfort, wygodę niesprawne)	Możliwa konieczność naprawy 100% wyrobów poza stanowiskiem oraz weryfikacji części.	Opóźniona dostawa, średni procent przeróbek.
5	Pogorszenie działania drugorzędnej funkcji (pojazd sprawny, lecz elementy odpowiedzialne za komfort, wygodę z obniżonym stopniem sprawności)	Możliwa konieczność naprawy części wyrobów poza stanowiskiem oraz weryfikacji części.	Zakłócenie procesu. Średnie zużycie/ uszkodzenie narzędzi. Średnie przekroczenie kosztów. Średni procent złomowania.
4	Wygląd zewnętrzny (elementy wykończeniowe) lub słyszalny hałas stukotanie; trzeszczenie. Pojazd sprawny, niezgodność dostrzegalna przez większość klientów (>75%).	Możliwa konieczność naprawy 100% wyrobów (na stanowisku) zanim zostaną poddane obróbce	
3	Wygląd zewnętrzny (elementy wykończeniowe) lub słyszalny hałas stukotanie; trzeszczenie. Pojazd sprawny, niezgodność dostrzegalna przez wielu klientów (50%).	Możliwa konieczność naprawy części wyrobów (na stanowisku) zanim zostaną poddane obróbce.	Niewielkie przeróbki. Niewielkie zakłócenia procesu. Niewielkie przekroczenie kosztów. Niewielki procent złomowania.
2	Wygląd zewnętrzny (elementy wykończeniowe) lub słyszalny hałas stukotanie; trzeszczenie. Pojazd sprawny, niezgodność dostrzegalna przez wnikliwych klientów (<25%).	Lekka niedogodność dla operatora, procesu, operacji.	
1	Brak dostrzegalnych efektów.	Brak dostrzegalnych efektów.	Bardzo małe, akceptowalne przekroczenie kosztów.

Etap 5

Celem przeprowadzenia etapu 5 według normy VDA4 jest ustalenie działań wymagających doskonalenia, ocena ryzyka, sprawdzenie skuteczności zrealizowanych działań oraz dokumentacja zrealizowanych działań. Działania optymalizacyjne mają na celu zmniejszenie współczynników O oraz D, ponieważ właściwie określony współczynnik S nie podlega redukcji. Obniżenie współczynnika wykrywalności polega na zaplanowaniu i wdrożeniu działań detekcyjnych, dla których współczynnik D według tabeli 2 będzie mniejszy, czyli kontrola będzie bardziej skuteczna. Na współczynnik występowalności O możemy wpłynąć odpowiednią prewencją. Jednym z najbardziej skutecznych rodzajów działań prewencyjnych i detekcyjnych są działania typu Poka-Yoke inaczej nazywane w ISO TS 16949 jako mistake proofing czyli wykrywanie błędu (przyczyny wady) na stanowisku poprzez automatyczną kontrolę, która wykryje błąd i zapobiegnie powstaniu sztuki niezgodnej lub działania error proofing czyli zapobieganie powstaniu błędu (przyczyny wady), jako rezultat zastosowania na przykład gniazd kształtowych maszyn, fixture, projektu maszyny lub projektu części [17]. Wdrażanie dodatkowych działań zapobiegawczych oraz kontroli odbywa się według ściśle określonych sposobów. Poniżej zaprezentowane zostały sposoby hierarchizacji podejmowania ingerencji w proces produkcyjny.

2.2.2. Matryca ryzyka

Jedną z najbardziej popularnych sposobów odnajdowania miejsc w procesie wymagających podjęcia działań to zastosowanie matrycy ryzyka [18]. Metoda ta polega na sprawdzeniu zależności pomiędzy współczynnikami O i S. Poziomy w matrycy określają wagę efektu – (S) natomiast kolumny występowalność błędu – (O). Obszar zielony matrycy wyznacza brak potrzeby podejmowania dodatkowych działań, obszar żółty określa brak bezwzględnej potrzeby działania (ryzyko powinno być zredukowane odpowiednimi działaniami), obszar czerwony definiuje potrzebę działania (ryzyko musi być zredukowane odpowiednimi działaniami). Przykładową matrycę ryzyka przedstawiono na rysunku 9. Wartości graniczne, które dzielą obszary czerwony żółty i zielony należy określić specyficznie ze względu na działalność firmy i jej produkty.



Rys. 9. Przykład matrycy ryzyka [16]

2.2.3. Metoda SOD

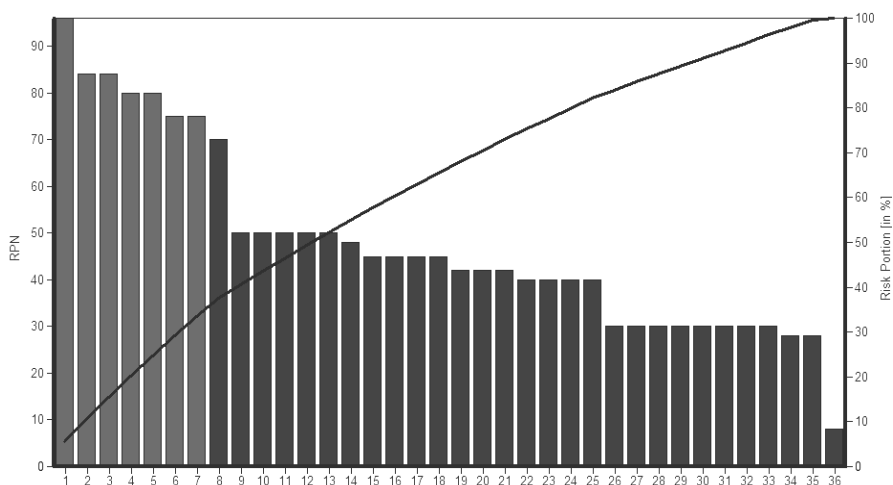
Poniżej przedstawiony został sposób wyodrębnienia miejsc w których działania należy wprowadzić w pierwszej kolejności. Z współczynników wagi (S), występowalności (O) oraz wykrywalności (D) tworzymy liczbę trzycyfrową nazywaną współczynnikiem SOD. Największy współczynnik wskazuje na wysoką wartość współczynnika S (cyfra setnych) a co za tym idzie na wysoki rozmiar szkody, współczynnik O (cyfra dziesiątych) wskazuje na częste (potencjalne) występowanie przyczyny błędu, najmniejsze znaczenie ma wartość współczynnika D (cyfra jedności), która wskazuje na to, że błąd nie zostanie wykryty. Według tej metody należy w pierwszej kolejności zająć się optymalizacją obszarów, w których waga efektu jest największa, aby zmniejszyć współczynnik SOD. W Tabeli 4 przedstawiony jest przykład trzech przypadków zestawienia SOD, dla których RPN jest taki sam [20]. Metoda SOD pozwoli wybrać przypadek, w którym należy ingerować w pierwszej kolejności.

Tab. 4. Przykładowe zastosowanie metody SOD [14]

S	O	D	RPN	SOD
7	7	3	147	773
7	3	7	147	737
3	7	7	147	377

2.2.4. Analiza Pareto dla iloczynu RPN

Norma VDA4 nie zaleca definiowania sztywnej wartości iloczynu RPN, jako granicy podjęcia działań doskonalących proces produkcyjny [16]. Często jednak poziom ryzyka zależy od specyfiki grupy - analitycy bardziej pesymistyczni, ostrożni będą mieli tendencję do wyższych ocen, optymiści mogą mieć skłonności do zaniżania ryzyka. Optymalne wydaje się więc wykorzystanie do podsumowania wyników analizy Pareto-Lorenza (Rys.10). Czerwone słupki na wykresie to 20% największych współczynników RPN. Według tej metody to te działania wymagają optymalizacji [20].



Rys.10. Analiza Pareto RPN w APIS IQ FMEA

3. Wnioski końcowe

Zarządzanie ryzykiem w szerszym rozumieniu pozwala na pewnego rodzaju zabezpieczenie się przed ewentualnymi zagrożeniami wynikającymi z działalności przedsiębiorstwa i zmieniającymi się wymaganiami klientów. Efekty analizy PFMEA, zastosowanej we wczesnej fazie projektowania, pozwolą na sprawne uruchomienie produkcji o zredukowanej ilości wadliwych wyrobów. Zidentyfikowanie operacji w procesie produkcyjnym o wysokim prawdopodobieństwie wytworzenia produktu niespełniającego wymagania klienta, pozwoli na zaplanowanie działań zapobiegawczych i kontrolnych. W tym miejscu należy pamiętać, że według filozofii Kaizen działania kontrolne w procesie nie przynoszą wartości dodanej wyrobu, a co za tym idzie stanowią mude [21]. Są to jednak mniejsze koszty niż związane z działaniami z przyszłymi reklamacjami klientów. Działania typu mistek proofing lub error proofing wiążą się z wysokim wkładem finansowym. Koszty wdrożenia

zabezpieczeń tego typu znajdują się w kosztach tworzenia, a nie jak często bywa udoskonalania wyrobu/procesu produkcyjnego.

Organizacja procesu produkcyjnego, zwłaszcza realizowanego ręcznie, jest istotnym elementem wpływającym na jego efektywność, a także, jakość finalnego wyrobu. Jak potwierdza praktyka w przypadku montażu ręcznego, nie zawsze realizacja poszczególnych operacji jest powtarzalna. Należy, zatem, dążyć do opracowania odpowiednich instrukcji oraz tak zorganizować stanowisko pracy, aby wyeliminować możliwość popełniania błędów przy jednoczesnym zmniejszeniu odchyłek czasowych w realizacji powtarzalnych operacji. Z analizy FMEA mogą również wynikać miejsca, w których należy zastosować automatykę, eliminując lub zmniejszając wpływ, w tych przypadkach, czynnika ludzkiego.

Poprawnie przeprowadzona analiza PFMEA oraz wdrożenie akcji zaradczych wynikających z optymalizacji działań pomoże nie tylko w zmniejszeniu kosztów późniejszej reakcji wadliwego produktu na rynku, ale z pewnością wpłynie na ocenę współpracy między klientem a dostawcą, zrozumieniu przez zarządzających linią produkcyjną zagrożeń, jakie mogą płynąć podczas produkcji oraz utrzymaniu dobrej opinii na temat producenta wyrobu finalnego wśród użytkowników.

Literatura

- [1] Birsch J., Fielder D., *The Ford Pinto case: A study in applied ethics, business, and technology*, State University of New York Press, 1994.
- [2] Wawak S., *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*, Gliwice, Helion, 2002.
- [3] Johnson K. G., Khan M.K., *A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK*, Journal of Materials Processing Technology, 2003, vol. 139, no.1-3, p. 348-356.
- [4] Tavner, P.J., Higgins, A., Arabian, H., Long, H., Feng, Y. *Using an FMEA method to compare prospective wind turbine design reliabilities*. In: European Wind Energy Conference, EWEC 2010, 20-23 April 2010, Warsaw, Poland.
- [5] Ozilgen S., *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for confectionery manufacturing in developing countries: Turkish delight production as a case study*, Food Science and Technology, 2012, vol. 32., no. 3, p. 505-514.
- [6] Szaśniadek M., *Wykorzystanie metody FMEA do usprawnienia montażu motoreduktora*, Technologia i Automatykacja Montażu, 2011, no. 2, s. 24-27.
- [7] Lipol L. S., Haq J., *Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations*, International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS, 2011, vol. 11, no.5, p. 74-82.
- [8] Signor M. C., *The failure-analysis matrix: A Kinder, gentler alternative to FMEA for information systems*, Reliability and Maintainability Symposium, 2002, p.173-177.

- [9] Wolniak R., Krzemień E., *Zastosowanie komputerowego wspomaganie w zarządzaniu jakością-metody FMEA i QFD*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Organizacja i Zarządzanie, Gliwice, 2002.
- [10] Hari A., Weiss M. P., *CFMA-An Effective FMEA tool for Analysis and Selection of the Concept for a New Product*, Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conference Design Theory and Methodology Conference., Las Vegas, 1999.
- [11] Kucińska-Landwótczyc A., Zuzak T., *Zastosowanie analizy PFMEA do poprawy jakości procesów magazynowania i transportu w przedsiębiorstwie Nestlé Polska SA*, Logistyka, 2014, nr 6, s. 6274-6283.
- [12] Huber Z., *Kawa na ławie Analiza FMEA procesu*. Gliwice, Złote Myśli, 2006.
- [13] *IATF, Specyfikacja techniczna ISO/TS 16949*. Genewa, ISO copyright office, 2009.
- [14] *AIAG, Potential Failure Mode and Effects Analysis*, 2008, 4th ed.
- [15] Miller P., Ślicznik A., *Wykorzystanie metody FMEA zorientowanej na koszty w doskonaleniu działań operacyjnych przedsiębiorstwa*, Studia i prace kolegium zarządzania, 2006, z.69, s.29-48.
- [16] *VDA 4, Zarządzanie jakością w przemyśle motoryzacyjnym. Zapewnienie jakości na mapie procesów*. Frankfurt nad Menem, 2006.
- [17] Szewieczek D., Dudek-Burlikowska M., *The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 2009, vol, 36, no. 1, p. 95-102.
- [18] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., *Five-parametric matrix to estimate the risk connected with water supply system operation*, Environment Protection Engineering, 2006, vol. 32, no. 2, p. 37-46.
- [19] Khorshidi H. A., Gunawan I., Esmailzadeh F., *Implementation of SPC with FMEA in less-developed industries with a case study in car battery manufactory*, International Journal of Quality and Innovation, 2013, vol. 2, no. 2, p. 148 – 157.
- [20] Zasadzień M., *Using the Pareto diagram and FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) to identify key defects in a product*, Management Systems in Production Engineering 2014, no. 4, p. 153-156.
- [21] Stöckli M. T., Rüttimann B. G., *Going beyond Triviality: The Toyota Production System—Lean Manufacturing beyond Muda and Kaizen*, Journal of Service Science and Management, 2016, vol. 9, no. 2, p.140-149.

PRAKTYCZNE SPOSOBY REDUKCJI PRZEBROJEŃ W PRODUKCJI GNIAZDOWEJ

Piotr KOWALCZYK¹, Roman STRYJSKI², Waldemar WOŹNIAK³

Artykuł przedstawia zagadnienia związane z metodyką „odchudzonego” wytwarzania dotyczącą wpływu czasu przebrojeń na całkowitą efektywność pracy gniazda produkcyjnego. Wykorzystując etapy wdrażania metody SMED, zaprezentowano przykład usprawnienia przebrojenia w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym z branży samochodowej. Pracę zakończono podsumowaniem, zawierającym kluczowe rezultaty wprowadzonych usprawnień.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z metodyką wprowadzoną przez W.E. Deminga warunkiem doskonalenia procesów w przedsiębiorstwach produkcyjnych jest umiejętność znalezienia sytuacji, które przynoszą straty i obniżają jakość produkowanych wyrobów. W zbiorze narzędzi Lean można wyróżnić takie rozwiązania, które w sposób przejrzysty (graficzny) pozwalają przedstawić przebieg analizowanego procesu. Do rozwiązań tych niewątpliwie należy diagram Spagetti [1, 2]. Diagram ten pozwala przedstawić wszelkiego rodzaju ruchy produktów, usług czy pracowników w układzie graficznym na hali produkcyjnej (tzw. layoucie) zgodnie z geograficznym rozmieszczeniem stanowisk pracy.

W aspekcie technicznym diagram Spaghetti tworzony jest poprzez naniesienie na rysunek techniczny (plan) zakładu, ścieżek wyznaczanych przez przepływ (ruch) badanego produktu w różnych fazach jego produkcji. Podczas tworzenia diagramu oprócz pomiarów przebytej drogi, przedstawianej w jednostkach długości (kilometry oraz metry w zależności od skomplikowania danego badanego zjawiska), wykorzystuje się także pomiar niezbędny do wyliczenia czasu trwania czynności dodających wartość i przynoszących straty.

¹ mgr inż.; P-D-C-A SZKOLENIA, Doradztwo Piotr Kowalczyk, Polska; office@pdcaszkolenia-doradztwo.com

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

³ dr inż.; Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny; e-mail: w.wozniak@iizp.uz.zgora.pl

Stąd też, celem dla którego tworzy się diagram Spaghetti jest wykrycie wszelkiego rodzaju strat, które ponosi przedsiębiorstwo przy danym rozmieszczeniu stanowisk, gniazd produkcyjnych czy wydziałów na terenie zakładu. Prawidłowo wykonany diagram spaghetti uwidacznia straty wynikające z nadmiernie wydłużonych dróg transportu produktów oraz towarzyszący im nadmierny ruch.

2. Zasady wdrażania analizy SMED

Kluczową kwestią stosowania metod usprawniania procesów produkcyjnych (np. SMED – ang. Single Minute Exchange of Die) oraz metod zarządzania zapasami produkcyjnymi (np. JIT) jest znalezienie minimalnych kosztów produkcji. Opóźnienia zaplanowanego procesu produkcyjnego często wynikają z awarii maszyn i urządzeń. W dodatku pojawiają się opóźnienia spowodowane koniecznością zmiany planu [3, 4].

Proces przebrajania maszyn i urządzeń składa się z:

- przygotowania demontażu i weryfikacji materiałów na stanowisku pracy,
- demontażu i montażu narzędzi,
- centrowania i ustawiania wymiarów oraz innych parametrów procesu,
- wykonania próbnych egzemplarzy półwyrobów.

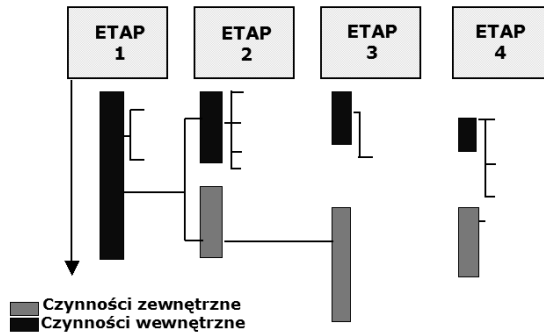
Zredukowanie czasu przebrojenia narzędzia zamontowanego na maszynie zwiększa czas przeznaczony na produkcję przy jednoczesnym zmniejszeniu wielkości partii produkcyjnych oraz ilości zapasów. W efekcie redukcja czasu przebrojenia powoduje obniżenie kosztów produkcji. Skrócenie czasu przebrojenia przynosi także korzyści operatorom poprzez:

- szybsze oraz znacznie uproszczone przebrojenia, co zwiększa ich bezpieczeństwo, zmniejszając ryzyko wypadku oraz wysiłek fizyczny,
- mniejsze lub całkowicie wyeliminowane buforów między stanowiskami, co oznacza większy porządek na stanowisku pracy, czyniąc produkcję łatwiejszą oraz bezpieczniejszą,
- normalizację i unifikację narzędzi wykorzystywanych do przebrojeń oraz ustawień maszyny.

Głównym powodem długiego czasu trwania operacji w dotychczasowym systemie pracy jest mylenie czynności wewnętrznych z zewnętrznymi. Wiele zadań, które można wykonać podczas pracy maszyny jest odwlekana do czasu, gdy maszyna już nie produkuje.

SMED powinno się przeprowadzać w czterech etapach [5]:

Etap pierwszy – analiza sytuacji - polega na dokładnej analizie całego procesu, zgromadzeniu wszystkich niezbędnych danych historycznych, takich jak ilość, częstotliwość oraz przyczyna najczęstszych awarii, a także błędy oraz przyczyny ich powstawania.

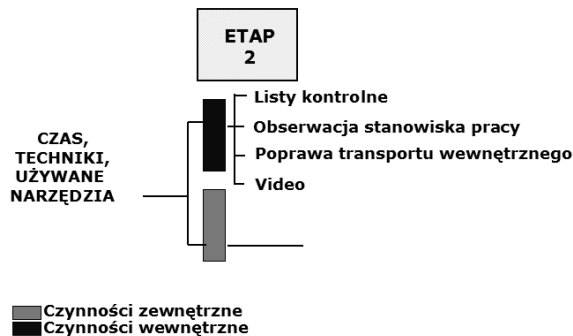


Rys. 1. Etapy SMED [5]



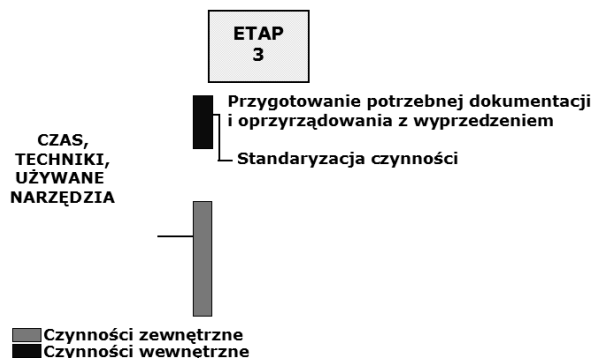
Rys. 2. Etap I w metodzie SMED [5]

Etap drugi - oddzielenie czynności wewnętrznych od zewnętrznych - polega na zaplanowaniu oraz wykonaniu prostych czynności, takich jak przygotowanie transportu w czasie, w którym maszyna dalej wytwarza poprzednią serię produkcyjną, co znacząco skraca czas przeznaczony na czynności wewnętrzne o około 30 – 50 %.



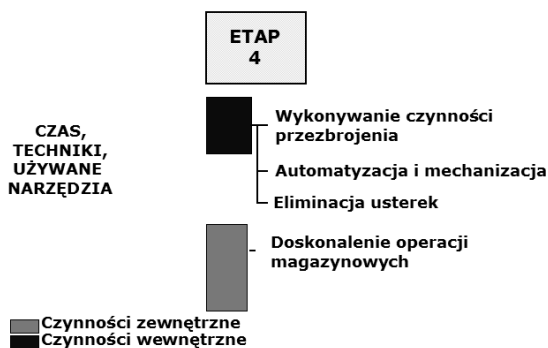
Rys. 3. Etap II SMED [5]

Etap trzeci – zamiana czynności wewnętrznych na czynności zewnętrzne powoduje redukcję czasu przygotowawczo – zakończeniowego i obejmuje takie czynności jak powtórne przeanalizowanie operacji w celu upewnienia się, że żaden krok nie został mylnie ujęty w czynnościach wewnętrznych oraz znalezienie sposobów na wcielenie tych kroków do czynności zewnętrznych.



Rys. 4. Etap III SMED [5]

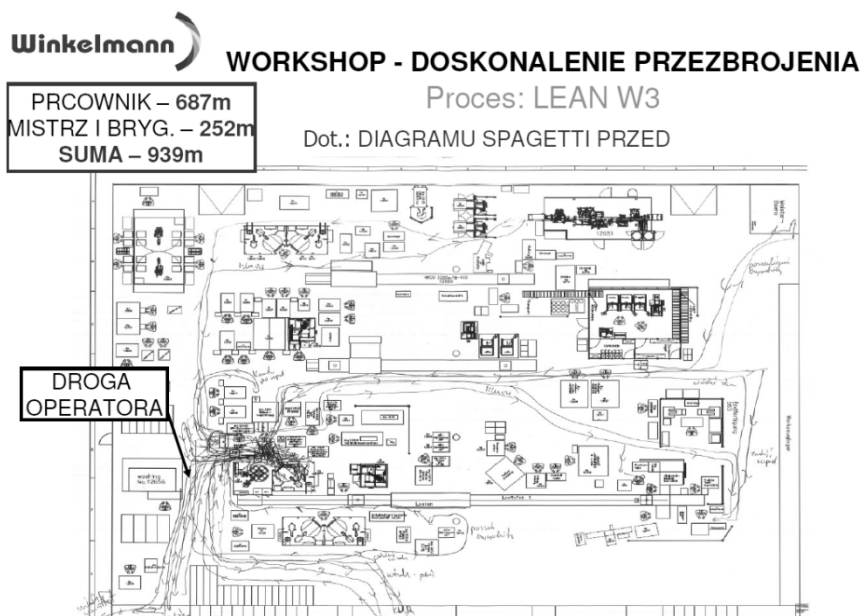
Etap czwarty – usprawnienie wszystkich możliwych aspektów operacji nastawczych. W celu dalszego skracania czasu stosuje się ściśle określone zasady, dotyczące kroków, które muszą zostać wykonane wtedy, gdy maszyna jest wyłączona (ustawienia wewnętrzne).



Rys. 5. Etap IV SMED [5]

3. Case study - zastosowanie diagramu spaghetti podczas wdrożenia analizy SMED w firmie Winkelmann Automotive Legnica

Wdrożenie systemu SMED rozpoczęto od udokumentowania stanu obecnego. W tym celu została powołana grupa interdyscyplinarna, która podzieliła się zadaniami. Jedna z osób filmowała proces przezbrojenia, kolejna rysowała diagram Spaghetti oraz spisywała kolejne czynności, które wykonywał operator. Najważniejszą funkcją był pomiar czasów czynności w trakcie przezbrojenia. Czynności wykonywane przez operatora, w czasie przezbrojenia, zostały przedstawione na rysunku 6.



Rys. 6. Droga operatora przedstawiona na diagramie Spagetti

Po udokumentowaniu stanu obecnego rozpoczęto ponowną analizę zebranych danych. Bardzo ważną rolę odegrał film nakręcony podczas procesu przezbrojenia. Zaobserwowano wiele elementów nadających się do poprawy, które nie zostały wcześniej zauważone. Rzeczywisty czas (zmierzony) przezbrojenia wynosił 4h. Cały proces przezbrojenia szczegółowo rozpisano na karteczkach, które po rozwieszeniu bardzo dobrze wizualizowały wykonywane czynności podczas przezbrojenia z dokładnością, do 1 HM (1 HM = 0,01 minuty) (Rys. 8).



WORKSHOP - DOSKONALENIE PRZEBROJENIA

Proces: LEAN W3

Dot.: CZYNNOSCI WYKONANYCH PODCZAS PRZEBROJENIA

Winkelmann		Przebrojenie robota na lin. 3 z ser. 762000 data: 25.08.2011	
Opis	CS	START	Jednostka
1. Wykonanie kontroli jakości na stanowisku, z pełną różnicą roboczą	5 min	14:11	
2. Prace na sterowniku i czyszczenie	25 sek		
3. Engage/brak zadawanie narządzie do pracy	11 min 4 sek		
4. Prace przy czyszczeniu	4 min 59 sek		
5. Prace przy czyszczeniu	2 min 18 sek		
6. Prace przy czyszczeniu	5 min 21 sek		
7. Prace przy czyszczeniu	2 min 15 sek		
8. Prace przy czyszczeniu	42 sek		
9. Prace przy czyszczeniu	40 sek		
10. Montaż narządzie (1 strona)	8 min 19 sek		
11. Prace przy czyszczeniu	1 min 10 sek		
12. Prace przy czyszczeniu	1 min 3 sek		
13. Montaż narządzie (2 strona)	1 sek		
14. Prace przy czyszczeniu	11 min 33 sek		
15. Prace przy czyszczeniu	6 min 31 sek		
16. Prace przy czyszczeniu	10 min 42 sek		
17. Prace przy czyszczeniu	8 min 56 sek		
18. Prace przy czyszczeniu	8 min 11 sek		
19. Prace przy czyszczeniu	10 min 25 sek		
20. Prace przy czyszczeniu	9 min 16 sek		
21. Prace przy czyszczeniu	2 min		
22. Prace przy czyszczeniu	11 min 10 sek		
23. Prace przy czyszczeniu	13 min 26 sek		
24. Prace przy czyszczeniu	9 min 36 sek		
25. Prace przy czyszczeniu	8 min 52 sek		
26. Prace przy czyszczeniu	10 min 10 sek		
27. Prace przy czyszczeniu	10 min 10 sek		

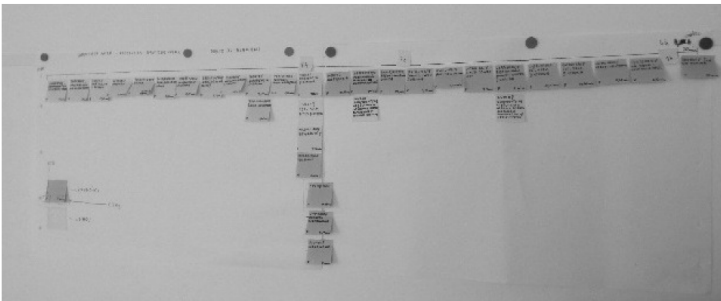
Rys. 7. Rejestracja czynności wykonywanych w ramach przebrojenia



WORKSHOP - DOSKONALENIE PRZEBROJENIA

Proces: LEAN W3

Dot.: CZYNNOSCI WYKONANYCH PODCZAS PRZEBROJENIA

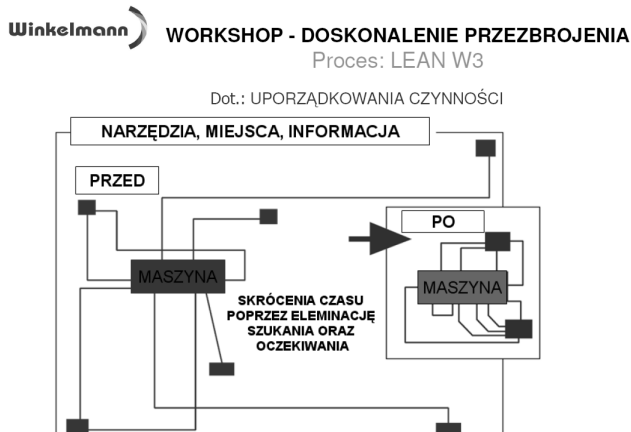


CZAS : 4 GODZ

Rys. 8. Prezentacja analizowanego procesu

W efekcie zaobserwowano, że operatorzy wykonywali wiele czynności na niedziałającej już maszynie. Czynności te sprawiały, że maszyna była zajęta przez operatora i nie wykonywała żadnej operacji technologicznej. W celu poprawienia wykorzystania czasu pracy maszyny czynności podzielono na zewnętrzne

i wewnętrzne (zewnętrzne, czyli takie, które mogą być wykonywane na jeszcze pracującej maszynie oraz wewnętrzne, czyli te, które mogą być wykonywane na maszynie wyłączonej). Podział czynności na zewnętrzne i wewnętrzne w znaczący sposób pozwolił skrócić czas całego przebrojenia. Ponadto, dzięki analizie diagramu Spaghetti, zaobserwowano nieefektywne przemieszczanie się operatorów spowodowane brakiem narzędzi produkcyjnych, narzędzi do przebrojenia oraz brakiem ściśle określonego podziału pracy na stanowisku pracy. W rezultacie przygotowano szafkę na narzędzia do przebrojeń, wyposażoną w szczegółowe opisy oraz zakupiono narzędzia produkcyjne i stworzono instrukcję dla operatorów (Rys. 9 i 10).



Rys. 9. Uporządkowanie czynności operatora

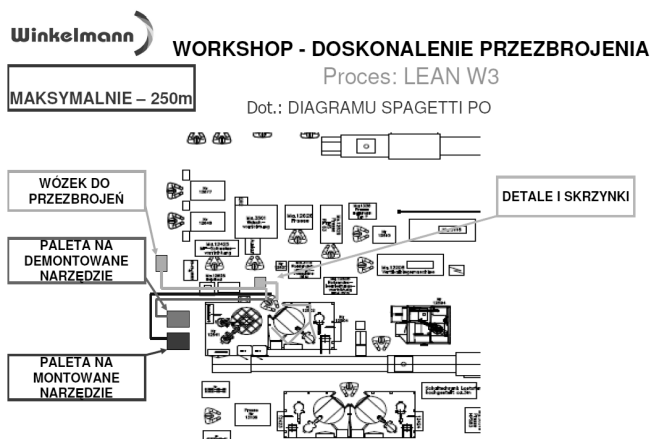
Winkelmann) **WORKSHOP - DOSKONALENIE PRZEBROJENIA**
Proces: LEAN W3



Rys. 10. Doposażenie maszyny oraz zmiany rozmieszczenia narzędzi

4. Podsumowanie

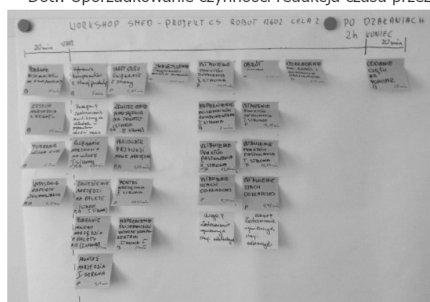
Wdrożenie proponowanej metody pozwoliło na skrócenie czasu przebrojenia o połowę (tj. z 4h do 2h). Dodatkowo zmniejszono koszty wyposażenia stanowiska.



Rys. 11. Diagram Spagetti po wdrożeniu rozwiązania usprawniającego

W wyniku przeprowadzonych usprawnień uzyskano:

- efektywniejsze rozmieszczenie środków niezbędnych do przebrojenia (Rys. 11),
- redukcję niepotrzebnych czynności wykonywanych przez operatora (Rys. 12),
- oszczędności na narzędziach (Rys. 13),
- redukcję czasu przebrojenia (Rys. 14)



CZAS : 2 GODZ

Rys. 12. Uporządkowanie czynności wykonywanych przez operatora



WORKSHOP - DOSKONALENIE PRZEBROJENIA

Proces: LEAN W3

Narzędzia niezbędne do przebrojenia	Cena wg. Oferty PSService	Cena zakupu przez SMED TEAM	Różnica
Komplet wkrętaków	56.50 zł	47.97 zł	8.53 zł
Klucze płaskie	239 zł	56.10 zł	182.90 zł
Wąż do klucza udarowego	69 zł	42.46 zł	26.54 zł
Imbus 17	79.50 zł	19.40 zł	60.10 zł
Kombinerki	29.20 zł	7.30 zł	21.90 zł
Komplet imbusów	59 zł	19.66 zł	39.34 zł
Szczypce (Zabka)		13.80 zł	Dodatkowe wyposażenie
Nasadka 14	59.70 zł	17.06 zł	42.64 zł
Klucz Udarowy	499 zł	160 zł	339 zł
Skrzynka na narzędzia	139 zł	100 zł	39 zł
Komplet wybijaków	324 zł	0 zł (wybijaki zostaną wykonane w zakresie Pracy UR)	324 zł
Balanser	110.50 zł	0 zł (Posiadamy 1 sztukę nie wykorzystanego balansera)	110.5
	1,132.20 zł	483.75 zł	655.14 zł

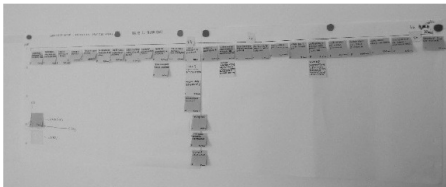
Rys. 13. Kalkulacja kosztów narzędzi do przebrojenia



WORKSHOP - DOSKONALENIE PRZEBROJENIA

Proces: LEAN W3

Dot.: Uporządkowanie czynności redukcja czasu przebrojenia



Przebrojenie dotychczas trwało 4 h



Wprowadzając działania korygujące jesteśmy w stanie zredukować czas przebrojenia do 2 h

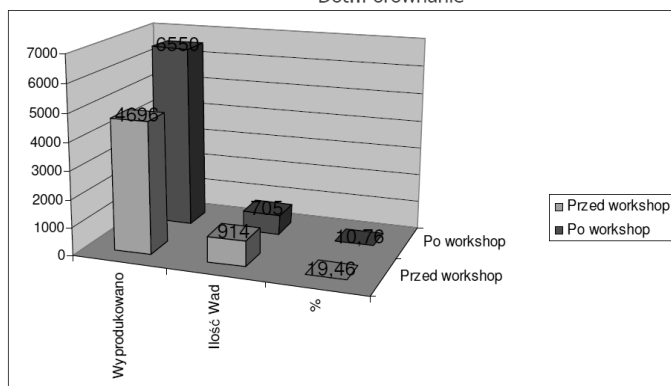
Rys. 14. Redukcja czasu przebrojenia



WORKSHOP - DOSKONALENIE PRZEZBROJENIA

Proces: LEAN W3

Dot.: Porównanie



Rys. 15. Porównanie rezultatów procesu produkcyjnego przed i po analizie

Prezentacja graficzna w postaci diagramu Spagetti jest efektywnym narzędziem do analizy i usprawniania procesów produkcyjnych. W badanym przypadku przełożyło się to bezpośrednio na zmniejszenie brakowości o około 9% i znaczną redukcję czasu przezbrojenia. Opisowaną sytuację prezentuje wykres na rysunku 15.

Literatura

- [1] Bryke M., *Wstęp do Kaizen – Efektywność warunkiem przetrwania – skuteczne metody zwiększania produktywności przedsiębiorstw*, Kraków, 2005.
- [2] Wiśniewska M., *Jak-czyli kaizen odpowiada na potrzeby*, Zarządzanie jakością, Kraków, 2005.
- [3] Łazicki A., Samsel D., Krużycka L., Brzeziński A., Matejczyk M., Nowacki M., Czołba M., Babalska D., *Systemy zarządzania przedsiębiorstwem-techniki Lean Management i Kaizen*, Warszawa, 2011.
- [4] Mikula B., Pietruszka – Ortyl A., Potocki A., *Zarządzanie przedsiębiorstwem XXI w – wybrane koncepcje i metody*, Warszawa, 2002.
- [5] Koziar B., *Warsztat SMED jako najlepszy sposób redukcji czasu przezbrojenia maszyny i urządzeń*, Zarządzanie jakością, Kraków, Luty 2005.
- [6] Dokumentacja wdrożenia Lean w przedsiębiorstwie Winkelmann Sp. z o.o. Legnica

REQUIREMENTS FOR SIMULATION PROCESS DATA MANAGEMENT IN PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT SYSTEMS

Chris KRAUSE¹, Dierk OTTO², Irene KREBS³

The work encloses the analysis of the business processes for the development of engine parts within Rolls-Royce Deutschland as well as an adapted storage method for simulation data in the PLM tool Siemens Teamcenter. However, this paper focuses entirely on the found gaps and requirements in the business processes to adjust the PLM tool. The first and most important requirement is the traceability of the simulation back to all input parameters. Therefore, the data must be well connected. It is not enough to see which geometry was the basis for a simulation (this is an obligation and nothing new in industry or science). Instead, all small files which are created in the development process and serve as input for a simulation must be found and connected. These small files embrace for example the flight mission (the boundary conditions for the engine), the specific versions of the software tools, the documents which describe the data etc. Furthermore, the paper describes additional requirements, for example the need to enable the analysts and the importance for safety in aerospace. Teamcenter and other PLM software tools allow various adaptations so that the tools can reflect the needs of the enterprises using them. Nevertheless, in majority these tools were adjusted on the design area. This does not mean that nothing is enabled for the CAE community, but the data model for simulations is a generic one which must be extended to all small input files. Therefore, the business processes and created data must be investigated to collect all requirements for simulation process data management within product lifecycle management systems.

1. Introduction

Undoubtedly, simulation data management (SDM) gets more and more important for mechanical engineering enterprises and provides remarkable business benefits [1]. The reasons are manifold. Steadily improved CAD- and manufacturing tools allow more and more complex geometries. These are used in different surroundings and fulfil various requirements. The geometries will not be physically tested for these complex intended purposes since it is not economical and would lead to

¹ M.Sc.; BTU Cottbus-Senftenberg, Faculty of Mechanical Engineering, Electrical and Energy Systems; Germany; e-mail: chris.krause@b-tu.de

² Rolls-Royce Deutschland, Germany

³ Prof. Dr Ing.; BTU Cottbus-Senftenberg, Faculty of Mechanical Engineering, Electrical and Energy Systems; Germany; e-mail: krebs@b-tu.de

extended development processes. Consequently, simulations allow designing for these missions. The commercial of the shelf (COTS) software tools like Abaqus, LS Dyna, Nastran etc. supports simulation to solve complex models. However, simulation process data management (SPDM) is not well established in industry, which hampers traceability of data and consequently leads to longer development lifecycles [2].

Geometries can be created within automated workflows or manually by designers. The first method reduces distinctly the development process time and leads to a design which is driven by simulations (design driven by simulation instead of simulation driven by design). In the past, simulations were used to check if a nearly final geometry can fulfil all requirements.

Obviously, this can lead to time-intensive loops in the development process. This emphasizes the need to check the business processes because improved data storage cannot lead to the full benefits as long as the business processes are not adapted and include waste.

A typical example for mechanical engineering companies are aerospace enterprises. This industry has many additional requirements which complicate simulation data management. The major one might be the long product lifecycle. Aerospace engine manufacturers like Rolls-Royce develop and support an engine for a long time, possibly for one of the longest compared to other industries. An engine can be build and supported in service up to 50 or more years, e.g. the Rolls-Royce Tyne (used among others for the Transall C-160) is in service since 1955. Furthermore, the missions for an engine are very complex and so are the simulations and all its input parameters. This is the reason to support the analysts with a PLM-tool which is adapted not only to the design world, but also to their needs.

The work encloses the analysis of the business processes for the development of engine parts within Rolls-Royce Deutschland as well as an adapted storage method for simulation data in the PLM tool Siemens Teamcenter. However, this paper focuses entirely on the found gaps and requirements in the business processes to adjust the PLM tool.

Teamcenter and other PLM software tools allow various adaptations so that the tools can reflect the needs of the enterprises using them. Nevertheless, in majority these tools were adjusted on the design area. This does not mean that nothing is enabled for the CAE community, but the data model for simulations is a generic one which must be extended to all small input files. Therefore, the business processes and created data must be investigated to collect all requirements for simulation process data management within product lifecycle management systems.

2. Analysis of the Business Processes

The first step for establishing simulation process data management must be the analysis of the current business processes, thus the current situation in an enterprise. This analysis will show which data is created, where it is stored, what can be improved, etc. The gap analysis resulted in the perception that not all data is stored within the PLM tool, thus media breaks (in terms of the storage location) exist.

The analysis of business processes is an iterative process which requires to outline many different statements of the process actors who were asked in an employee survey. Furthermore, these persons have various preferences of which tools should be used or how the process should look like. Details for the analysis of the business processes can be found in [7].

3. State of the Art for SPDM in PLM

Firstly, the question could arise why a SPDM tool should be integrated within a PLM tool since there are developments on the market which are standalone solutions [8]. Some even do not have a connection to the PLM system. PLM tools are established in the industry and the effort to adapt such a system might be smaller compared to establish a new system. Furthermore, separated systems depend on the interfaces and could lead to media breaks. Hence, the single solution to store all data seems suitable.

The work of this paper is shown on the example of Siemens Teamcenter because this is the used tool within Rolls-Royce. Some basic knowledge must be provided, to understand how Teamcenter handles data.

Basically, Teamcenter is a layer above a database. Thus, the data is stored in a database and its database management system which allows all benefits of such systems. The advantages of a layer above are manifold. One example is the relief that users do not need in-depth database knowledge. Another one is that Teamcenter can handle the permissions for users which data can be accessed. This is especially important for locally distributed companies which need data exchange to allow cooperative engineering but also a constraint in data exchange since not every user is allowed to see every dataset. The legislative requirements for this are export control rights.

Teamcenter creates for objects an item (the master version) and at least one item revision. These revisions can be amended, for example if the first one includes errors, a second revision is created. Thus, users who search for the item master will see that multiple revisions exist and consequently understand that the first one might be outdated. This is a major enrichment for data exchange.

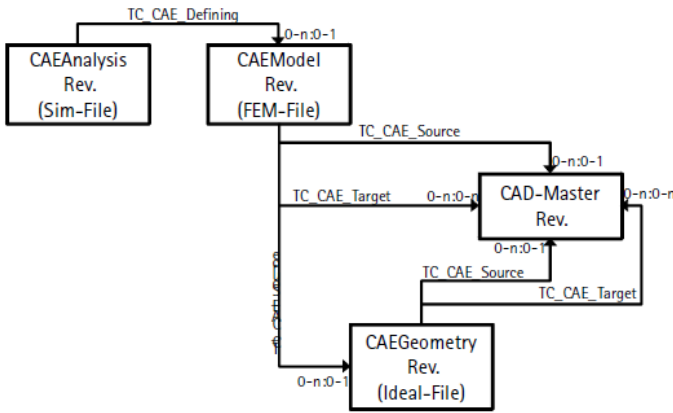


Fig. 1. Teamcenter data model [3]

One huge advantage of databases, thus PLM systems is the ability to connect the stored datasets. These relationships allow the concept of “store once, use many times”. Consequently, the datasets just exist one time in the database and the database management systems stores the IDs of connected datasets with foreign keys. The Teamcenter users see this as a link which visualizes this connection of datasets. The relationships give the users a high degree of freedom, for example one geometry is used for many different analyses. Therefore, Teamcenter offers the standard data model, shown in figure 1 as UML model and visualized with the engineering objects in figure 2.

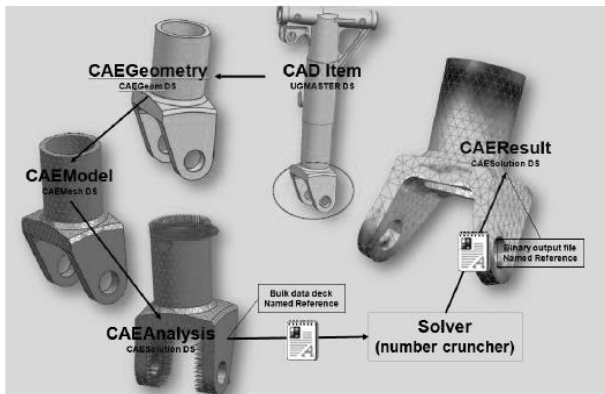


Fig. 2. Teamcenter data model with items [4]

However, figure 2 shows the sequential engineering process, without any iterations or deviations. Usually one geometry (CAD item) can be idealized (means simplified) in different ways, because different analyses need different simplified input geometries (CAE geometry). For example, simplifications could be to cut out

small holes or chamfers. Additionally, the meshes (CAE model) can be different, too. This leads to different simulations (CAE analyses) and many objects which are all stored in Teamcenter. An example of these connections is given in figure 3.

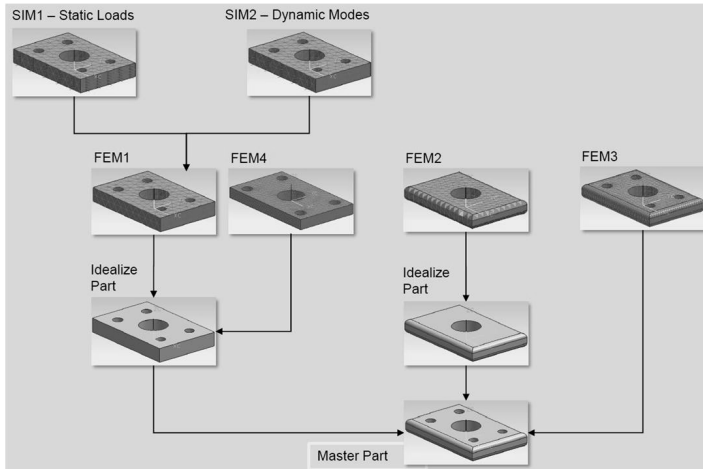


Fig. 3. Teamcenter data model with multiple connected objects [5]

An extension of the data model is possible and the requirements are described in the next section.

Teamcenter offers with the "CAE Manager" a tool which allows to easily check if a file is linked against outdated item revisions. The "check for later revisions" functionality is shown in figure 4. The green lines symbolise these revisions are the latest ones, otherwise the colour would be red to indicate that at least one new revision exists. It is possible that the new revisions do not affect the user thus the simulation. However, it is important to provide the information that the revised object exists.



Fig. 4. Teamcenter CAE Manager

An additional key factor for SPDM systems and PLM systems in general, is data safety and security. Teamcenter allows to set a status on an item revision to show its current standing in the development process. Data can be, for example, under evaluation or released status. Furthermore, data can be checked-out, as visualized in figure 5. This does not set a status but secures the object so that only the owner can perform changes.

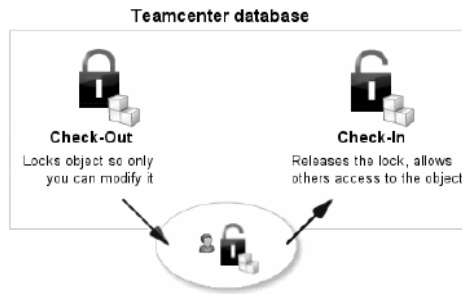


Fig. 5. Teamcenter data check-out [6]

4. Requirements for SPDM in PLM

As shown in figure 1 the Teamcenter data model is generic and does not include many files which are needed for simulations.

The following requirements for enabling SPDM in PLM tools for aerospace companies were suggested and found in a survey:

- adapt the PLM tool to the needs of stress analysts,
- traceability of data,
- long product lifecycle,
- connect different software,
- link the specific revision,
- modular storage approach,
- automation,
- fast execution for emergency events,
- connected manufacturing and physical test data,
- improve the search for data,
- data exchange.

The aforementioned requirements are described in detail below.

In the past, PLM tools were mainly used by designers. Hence, the tools are adapted and support these engineers in their work. However, the stress analysts who perform the simulations must be supported as well. In terms of the number of employees they might be a quite small group, but the data is business critical, needs to be well connected and ends in large result files.

The major requirement for SPDM is the traceability of data. This means the data must be connected and all input parameters into the simulation must be traceable. However, the simulation includes all parameters, but the users must be able to see if parameters were revised. Then, the owner of the simulation can decide whether the changes might have an impact on the simulation which would lead to a new simulation thus a new revision of the simulation.

Another aspect for aerospace companies is the long product lifecycle, therefore the data must be accessible and even more important, understandable, for a long period. This takes into account that specific software tools were used to create certain data, for example the mesh. A new version of the software could lead to a different result if the mesh is recreated. That's why older software versions are kept to be able to restore the exact same result. Therefore, the version of the software tool must be connected to the created and stored datasets to allow this traceability.

The generic data model of Teamcenter can only be the starting point for extensions. This begins with in-house software tools which must be connected to the PLM tool. Rolls-Royce uses SC03, the in-house FE tool (a finite element tool serves e.g. to solve structural-mechanical models). Obviously this connection cannot be the same like the connection between Teamcenter and NX. Hence, small files like batch-files or execution scripts must be included in the extended data model as well.

Additionally, Teamcenter allows the users to decide how the data shall be connected. The smart way is to link a specific item revision to another item revision. The other approach is to attach items to items. Both ways are shown in figure 6. On the left side is revision B of the analysis attached to revision 001 of the document. The user clearly sees which version of the analysis is described in the document. In contrast, the right side shows that an analysis is attached to the revision one of the document. If the user looks into the analysis, 2 versions will be found. Hence, it is necessary that the specific version is described in the document, otherwise this information is lost.

If a revision is linked to a revision, it is transparent which specific version was used. This approach is important to support the long product life cycles in aerospace. Hence, the probability is quite significant that a dataset will be revised, the stress analysts must be able to understand which version was used and described. However, it is also important to know that a newer revision exists, but the users are able to find this information within the PLM software.

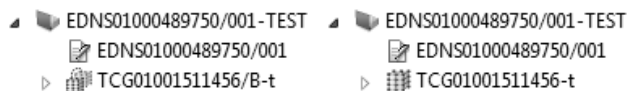


Fig. 6. Teamcenter linked items

Another requirement is a modular storage approach. This method has different advantages. One is the understanding of the stress analysts, since they can see directly the input files and see if they were changed during their individually lifecycle. The other benefit is a reduced file size for the simulation. This does affect the needed amount of storage capacity. However, this is not the worst in terms of waste of storage. Even worse is the fact that database systems lose performance if data is stored as BLOBs. Furthermore, storing the same parts multiple times is not

useful and is in contradiction to the intention and possibilities of database management systems.

In addition to the modular approach is the possibility to connect small files to the simulation. One important example for aerospace companies are boundary condition files which describe the flight cycles (the missions) for an engine. A flight cycle has a typical appearance, shown in figure 7. An engine is designed for about ten missions. Generally speaking, these files differ in the flight duration, flight altitude, the temperatures and the angle of the climb. However, the simulations for ten different flight cycles use always the same CAD geometry, thus the bdd file with about 100 KB ends in an about 1 GB result file. Obviously it is waste to store 10 GB result files, when the files can be created in short time. For other cases, see the paragraph about fast execution.

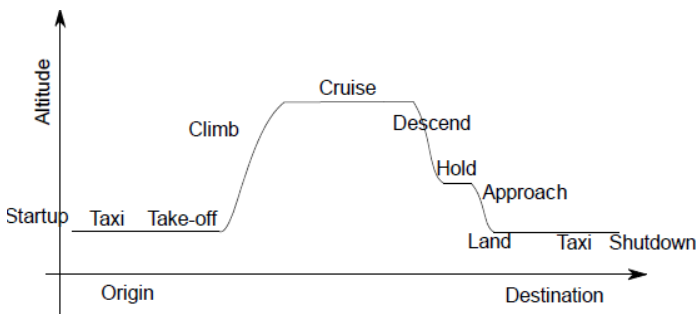


Fig. 7. Typical flight profile [7]

The next step for SPDM in PLM tools will be the whole automation thus the PLM tool is the central part of tools and orchestrates them. One part of the automation is a script which builds an executable simulation with all input files. The challenge for this topic is to ensure that always the same simulation file will be build.

The automation will also support the fast execution and rebuild in emergency cases. As already mentioned, safety is a key factor in aerospace. Hence, every incident in aviation will be investigated by all involved parties. This embraces airframer and engine manufacturers, like Rolls-Royce. For this purpose, it might be useful to store files which were created within a time-intensive solving process. These files might be huge, hence are in contradiction to the modular storage approach. However, both use cases must be pondered, efficient storage but recreation or storage-intensive with fast execution.

Finally, all developed engineering data should be connected to further data, for example manufacturing and physical test data. It is not impossible that physical test data and simulation results may have inconsistent conclusions. This includes technical life reviews (TLR). These are common in aviation and executed after the half of an expected life cycle. The reason is simple: All requirements and expectations for the designed parts are checked against the real life results. Again,

this allows further knowledge and leads to additional data which belongs to the lifecycle of the product, although it might be created 20 or more years after first manufacturing.

Moreover, the aforementioned approaches support the concept to reuse data instead of reinventing the wheel again and again. However, reuse requires a suitable search for data, otherwise the user will not find the valuable objects. This gets more challenging as soon as more data will be stored, as described in the requirements for traceability. Thus, a search engine or the visualisation of data and its relationships are additional key factors for the success of a SPDM solution.

Nowadays, global distributed engineering is standard, data exchange must be possible to support the development engineering business processes. This exchange must be suitable within the enterprise, but also with external suppliers and customers. Teamcenter is well known in industry for the multisite capabilities. However, adaptations and extension on the data model will influence the data exchange and is worth consideration.

5. Conclusion and Future Work

This paper investigates the requirements for Simulation Process Data Management in Product Lifecycle Management Systems with focus on aerospace companies. These have their unique demand for data storage. Furthermore, the generic data storage with focus on simulation data is shown on the example of the PLM tool Siemens Teamcenter. This tool is described with its generic data model for simulation data. However, this model does only allow traceability to the CAD geometry. Additional files are missing, for example boundary conditions which also serve as input and are necessary to run a simulation.

It is outlined that simulation data is critical and all input parameters must be stored and connected as well to allow full traceability. Consequently, the data model must be extended and tailored to the needs of the enterprise.

The future work will embrace to automate the data storage as well as the rebuild of the simulation files with all input files. Furthermore, this concept will be tested in a pre-production environment. Additionally, the SPDM tool should be capable to control and start simulations not only to store the executed analysis.

Acknowledgement

This work was funded by federal state of Brandenburg and the European Regional Development Fund in the ProFIT research project VITIV (project number 80164702) in conjunction with Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG and the LuFo V Call 2. I am grateful for the funding to support my research.

References

- [1] Norris M., *Business Value from Simulation Data Management – a Decade of Production Experience*, 2012, p. 53.
- [2] Kortelainen J., *Towards a simulation based product process*, SIMPRO research project final report, 2015, p. 82.
- [3] Anderl R., Binde P., *Simulationen mit NX*, 2nd edition, Hanser, 2010, p. 349.
- [4] Siemens, *TCSim Efficient CAE through CAE Packages and Analysis Desktop*, 2016, p. 4.
- [5] Kondragunta N., *Teamcenter for Simulation CAE Specific Data Model*, 2009, p. 9.
- [6] Siemens, *My Teamcenter guide*, 2013, p. 203.
- [7] Krause C., *Business Process Modelling and Gap Analysis of Simulation Data Management Drawing on the Example of Development Engine Discs at Rolls-Royce Deutschland*, Master's thesis, 2016, p. 21.
- [8] Reicheneder J., *15 years SPDM@BMW*, presentation at NAFEMS Munich 2015.

SYSTEM DO BEZPOŚREDNIEJ KOMUNIKACJI W ZAKŁADZIE GEDIA POLAND ASSEMBLY SP z o. o.

Marek SAŁAMAJ¹, Paweł BOURGUOIS², Tomasz CHOLEWIŃSKI³

Niniejszy artykuł zawiera zagadnienia związane z analizą i procesem automatyzacji magazynu na przykładzie zakładu produkcyjnego GEDIA działającego w branży Automotive. Zadania jakie realizowano w ramach niniejszego projektu skupiono na dwóch kluczowych działach w zakładzie GEDIA na produkcji oraz magazynie, a dokładniej na precyzyjnej, szybkiej i efektywnej współpracy pomiędzy nimi. W związku z tym, zaproponowano i zrealizowano, a następnie przetestowano specjalnie przystosowany do wymogów zakładu GEDIA system komunikacyjny GEDIA-KOM. Prezentowane w artykule zagadnienia przedstawiają najważniejsze etapy z realizacji projektu wraz z opisem koncepcji działania zaproponowanego rozwiązania.

1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój przemysłu w ostatnich latach sprawił, że na Polskim rynku pojawiło się bardzo dużo różnego rodzaju firm i przedsiębiorstw działających w różnych branżach przemysłowych. W celu pozyskania tych firm do swojego regionu, wiele miast tworzy specjalne strefy przemysłowe, których głównym zadaniem (poprzez obniżanie podatków, itp.) jest ściąganie zewnętrznego kapitału (firm) na własny teren, a tym samym zapewnianie ich mieszkańcom pracy oraz wpływów z podatków do budżetu miasta. Tego typu stan migracji (przenoszenia lub rozbudowy już istniejących) firm z rejonów mniej dla nich opłacalnych ekonomicznie do rejonów, w których koszty produkcji można jeszcze dość znacznie obniżyć, widoczne są w naszym regionie już od dłuższego czasu. Firmy, które jakiś czas temu postanowiły zlokalizować swoje siedziby w określonym parku technologicznych lub regionie przemysłowym, teraz po kilku latach od uruchomienia produkcji zaczynają im się zwracać koszty tych inwestycji. Wypracowane zyski są efektem dobrego zorganizowania i zarządzania całą strukturą organizacyjną zakładu jak również sprawdzoną logistyką. W efekcie, wszystkie działy w przedsiębiorstwie stosują jeden wspólnie obrany system zarządzania, który pozwala im na ścisłą i pozbawioną

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

² GEDIA Poland Assembly Sp. z o.o., bourguois@op.pl

³ GEDIA Poland Assembly Sp. z o.o., t.cholewinski@gpl2.gedia.com

opóźnień współpracę, a tym bardziej na dużo wydajniejszą i efektywniejszą produkcję. W przypadku pozytywnie realizowanego wcześniej założonego planu rozwoju przez firmę, jej kierownictwo rozważa różnego rodzaju nowe warianty mające na celu zwiększenie produkcji, a tym samym uzyskanie wyższych zysków. W tym przypadku, poddane analizie warianty rozwoju mogą być różne w zależności od spodziewanych rezultatów, zaczynając od szkoleń kadry pracowniczej, poprzez przeprowadzanie restrukturyzacji firmy, a kończąc na planowaniu nowych inwestycji.

W zależności od spodziewanych rezultatów, szkolenia kadry pracowniczej, zarówno na stanowiskach kierowniczych jak i produkcji, odbywają się sukcesywnie w pewnych określonych odstępach czasu. Szkolenia mają za zadanie zwiększyć zasób wiedzy oraz doświadczenie w określonej dziedzinie, która zależy od stanowiska zajmowanego w przedsiębiorstwie. Tego typu rozwój wiedzy czy umiejętności pracowników jest jak najbardziej wskazany i sukcesywnie przeprowadzany w firmach, gdyż dobrze wykształcony pracownik dobrze wykonuje swoją pracę, a tym samym końcowy produkt wykonany przez niego na produkcji pozbawiony jest niepożądanych wad (mniej zwrotów i reklamacji poprodukcyjnych). Innym kierunkiem chcącej się rozwijać firmy może być planowanie różnych inwestycji. Zależnie od okoliczności, planowanie inwestycji może dotyczyć zakupu nowych terenów pod rozbudowę już istniejącego lub budowę kolejnego zakładu, wykupu konkurencyjnych firm, czy zakupu i wdrażania nowych certyfikatów i technologii celem uzyskania możliwości pozyskiwania nowych zleceń produkcyjnych. Jednak, ten wariant rozwoju jest dość kosztowny ze względu na aspekt finansowy i stosowany głównie w przypadku, gdy firma pręźnie prosperuje, a tym samym odnotowuje kolejne zyski ze sprzedaży produkowanych produktów. Elementem pośrednim pomiędzy wielkością kosztów przeznaczaną na szkolenia kadry pracowniczej, a kosztami realizacji założonych w planach inwestycji, z całą pewnością jest restrukturyzacja firmy. W tym przypadku, restrukturyzacja firmy uważana jest za gwałtowne zmiany w aktywach, pasywach lub organizacji przedsiębiorstwa w celu uzyskania zamierzonego celu – oszczędności oraz wzrostu produkcji. Upraszczając, celem restrukturyzacji jest stworzenie przesłanek do wzrostu wartości firmy, czyli takie zarządzanie jej zasobami, aby niewielkim nakładem kosztów stworzyć dużo bardziej efektywniejszy i wydajniejszy proces produkcyjny (technologiczny) [1, 2]. Ten etap rozwoju firmy jest przed wstępnym etapem, w trakcie którego stwierdzenie już braku sensu dalszej reorganizacji (transformacji, czy restrukturyzacji) przedsiębiorstwa, sprawia, że pozostaje jedynie możliwość przejścia do realizacji kosztownych założeń z planu inwestycyjnego [3].

W niniejszym artykule, główną uwagę skoncentrowano na restrukturyzacji zasobów firmy GEDIA działającej w branży Automotive. W tym przypadku, szczegółowej analizie poddano pewien niewielki obszar (strefę) wspomnianego przedsiębiorstwa, na podstawie której rozważano różne warianty jego restrukturyzacji.

2. Charakterystyka firmy

Firma GEDIA, na przykładzie, której w niniejszym artykule rozważane są różnego rodzaju zagadnienia, jest przedsiębiorstwem działającym w branży motoryzacyjnej. Spółka ta została utworzona w Polsce przez jeden z największych koncernów niemieckich, producenta elementów konstrukcji samochodowych. Według założeń, a następnie po zainwestowaniu określonych nakładów finansowych, tak utworzona polska filia spółki miała być i jest jednym z najnowocześniejszych zakładów w Europie we wszystkich obszarach własnej działalności. Świadczy o tym choćby liczba wyspecjalizowanych robotów, w które zostało wyposażone przedsiębiorstwo już na samym początku wdrożenia i uruchamiania produkcji. Początkowo, dziewięć z tych robotów na samodzielnych stanowiskach spawało skomplikowane elementy samochodów. Na dwóch wysoko wyspecjalizowanych technologicznie liniach produkcyjnych pięćdziesięciu robotników składało i spawało detale konstrukcji aut. Dodatkowo, zakład został wyposażony w niezbędne specjalistyczne laboratoria oraz urządzenia pomiarowe, które do dziś pozwalają na uzyskiwanie bardzo wysokiej jakości i precyzji produkowanych podzespołów (elementów) samochodowych. Można stwierdzić, że tak wyposażony zakład (działy odpowiedzialne za kontrolę jakości na jego terenie) wręcz bez jakichkolwiek opóźnień zdolny jest do przeprowadzania bardzo szczegółowej kontroli jakości produkowanych podzespołów, co pozwala wdrażać i wykorzystywać w nim przyjęte systemy zarządzania produkcją. Automatyzacja całej linii produkcyjnej sprawiła, że to automaty kontrolują geometrię spawanych lub zgrzewanych ze sobą podzespołów samochodowych, a nawet weryfikują jakość wykonania i wytrzymałości wszystkich punktów spawania. W tak zautomatyzowanym przedsiębiorstwie, przy wyspecjalizowanych liniach produkcyjnych wystarczy (co można również zauważyć) zaledwie niewielka liczba odpowiednio wykwalifikowanej oraz przeszkolonej kadry pracowniczej.

Na chwilę obecną firma GEDIA ciągle poszukuje nowych rozwiązań w zakresie wzmocnienia swojej konkurencyjności, innowacyjności stosowanych rozwiązań, w tym zwiększenia przestrzeni magazynowej, usprawnień funkcjonowania magazynu, które bezpośrednio wpływają na funkcjonowanie stanowisk produkcyjnych. Należy podkreślić, iż zakład GEDIA jest firmą wysoko zaawansowaną technologicznie. Pracownicy pracują na maszynach w pełni zautomatyzowanych, w najnowszych technologiach (spawanie laserowe, spawanie w osłonie gazów, klejenie, nitowanie, zgrzewanie punktowe, zgrzewanie oporowe na robotach). W związku z tym można stwierdzić, że GEDIA rozwija się dość dynamicznie. Inwestycje w nowe technologie sprawiły, że firma ta z czasem znacznie powiększyła swoje zasoby pod względem sprzętu wykorzystywanego na produkcji. Stopniowe i sukcesywne wdrażanie na terenie zakładu coraz to nowszych i bardziej zaawansowanych technologii, pozwoliło na zwiększenie przyjmowania kolejnych zleceń produkcyjnych – również w zakresie wytwarzania podzespołów

samochodowych w aluminium. Dlatego, firma GEDIA współpracuje między innymi z największymi koncernami zajmującymi się produkcją samochodów jak AUDI, BMW, VW, Chevrolet, Daimler, Fiat, Ford, GM czy OPEL i inne.

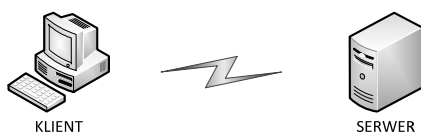
3. Formułowanie problemu

Firma GEDIA po kilku latach funkcjonowania zaczęła przynosić oczekiwane zyski, a w związku z tym, jej kierownictwo sukcesywnie rozważa różnego rodzaju kolejne plany rozwoju przedsiębiorstwa. W określonych odstępach czasu, również kadra pracownicza jest przeszkalana w zakresie obsługi nowych stanowisk produkcyjnych jak i nowych technologii. Nieustannie prowadzona jest analiza rynku z danej branży oraz bierze się możliwość rozbudowania firmy między innymi pod względem zakupu nowych gruntów pod kolejne inwestycje. Jednak, na chwilę obecną firma postawiła sobie cel zrestrukturyzowania zasobów firmy tak, aby zwiększyć jej możliwości produkcyjne. Pod tym względem, w firmie GEDIA kluczowy okazał się dział produkcji oraz dział magazynu, a także współpraca pomiędzy nimi. Pozostałe działy we wspomnianym zakładzie są równie ważne, jednak one wspierają jedynie prawidłowe funkcjonowanie zakładu, a zarazem tych dwóch wcześniej wymienionych i dlatego nimi w tej pracy się nie zajmowano.

W związku z tym, przeprowadzona analiza funkcjonowania strefy magazynowej i produkcyjnej oraz ich współpracy ze sobą sprawiła, że w zakładzie tym zauważono możliwość występowania niepożądanych przestojów w produkcji. Efektem tego był nie do końca automatyczny sposób komunikacji oraz współpracy strefy produkcyjnej ze strefą magazynową, które zależne były od dyspozycji w danym momencie pracownika logistyki. W wyjątkowych sytuacjach zdarzało się, że na stanowisku produkcyjnym (robocie przemysłowym) pracownik wśród detali przygotowanych do produkcji końcowego podzespołu wykrywał wady. W celu eliminacji ewentualnych przestojów w produkcji z tym związanych, przekazywał on tę informację pracownikowi logistyki, który osobiście doglądał i nadzorował od kilkunastu do kilkudziesięciu gniazd produkcyjnych, a w między czasie zamawiał w systemie brakujące półprodukty z magazynu. Tego typu mechanizm działania sprawdzał się do czasu, w którym pracownik logistyki nie był obciążony żadnymi do wykonania czasochłonnymi obowiązkami. Należy również dodać, że pracownik produkcji nie mógł samodzielnie oddalić się od stanowiska pracy i pozostawić robota przemysłowego bez nadzoru w celu zgłoszenia problemu pracownikowi logistyki. Dlatego, na terenie zakładu próbowano samodzielnie rozwiązać problem związany z przywołaniem pracownika logistyki do konkretnego stanowiska produkcyjnego poprzez komunikację za pośrednictwem krótkofalówek czy sygnalizacji świetlnej, itp. Niestety, tak zastosowane rozwiązania ze względu na dość wysokie koszty eksploatacji sprzętu, braki zasięgu, hałas czy infrastrukturę strefy produkcyjnej

zakładu nie rozwiązała do końca istniejącego problemu. W związku z tym, w celu odciążenia pracownika logistyki od wspomnianych czynności, a tym samym przyspieszenia i zautomatyzowania współpracy strefy produkcyjnej ze strefą magazynową, konieczne było przekazanie możliwości kontaktowania się z magazynem osobie znajdującej się na stanowisku produkcyjnym. Wówczas, osoba ta (po stwierdzeniu u siebie wadliwych detali) zgłosiłaby ten fakt za pośrednictwem zaproponowanego w projekcie systemu komunikacyjnego bezpośrednio do pracowników magazynu (wózków transportowych) celem uzupełnienia braków. Następnie, wszelkie korekty w systemie z tego typu zamówieniami zostałyby uzupełnione przez kierownika logistyki w dogodnym terminie.

W rezultacie, w projekcie, który dotyczył automatyzacji magazynu w zakładzie GEDIA zdecydowano się na rozwiązanie problemu komunikacji pracowników strefy produkcyjnej ze strefą magazynową. Celem tak zaproponowanego rozwiązania miało być przyspieszenie komunikacji oraz zwiększenie efektywności współdziałania pomiędzy pracownikami wspomnianych stref, przy jednoczesnym założeniu użycia jak największych zasobów firmy oraz niewielkich nakładów finansowych.

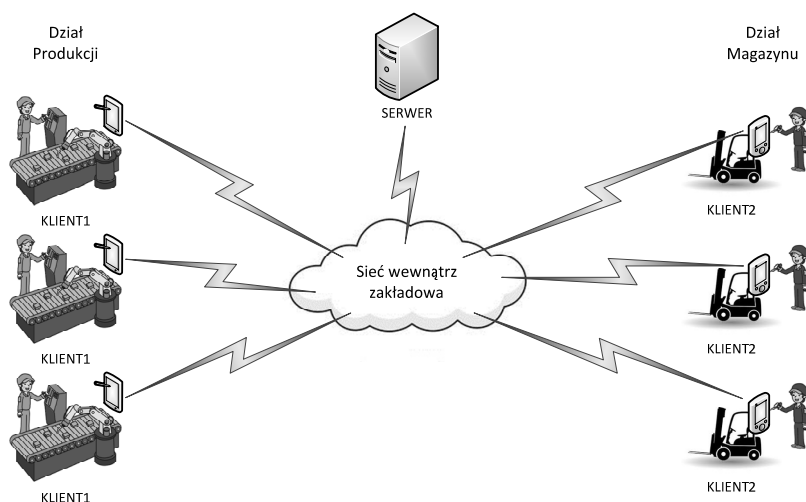


Rys. 1. Architektura typu Klient-Serwer

4. Realizowany projekt – system komunikacyjny GEDIA-KOM

W ramach realizowanego projektu dotyczącego automatyzacji strefy magazynowej w połączeniu ze strefą produkcyjną zaproponowany został system komunikacyjny GEDIA-KOM, którego zadaniem jest szybsze i efektywniejsze komunikowanie się ze sobą pracowników obu działów. W przypadku problemów z podzespołami na produkcji, w celu efektywniejszej komunikacji pracownikom zaproponowano konkretne rozwiązanie systemu komunikacyjnego bazującego na architekturze systemu komputerowego typu Klient-Serwer (ang. Client-Server model) [4, 5] (Rys. 1). Rozwiązanie to polega na założeniu, że Serwer zapewnia wszelkie usługi dla Klientów, którzy zgłaszają do niego żądania obsługi (ang. Service Request). W związku z tym, tak przyjęty model przetwarzania informacji w połączeniach bezpośrednich jest rozwiązaniem, w którym proces żądający usługi oraz proces dostarczający te usługi są wyodrębnione. Cechą charakterystyczną tego typu koncepcji jest jednoczesne działanie dwóch lub kilku programów bądź procesów, gdzie jeden z nich Serwer realizuje usługi na rzecz drugiego Klienta. Tego typu

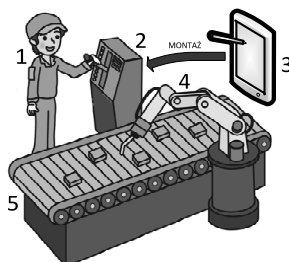
koncepcja rozwiązania pozwala na równoczesne uruchamianie wielu środowisk z możliwością spójnego operowania danymi niezależnie od środowiska, w którym dane te będą prezentowane. Oprogramowanie serwera najczęściej uruchamiane jest na komputerze dedykowanym do zadań specjalnych. Natomiast, oprogramowanie klienta zwykle uruchamiane jest na komputerze osobistym lub terminalu, które dostarczają użytkownikowi końcowemu interfejs graficzny do wyświetlania informacji po ewentualnym ich dodatkowym przetworzeniu. Ponadto, głównym założeniem tego typu systemu komunikacyjnego jest to, że z usług serwera zazwyczaj może korzystać wielu klientów równocześnie. W szczególnym przypadku, pojedynczy klient może korzystać z usług wielu serwerów oraz dopuszcza się również sytuację, w której proces serwera i klienta znajduje się w tej samej lokalizacji na tym samym urządzeniu.



Rys. 2. Struktura podstawowego systemu komunikacyjnego GEDIA-KOM

Struktura podstawowego systemu komunikacyjnego, który przygotowano do wdrożenia w firmie GEDIA została zaprezentowana na rysunku 2. Tego typu strukturę można rozgraniczyć, ze względu na funkcjonalność jej elementów składowych, na trzy niezależne, a zarazem najważniejsze obszary: obszar klientów typu KLIENT1, obszar klientów typu KLIENT2 oraz obszar typu SERWER. Obszar klientów typu KLIENT1 jest to obszar, który swoim zasięgiem obejmuje wszystkie punkty produkcyjne w strefie produkcji. Każdego klienta typu KLIENT1 (Rys. 3) należy rozpatrywać jako pojedyncze urządzenie, maszynę lub stanowisko (gniazdo) produkcyjne wraz z zaproponowanym do komunikacji interfejsem podłączonym poprzez przewód z Internetem oraz osobą je obsługującą, który posiada dokładnie te same możliwości pod względem komunikacji. Tak wyodrębniony w strukturze systemu komunikacyjnego obszar dokładnie pokrywa się z obszarem działu produkcji

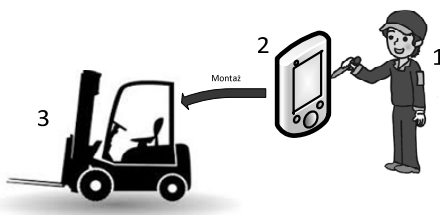
w zakładzie GEDIA. Dlatego, wszyscy klienci wspomnianego obszaru posiadają własne unikalne identyfikatory produkcyjne (zgodne z numeracją maszyn na produkcji), które mają na celu odróżnienie ich od siebie, również w momencie potrzeby ich komunikacji z serwerem. Kolejnym obszarem jest obszar klientów typu KLIENT2, który swoim zasięgiem obejmuje wszystkich pracowników pracujących na wózkach transportowych w dziale magazynu.



Rys. 3. Klient typu KLIENT1

(1 – pracownik produkcji, 2 – maszyna sterująca stanowiskiem, 3 – tablet, terminal lub sterownik reprezentujący interfejs systemu komunikacyjnego GEDIA-KOM wraz z niezbędnym oprogramowaniem montowany na 2, 4 – robot wykonujący określone zadania na linii produkcyjnej, 5 – linia produkcyjna z detalami)

Ten rodzaj klientów, w odróżnieniu od statycznych klientów typu KLIENT1, stanowi klientów mobilnych, którzy będąc pracownikami strefy magazynu nieustannie przemieszczają się pomiędzy nią, a strefą produkcji. Pojedynczy klient typu KLIENT2 (Rys. 4) w tak przedstawionym systemie komunikacyjnym należy interpretować jako połączenie ze sobą pojedynczego wózka transportowego, terminala wraz z zaproponowaną aplikacją, która bezprzewodowo z użyciem WiFi łączy się z serwerem oraz obsługującą je osobą.



Rys. 4. Klient typu KLIENT2

(1 – pracownik magazynu, 2 – tablet, terminal reprezentujący interfejs systemu komunikacyjnego GEDIA-KOM wraz z niezbędnym oprogramowaniem montowany na 3, 3 – wózek transportowy)

W tym przypadku, każdy klient również posiada własny unikalny identyfikator, który odróżnia go od pozostałych podczas wymuszonej komunikacji z serwerem. Natomiast, ostatnim obszarem jest obszar typu SERWER, w skład którego wchodzi niezależna jednostka centralna przeznaczona do realizacji konkretnych zadań wraz z niezbędnym oprogramowaniem jak system operacyjny, na którym umieszczono zaproponowaną i przygotowaną aplikację do rejestracji, wizualizacji oraz obsługi statusów robotów przemysłowych znajdujących się na produkcji.

Wszystkie trzy powyższe obszary (grupy klientów typu KLIENT1, KLIENT2 oraz SERWER) mogą ze sobą w dowolny sposób komunikować się wykorzystując w tym celu różnego rodzaju rozwiązania. W zależności od różnych uwarunkowań jakie mogą wystąpić na terenie zakładu, transmisję (wymianę informacji) pomiędzy klientami typu KLIENT1, a klientami typu KLIENT2 za pośrednictwem serwera, można realizować na bazie połączeń bezprzewodowych (np. RF, WiFi, GSM, itp.) lub przewodowych (np. Ethernet, CAN, itp.). W przypadku zakładu GEDIA w ramach redukcji kosztów założono, że realizacja projektu (w pierwszej kolejności) ma obejmować użycie już posiadanych zasobów sprzętowych. W związku z tym, komunikację punktów KLIENT1, KLIENT2 oraz SERWER w zaproponowanym systemie komunikacyjnym GEDIA-COM zrealizowano na podstawie lokalnej zakładowej sieci internetowej (Ethernet).



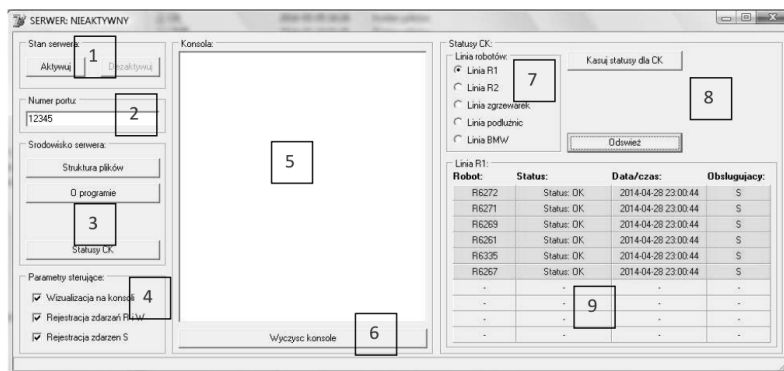
Rys. 5. Interfejs urządzenia typu KLIENT1 montowanego na gniazdach produkcyjnych

(1 – restart urządzenia, 2 – wysłanie do serwera statusu: Wszystko OK, 3 – wysłanie do serwera statusu: Brak detalu, 4 – wysłanie do serwera statusu: Brak kontenera, 5 – wysłanie do serwera statusu: Inne wezwania, 6 i 7 – diody sygnalizacyjne informujące pracownika o stanie pracy urządzenia)

Zasada funkcjonowania tak zaproponowanego systemu komunikacyjnego do wewnętrznej komunikacji na terenie zakładu GEDIA jest bardzo prosta. Przez cały czas pracy systemu, serwer nieustannie nasłuchuje zgłoszeń ze strony klientów typu KLIENT1 (strefa produkcji) oraz KLIENT2 (strefa magazynu). W przypadku wystąpienia jakiegokolwiek problemu, ale problemu zdefiniowanego na poziomie założeń projektowych i odwzorowanego w proponowanym rozwiązaniu, pracownik

produkcji obsługujący konkretnego robota przemysłowego może wybrać jeden z przewidzianych komunikatów celem przesłania go pracownikom wózków transportowych strefy magazynowej. Za pośrednictwem, specjalnie w tym celu przygotowanego interfejsu (Rys. 5), pracownik produkcji wybiera, a następnie naciska przycisk odpowiadający zaistniałemu problemowi. Po konsultacjach z pracownikami zarówno strefy magazynowej, jak i produkcyjnej, w zakładzie GEDIA wytypowano cztery najczęściej występujące stany na produkcji:

- Stan: *Wszystko OK* (kolor statusu: *Zielony*) – status stwierdzający, że na określonym gnieździe produkcyjnym (robocie) nie ma żadnych problemów,
- Stan: *Brak detalu* (kolor statusu: *Czerwony*) – status informujący pracowników strefy magazynu, że na robocie przemysłowym o unikatowym numerze brakuje detalu, prośba o przyjazd wózka transportowego i dowieszenie określonego detalu z magazynu,
- Stan: *Brak kontenera* (kolor statusu: *Różowy*) – status informujący pracowników strefy magazynu, że na robocie przemysłowym o unikatowym numerze brakuje pustych kontenerów na produkowane detale, prośba o przyjazd wózka transportowego i dowieszenie pustych kontenerów z magazynu,
- Stan: *Inne wezwanie* (kolor statusu: *Żółty*) – status informujący pracowników strefy magazynu, że na robocie przemysłowym o unikatowym numerze wystąpiła inna sytuacja niż jedna z powyższych, prośba o przyjazd wózka transportowego.



Rys. 6. Zrzut ekranu z aplikacji typu SERWER zainstalowanej na niezależnym komputerze klasy PC

(1 – stan pracy, 2 – numer aktywnego portu, 3 – elementy związane z obsługą środowiska, 4 – parametry sterujące, 5 – okno konsoli, 6 – przycisk czyszczący zawartość okna konsoli, 7 – linie robotów nadzorowane w systemie, 8 – przyciski kasowania i odświeżania statusów, 9 – widok statusów poszczególnych linii produkcyjnych)

Wybór określonego przycisku z komunikatem oraz jego naciśnięcie powoduje, że do serwera natychmiast trafia zgłoszenie o aktualnym stanie robota przemysłowego i prośba o przywołanie wózka transportowego celem jego obsługi. Tak przesłane zgłoszenie jest rejestrowane na serwerze, gdzie automatycznie zmienia się kolor statusu wraz ze wszystkimi niezbędnymi informacjami (data, godzina, opis, zgłaszający) – rysunek 6.

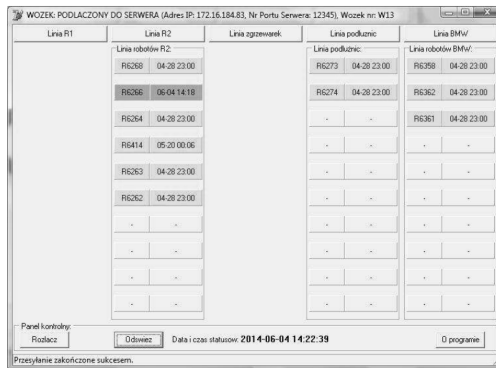


Rys. 7. Zrzut ekranu z aplikacji typu KLIENT2 umieszczonej w terminalu na wózku transportowym

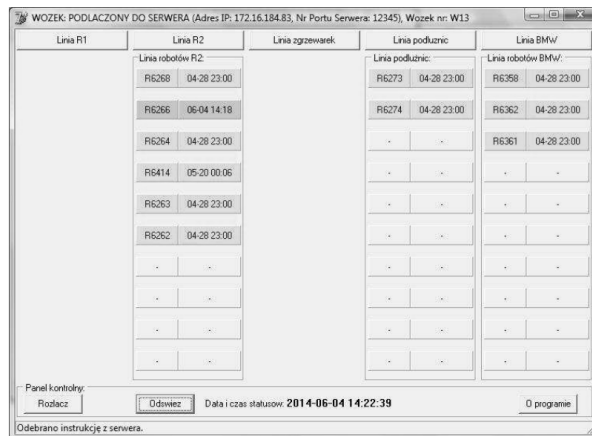
(1 – przycisk połączenia z SERWER-em, 2 – przyciski wyboru odpowiednich linii produkcyjnych, 3 – belka informacyjna informująca o stanie pracy aplikacji, 4 – przycisk pobrania statusów wszystkich gniazd produkcyjnych z SERWER-a)

Po rejestracji zgłoszenia na serwerze natychmiast jest ono rozsyłane do wszystkich zalogowanych do niego wózków transportowych (do aplikacji umieszczonej w terminalu, który zamontowano na wózku). Każde przesłane w ten sposób zgłoszenie zawiera unikatowy numer robota, rodzaj zgłoszenia, datę i godzinę, oraz informację kto wystosował zgłoszenie (R_nr – robot o określonym numerze, S – serwer, W_nr – wózek o określonym numerze). Przekazanie żądania obsługi robotów pracownikom wózków transportowych objawia się tym, że na ekranie terminali montowanych na wózkach w przygotowanym oprogramowaniu pojawiają się wizualne efekty, które mają na celu skupienie uwagi pracownika na tej aplikacji i odświeżeniu wszystkich statusów poprzez pobranie ich z serwera. Pracownik magazynu po zakończeniu swojego ostatniego zadania, widząc na terminalu aplikację (Rys. 7 i 8), która w sposób wizualny przywołuje jego uwagę, odświeża (pobiera) statusy z serwera i od razu po naciśnięciu statusu na dotykowym terminalu może zarezerwować jego obsługę. Rezerwacja obsługi danego gniazda produkcyjnego na produkcji przez pracownika magazynu realizowana jest poprzez kliknięcie w dany status, a objawem tej czynności jest zmiana koloru statusu żądania obsługi na kolor niebieski (Rys. 9). Jednocześnie do serwera wysyłana jest informacja zwrotna o podjęciu obsługi tego zdarzenia przez pracownika magazynu o konkretnym numerze wózka transportowego, na serwerze status przywołania zostaje wyłączony w celu uniknięcia dublowania obsługi zgłoszeń. Obsługa

zarezerwowanego zdarzenia kończy się w momencie, gdy pracownik strefy magazynu obsłuży pracownika strefy produkcji (pracującego na określonym robocie) zgodnie z jego oczekiwaniami. Wówczas, odświeżenie statusów pozwala sprawdzić statusy pozostałych gniazd produkcyjnych i przejść do ich ewentualnej obsługi (Rys. 8).



Rys. 8. Zrzut ekranu z aplikacji typu KLIENT2 z widocznymi statusami wybranych linii produkcyjnych pobranych na terminal przez pracownika wózka o numerze W13



Rys. 9. Zrzut ekranu z aplikacji typu KLIENT2 z widocznym do obsługi zarezerwowanym przez wózek o numerze W13 statusem zdarzenia na wybranej linii produkcyjnej

Tak zaproponowany i zrealizowany system do wewnętrznej komunikacji na terenie zakładu GEDIA pomiędzy pracownikami wspomnianych działów (produkcji i magazynu), musi posiadać i posiada możliwość kontroli pracy pracowników. Ich rzetelność oraz zaangażowanie w prawidłowe i właściwe wykorzystywanie

systemu komunikacyjnego ma na celu podniesienie jakości, wydajności i efektywności realizowanego na terenie zakładu procesu produkcyjnego. Dlatego, tak zaproponowane rozwiązanie posiada możliwość rejestracji i późniejszej archiwizacji wszystkich zdarzeń jakie miały miejsce w tym systemie komunikacyjnym. W efekcie w razie konieczności, kompetentna osoba z dostępem do serwera może przeglądać historię zarejestrowanych przez serwer zdarzeń, a następnie je analizować np. ze względu na to czy któryś z pracowników nie przyjął obsługi zgłoszenia i go nie obsłużył bądź zbyt długo go obsługiwał. Ponadto, w ramach kontroli sumienności w wykonywaniu swoich obowiązków na stanowisku pracy pracownicy produkcji oraz magazynu mogą być bezpośrednio kontrolowani przez kadrę kierowniczą. W tym celu, we wspomnianym systemie komunikacyjnym rozpatrywano również dwie kolejne niezależne grupy użytkowników: klientów typu KLIENT3 oraz KLIENT4.

W efekcie końcowym, niewielkim nakładem środków finansowych, dostępnego sprzętu oraz oprogramowania na terenie zakładu udało się zaproponować i zrealizować całkowicie nowy system komunikacyjny, którego głównym zamierzeniem jest eliminacja ewentualnych przestoju w produkcji w zakładzie GEDIA, a tym samym utrzymanie wysokiego poziomu wydajności i efektywności produkcji.

5. Wnioski

Do głównych efektów wypracowanych podczas realizowanego projektu należy zaliczyć między innymi zaproponowanie i wykonanie systemu komunikacyjnego nazwanego jako GEDIA-KOM, który zrealizowano w ramach projektu unijnego dotyczącego współpracy nauki z przemysłem, a dokładniej automatyzacji wybranych fragmentów zakładu produkcyjnego GEDIA. Wspomniany system został zaprojektowany specjalnie z myślą o potrzebach zakładu GEDIA oraz o efektywniejszym (wydajniejszym) wykorzystaniu jego zasobów sprzętowych i osobowych w procesie zarządzania. Tak wypracowane rozwiązanie ma na celu wspomaganie współpracy (wymianę informacji) pomiędzy strefą magazynową, a strefą produkcyjną na terenie tego zakładu w zakresie eliminacji wszelkiego rodzaju opóźnień i przestoju do jakich może dochodzić podczas produkcji. Główną ideą projektu było zaproponowanie oraz zrealizowanie takiego systemu komunikacyjnego, który w bardzo szybki i prosty sposób pozwalałby pracownikom strefy produkcji na bezpośrednio komunikowanie się z pracownikami strefy magazynu.

Niestety, realizując dowolny projekt należy się liczyć z tym, że będzie on posiadał wady i zalety z punktu widzenia docelowego miejsca jego ostatecznego zastosowania. Tak też jest w przypadku zaproponowanego systemu komunikacyjnego, w którym wyróżnić można zarówno wady jak i jego zalety.

Do najważniejszych zalet z wdrożenia omawianego systemu w zakładzie GEDIA należy zaliczyć:

- eliminację zbędnych i niepożądanych opóźnień mogących wystąpić podczas produkcji, a tym samym wpłynie na przyspieszenie współpracy pomiędzy pracownikami strefy produkcyjnej i magazynowej,
- odciążenie personelu strefy produkcyjnej od obowiązków związanych z realizacją dodatkowych zamówień np. brakujących detali, kontenerów czy innych tego typu problemów jakie występują na stanowiskach produkcyjnych,
- efektywniejsze (wydajniejsze) wykorzystanie personelu strefy magazynowej oraz produkcyjnej w zakresie wykonywanych przez nich obowiązków,
- precyzyjniejsze zarządzanie, a tym bardziej logistyczne rozplanowanie wykorzystania personelu oraz sprzętu w zakładzie GEDIA,
- zreorganizowanie struktury firmy pod względem efektywniejszego i wydajniejszego wykorzystania personelu zakładu GEDIA w celu zwiększenia możliwości produkcyjnych i magazynowych.

Natomiast do wad tego typu rozwiązania można zaliczyć fakt, że SERWER jako niezależne stanowisko w pewnym momencie jego użytkowania może stać się „wąskim gardłem” w całym systemie komunikacyjnym. Wpinanie do sieci kolejnych urządzeń (sterowniki lub terminale robocze z dedykowanymi dla nich programami) typu KLIENT1, KLIENT2, KLIENT3 i KLIENT4 może spowodować, że SERWER zostanie dość znacznie obciążony w swoim działaniu, a to przełoży się na zbyt długie opóźnienia w funkcjonowaniu systemu. Czysto teoretycznie należy zakładać, że tego typu wariant może w praktyce zaistnieć, ale po przeprowadzeniu wstępnych badań symulujących obciążenia SERWER-a nie stwierdzono takich opóźnień (nie udało się ich zaobserwować). Ponadto, liczba maszyn, urządzeń i gniazd produkcyjnych wyposażonych w odpowiednie interfejsy jak i terminali zamontowanych na wózkach transportowych na terenie zakładu jest ograniczona, a to sprawia, że można dobrać taki sprzęt, w którym „wąskie gardła” nie wystąpią. No i oczywiście coraz to nowszy i szybszy sprzęt wykorzystywany do realizacji różnych rozwiązań może pracować z jeszcze wyższymi częstotliwościami rzędu MHz lub GHz, który wspierany jest rosnącymi możliwościami samego Internetu pod wyglądem szybkości transferu danych za jego pośrednictwem sprawiają, że tego typu obciążenia serwera będą mało prawdopodobne.

Nie ulega wątpliwości, że zaproponowany w niniejszym projekcie system komunikacyjny jest rozwiązaniem o wiele tańszym niż pozostałe tego typu rozwiązania polecane przez firmy komercyjne. Oczywiście, proces realizowanego projektu w niniejszej pracy został przedstawiony bardziej od strony technicznej, niż od komercyjnej. Należy stwierdzić, że projekt ten w swoich kosztach zakupu nie uwzględnia np. kosztów zakupu licencji na oprogramowanie, kosztów związanych z prowadzeniem działalności (tak jak inne firmy) oraz wielu innych czynników, które firmy komercyjne muszą uwzględnić (pensje dla pracowników, opłaty związane

z utrzymaniem na rynku, podatki, koszty poniesione na reklamę firmy, koszty licencji, szkolenia dla pracowników, koszty rozwoju firmy, itp.). Pomimo tego, koszty realizacji zaproponowanego systemu są dużo niższe od rozwiązań komercyjnych. Dość znaczną różnicę pomiędzy kosztami tego typu rozwiązań można uzasadnić tym, że w zaproponowanym rozwiązaniu w głównej mierze wykorzystuje się zasoby sprzętowe oraz całą dostępną infrastrukturę komunikacyjną, które już w momencie realizacji projektu są dostępne na terenie zakładu GEDIA. W ramach realizacji projektu tego systemu kluczową rolę odegrało tutaj specjalnie przygotowane oprogramowanie (KLIENT1, KLIENT2, KLIENT3, KLIENT4 i SERWER), którego elementy zsynchronizowały i zespoliły w jedną całość wszystkie elementy składowe systemu komunikacyjnego. W chwili obecnej, koszty całego procesu zaprojektowania, a następnie wyprodukowania dowolnego sprzętu (urządzenia, maszyny, terminala, komputera, itp.) są tak niskie, że nie opłaca się ich wytwarzać specjalnie pod konkretne rozwiązania. Bardziej praktyczniejszym podejściem jest wytworzenie uniwersalnego rozwiązania sprzętowego, które swoją funkcjonalność otrzymuje dopiero w momencie wgrania do niego odpowiedniego oprogramowania. Przykładem tego może być terminal z ekranem dotykowym, który również został użyty w niniejszym projekcie. Wgranie do niego odpowiedniego oprogramowania może spowodować, że stanie się on urządzeniem wielofunkcyjnym wykorzystywanym np. w turystyce (nawigacje) lub w rozrywce poprzez nadanie mu możliwości odtwarzania muzyki i filmów lub w komunikacji lub wielu innych urządzeniach, które na co dzień wspierają przemysł oraz różne dziedziny życia codziennego. Dlatego, jak łatwo zauważyć to oprogramowanie wykorzystywane w różnego rodzaju sterownikach, terminalach roboczych, czy specjalistycznych maszynach i urządzeniach jest kluczowym czynnikiem, który tak na prawdę nadaje sprzętowi jego funkcjonalności.

Literatura

- [1] Brzeziński M., *Organizacja produkcji w przedsiębiorstwie*, Diffin, Warszawa, 2013
- [2] Liwowski B., Kozłowski R., *Podstawowe zagadnienia zarządzania produkcją*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków, 2007
- [3] Karpiński T., *Inżynieria produkcji*, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 2004
- [4] Fall K. R., Stevens W. R., *TCP/IP od środka. Protokoły*. Wydanie II, Helion, 2013
- [5] Rosenberg J., Mateos A., *Chmura obliczeniowa. Rozwiązania dla biznesu*, Helion, 2011

EASYASSEMBLE - KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE GENEROWANIA SEKWENCJI MONTAŻU

Michał SAŚIADEK¹, Łukasz MAZUR²

W pracy scharakteryzowano wspomaganą komputerowo metodę wyznaczania sekwencji montażu z uwzględnieniem wymogów "projektowania dla montażu". Metoda ta jest dostosowana do zastosowania we wczesnych fazach projektowania i przeznaczona jest do wyznaczenia najkorzystniejszej kolejności łączenia części składowych wyrobów mechanicznych. Ponadto metoda ta umożliwi analizę projektowanych połączeń montażowych z uwzględnieniem wymogów łatwego i taniego procesu ich montażu. Przedstawiono i omówiono implementację komputerową metody w postaci programu EASYASSEMBLE. Na rzeczywistym przykładzie zilustrowano zastosowanie proponowanej metody.

1. Wprowadzenie

Efektywne planowanie sekwencji montażu polega na ustaleniu wykonalnej i najkorzystniejszej (według odpowiednich kryteriów) kolejności łączenia jednostek montażowych prostych w jednostki bardziej złożone, prowadzącej do uzyskania wyrobu końcowego spełniającego wszystkie założenia projektowe i funkcjonalne [7,19].

Zagadnienie wyboru odpowiedniej sekwencji montażu jest złożone ze względu na dużą liczbę kombinacji a teoretyczna liczba wariantów sekwencji montażu rośnie wykładniczo wraz z liczbą łączonych części [9,14]. W powszechnie spotykanych wyrobach określić można setki, a nawet tysiące wykonalnych sekwencji montażu. Stanowi to podstawę do opracowania procedur ukierunkowanych na redukcję liczby dopuszczalnych sekwencji montażu celem łatwiejszego wyboru najkorzystniejszej sekwencji lub procedur zapewniających możliwość efektywnego wyboru najlepszego rozwiązania.

- zbyt małej zawartości farszu w pierogach,
- zbyt grubej warstwy ciasta na łączeniu,

Najogólniej metody wyznaczania sekwencji montażu (WSM) podzielić można na metody ścisłe oraz przybliżone (oparte na probabilistyce i metodach tzw. "sztucznej inteligencji"). Taki podział w swoich opracowaniach zaproponował Łebkowski [9].

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

² dr inż.; University of North Carolina, School of Medicine, USA; e-mail: lukasz_mazur@med.unc.edu

Inny podział wykorzystuje metody rozwiązujące problem WSM jako zadanie typowo montażowe oraz metody odwracające zagadnienie ustalania kolejności montażu w zadanie demontażu. Bardziej szczegółowy podział uwzględnia sposób rozwiązania problemu WSM. Wyróżnić możemy pięć grup procedur:

- tradycyjna procedura generowania zbioru kolejności montażu złożona jest z trzech podstawowych kroków. Pierwszy to definiowanie relacji kolejnościowych dla wszystkich części składowych rozważanego zespołu montażowego. Drugi krok to wygenerowanie (poprzez stosowny algorytm) zbioru sekwencji montażowych na podstawie wcześniej zdefiniowanych zależności pomiędzy częściami. Ostatnim krokiem tradycyjnego podejścia jest ocena i wybór najlepszej/najlepszych sekwencji [2,8,12,16,17];
- grupa metod charakteryzuje zastosowanie procedur grupujących części składowe w podzespoły i dopiero wtedy przy wykorzystaniu prostych reguł (najczęściej reguły opierają się na relacjach kolejnościowych) wyznaczane są podsekwencje dla każdego podzespołu montażowego. Kolejnym krokiem jest synteza podsekwencji, w rezultacie czego wygenerowany zostaje zbiór wariantów kolejności łączenia części [5,6];
- metody wykorzystujące systemy ekspertowe;
- metody bazujące na racjonalizacji, wykorzystującej bazę dotychczas rozwiązanych zadań WSM [19];
- procedury wykorzystujące tzw. sztuczną inteligencję [9,10].

2. Charakterystyka metody

Proponowana metoda planowania najkorzystniejszej sekwencji montażu uwzględnia wymogi „projektowania dla montażu”, co daje możliwość jej stosowania we wczesnych etapach projektowania maszyn i urządzeń mechanicznych. Zasady projektowania dla montażu są scharakteryzowane w odpowiedniej literaturze [1,3,4,11]. W metodzie wyróżnić można cztery podstawowe, realizowane kolejno moduły: zapis struktury konstrukcyjnej wyrobu, ocena zdefiniowanych połączeń montażowych, definiowanie ograniczeń oraz algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji montażu.

Zapis struktury konstrukcyjnej wyrobu polega na identyfikacji relacji styczności pomiędzy jego częściami składowymi (na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej) i ich zapisie w formie macierzy struktury konstrukcyjnej M_K . Macierz struktury konstrukcyjnej M_K ma rozmiar $n \times n$, gdzie n jest liczbą części składowych wyrobu [16,18].

Modułem drugim proponowanego podejścia jest **ocena relacji** pomiędzy częściami składowymi analizowanego wyrobu. Każda relacja zapisana w macierzy M_K określająca możliwość wystąpienia połączenia pomiędzy dwoma elementami tej

macierzy, odpowiadającymi odpowiednim częściom składowym wyrobu oceniana jest wg wskaźnika q_a . Wskaźnik ten zaczerpnięto z [3] a ustalony on został na podstawie wiedzy ekspertów oraz informacji uzyskanych od przedsiębiorstw produkcyjnych. Wskaźnik q_a uwzględnia podstawowe zasady projektowania dla montażu. Dzięki temu ocena każdego zdefiniowanego połączenia w analizowanym wyrobie ukierunkowana jest na efektywny montaż dwóch elementów tego wyrobu tworzących oceniane połączenie. Do oszacowania wskaźnika $q_a = h_p \times f_p$ wchodzi: wskaźnik podawania i chwytania elementu h_p oraz wskaźnik łączenia elementów f_p .

Wskaźnik $f_p = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$ uwzględnia:

- A - poprawność łączenia części ze względu na funkcję zespołu,
- B - wymaganie dokładnego wzajemnego pozycjonowania dwóch łączonych części,
- C - orientowanie łączonych części,
- D - kierunek łączenia części,
- E - rodzaj łączenia części, zależny od powierzchni styku pomiędzy nimi,
- F - ograniczenia dostępu i/lub kontroli połączenia,
- G - osiowanie i inne możliwe utrudnienia,
- H - opory łączenia części.

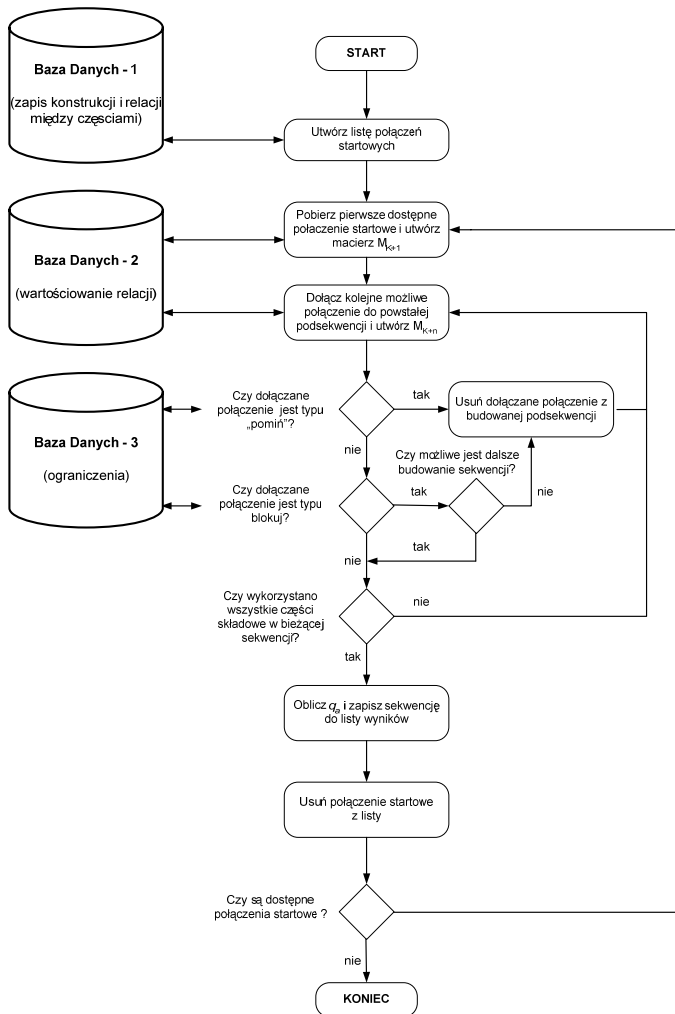
Wskaźnik h_p zależy od sposobu podawania i wrażliwości elementu. Uwzględnia on trzy warianty podawania: ręczne podawanie i chwytanie, podawanie z wykorzystaniem podajnika (chwytanie: mechaniczne, podciśnieniowe, magnetyczne) oraz podawanie zautomatyzowane (z uwzględnieniem: podajnika i przenośnika; chwytanie: mechaniczne, podciśnieniowe, magnetyczne). Natomiast wrażliwość elementu zależy od jego podatności na uszkodzenia mechaniczne, zmiany temperatury, zanieczyszczenia (chemiczne, mechaniczne).

Po wykonaniu zapisu struktury konstrukcyjnej zespołu w macierzy M_k oraz przyporządkowaniu każdej relacji zapisanej w tej macierzy wartości wskaźnika jej oceny należy przystąpić do definiowania ograniczeń. Będą one wykorzystane do tworzenia zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu. Każdemu połączeniu można przyporządkować jeden z trzech desygnatów:

- połączenie „startowe” - jest to takie połączenie dwóch części, od którego rozpoczyna się tworzenie wariantów sekwencji montażu wyrobu,
- połączenie „pomiń” - jest to połączenie, które nie będzie uwzględniane przy generowaniu wariantów sekwencji montażu wyrobu,
- połączenie „blokujące” - jest to połączenie, które uniemożliwia lub ogranicza - w dalszym przebiegu procesu montażu w sensie uzyskania kompletnego zespołu.

W pierwszej kolejności, podczas definiowania ograniczeń należy określić połączenia typu: „startowe” i „pomiń”. W kroku następnym, aby zidentyfikować połączenia blokujące należy dla każdego rozpatrywanego połączenia określić te połączenia poprzedzające, których wykonanie uniemożliwiłoby realizację danego

połączenia. W ten sposób eliminuje się możliwość wystąpienia niepoprawnej kolejności łączenia części. Przyjmuje się, że połączenia blokujące mogą być definiowane z operatorem „i” (\wedge) oraz „lub” (\vee), w zależności od ich charakteru.



Rys. 1. Algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji montażu

Ostatnim z wymienionych modułów metody jest Algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji. Na rysunku 1 schematycznie przedstawiono algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji montażu i jego poszczególne kroki. Wyróżnione zostały trzy bazy danych. W pierwszej z nich, przechowywane są dane dotyczące konstrukcji wyrobu i relacji pomiędzy jego częściami składowymi. Bezpośrednio z bazy wiedzy – 1 tworzona jest lista możliwych połączeń.

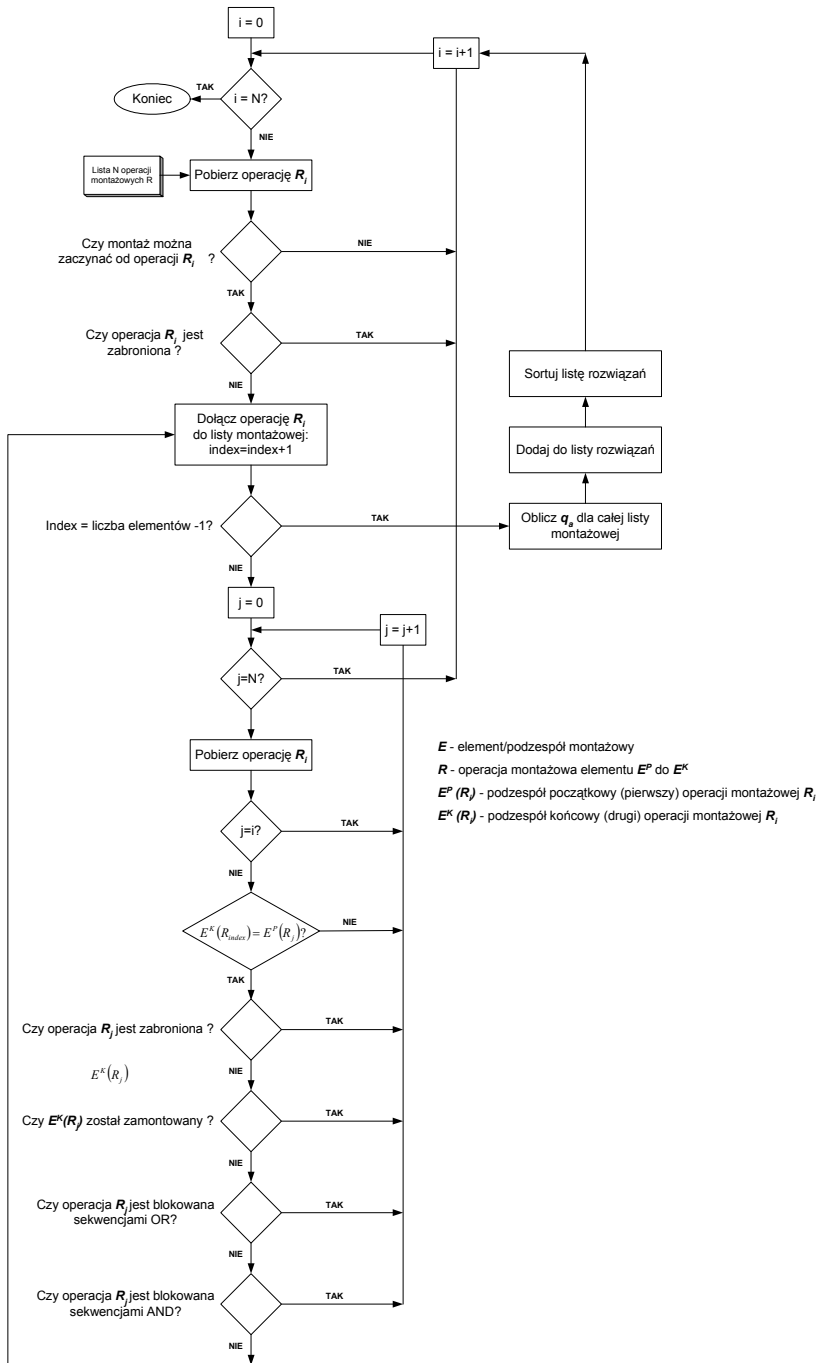
W pierwszym kroku algorytmu z listy połączeń startowych wybierane jest pierwsze dostępne i tworzona jest podsekwencja montażowa z jego części składowych. Jednocześnie przy wyborze połączenia startowego pobierana jest jego ocena (zgodna z wartością wskaźnika q_a opisanego w Ocenie połączeń) z bazy danych -2. W bazie tej, zapisane są informacje związane z wartościowaniem wszystkich relacji pomiędzy częściami składowymi wyrobu. Podsekwencja ta zapisywana jest w formie macierzy M_{k+1} , przez co rozmiar macierzy M_k zmniejsza się o 1. Relacje zapisane w macierzy M_k transformowane są do postaci macierzy M_{k+1} . Jednocześnie sprawdzane są ograniczenia dla bieżącej podsekwencji. Wszystkie ograniczenia (połączenia typu „pomiń”, połączenia blokujące typu „OR” i „AND”) zapisane są w bazie danych – 3. W przypadku występowania ograniczeń sekwencja zostaje usuwana z dalszych rozważań. Jeżeli ograniczenia pozwalają na dalsze budowanie sekwencji montażu dołączane są kolejne elementy (części składowe) i tworzone są podsekwencje wyższego rzędu aż do zbudowania kompletnej sekwencji spełniającej wszystkie ograniczenia. Utworzone sekwencje montażu są zapisywane, a wykorzystane połączenie startowe jest usuwane z listy dostępnych. Następnym krokiem algorytmu jest wybór kolejnego dostępnego połączenia startowego i proces tworzenia sekwencji powtarza się analogicznie do opisanego wcześniej. Po wykorzystaniu wszystkich połączeń startowych uzyskuje się zbiór wszystkich możliwych sekwencji montażu.

3. Komputerowa implementacja metody

Na podstawie koncepcji metody opracowany został główny algorytm wykonawczy programu przeznaczony do generowania i oceny dopuszczalnych sekwencji montażu oraz selekcji najkorzystniejszych rozwiązań. Algorytm ten przedstawiono na rysunku 2. W algorytmie tym uwzględniono wszystkie opisane w poprzednim rozdziale moduły opracowanej metody. Poniżej opisano poszczególne kroki algorytmu wykonawczego programu (oznaczone od I do VI).

I – w pierwszej kolejności definiowana jest macierz struktury konstrukcyjnej, na podstawie której wyznaczany jest zbiór połączeń montażowych (zapisany w postaci listy połączeń),

II – z powstałej listy pobierane jest pierwsze dostępne połączenie i sprawdzane są warunki dotyczące dalszego budowania sekwencji – są to: zdefiniowane połączenie startowe (w przypadku kiedy wybrane połączenie jest połączeniem startowym można od niego rozpoczynać budowanie sekwencji, w przeciwnym razie nie), zdefiniowane połączenie pomiń (w przypadku kiedy wybranemu połączeniu nie jest przypisany typ pomiń to można rozpoczynać od niego dalsze budowanie sekwencji, jeżeli jest przypisany ten typ połączenia to nie bierze ono udziału w generowaniu sekwencji).



Rys. 2. Algorytm wykonawczy programu

Dla powyższych dwóch warunków stosowane są reguły zestawione w tabeli 1. Zgodnie z tymi regułami jedyną możliwością dalszego realizowania algorytmu jest uzyskanie wartości „tak” oraz „nie” odpowiednio dla warunku pierwszego i drugiego.

Tab. 1. Zestawienie reguł dotyczących budowania sekwencji

Nr	Warunek	Wartość	Reguła
1	Czy zdefiniowano połączenie startowe?	tak	Można rozpocząć budowanie sekwencji
		nie	Nie można rozpocząć budowanie sekwencji
2	Czy zdefiniowano połączenie typu pomień?	tak	Połączenie to nie może występować w budowanych sekwencjach
		nie	Połączenie to może występować w budowanych sekwencjach

III - w kolejnym kroku algorytmu dołączane jest kolejne połączenie do bieżącego przy sprawdzaniu kolejno warunków:

- 1 - czy dołączane połączenie jest typu pomień?

W przypadku tego warunku jest analogicznie jak w warunku drugim (Tab. 1).

- 2 - czy podzespół został zmontowany?

Jeżeli podzespół jest zmontowany, tzn. $j=N$ (Index = liczba elementów - 1) wyliczana zostaje wartość q_a dla wygenerowanej sekwencji i zapisywana ona zostaje w liście rozwiązań. Lista rozwiązań po każdorazowym dodaniu nowej sekwencji jest sortowana wg wzrastającej wartości wskaźnika q_a .

- 3 - czy dołączane połączenie jest połączeniem blokującym typu „OR”?

Jeżeli dołączane połączenie jest blokujące (typu „OR”) to można je wykorzystać pod warunkiem, że blokowane nim połączenie występuje już w budowanej sekwencji. W przeciwnym wypadku połączenia tego nie możemy dołączyć do bieżącej sekwencji.

- 4 - czy dołączane połączenie jest połączeniem blokującym typu „AND”?

Jeżeli dołączane połączenie jest blokujące (typu „AND”) to można je wykorzystać pod warunkiem, że blokowane nim połączenie występuje już w budowanej sekwencji lub w przypadku jak co najmniej jedno z występujących połączeń w warunku „AND” nie jest w bieżącej sekwencji. Jeżeli pozostałe połączenia występujące w warunku „AND” występują już w bieżącej sekwencji wówczas jest niemożliwe dołączanie połączenia blokującego.

IV - po negatywnych wartościach odpowiedzi („nie”) na przedstawione powyżej cztery reguły rozważane połączenie dołączane jest do bieżącej sekwencji, pobierane jest kolejne dostępne połączenie i analogicznie do poprzedniego wykonywany jest krok III algorytmu.

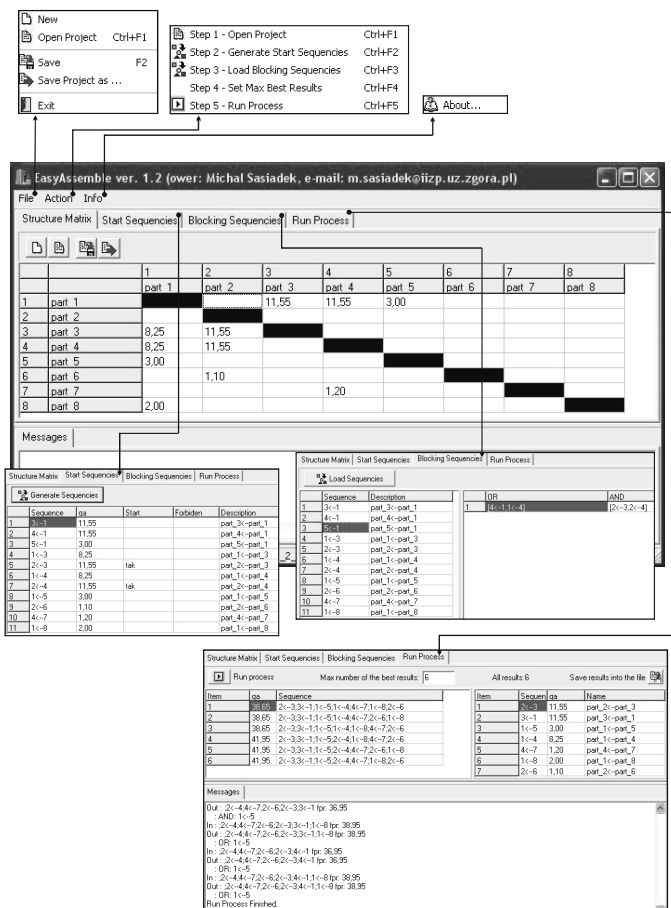
V - Jeżeli podzespół jest zmontowany tzn. Index = liczba elementów - 1 wyliczana zostaje wartość q_a dla wygenerowanej sekwencji i zapisywana ona zostaje w liście

rozwiązań. Lista rozwiązań po każdorazowym dodaniu nowej sekwencji jest sortowana wg wzrastającej wartości wskaźnika q_a .

VI – Jeżeli wykorzystane zostaną wszystkie połączenia startowe i wygenerowane zostaną dla nich wszystkie poprawne sekwencje montażu algorytm kończy działanie.

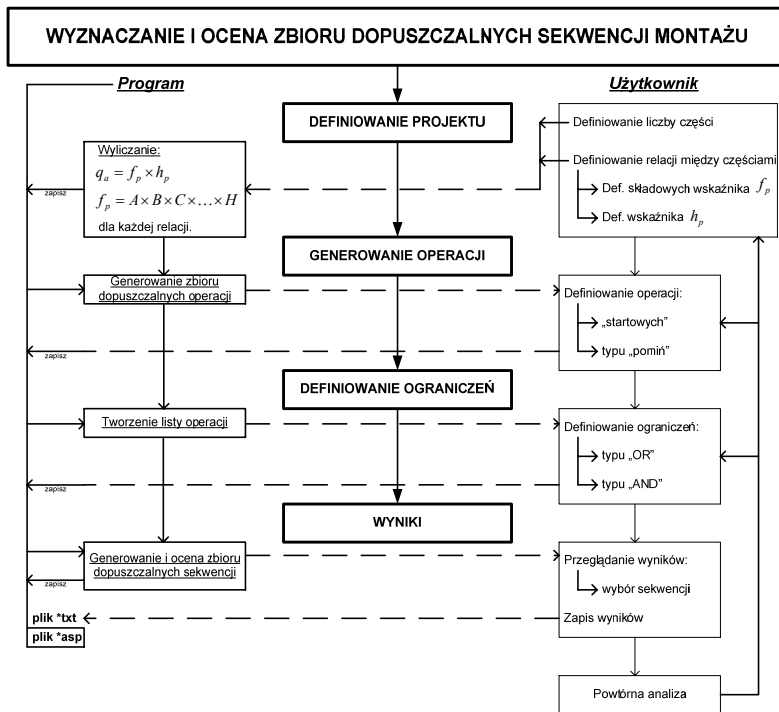
3.1 Program EASYASSEMBLE

Wynikiem komputerowej implementacji metody jest program EASYASSEMBLE [13,15]. Wygląd menu głównego oraz okien dialogowych (Structure Matrix, Start Sequences, Blocking Sequences, Run Process) tego programu przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Okna dialogowe programu EASYASSEMBLE

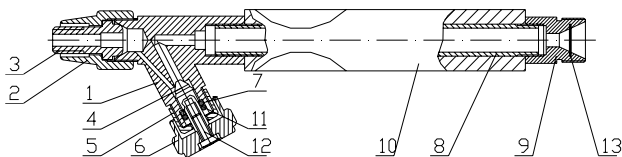
Interakcję użytkownika z oprogramowaniem podczas postępowania przy generowaniu dopuszczalnych sekwencji montażu przedstawiono schematycznie na rysunku 4. Z prawej strony rysunku zestawiono czynności wykonywane bezpośrednio przez użytkownika, natomiast z lewej części zestawiono te czynności, które realizowane są przez komputer. W poszczególnych krokach użytkownik programu wprowadza swoją wiedzę dotyczącą analizowanego wyrobu. W pierwszym kroku użytkownik programu definiuje liczbę części składowych wyrobu. Na tej podstawie generowany jest odpowiedni rozmiar macierzy zależności, w której użytkownik zapisuje relacje pomiędzy częściami składowymi i każdą z nich ocenia według wskaźnika q_a . W kolejnych dwóch krokach definiowane są połączenia typu „start” i „pomiń” oraz ograniczenia kolejnościowe poprzez połączenia blokujące (typu „AND” i/lub „OR”). Wszystkie te informacje zapisywane są bezpośrednio w pliku *.asp. Przed generowaniem sekwencji montażu, użytkownik może określić liczbę wyświetlanych najlepiej ocenionych sekwencji oraz zdefiniować plik tekstowy, w którym zapisane zostaną wszystkie kody algorytmu. Po wygenerowaniu dopuszczalnych sekwencji montażu istnieje możliwość zapisu wyników do pliku tekstowego lub wykonania powtórnej analizy poprzez zmiany wcześniej definiowanych informacji dotyczących wyrobu.



Rys. 4. Interakcja: program Easyassemble– użytkownik

4. Zastosowanie programu EASYASSEMBLE

W niniejszym artykule ograniczono się do omówienia wyznaczenia i oceny zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu na przykładzie palnika gazowego przedstawionego na rysunku 5. Palnik ten złożony jest z trzynastu części składowych wyspecyfikowanych na tym rysunku i oznaczone są: 1 – Korpus, 2-Tuleja gwintowana, 3-Tuleja łącząca, 4-Zawór, 5-Nakrętka dociskowa, 6-Pokrętło zaworu, 7-Pierścień, 8-Łącznik rękojeści, 9-Końcówka łącznika, 10-Rękojeść, 11-Oring, 12-Śruba, 13-Siateczka.



Rys. 5. Budowa palnika gazowego

The figure shows three overlapping windows of the EasyAssemble software interface:

- Window 1 (top left):** Displays the 'Load Structure Matrix' for 13 parts. The matrix is a lower triangular matrix of values representing dependencies between parts.
- Window 2 (top right):** Displays the 'Generate Sequences' window, showing a table of generated sequences with their start times, forbidden states, and descriptions.
- Window 3 (bottom):** Displays the 'Load Blocking Sequences' window, showing a table of blocking sequences and their logical conditions.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1												
2		2.42											
3			1.70										
4				3.74									
5					4.11								
6						2.06							
7							2.06						
8								6.80					
9									2.64				
10										7.62			
11											10.37		
12												3.74	
13													5.54

Sequence	aa	Start	Forbidden	Description	
1	1<-2	2.42	nie	rse	1<-2
2	3<-2	2.26	nie	rse	3<-2
3	1<-3	1.70	tak	rse	1<-3
4	1<-4	3.74	nie	rse	1<-4
5	1<-5	4.11	nie	rse	1<-5
6	4<-6	2.06	nie	rse	4<-6
7	4<-7	2.06	nie	rse	4<-7
8	1<-8	6.80	nie	rse	1<-8
9	8<-9	2.64	nie	rse	8<-9
10	1<-10	7.62	nie	rse	1<-10
11	4<-11	10.37	nie	rse	4<-11
12	4<-12	3.74	nie	rse	4<-12
13	8<-13	5.54	nie	rse	8<-13

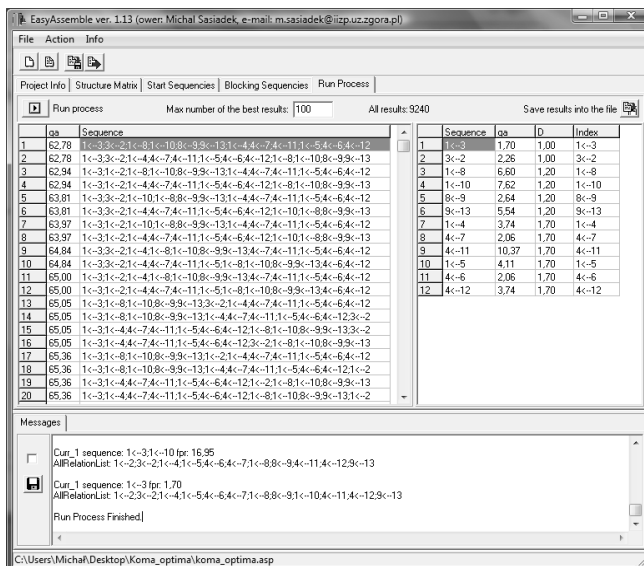
Sequence	Description	OR	AND
1	1<-2	1	[1<-4,4<-6]
2	3<-2	2	[1<-4,4<-12]

Rys. 6. Okna dialogowe programu – palnik gazowy

Wyznaczenie zbioru dopuszczalnych sekwencji wykonane zostanie przy założeniu, że część bazową stanowi korpus (1). Poniżej przedstawione zostaną trzy przypadki zakładające generowanie sekwencji montażu od połączenia startowego, kolejno: 1←3, 1←4, 1←8, czyli przy założeniu, że pierwsza analiza dotyczyć będzie wyznaczania kolejności łączenia części składowych palnika od dołączenia do korpusu (1) tulei łączącej (3).

Kolejne dwie analizy dotyczyć będą analogicznie wyznaczenia zbioru sekwencji montażu rozpoczynających się od dołączenia do korpusu - zaworu (4) oraz – łącznika rękojeści (8). Dla każdego połączenia startowego przeprowadzony zostanie jednakowy sposób rozwiązywania zagadnienia wyznaczania sekwencji montażu. Na podstawie grafu i macierzy zależności wyznaczono wszystkie połączenia montażowe, które należy uwzględnić w budowaniu sekwencji, przy założeniach, że częścią bazowa jest korpus. Dodatkowo określono połączenia startowe oraz ograniczenia w postaci połączeń blokujących dwóch typów: OR i AND. W kroku kolejnym, celem wartościowania generowanych sekwencji, dokonano oceny każdego ze zdefiniowanych połączeń montażowych, według omówionego wcześniej wskaźnika q_a . Poszczególne kroki proponowanej metody, dla pierwszego analizowanego przypadku, przedstawiono na rysunku 6 w trzech oknach dialogowych programu oznaczonych numerami 1 do 3.

Pierwszym, rozwiązaniem za pomocą programu komputerowego, jest przypadek, w którym jako połączenie startowe zdefiniowano dołączenie do korpusu (1) tulei łączącej (3). Uzyskano zbiór 9240 sekwencji. Okno dialogowe programu przedstawiające 20 najkorzystniejszych rozwiązań przedstawiono na rysunku 7.



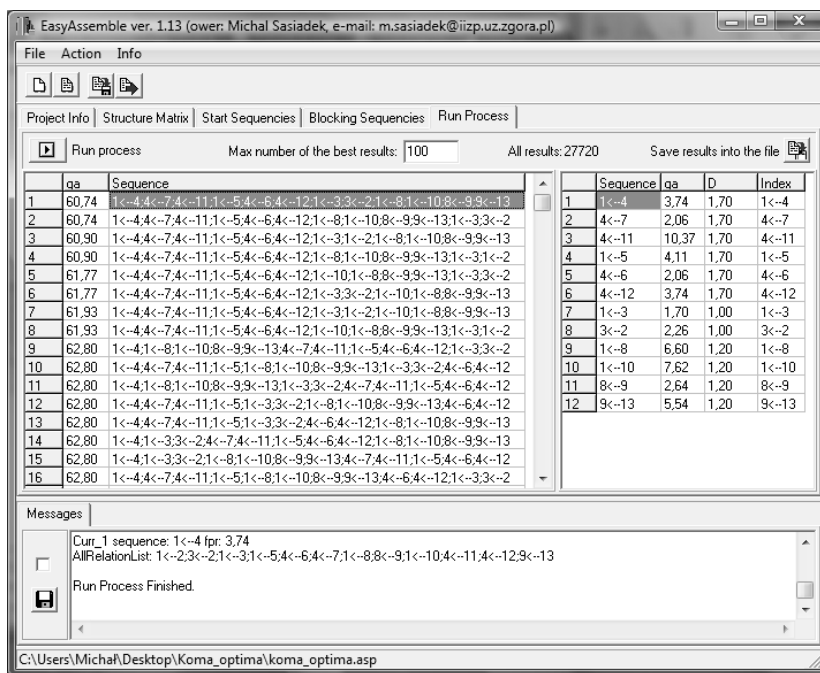
Rys. 7. Wynikowe okno dialogowe 2 dla palnika gazowego

Spośród wygenerowanych sekwencji jednoznacznie wskazać można te, które charakteryzują się najlepszą oceną (najniższa wartość funkcji oceny q_a). Są to dwie równoważne sekwencje, charakteryzujące się wartością $q_a = 62,78$:

- (1-3-2-8-10-9-13-4-7-11-5-6-12),
- (1-3-2-4-7-11-5-6-12-8-10-9-13).

Najlepsze sekwencje różnią się wariantowaniem dwóch podsekwencji linowych (8-10-9-13) i (4-7-11-5-6-12). Pierwsza część tych sekwencji (1-3-2), ze względu na zdefiniowane połączenie startowe (1□3), musi występować na pierwszym miejscu.

W drugim rozważanym przypadku jako połączenie startowe zdefiniowano dołączenie do korpusu (1) zaworu (4). W wyniku działania algorytmu uzyskano 27720 sekwencji. Okno dialogowe programu z tymi rozwiązaniami przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Wynikowe okno dialogowe 4 dla palnika gazowego

Najkorzystniej ocenionymi sekwencjami są:

- (1-4-7-11-5-6-12-8-10-9-13-3-2),
- (1-4-7-11-5-6-12-3-2-8-10-9-13).

W sekwencjach tych początkowy człon stanowi montaż części 1, 4, 7, 11, 5, 6, 12 w wymienionej kolejności i wynika to ze zdefiniowanego połączenia startowego (1□4). W dalszych członach obu sekwencji mamy wariantowanie dwóch podsekwencji: (3-2) oraz (8-10-9-13).

Ostatnim rozwiązywanym przypadkiem, jest wygenerowanie dopuszczalnych sekwencji przy założeniu połączenia startowego 1□8, czyli dołączania do korpusu (1) łącznika rękojeści (8). Uzyskano ponownie 9240 rozwiązań zróżnicowanych pod względem oceny. Najkorzystniej ocenionymi sekwencjami są:

- (1-8-10-9-13-4-7-11-5-6-12-3-2),
- (1-8-10-9-13-3-2-4-7-11-5-6-12).

Ostatnim krokiem analizy weryfikującym uzyskane wyniki, jest wygenerowanie rozwiązań przy jednoczesnym zdefiniowaniu wszystkich założonych połączeń startowych (1□3, 1□4, 1□8). Zbiór dopuszczalnych rozwiązań wynosi 46200 sekwencji, natomiast najkorzystniej ocenionymi są początkowe sekwencje z analiz przeprowadzonych dla oddzielnie definiowanych połączeń startowych. Na podstawie wyników (20 najkorzystniejszych sekwencji) stwierdzić można, że najkorzystniej rozpoczynać montaż od łączenia części oznaczonych numerami: 1-4-7-11-5-6-12. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wyniki wygenerowane przy założeniu jednocześnie trzech połączeń startowych stanowią agregację rozwiązań cząstkowych (rozwiązaniem częściowym jest zbiór sekwencji wygenerowany dla jednego z trzech połączeń startowych), przy czym czas ich uzyskania stanowi sumę czasów rozwiązań częściowych. Z tego względu, jeżeli znane jest połączenie startowe, korzystniejszym wydaje się generowanie wyników dla jednego połączenia startowego, o ile jest to możliwe.

Uzyskane wyniki umożliwiają już na etapie projektowo-konstrukcyjnym wyznaczyć najkorzystniejszą kolejność montażu części składowych analizowanego palnika gazowego. Dzięki uwzględnieniu zasad DFA do wartościowania poszczególnych połączeń dwóch części wyznaczona sekwencja lub jej równoważne charakteryzują się tanim i łatwym montażem. Na tej podstawie, już na etapie powstawania konstrukcji wyrobu można planować szczegółowy przebieg procesu jego montażu.

Ponadto, na podstawie analizy ocen (wartości wskaźnika q_a i jego składowych) poszczególnych połączeń można dokonać zmian konstrukcji wpływających na jej „lepsze dopasowanie” do zasad projektowania dla montażu (DFA).

Literatura

- [1] Anderson D.M., *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering*, CIM Press, 2010
- [2] Baldwin D.F., Abell TE, Lui MC, de Fazio TL, Whitney DE., *An integrated computer aid for generating and evaluating assembly sequences for mechanical products*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1991, Vol.7, No.1, pp. 78–89.
- [3] Booker J. D., Raines M., Swift K. G., *Designing Capable and Reliable Products*, Butterworth-Heinemann, 2001.

- [4] Boothroyd G, Dewhurst P., *Design for Assembly*, Boothroyd Dewhurst Inc., Wakefield. 1991.
- [5] Bourjault A., *Contribution à une approche méthodologique de l'assemblage automatisé: élaboration automatique des séquences opératoires*. France, 1984.
- [6] De Fazio T.L., Whitney D.E., *Simplified generation of all mechanical assembly sequences*. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, Vol. 3, No. 6, pp. 640–656.
- [7] Eder E.W., Hosnedl S., *Introduction to design engineering. Systematic creativity and management*, Taylor & Francis Group, London, UK, 2010.
- [8] Gottipolu R.B., Ghosh K., *Representation and selection of assembly sequences in computer-aided assembly process planning*, International Journal of Production Research, 1997, Vol. 35, No. 12, pp. 3447-3465.
- [9] Łebkowski P., *Planowanie montażu mechanicznego w elastycznych systemach produkcyjnych. Wybrane metody i zagadnienia*, Wydawnictwo AGH, Kraków, 2002.
- [10] Qiang Su, *Computer aided geometric feasible assembly sequence planning and optimizing*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007, Vol. 33, pp. 48–57.
- [11] Redford A.H., Chal J., *Design for Assembly: Principles and Practice*, McGraw-Hill, 1994.
- [12] Sanderson A.C., Homem de Mello L.S., Zhang H., *Assembly sequence planning*. AI Mag, 1990, Vol. 11, No. 1, pp. 62–81.
- [13] Szaśiadek M., *Computer aided mechanical assembly sequence planning*, 7th International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems - CONFENIS 2013, Prague, Czech Republic, Trauner Verlag, 2013, pp. 335-343.
- [14] Szaśiadek M. Rohatyński R., *A method of computer aided design for assembly*, Proceedings of the Design methods for industrial practice Conference, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2008, pp. 119-126.
- [15] Szaśiadek M., *Assembly sequence planning with the principles of design for assembly*, The 20th International Conference on Engineering Design - ICED' 15. Milano, 2015, pp. 31--40
- [16] Szaśiadek M., *Planning and analysis of mechanical assembly sequences in design engineering - part I: the method*, Tehnički Vjestnik = Technical Gazette, 2015, Vol. 22, no. 2, pp. 337--342
- [17] Szaśiadek M., *Planning and analysis of mechanical assembly sequences in design engineering - part II: application*, Tehnički Vjestnik = Technical Gazette, 2015c, Vol. 22, no. 3, pp. 643--648
- [18] Chen Shi-Jie, Mazur L.M., Szaśiadek M., *Project task flow optimisation and departmental flow analysis using design structure matrix and genetic algorithm*. International Journal of Logistics Systems and Management, 2013, 15.1, pp. 68-92.
- [19] Whitney D.E. *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*, Oxford University Press, 2004

VIRTUAL COMMISSIONING AS AN INNOVATIVE TOOL OF INDUSTRIAL ENGINEERING FOR USE IN THE PRODUCTION PROCESSES

Peter TREBUŇA¹, Radko POPOVIČ², Miriam PEKARČÍKOVÁ³,
Andrea PETRIKOVÁ⁴, Marián PETRIK⁵

Article deals with the design of the production line modules using the Process Simulate software Siemens Tecnomatix. Process Simulate is a widespread module, which can be used to design a complete project of future production and streamline production in existing production or assembly line. The necessity of using an auxiliary tool for the design and launch of production is described in detail in the following lines. With this software package it is possible to detect deficiencies or existing production downtime. The proposed solution can be further verified using simulation modeled the selected department and confirm the time savings or other modifications leading to the optimization of production.

1. Introduction

Currently, each company, mainly engineering companies need changes during their life cycle. A few years back testing and testing different alternatives to running system modified its assembly processes and material flows. The company had a plan and create all the activities on paper, or in the computer and then these planned activities can be implemented in the real system if it wants to rearrange the assembly line. The problem was, that when any irregularity in the implementation of changes had to be immediate solutions (when errors occur), and there was no one who would be able to determine the success or failure of the project. This resulted in a substantial financial loss, loss of time, and of course the capacity reduction. Nowadays it is impossible. Philosophy of Digital Factory mastered almost all the big companies. Digital Factory can be defined as a kind of strategy that will govern the company when using digital 3D models of real production, where it can make improvements, changes and before any of the alternatives will be introduced to the real running system, also with several options.

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

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

⁵ Ing.; TU of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia; e-mail: marian.petrik@tuke.sk

2. Basic overview of module Process Simulate

On the scheme below there is a basic submodules division of the Process Simulate (Fig. 1). Also this software has some other possibilities such as modeling, kinematics, but the main direction is focus on Robotics, Weld, Human and Virtual Commissioning.

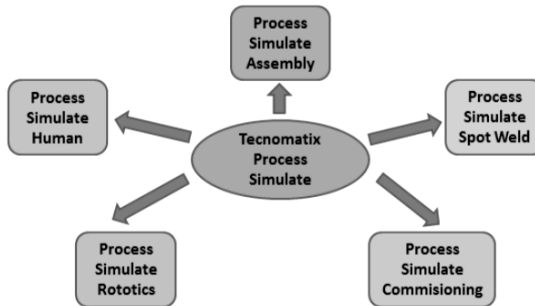


Fig. 1. Process Simulate overview

2.1. Process Simulate Human

Module Process Simulate Human provides users with verified solutions for workstations, enables to check the feasibility of the required safety of the individual parts of a product. It also offers powerful features for innovation and ergonomics analysis of human activities, thereby providing a safe and ergonomic manufacturing process in accordance with industry standards. The user can perform realistic simulation of the human tasks and to streamline the process time of the production cycle by using the simulation tool of human activity in accordance with the standards relating to ergonomics. The software in the simulation of the human activities essential to take account the factors such as the field of vision of the human eye and the hand of reachability.

2.2. Process Simulate Spot Weld

Process Simulate Spot Weld take care about welding process which allows verifying a design in 3D graphics and simulation environment from the planning stage through to detailed technical degrees. This module can also be done even in offline mode programming. This module also allows you to simulate the prevention of technical problems like the distribution of spot welds at the individual stations, welding cycle tasks, selection injector gun from a library of existing guns and tools.

2.3. Process Simulate Robotics

Process Simulate Robotics module allows you to design and simulate complex manufacturing zones that are automated by a robot. Synchronizing multi-robot zones with a very difficult task facilitated processes through simulation tools, such as the assessment of cyclical events and control a specific robot. Robotic simulation tools provide the ability to plot a path without collision for all robots and streamline their time cycles. When configuring kinematics of 3D models, it is placed in section editor kinematics (Kinematics editor). When it is assumed that the 3D model was the default for modeling. The kinematic model consists of the joint comprises and kinematic chain of links. These joints are rotatable and movable with the possibility of the motion of the recess a self-limiting, velocity and acceleration of the elements. The joint is defined between two lines (lines parent and subsidiary lines). After creating such a chain can be defined different poses. Robot configuration is in inverse kinematics with tools Robot Jog. Another tool is a Mount Tool, which can be triggered when we assign effector to robot (Fig. 2).

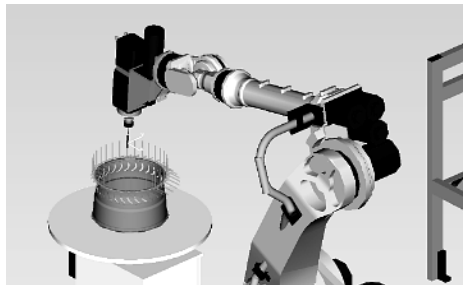


Fig. 2. Robotics weld simulation

2.4. Process SimulateVirtual Commissioning

From conceptual design to production of the final product module Process Simulate Commissioning enables to simplify the existing production and technical data. The module is the possibility of a common integration platform for various disciplines. Through Module Process Simulate Commissioning users can simulate real PLC code with real hardware through OPC standard and real robot programs, allowing faithfully virtual commissioning of the production environment (Fig. 3).

Using these and many other features and benefits of Software Process Simulate can design and create a plan for a detailed picture of future production than at individual workplaces as well as in the whole enterprises. In the process of digital enterprise, this tool is a very important element, which is currently gaining potential in the future and will be an indispensable means of production planning activities.

3. Design – first step before simulation

The first step so far before designing a production line is to create product design. Product design in digital tools talks about what will be produced, respectively represents the next effigy of the final product. On the basis of this proposal it is necessary to develop the design of individual parts of this product, where the 3D models gradually draw up and stored in the database. Then comes the process of designing the basic layout of the production line and related draft all the components necessary for the production of the final product, such as robots, grippers, weld guns, turntables, cabinets, conveyors and other special tools contained in the production line. Essential tool for creating 3D models can be regarded as CATIA, NX, SolidWorks. Below is a sample of the design process in a SolidWorks (Fig. 4).

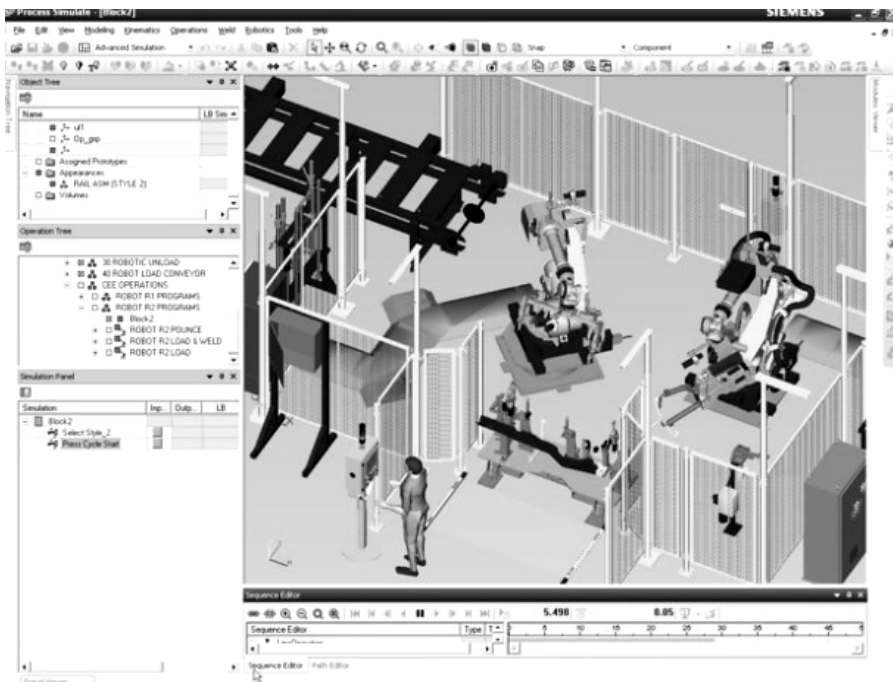


Fig. 3. Process Simulate Virtual Commissioning

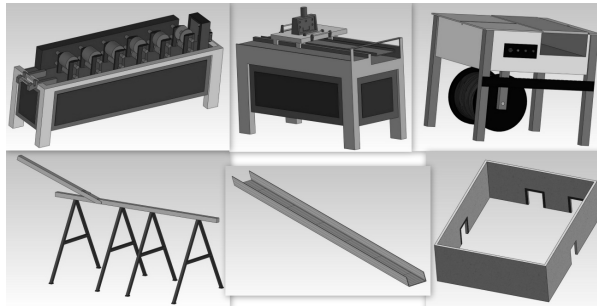


Fig. 4. Design in SolidWorks

4. Simulation of the production processes

Simulation is the last step of this procedure of creation a production line in the digital environment.

There are also many steps in the Tecnomatix Process Simulate needs to be done before:

- create a new project in Process Simulate;
- structure of data – create parts library, engineering resource library, list of processes (operations);
- import 3D models from CAD software to Process Simulate libraries;
- import weld points, parts and operations assignment;
- design the layout (Fig. 5);
- testing robots with their tools (grripper, weld gun) – possible welding without collisions, pick and place operation, bonding, cutting);
- testing Human operations (ergonomics, collisions, safety, attainability);
- updating layout with all stuff (cables, housing, cabinets,...).

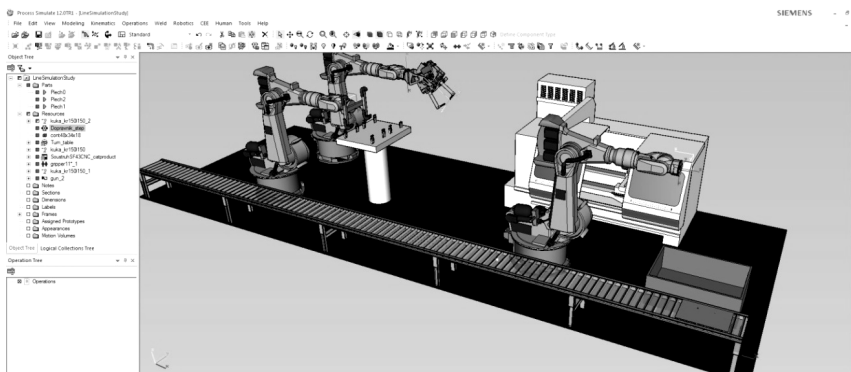


Fig. 5. Design of layout

Now Simulation can be projected. All robot programs consist of all instructions of its work on site. After the simulation has been tested and finished without collisions or any other problems, the takt time need to be checked. Usually takt time comes from the customer (producer) and the whole production processes need to be modified to keep the takt time. No projects after simulation are ready and correctly for takt time. The best way how to take care about the optimization is to import all operations to Gantt Diagram in Process Designer module. Also simulation needs to be changed to make clear, that the synchronization (takt time) of the production line is correct. After optimization of the simulation (offline programming is in the end) the online programming on site starts. All robot programs are tested with low robot speed and also first test parts need to be pushed by the production line. After testing and debugging the start of the production is prepared.

5. Virtual Commissioning - Innovative way how to project the production and to create connection between simulation software and production line

Figure 6 represents traditional way of production planning. Final workplace consist of mechanical and mechatronical parts, control elements and of course planned layout. So now we need to prepare all necessary objects which will be set up in the realization phase of the project. The whole layout with product will be tested in the virtual 3D environment (e.g. Process Simulate), but then needs to be done all stuff around the testing on site with real components. After time consuming debug it will be pushed to start the production. The same workflow is here for the changes too. If there is a modification needed (e.g. new machine, new product, issue or collision on the production line), then we need to go to the first procedure, which is physical model, and then, step by step testing before it is implemented to real system.. Make a real model, test it, resolved issues and bottlenecks and finally start the production again is consuming too much time.

Figure 6 represents innovative way of production process implementation. Difference from the traditional concept is in the beginning of planning phase of project. All parts are in the 3D virtual environment where all processes are defined and tested. Virtual Commissioning consist of PLC programming, hardware configuration, material flow, logistics, collisions, machine's capacity, security. All that stuff is necessary for every implementation to the real system. To get this innovative way working, also special software is important.

Physical Commissioning time: approx 3 months

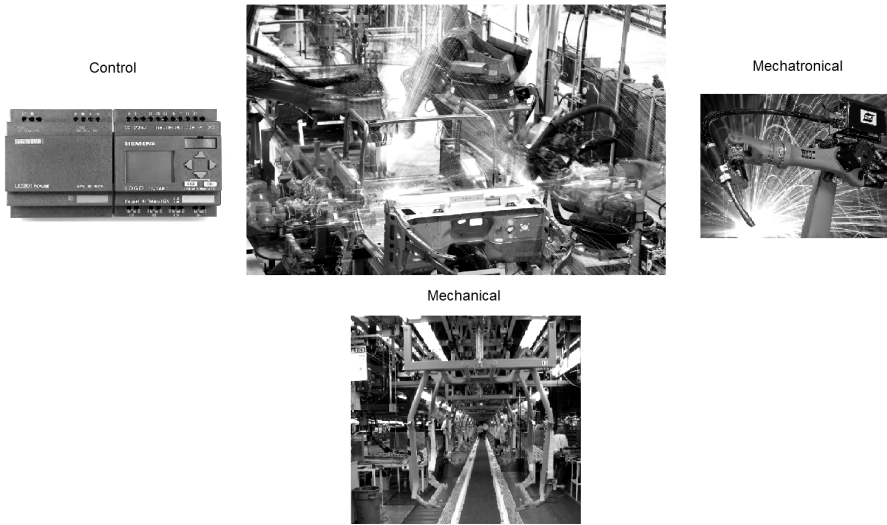


Fig. 6. Traditional way of projecting the production line



Fig. 6. Virtual Commissioning

Additional steps for project in Process Simulate:

- change from Standard Mode to Line Simulation Mode,
- create sensors and signals,
- create Logic Blocks,
- create Event Based Simulation (based on signals),
- simbox testing before validation.

Virtual Commissioning Module of Process Simulate (Fig. 7) allows users to simplify existing manufacturing and technical data from conceptual design to final product manufacture.

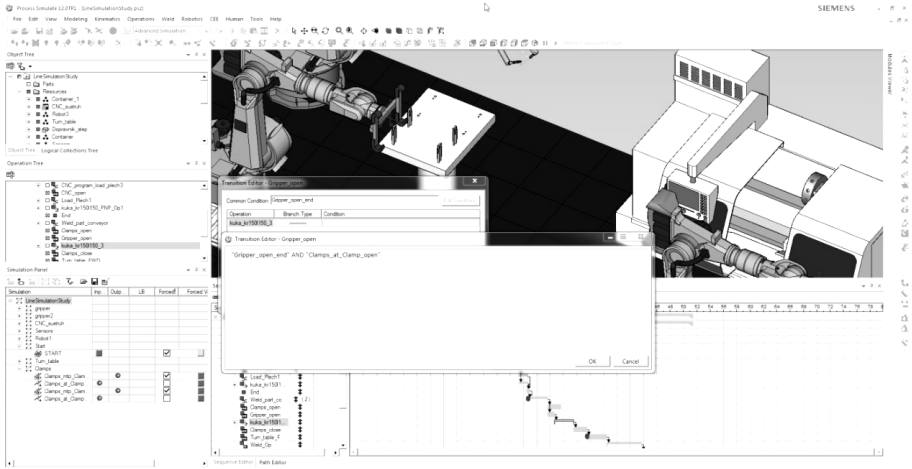


Fig. 7. Virtual Commissioning Module

The module supplies a common integration platform for various disciplines participating in real commissioning of production (mechanical and electrical). Using Process Simulate module Virtual Commissioning users can simulate real PLC code with the actual hardware through OPC and the real robot programs, allowing faithfully virtual commissioning of the production environment. Final time and cost saving can be seen on next Figure 8.

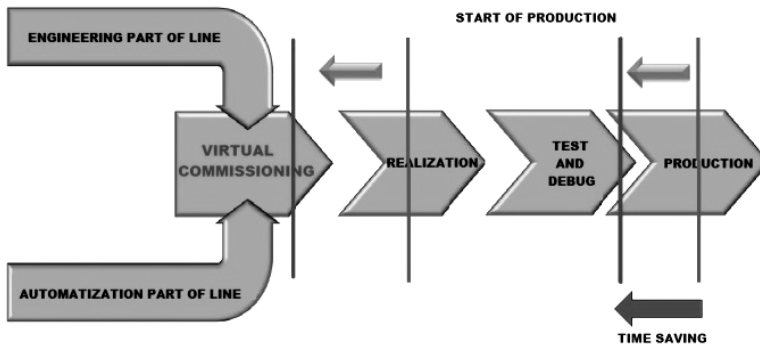


Fig. 8. Time saving using Virtual Commissioning

6. Conclusion

Production processes nowadays need neverending care. It's the special cycle, where all activities are interlinked with each other. Processes in the production line are one of the main parts of Product Lifecycle management and for that, those processes need to be digitized and control by engineer through the computer system. Simulation, especially computer simulation has been in a rapid growth in recent years as a tool for managing the production processes. Its deployment in practice generally improves production possibilities in many ways. 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. Tecnomatix Process Simulate with its module Virtual Commissioning is one of the possible concepts how we can create, test and debug PLC codes for that machines before it is implemented to real production environment. Those simulations include all movements, signals, material flow and safety parameters which have the same behavior as the real production system. By virtual testing we can detect and eliminate possible errors or bottlenecks, which can cause high financial issues in the future. By those simulations we can confirm that robots and other automated machines will work as expected, which bring up reducing of commissioning time.

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*. 1st edition, Plzeň: Smart Motion, s.r.o., 2013. (Original in Czech)
- [2] Laciak M., Sofranko M., *Designing of the technological line in the SCADA system PROMOTIC*, Proceedings of the 2013 14th International Carpathian Control Conference, ICC 2013, Article number 6560538, p.p. 202-207

- [3] Lerher T., Edl M., Rosi B., *Energy efficiency model for the mini-load automated storage and retrieval systems*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, Vol. 70, Issue 1-4, p.p. 97-115
- [4] Straka M., *Diskrétna a spojité simulácia v simulačnom jazyku EXTEND*, Košice, TU F BERG, Edičné stredisko/AMS, p.p. 102, 2007, On line: http://people.tuke.sk/martin.straka/web/web_download/Simulation_scriptum_2.pdf
- [5] Bureš M., Šrajter V., Gorner T., *Projektování výrobních systémů a DP*, Ebook, SmartMotion, Plzeň, 2012.
- [6] Saniuk S., Samolejova, A., Saniuk A., Lenort, R. *Benefits and barriers of participation in production networks in a metallurgical cluster - research results*, Metalurgija, 2015, Vol. 54, Issue 3, p.p. 567-570
- [7] *What is PLM Software?* Online: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/plm
- [8] Trebuňa P., Fil'o M., Pekarčíková M., *Supply and distribution logistics*, vyd. – Ostrava, Amos, 2013, 133 p.



UNIWERSYTET
ZIELONOGÓRSKI

ISBN 978-83-65200-03-7