



Wydział  
Mechaniczny



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

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

# INŻYNIERIA

# PRODUKCJI

*Narzędzia  
doskonalenia  
procesów*

Pod redakcją:  
Justyny Patalas-Maliszewskiej  
Juliana Jakubowskiego

# IZiP

# 13

ISBN 978-83-65200-06-8

Uniwersytet Zielonogórski  
Zielona Góra 2017

# **INŻYNIERIA PRODUKCJI**

*Narzędzia  
doskonalenia  
procesów*

Pod redakcją:  
Justyny Patalas-Maliszewskiej  
Juliana Jakubowskiego

Zielona Góra 2017

**UNIwersytet Zielonogórski**  
**Rada Wydawnicza Instytutu Informatyki i Zarządzania Produkcją**  
Julian Jakubowski, Sławomir Kłos,  
Justyna-Patalas-Maliszewska, Michał Sąsiadek, Roman Stryjski, Waldemar Woźniak



**Autorzy rozdziałów:**

*Rozdział 1: Ewelina Zema, Marek Salamaj*  
*Rozdział 2: Tadeusz Szmiński, Wojciech Wodzisławski*  
*Rozdział 3: Karol Dąbrowski, Kamil Leksycki, Marcin Chciuk*  
*Rozdział 4: Anna Kuryś, Julian Jakubowski*  
*Rozdział 5: Małgorzata Śliwa, Adam Dudek*  
*Rozdział 6: Przemysław Wojciechowski, Justyna Patalas-Maliszewska*  
*Rozdział 7: Michał Ociepa*  
*Rozdział 8: Rafał Szumski*

**Redakcja naukowa:**

*Justyna Patalas-Maliszewska*  
*Julian Jakubowski*

**Recenzenci:**

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

© Copyright by Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją  
Zielona Góra 2017

**ISBN: 978-83-65200-06-8**

## Spis treści

Przedmowa .....	5
<b>Rozdział 1</b>	
Gospodarka magazynowa w przedsiębiorstwach produkcyjnych .....	7
<i>Ewelina Zema, Marek Salamaj</i>	
<b>Rozdział 2</b>	
Ocena stopnia uszkodzeń tłoka silnika wysokoprężnego 1.6 TD po 20-letniej eksploatacji .....	19
<i>Tadeusz Szmigielski, Wojciech Wodzisławski</i>	
<b>Rozdział 3</b>	
Ocena wpływu dodatków stopowych na temperaturę w procesie krystalizacji siluminów około eutektycznych .....	33
<i>Karol Dąbrowski, Kamil Leksycki, Marcin Chciuk</i>	
<b>Rozdział 4</b>	
Statystyczne sterowanie procesem za pomocą kart kontrolnych przy wykorzystaniu programu Statistica .....	43
<i>Anna Kuryś, Julian Jakubowski,</i>	
<b>Rozdział 5</b>	
Modelowanie procesów biznesowych za pomocą notacji UML i BPMN .....	55
<i>Małgorzata Śliwa, Adam Dudek</i>	
<b>Rozdział 6</b>	
Ocena efektywności procesu produkcyjnego .....	69
<i>Przemysław Wojciechowski, Justyna Patalas-Maliszewska</i>	
<b>Rozdział 7</b>	
Optymalizacja konstrukcji obrotowego reaktora do termicznego przetwarzania odpadów komunalnych z wykorzystaniem oprogramowania typu C(P)FD .....	77
<i>Michał Ociepa</i>	
<b>Rozdział 8</b>	
Usprawnienie procesu produkcji – studium przypadku .....	87
<i>Rafał Szumski</i>	
Bibliografia .....	97
Autorzy .....	103



## PRZEDMOWA

*Szanowni Państwo,*

*podejmując lekturę niniejszej książki będziecie mieć Państwo możliwość zapoznania się ze studium empirycznym z zakresu inżynierii produkcji. Celem publikacji jest zaprezentowanie dobrych praktyk z zakresu doskonalenia procesów biznesowych w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Podjęty obszar badawczy został ukazany w wielu wymiarach poznawczych, zarówno w aspekcie konieczności identyfikowania procesów w przedsiębiorstwie, modelowania działań firmy, jak również w kontekście uzyskania korzyści z przeprowadzonych działań naprawczych.*

*W rozdziale pierwszym zaprezentowano obszar gospodarki magazynowej ze szczególnym uwzględnieniem przygotowania przedsiębiorstwa do wdrożenia systemu logistycznego. Zwrócono uwagę na możliwość dokonania usprawnień w firmie dotyczących obiegu materiałów, półproduktów i gotowych produktów.*

*Rozdział drugi obejmuje analizę wyników badań stopnia zużycia tłoka silnika wysoko-  
prężnego samochodu dostawczego VW T3 1.6 TD, który uległ zniszczeniu po okresie 20  
letniej eksploatacji. W celach porównawczych przeprowadzono badania tłoka nowego  
w zakresie budowy, materiału i struktury. Do oceny materiałów i struktury obu tłoków  
wykorzystano jako przewodnią metodę badań mikroskopowych. Drugą metodą, którą  
wykorzystano była metoda badań wizualnych, która bezpośrednio posłużyła w ocenie  
stopnia zniszczeń powstałych zniszczeń mechanicznych, kawitacyjnych oraz porównania  
wykrytych różnic w budowie obu tłoków.*

*W rozdziale trzecim przedstawiono zastosowanie metody ATD do oceny jakości wybra-  
nych siluminów okołoeutektycznych o zawartości krzemu 13.5%. Badanie procesu kry-  
stalizacji prowadzone było na stanowisku prototypowym, opracowanym na Uniwersyte-  
cie Zielonogórskim.*

*Rozdział czwarty to przykład wykorzystania pakietu Statistica do efektywnego sterowa-  
nia procesem produkcyjnym.*

*W rozdziale piątym zaprezentowano możliwości modelowania procesów biznesowych  
w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Na podstawie procesów realizowanych w dziale  
badawczo-rozwojowym przedsiębiorstwa produkcyjnego zamodelowano realizację  
zadań pracowników w tym dziale w aspekcie wykorzystania wiedzy technicznej przy  
zastosowaniu notacji UML i BPMN.*

*W rozdziale szóstym scharakteryzowano wybrane metody oceny efektywności w przed-  
siębiorstwie: koncepcję Lean Manufacturing, metodę 5S, metodę zarządzania przez*

*jakość (Total Quality Management – TQM), koncepcję Kaizen, kluczowe wskaźniki efektywności (ang. Key Performance Indicators, KPI), metodę Overall Equipment Effectiveness (OEE), metodę 5xdlaczego. Następnie zaproponowano pomiar efektywności dla wybranego procesu produkcyjnego przy zastosowaniu wskaźnika OEE.*

*Rozdział siódmy to prezentacja problematyki oraz możliwości wykorzystania oprogramowania CPFD do optymalizacji konstrukcji obrotowych reaktorów do termicznego przetwarzania odpadów komunalnych w celu m.in.. dostosowania warunków procesu do aktualnych wymogów prawnych w zakresie gospodarki odpadami.*

*W rozdziale ósmym pokazano sposób usprawnienia procesu produkcji poprzez eliminację wąskiego gardła na przykładzie dużego przedsiębiorstwa funkcjonującego w branży automotive, procesu mycia części.*

*Zaprezentowane przykłady zastosowania wybranych narzędzi doskonalenia działań w firmach zostały opracowane przez studentów kierunków Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Informatyka przy pomocy pracowników naukowo-badawczych Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Zielonogórskiego.*

*Życzymy przyjemnej lektury.*

*Redaktorzy*

# **GOSPODARKA MAGAZYNOWA W PRZEDSIĘBIORSTWACH PRODUKCYJNYCH**

## **1. WPROWADZENIE**

W literaturze można znaleźć wiele definicji, które opisują czym jest „gospodarka magazynowa”, oraz pojęcia z nią związane. Część z tych definicji zapisanych jest w Słowniku terminologii logistycznej, który opracowany został przez Instytut Logistyki i Magazynowania w Poznaniu, oraz w Encyklopedii gospodarki materiałowej [1]. Na podstawie tej literatury można zatem powiedzieć, że:

- magazyn to jednostka funkcjonalno-organizacyjna przeznaczona do magazynowania dóbr materialnych tzw. zapasów w wyodrębnionej przestrzeni budowli magazynowej według ustalonej technologii,
- magazynowanie to zespół czynności związanych z czasowym przyjmowaniem, składowaniem, przechowywaniem, kompletowaniem, a także przemieszczaniem i wydawaniem dóbr materialnych (zapasów) w określonych warunkach,
- gospodarka magazynowa to celowa działalność obejmująca zespół środków, czynności organizacyjnych i technicznych oraz zadań ekonomicznych związanych z przechowywaniem zapasów magazynowych,
- materiał to dobro materialne przynajmniej raz przetworzone, przeznaczone do dalszego przetwórstwa, montażu lub zapewnienia właściwego stanu czy ruchu obiektów będących w fazie eksploatacji,
- zapas magazynowy to dobro materialne przyjęte fizycznie i dokumentacyjnie do magazynu i tam zaewidencjonowane w celu późniejszego wydania do: produkcji, konsumpcji lub sprzedaży. Zapas wyrażony jest w miarach ilościowych i/lub wartościowych,
- montaż to wszystkie czynności niezbędne do złożenia poszczególnych części w jednostkę montażową, taką jak: podzespół, zespół, wyrób. Warunkiem jest zapewnienie odpowiedniego położenia oraz ruchu części.

## **2. FUNKCJONOWANIE GOSPODARKI MAGAZYNOWEJ**

Właściwe funkcjonowanie magazynu w przedsiębiorstwie pozytywnie wpływa zarówno na sprawniejszy przepływ materiałów, a co za tym idzie niższe koszty oraz wyższy poziom obsługi klienta. W łańcuchu dostaw magazyny stanowią najważniejsze ogniwo, są one powiązane z produkcją, dystrybucją produktów finalnych oraz z ich transportem. Podstawowymi zadaniami magazynu jest przyjmowanie, składowanie, a także działania



manipulacyjne, które związane są z przyjmowaniem i wydawaniem towarów. Działania te występują podczas przemieszczania produktów między strefami.

Logistyczne podejście do funkcjonowania magazynu wg. Zdzisława Dudzińskiego mówi o zasadzie filozofii logistyki, jaką jest zasada „myślenia o całości”, czyli myślenia systemowego[2]. Dlatego podczas organizacji gospodarki magazynowej należy uwzględnić problemy związane z dostawami, rodzajami transportu, czy rodzajami opakowań.

Do zasadniczych funkcji magazynu w systemie logistycznym zaliczyć można:

- niższe koszty transportu - redukcje kosztów transportu na niższe można osiągnąć dzięki zwiększeniu ilości zamawianego produktu przy zmniejszeniu ich częstotliwości,
- wspomaganie procesów produkcyjnych - możliwe jest poprzez utrzymywanie poziomu zapasu potrzebnego do ciągłości produkcji oraz przez systematyczną wysyłkę wyrobów gotowych,
- wspieranie procesów marketingowych - możliwe jest wówczas, gdy zgromadzone są zapasy niezbędne do przeprowadzenia akcji promocyjnej,
- zapewnienie ciągłości produkcji i handlu - możliwe jest wówczas, gdy zgromadzone są zapasy niezbędne do wykonania zamówienia.

Magazynowe systemy logistyczne, aby mogły być skuteczne, muszą być wdrażane w całości i odgórnie. Żadne cząstkowe działania nie przyniosą oczekiwanych efektów. Każde nowe przedsięwzięcie w gospodarce magazynowej powinno zostać poprzedzone szczegółową analizą stanu przepływu materiałów i informacji oraz kosztów z tym związanych. Przedmiotem analizy są dostawy, magazynowanie, sprzedaż, kontakty z kontrahentami oraz transport i przeładunek. Celem takiego badania jest wykrycie błędów, zakłóceń w przepływie produktów i informacji, oraz określenie możliwości wprowadzenia nowoczesnych systemów wspomagających pracę w magazynie.

Podczas stosowania zasad logistyki do których zaliczamy między innymi JiT, czy opracowania odpowiednich zadań i wykorzystania środków technicznych można osiągnąć następujące korzyści: szybsze kompletowanie zamówień, eliminacje błędów, usprawnione rozliczeń przez wprowadzenie EDI, zmniejszenie kosztów ogólnych.

Osiągnięcie omawianych korzyści w gospodarce magazynowej jest możliwe dzięki wprowadzeniu nowego lub udoskonalonego stosowanego już systemu komputerowego. Pozwoli to wówczas na sprawniejsze wykonywanie prac magazynowych w zakresie: przyjmowania dostaw, wykorzystania przestrzeni magazynowej, itp.

### **3. DOKUMENTACJA PROCESU MAGAZYNOWANIA**

Stosowanie odpowiedniej dokumentacji w gospodarce magazynowej odgrywa kluczową rolę w momencie pojawienia się błędów w zamówieniach czy brakach w magazynie. Mimo, że w poszczególnych magazynach mogą występować pewne różnice w stosowanych dokumentach, to jednak w każdym z nich można wyodrębnić dokumenty związane z przyjmowaniem zapasów do magazynu oraz z ich wydawaniem i inwentaryzowaniem.

Wyróżniamy dwa rodzaje dokumentacji magazynowej:

- dokumentację organizacyjną magazynu - to zestaw dokumentów formalizujących tryb pracy magazynu. Do podstawowych dokumentów tego typu zaliczamy instrukcje magazynowe oraz regulamin pracy magazynu. Instrukcja magazynowa jest dokumentem, który określa organizację oraz technologię gospodarki magazynowej w przedsiębiorstwie. Instrukcja ta obejmuje elementy takie jak: charakter i warunki przechowywania zapasów, schemat budowli oraz dróg transportowych w magazynie, oraz zasady przyjęcia i wydawania zapasów, a także rodzaj dokumentów wraz z ich obiegiem. Tego typu dokument obowiązuje wszystkich pracowników magazynowych z którymi została zawarta umowa o odpowiedzialności materialnej. Osobą wprowadzającą w życie instrukcję magazynową generalnie jest dyrektor lub prezes przedsiębiorstwa. Zaś regulamin pracy magazynu zawiera sposoby postępowania wynikające z obowiązujących przepisów. Regulamin obejmuje następujące elementy: podstawowe obowiązki pracodawcy, pracowników ich kwalifikacje zawodowe na poszczególnych stanowiskach, zwolnienia od pracy i zasady usprawiedliwiania nieobecności w pracy, kary za naruszenie porządku, postanowienia dotyczące pracy w magazynie kobiet i młodocianych itp.
- dokumentację obrotów magazynowych - dokumentacja obrotów magazynowych stworzona jest z zestawu dokumentów o ustalonej postaci i określonym przeznaczeniu. Dokumenty zostały przedstawione w tabeli 1 wraz z podziałem na dokumenty przychodowe i rozchodowe. Dokumenty te potwierdzają przychód i rozchód materiałów, wyrobów gotowych oraz towarów. Sporządzanie tego typu druków odbywa się z obowiązującymi prawnie zasadami ewidencji. Dowody wypełniane są ręcznie lub za pomocą komputera w formie znormalizowanych formularzy.

Tab. 1 Podział dokumentów obrotu magazynowego[3].

Dokument	Rodzaj dokumentu	Zadanie/Cel
Pz	Dokument Przychodowy	Jest to zasadniczy dokument potwierdzający ilościowe i jakościowe przyjęcie wyrobów, urządzeń i dostaw do magazynu. Stanowi podstawę do rozliczenia z dostawcą.
Pw	Dokument Przychodowy	Dokument potwierdzający przyjęcie wewnętrzne wyrobu gotowego lub półfabrykatów w magazynie przedsiębiorstwa produkcyjnego, jednocześnie dowód przekazania wyrobu z produkcji do magazynu.
Zw	Dokument Przychodowy	Dokument zwrotu wewnętrznego, stosuje się przy zwrotach materiałów, które nie zostały wykorzystane przez wydziały przedsiębiorstwa pobierające je wcześniej z magazynu.
Mm	Dokument Przychodowy	Dokument przesunięcie międzymagazynowe, stosowany jest przy międzymagazynowych prze-

Dokument	Rodzaj dokumentu	Zadanie/Cel
		sunięciach zapasów w ramach przedsiębiorstwa. Dokument wystawiony jest przez pracownika nadzorującego pracę magazynu.
Rw	Dokumenty rozchodowy	Dokument wystawiony jest podczas wydania materiału do zużycia wewnątrz przedsiębiorstwa. Dokument Rw powinien być wystawiany dostatecznie wcześniej wówczas nie spowoduje to ewentualnego przetrzymania środka transportu.
Wz	Dokumenty Rozchodowy	Dokument wydanie zewnętrzne jest wystawione podczas wydania surowców, produktów na zewnątrz przedsiębiorstwa np. w celu sprzedaży. Wz sporządzona może być przez dział zaopatrzenia lub dział zbytu.
Mm	Dokumenty Rozchodowy	Dokument potwierdzający przesunięcie między-magazynowe zapasów.
Zp	Dokumenty Rozchodowy	Jest to dokument przeznaczony do udokumentowania zwrotów wyrobów lub półfabrykatów z magazynu do wydziału produkcyjnego, w przypadku zauważenia w magazynie niezgodnych z normą cech wyrobu lub reklamacji odbiorców

Do wszystkich wymienionych dokumentów obrotu magazynowego możliwe jest wystawienie dokumentu korygującego.

Ewidencja magazynowa to zapis w odpowiedniej kartotece stanu początkowego przychodu, rozchodu oraz końcowego zapasu składowanych dóbr w ujęciu ilościowym. Działanie to ma na celu kontrolę obrotu, a w konsekwencji dokładne określenie kosztu magazynowania. Wszystkie dokumenty po zakończeniu operacji, której dotyczą, powinny być przekazywane za pokwitowaniem właściwej komórce. W przypadku zmiany magazyniera dokumentacja powinna być przyjmowana na podstawie protokołu zdawczo-odbiorczego. Ze względu na fakt, że druki powinny być wypełnione i podpisane przez osoby upoważnione do tego należy ustalić i podać do wiadomości zainteresowanych komórek wykaz osób uprawnionych do podpisywania dokumentów.

Prawidłowo wypełnione dokumenty zawierają:

- datę określającą czas, w którym nastąpił ruch wyrobów,
- kolejny numer łamany przez miesiąc, rok lub numer magazynu,
- czytelnie wypełniony oryginał i kopie,
- wypełnione kolumny i rubryki wypełnione zgodnie z przeznaczeniem,
- błędne zapisane dane przekreślone są jedną linią poziomą, a nad nią wypisane poprawne dane,
- ewidencję ilościową w naturalnych jednostkach miary dla każdego magazynu oddzielnie.

#### 4. PODZIAŁ MAGAZYNÓW W OPARCIU O RÓŻNE KRYTERIA

Magazyn (konstrukcja inżynierska) zaprojektowany i wykonany jest w taki sposób, aby dawał możliwość sprawnego i bezpiecznego przyjmowania, przechowywania oraz wydawania zapasów. Magazyn ma pełnić funkcję schronu, w którym przechowywane zapasy są zabezpieczone przed ubytkami ilościowymi oraz jakościowymi.

Budowle magazynowe stanowią podstawowy element infrastruktury logistycznej i mogą być rozpatrywane jako [4]:

- element buforujący w łańcuchu transportowym,
- element funkcjonalny w przedsiębiorstwie transportowym, produkcyjnym, dystrybucyjnym, usługowym itp.,
- samodzielny obiekt budowlany o pewnej strukturze funkcjonalnej, przystosowany do magazynowania.

Przeznaczenie budowli magazynowych ma wpływ na ich podział na grupy oraz rodzaje. Do grup budowli magazynowych zaliczamy budowle uzależnione od stopnia wygrodzenia z przestrzeni otwartej natomiast podział budowli ze względu na rodzaj uzależniony jest od głównych cech konstrukcyjno - użytkowych, które określone zostały w normie PN-81/B-01012. Magazyny można podzielić według wielu kryteriów, kryteria te przedstawione zostały w tabeli 2 wraz z uwzględnieniem rodzaju magazynu oraz jego zadaniem. Podział magazynów według grup i rodzajów budowli magazynowych jest jednym z najważniejszych kryterium podziału budowli magazynowych [5].

Tab. 2 Podział budowli magazynowych według kryterium[6].

Kryterium	Rodzaj	Zadanie/Przeznaczenie
Podział magazynów ze względu na przeznaczenie	Magazyny przemysłowe	Zapewniają ciągłość produkcji i zbytu. Przeznaczone do składowania surowców, opakowań
	Magazyny dystrybucyjne (handlowe)	Zapewniają podział towarów oraz ciągłość zaopatrzenia materiałowego
	Magazyny rezerwowe	Służące do przechowywania zapasów przez określony czas
Podział magazynów ze względu na postać przechowywanych materiałów	Magazyny materiałów tzw. sztukowych uformowanych	Służą do składowania palet, kontenerów
	Magazyny materiałów sypkich	Służą do składowania materiałów luzem np. w silosach
	Magazyny materiałów płynnych, cieczy i gazów	Składowanych w dużych zbiornikach
Podział magazynów ze względu na warunki przechowywania	Magazyny materiałów, które nie wymagają specjalnych warunków	Materiały nie stwarzają zagrożenia
	Magazyny materiałów, wy-	-

Kryterium	Rodzaj	Zadanie/Przeznaczenie
	magających określonych warunków przechowywania	
	Magazyny materiałów, które stwarzają zagrożenie	-
Podział magazynów ze względu na rozwiązania techniczno-organizacyjnych	Magazyny zapewniające bezpośredni dostęp do każdej jednostki ładunkowej	Nie ma konieczności przemieszczania innych jednostek
	Magazyny bez bezpośredniego dostępu do wszystkich jednostek ładunkowych	Konieczne jest przemieszczanie jednostek ładunkowych
	Magazyny mieszane	Umożliwiają częściowy dostęp do jednostek ładunkowych, a częściowo są bez bezpośredniego dostępu
Podział magazynów ze względu na grupy i rodzaje budowli magazynowych	Budowle otwarte	Budowle wydzielone na otwartej przestrzeni np. place składowe z nawierzchnią gruntową lub z nawierzchnią twardą
	Budowle półotwarte (zasięki, wiaty, zbiorniki otwarte)	Magazyny wydzielone z otwartej przestrzeni posiadają przynajmniej jedną ze ścian nieosłoniętą
	Budowle zamknięte (zbiorniki zamknięte, bunkry, silosy, budynki magazynowe)	Budowlane wydzielone na otwartej przestrzeni za pomocą wybudowanych przegród

Zakwalifikowanie magazynu do odpowiedniej grupy zależy od funkcji i zadań, które pełni magazyn jako ogniwo logistycznej sieci dostaw. Zaprezentowane budynki magazynowe posiadają różną powierzchnię i wysokość.

Magazyny poza podziałem na rodzaj budowli, możemy podzielić również na rodzaj strefy. Wydzielanie stref w magazynie związane jest z realizowanym procesem. Strefy odpowiadają czterem podstawowym fazom procesu magazynowania do których zaliczamy:

- strefę przyjęć - jest to wydzielona przestrzeń związana z przyjęciem towaru do magazynu,
- strefę wydań - jest to wydzielona przestrzeń związana z wydaniem i ekspedycją towarów,
- strefę kompletacji - jest to wydzielona przestrzeń związana z kompletacją zamówień,
- strefę składowania - jest to wydzielona przestrzeń związana z przechowywaniem produktów.

W wielu magazynach w strefie składowania może odbywać się kompletacja, lub odwrotnie w strefie kompletacji może odbywać się składowanie. Z uwagi na realizowane procesy w strefie wydań oraz w strefie przyjęć wydzielony jest front przeładunkowy. Do prac przeładunkowych wykorzystywane są wózki transportowe.

Ze względu na rozmieszczenie stref względem siebie możemy wyróżnić trzy układy technologiczne magazynów: przelotowy, kątowy, workowy. W układzie przelotowym strefy przyjęć i wydań są po przeciwnych stronach strefy składowania. Układ kątowy charakteryzuje się umieszczeniem strefy przyjęć i wydań przy sąsiadujących ze sobą ścianach strefy składowania. Natomiast w układzie workowym strefy przyjęć i wydań znajdują się przy tej samej ścianie strefy składowania. Mogą być od siebie oddzielone lub mogą tworzyć jedną strefę przyjęć-wydań.

## 5. PRAWA, OBOWIĄZKI I ZAKRES CZYNNOŚCI PRACOWNIKÓW MAGAZYNOWYCH

Ustalając obowiązki pracowników przebywających w magazynie konieczne jest w pierwszej kolejności określenie funkcji, jakie pełnią poszczególne magazyny w układzie przepływu wszelkich materiałów, produktów, surowców itp. Tabela 3 przedstawia czynniki endogenne (zewnętrzne) i egzogenne (wewnętrzne), które wpływają na zakres pracy personelu magazynowego [7]. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na zakres pracy jest liczba osób zatrudnionych do realizacji procesu. W zasadniczy sposób powoduje to zmniejszenie lub zwiększenie zakresu czynności jakie musi wykonać pojedynczy pracownik.

Tab. 3 Czynniki endogenne i egzogenne wpływające na zakres pracy personelu [7].

Czynnik	Zaliczamy
Zewnętrzny	Rodzaj działalności, rodzaj zapasu, szybkość obrotu magazynowego
Wewnętrzny	Stosowaną technologię, poziom mechanizacji wykorzystany w magazynie, poziom zautomatyzowania przepływu informacji, przyjęty system odpowiedzialności materialnej i inwentaryzacji

Personel magazynowy dzieli się na kierowniczy, podstawowy oraz pomocniczy. Do personelu kierowniczego należą osoby odpowiedzialne za ciągłość produkcji. Personel podstawowym nazwać możemy magazynierów, monterów, a także operatorów sprzętów, natomiast do personelu pomocniczego należą robotnicy magazynowi, transportowi, konserwatorzy sprzętu, a także sprzątaczkę.

Zgodnie z Kodeksem Pracy, w którym zapisane są obowiązki pracowników, personel magazynowy zobowiązany jest wykonywać swoje czynności sumiennie i starannie. Część obowiązków personelu przedsiębiorstwa przebywającego w magazynie przedstawione zostały w tabeli 4. Każdy z pracowników bez względu na stanowisko na którym pracuje musi przestrzegać regulamin pracy, mienia oraz zasady BHP i PPOŻ.

Tab. 4 Obowiązki pracowników magazynu.

Stanowisko	Obowiązki
Magazynier	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ochrona tajemnicy służbowej</li> <li>– sumienność, porządek oraz estetyka podczas wykonywanych prac</li> <li>– nadzorowanie podczas znakowania produktów do wysyłki</li> <li>– przygotowuje magazyn do inwentaryzacji</li> </ul>
Robotnik zajmujący się wydawaniem towarów	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wykonywanie zadań wyznaczonych przez przełożonych</li> <li>– przemieszczenie i umiejscowienie towarów w magazynie</li> <li>– wydawanie produktów gotowych według zamówień</li> </ul>
Pakowacz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pakowanie towarów zgodnie z zamówieniem oraz instrukcją</li> <li>– znakowanie spakowanych produktów</li> </ul>
Operator sprzętu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wykonanie poleceń zgodnie z instrukcją</li> <li>– dbanie o sprzęt jego amortyzację i eksploatację</li> </ul>
Kierownik magazynu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ustalenie harmonogramu pracy</li> <li>– kontrola i realizacja planu pracy</li> <li>– ustalenie miejsc składowania produktów, surowców itp.,</li> <li>– terminowe i prawidłowe wydanie zamówień</li> <li>– współpraca z innymi działami w przedsiębiorstwie</li> <li>– przegląd stanów zapasów</li> <li>– przygotowanie magazynu do inwentaryzacji,</li> <li>– kontrola poziomu obsługi klienta</li> </ul>

We wszystkich przedsiębiorstwach obowiązuje zasada, że w magazynie polecenia służbowe wydawane są bezpośrednio przez przełożonego. Jeśli polecenie zostanie wydane przez innego pracownika to pracownik, który to polecenie otrzymał zobowiązany jest powiadomić swojego przełożonego o zaistniałej sytuacji. Personel magazynowy przy podpisaniu umowy o pracę, podpisuje również odpowiedzialność materialną za otrzymane narzędzia. W przypadku rozwiązania umowy pracownik powinien rozliczyć się z zakładem pracy na podstawie karty obiegowej, wszystkie narzędzia jakie otrzymał winien jest zwrócić.

## 6. SYSTEMY MAGAZYNOWANIA

Rozwój technologii i organizacji procesów magazynowych odbywających się w magazynie powoduje, że powszechne staje się stosowanie nowoczesnych systemów, które wspomagają czynności m.in. związane z magazynowaniem produktów. Coraz częściej Zarządzanie magazynem staje się niemożliwe bez wspomaganie ze strony systemu informatycznego. Ciągłe zmiany w magazynach w zakresie organizacji i technologii są wymuszone przez następujące czynniki:

- obniżenie kosztów,
- przyspieszenie procesów,
- eliminacje błędów,
- podwyższenie poziomu obsługi klienta.

Na rynku istnieje wiele programów, a także technologii, które wspierają procesy magazynowe, np.:

- magazynowe systemy informatyczne do których zaliczyć można system MSI, oraz program ISOF,
- system wspierający obsługę maszyn - System JDA/ RedPrairie WMS.

MSI zdefiniowany został w Słowniku terminologii logistycznej przez Marka Fertsch'a jako system wspomagający realizację, kontrolę i sterowanie przepływem towarów przez magazyn, dostarczający informacje o tym przepływie i tworzący towarzyszącą mu dokumentację. Magazynowy System Informatyczny to program informatyczny, który wspomaga zarządzanie procesów, które rozpoczynają się w momencie dostarczenia materiału do magazynu, poprzez jego przetworzenie aż po wydanie. Natomiast program ISOF to system, który pozwala na wprowadzenie danych ogólnych związanych z organizacją, funkcjonowaniem oraz działaniem dla danego przedsiębiorstwa. W zakresie gospodarki magazynowej ISOF zapewnia zarządzanie wszelkimi dokumentami magazynowymi. Elastyczność tego systemu umożliwi pracę na kilku magazynach, ruch towarów może odbywać się według jednej z metod: FIFO, LIFO lub z wyboru konkretnej partii wskazanej przez użytkownika. ISOF ewidencjonuje zdarzenia codzienne takie jak: przyjęcie, wydania przesunięcia międzymagazynowe, rozchody i przychody, korekty, zwroty, a także umożliwia sprawdzenie stanów magazynowych w każdej chwili. Do zaawansowanych możliwości systemu można zaliczyć:

- zarządzanie rozmieszczeniem towarów,
- obsługę dystrybucji towarów,
- zarządzanie listami dystrybucji,
- optymalizację tras dostaw,
- obsługę rozmieszczenia towarów w magazynie,
- obsługę listów przewozowych firm kurierskich i Poczty Polskiej,
- rejestrowanie i przetwarzanie numerów seryjnych towarów,
- ewidencja kosztu gospodarowania odpadami (KGO) na kartotece towarowej zgodnie z ustawą z dnia 29 lipca 2005 roku o zużytych sprzęcie elektrycznym i elektronicznym.

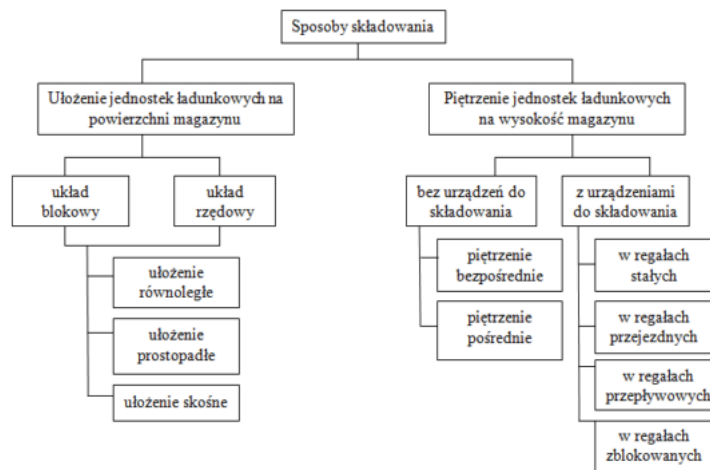
System JDA/ RedPrairie WMS - to nowoczesny system stworzony przez amerykańską firmę przeznaczony do wspomagania obsługi maszyn oraz dystrybucji towarów. Unikalną cechą tego systemu jest możliwość korzystania z przenośnych i montowanych na wózkach widłowych terminali komunikujących się z systemem drogą radiową, a także skanerów kodów kreskowych, technologii RFID. Rozwiązania te znacznie przyspieszają i podnoszą efektywność operacji mających miejsce w magazynie, dzięki niemu można dokładnie kontrolować co dzieje się w magazynie, można prześledzić przepływ towarów i surowców, a zarazem podnieść standard obsługi klienta[8]. Cechy systemu



JDA, które wyróżniają go na tle innych systemów, a w szczególności na tle ISOF to m.in.:

- w pełni zoptymalizowane zarządzanie zadaniami z zaawansowaną opcją przeplatania,
- inteligentne zwalnianie i kontrola realizacji zamówień,
- zarządzanie zleceniami produkcyjnymi,
- 100% zgodności z wymogami klientów,
- zaawansowana kontrola towaru od surowców po wyrób gotowy,
- przemyślane zarządzanie placem magazynowym,
- monitorowanie w czasie rzeczywistym,
- rejestrowana kontrola jakości.

Do systemów działających w przedsiębiorstwie można również zaliczyć[9]: składowanie surowców na posadce, co pozwoli na zagospodarowanie wolnej powierzchni w magazynie oraz na zmniejszenie kosztów magazynowania. Niestety system ten ma również swoje wady, którymi są trudniejszy dostęp do produktów, dłuższy czas ich pobierania z magazynu oraz duże zagęszczenie składowania. Kolejnym rozwiązaniem działającym w przedsiębiorstwie może być składowanie towarów na regałach, ten sposób ma więcej zalet niż wad. Ułożenie produktów na regałach pozwala na ich szybkie pobieranie, dostępność miejsc oraz mniejsze inwestycje w rozbudowę magazynu. Składowanie surowców, materiałów, produktów na regałach odbywa się przy pomocy urządzeń do tego przeznaczonych, stosuje się również konkretne metody składowania w systemach regałowych oraz na powierzchni magazynu. Klasyfikacja podstawowych sposobów ułożenia i piętrzenia jednostek ładunkowych w przestrzeni przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Klasyfikacja podstawowych sposobów ułożenia i piętrzenia jednostek ładunkowych w przestrzeni składowej [9].

W przedsiębiorstwach działa również system rozwiązań półautomatycznych (SZM), a także rozwiązań zautomatyzowanych, które optymalizują procesy związane ze składowaniem, przygotowaniem czy wysyłką towaru, usprawniają również zarządzanie pracą magazynu. Wprowadzenie automatyki do magazynu pozwala na zaoszczędzenie zarówno miejsca, czasu, a także kosztów związanych z czynnościami magazynowymi. Dzięki zastosowaniu automatycznych rozwiązań systemów składowania osiągnąć można następujące korzyści: wzrost wydajności operacji magazynowych, maksymalne wykorzystanie powierzchni magazynowej, obniżenie kosztów poprzez zastosowanie regałów automatycznych, itp.

W praktyce nie należy stosować wyłącznie magazynowych systemów informatycznych o największej funkcjonalności, ponieważ system powinien zapewniać funkcjonalność potrzebną w konkretnym magazynie. System, który jest nadmiernie rozbudowany generuje niepotrzebne koszty, oraz utrudnia pracę. Analizując funkcjonalność MSI trzeba zwrócić uwagę na fakt, że na ogół system posiada wiele funkcji, które nie są używane, natomiast niektóre potrzebne są dostępne tylko jako opcje w nowej wersji oprogramowania.

## 6. POSUMOWANIE

Gospodarka magazynowa w dowolnym przedsiębiorstwie produkcyjnym ma za zadanie zestawić produkty, oraz surowce w takim miejscu, czasie i ilości jaka odpowiada liczbie zamówień płynących od odbiorców. Już wstępna analiza funkcjonowania gospodarki magazynowej w danym przedsiębiorstwie produkcyjnym pozwala ocenić, że działania związane z magazynowaniem materiałów i wyrobów gotowych są zgodne z ogólnie przyjętymi trendami optymalizacji kosztów magazynowania. Ponadto, istnieje kilka procesów, które należałoby w miarę możliwości ulepszyć poprzez zastosowanie nowocześniejszych rozwiązań. Wynika to z faktu, że obecnie konkurencję pomiędzy przedsiębiorstwami wygrywa ten kto ma sprawniejszy system logistyczny, który związany jest nieodłącznie z gospodarką magazynową.

Na gospodarkę magazynową bardzo duży wpływ ma przepływ informacji i dokumentów wewnątrz przedsiębiorstwa produkcyjnego, na który powinien być nałożony szczególny nacisk. Prawidłowy i rzetelny przepływ informacji pomiędzy działami oraz magazynami bez wątpienia podnosi jakość wykonywanych wyrobów, a co za tym idzie zadowolenie klienta. Zastosowanie wyspecjalizowanego programu informatycznego z całą pewnością zmniejszyłoby zarówno ilość popełnianych błędów jak i przyspieszyłoby czas związany z wypełnianiem poszczególnych dokumentów. Atutem takiego systemu jest również sprawniejsze planowanie produkcji przez planistów.

Z perspektywy czasu można stwierdzić, że w przeszłości magazynowanie zajmowało się tylko przechowywaniem produktów w określonym czasie. Natomiast, w dzisiejszych czasach magazynowanie stało się pojęciem względnym. Oprócz przechowywania towarów magazynowanie ma za zadanie dokładnie i w odpowiednim czasie pozwolić na dostarczenie materiałów niezbędnych do produkcji oczywiście bez gromadzenia zbędnych zapasów.

## LITERATURA

- [1] *Encyklopedia gospodarki materiałowej*. Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1984
- [2] **Dudziński Z.**: *Poradnik organizatora gospodarki magazynowej w przedsiębiorstwie*, Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012
- [3] **Niemczyk A.**: *Zapasy i magazynowanie: Tom II Magazynowanie*, Wyd. Biblioteka Logistyczna, Poznań 2008
- [4] <https://www.isof.pl/> (dn.: 30.07.2016)
- [5] <https://www.jungheinrich.pl/> (dn.: 10.08.2016)
- [6] PN-B-01012:1981. Budowle magazynowe. Podział, nazwy i określenia
- [7] **Kaczmarek M., Korzeniowski A., Skowroński Z., Weselik A.**: *Zarządzanie gospodarką magazynową*, Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1997
- [8] <http://www.hit-kody.com.pl/> (dn.: 1.08.2016)
- [9] [http://promag.pl/Automatyczne\\_systemy\\_skladowania,9418.html](http://promag.pl/Automatyczne_systemy_skladowania,9418.html) (dn.: 1.08.2016)

# OCENA STOPNIA USZKODZEŃ TŁOKA SILNIKA WYSOKOPRĘŻNEGO 1.6 TD PO 20-LETNIEJ EKSPLOATACJI

## 1. WPROWADZENIE

Rozwijający się przemysł samochodowy, produkuje auta, które standardowo wyposażone są w silniki osiągające coraz większą moc przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej niezawodności. W dzisiejszym świecie w przeciwieństwie do lat poprzednich bardzo dużą popularnością cieszą się silniki wysokoprężne (Diesla), które charakteryzują się nie tylko głośniejszą pracą, ale i również możliwością osiągnięcia dużej mocy przy jednoczesnym niewielkim zużyciu paliwa.

Jednym z podstawowych elementów każdego silnika jest tłok pracujący wewnątrz cylindra, który szczególnie jest narażony na uszkodzenia i awarie ze względu na charakter jego pracy. Jest to element ruchomy, który szczelnie wypełnia cały cylinder roboczy gdzie wykonuje, pod wpływem nacisku sił gazowych na jego denko, ruch posuwisto – zwrotny, który jest zamieniany na ruch obrotowy wału korbowego. Zamiana ruchu posuwisto – zwrotnego możliwa jest dzięki przegubowemu połączeniu tłoka z wałem korbowym za pośrednictwem korbowodu oraz sworznia. Ogromny nacisk, jaki wywiera masa rozprężającego się gazu na denko tłoka powoduje jego przemieszczanie wewnątrz przestrzeni cylindra sprawiając w ten sposób wał korbowy w ruch obrotowy.

Tłok oprócz zadań takich jak: szczelne wypełnianie przestrzeni cylindrycznej, przejmowanie sił wywartych strumieniem gazów czy prowadzenie pierścieni tłokowych, jest wykorzystywany również to innych celów. W przypadku silnika dwusuwowego o rozrządzie tłokowym pełni on rolę elementu sterującego wymianą ładunku odpowiednio przysłaniając lub odsłaniając kanały wlotowe oraz wylotowe [2, 3].

Głównym materiałem stosowanym do produkcji tłoków są siluminy tłokowe, które mogą być podeutektyczne, eutektyczne i nadeutektyczne w zależności na zawartości krzemu zawartego wewnątrz materiału. Na popularność tego materiału składa się głównie jego niewielka masa własna, która sprzyja zmniejszeniu występującym obciążeniom dynamicznym.

Celem niniejszej pracy jest określenie stopnia zużycia tłoka silnika wysokoprężnego po 20 – letniej eksploatacji. Przeprowadzone badania będą oparte na metodzie wizualnej oraz metodzie badań mikroskopowych, które w bezpośredni sposób posłużą do oceny faktycznego stanu tłoka po eksploatacji oraz porównania jego cech z obecnie produkowanym tłokiem do tego samego typu silnika wysokoprężnego.

## 2. BUDOWA TŁOKÓW

Tłok w swej budowie wykazuje charakter jednolity, jednak pomimo tego można podzielić na jego poszczególne elementy. Biorąc pod uwagę najprostszą postać tłoka można wyróżnić w nim takie elementy jak [2]:

- denko,
- część pierścieniowa,
- część prowadząca (nośna),
- piasta sworznia.

### 2.1. Denko tłoka

Denko stanowi górną część zamykającą tłok, które wykazuje bezpośredni kontakt z gorącymi produktami spalania podczas pracy silnika. Jego głównym zadaniem jest przyjęcie niemal całego nacisku rozprężającego się gazu na skutek spalania. Kształt górnej części denka uzależniony jest od rodzaju silnika, w którym pracuje.

W przypadku silnika o zapłonie samoczynnym budowa denka różni się znacznie od tego w silniku z zapłonem iskrowym. Podstawową różnicą jest jego większa grubość, gdyż w silniku o zapłonie samoczynnym na denko tłoka działa dużo wyższe ciśnienie, które może wynosić nawet 12MPa. Znaczna grubość denek w silnikach o zapłonie samoczynnym jest uwarunkowana nie tylko względami wytrzymałościowymi, ale i faktem, iż obecnie we wszystkich tego typu silnikach są stosowane bezpośrednie wtryski paliwa. W tym przypadku komorę spalania wykonuje się wewnątrz denka tłoka, która jest odpowiedzialna za przygotowanie całego procesu spalania, wówczas towarzysząca denka o kształcie wklęsłym [2].

### 2.2. Część pierścieniowa tłoka

Kolejnym zasadniczym elementem każdego tłoka jest część pierścieniowa, która stanowi przestrzeń począwszy od górnej krawędzi denka kończąc na krawędzi dolnej ostatniego kanałika pierścieniowego znajdującego się powyżej piasty sworznia tłokowego. Do głównych zadań jakie ma spełniać wymieniona część pierścieniowa zalicza się [2]:

prawidłowe umieszczenie w jej wnętrzu pierścieni uszczelniających oraz zgarniających, jak najlepsze uszczelnienie całej przestrzeni roboczej cylindra, zmniejszenie zużycia oleju smarującego gładź cylindra, przejście nadwyżki ciepła z denka tłoka i przekazanie go na cylinder.

W silnikach silnie obciążonych na przykład z zapłonem samoczynnym, nad powierzchnią denka tłoka panuje ogromne ciśnienie, które jest efektem rozprężającego się gazu na skutek spalania. W tym przypadku duża ilość siły skierowana jest na pierścienie powodując w ten sposób silne obciążenie półek podpierających zmiennymi siłami ścinającymi oraz zginającymi. Najbardziej narażoną jest pierwsza półka od strony denka podpierająca pierwszy pierścień uszczelniający. Jednym z podstawowych czynników jest fakt, iż to na pierwszy pierścień skupia się największa siła oraz temperatura znajdująca się nad denkiem. Drugim czynnikiem jest fakt lokalizacji w denku tłoka silnika z

zapłonem samoczynnym komory spalania, co bardzo osłabia jego górną część. W celu wzmocnienia, do kanałika pierwszego pierścienia wtapia się specjalną wkładkę stalową, która obejmuje tłok na całym jego obwodzie. Stosowane wkładki są wykonywane najczęściej z takich materiałów, jak: żeliwo lub stal niskowęglowa, które wykazują większą wytrzymałość mechaniczną w stosunku do stopów aluminium, z których jest wykonany sam tłok [2].

### 2.3. Część prowadząca tłoka

Głównym zadaniem, jakiemu musi sprostać ta część jest prowadzenie tłoka wewnątrz cylindra oraz przenoszenie sił bocznych z powierzchni tłoka na jego gładź. Obecność sił bocznych wiąże się z faktem wysokiego ciśnienia, które wywiera nacisk na powierzchnię denka tłoka. Oprócz sił bocznych, jakie są wywierane na gładź cylindra należy również wymienić obecność sił dynamicznych, które są następstwem poprzecznego przemieszczania tłoka wewnątrz cylindra oraz ruchu wahliwego wokół sworznia.

Dodatkową niedogodnością jest charakter pracy tłoka, który powoduje nierównomierny rozkład temperatury na całym obwodzie oraz wzdłuż części prowadzącej. Sprzyja to powstawaniu różnego rodzaju odkształceń cieplnych wzdłuż linii wysokości tłoka. Konsekwencją takiego stanu rzeczy są wahania luzów pomiędzy tłokiem a cylindrem. Luzy te mogą doprowadzić do zatarcia tłoka wewnątrz cylindra w przypadku wzrostu temperatury. W związku z poprawą warunków pracy części prowadzącej tłoków pracujących w silnikach silnie obciążonych, w zmiennych warunkach, stosuje się wkładki segmentowe najczęściej stalowe. Wkładki te, są umieszczane w płaszczyźnie prostopadłej do osi sworznia. Zadaniem tego typu wkładki jest kompensacja luzu między tłokiem a gładzią cylindra [3].

### 2.4. Piasta sworznia

Do jej głównych zadań należy połączenie w sposób ruchomy tłoka z korbowodem za pomocą sworznia oraz przenoszenie sił gazowych i masowych, które są wywierane na tłok w momencie spalania. Obecnie w większości silników spalinowych, połączenie takie odbywa się na wcisk umożliwiając jednocześnie ruch obrotowy sworznia względem tłoka a główką korbowodu. Obrót sworznia po zmontowaniu możliwy jest dzięki smarowaniu olejem, który ścieka z otworów lub szczelin odprowadzających olej z kanałika pierścienia zgarniającego [3].

### 2.5. Materiały stosowane do produkcji tłoków

Spośród szeregu wymagań, jakie są stawiane dla materiałów, z których wykonuje się tłoki do silników spalinowych do najważniejszych można zaliczyć [2]:

- jak największą wytrzymałość zmęczeniową,
- duży współczynnik przewodności cieplnej,
- mała gęstość,
- jak najmniejszy współczynnik rozszerzalności cieplnej,
- odporność na korozję,
- dobra odporność statyczna oraz dynamiczna,

- duża odporność na zużycie na wskutek tarcia,
- możliwość uzyskania gładkich powierzchni nie powodująca stosowania dodatkowych nakładów.

Z tego względu materiały stosowane do produkcji tłoków podzielono na dwie główne grupy, są to żeliwa stopowe bądź niestopowe oraz aluminium. Ze względu na dużą wadę żeliw, jakim jest bardzo duży ciężar własny i mała wartość współczynnika przewodzenia ciepła, pomimo wielu zalet, żeliwa zostały wycofane z produkcji tłoków silników wysokoprzężnych.

W produkcji tłoków jest stosowane aluminium, które obecnie cieszy się największą popularnością z tego względu, iż wykazuje mały ciężar, co zmniejsza wartość sił dynamicznych oraz wykazuje najlepsze parametry dotyczące przewodzenia ciepła. Materiał ten znalazł szerokie zastosowanie przy produkcji tłoków silników wysokoprzężnych zwłaszcza z doładowaniem.

W skład stopów aluminium zalicza się siluminy tłokowe, które bezpośrednio są wykorzystywane do produkcji tłoków. Dzieli się je w zależności od ilości zawartego krzemu (Si) na [1]:

- podeutektyczne 8.5 – 11.0% Si,
- eutektyczne 11.0 – 13.0% Si,
- nadeutektyczne 16.0 – 26.0% Si.

Dodatkowymi składnikami stopowymi, które mogą wystąpić w siluminach są: Cu, Mg, Ni. Najczęściej stosowanymi stopami z grupy siluminów są następujące gatunki takie jak: AK – 10, AK – 12 oraz AK – 20 [1].

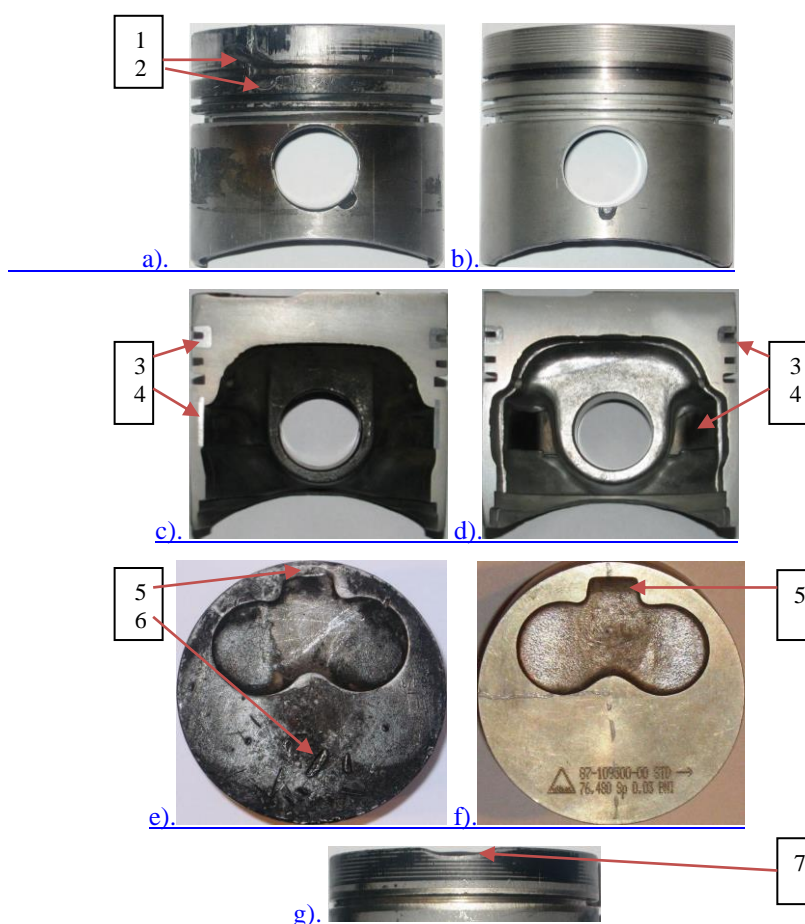
### **3. OCENA JAKOŚCIOWA TŁOKA SILNIKA WYSOKOPRĘŻNEGO PO 20 LETNIEJ EKSPLOATACJI**

Oceny jakościowej tłoka przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie dokonano wizualnej oceny stopnia zużycia tłoka oraz przeprowadzono uproszczoną analizę porównawczą w zakresie różnic w budowie tłoków obecnie montowanych w silnikach tego samego typu. W drugim etapie przeprowadzono badania mikroskopowe struktury obu tłoków pobierając próbki z obszarów najbardziej obciążonych podczas eksploatacji.

#### **3.1. Ocena wizualna tłoka po eksploatacji i tłoka nowego**

Na rysunku zamieszczono zdjęcia obu tłoków uwidaczniając powierzchnie części pierścieniowej i prowadzącej (rys. 1 a, b), przekroje tłoków w których uwidoczniło wtopione wkładki żeliwne (3) pierwszego pierścienia oraz wtopionej stalowej wkładki segmentowej (4) (rys. 1 c, d) oraz powierzchnie denka tłoków z komorą spalania (5) (rys. 1 e, f, g).

Oceniając stan tłoka po eksploatacji (rys. 1 a, c, e, f) zaobserwowano bardzo duże wyłobienia (1, 2) o nieregularnych kształtach w części pierścieniowej tłoka. Przyczyną takiego zniszczenia był fragment pękniętego pierścienia. Po wielkości wyłobień można przypuszczać, że taki stan trwał bardzo długo.



Rys. 1. Zdjęcia przedstawiające stan powierzchni tłoków: (a, c, e, g) – tłok po eksploatacji, (b, d, f) – tłok nowy

Pęknięta część pierścienia spowodowała również liczne uszkodzenia (6) na powierzchni denka tłoka (rys. 1 e).

Kolejną wadę, jaką zlokalizowano to wyłobienie (5) krawędzi komory spalania będące efektem zjawiska kawitacji w skutek oddziaływania strumienia wtryskiwanego paliwa (rys. 1 e, f). Wyraźne wgłębienie (7) na górnej krawędzi denka (rys. 1 f) jest prawdopodobnie następstwem wadliwego działania wtryskiwacza dostarczającego ładunek paliwa do komory spalania.

Nieprawidłowe działanie wtryskiwacza może polegać na przykład na zatartej dyszy, która powinna rozpylać ładunek, jako „mgiełkę”, a nie wtryskiwać go, jako strumień cieczy, który wypłukuje materiał fragmentu krawędzi komory spalania.



Poddane obserwacji tłoki przeznaczone do pracy w tym samym silniku wysokoprężnym, wykazują pewne różnice w budowie wewnętrznej, które mogą mieć wpływ na ich przebiegi między naprawcze.

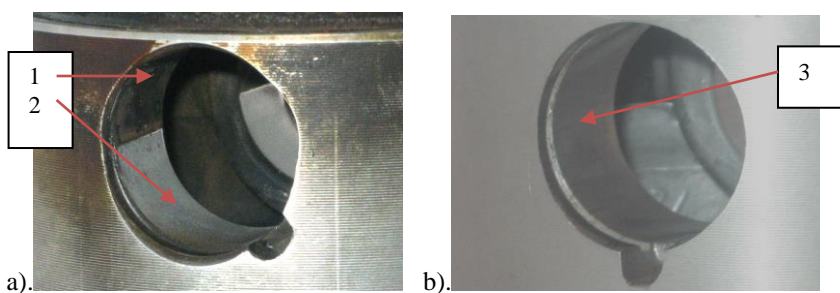
Pierwszą różnicę w konstrukcji tłoków wykryto w obszarze górnego rowka pierścienia uszczelniającego (rys. 1 c i d). Wewnątrz niego znajduje się na pozór identyczna w obu tłokach wkładka żeliwna (3) wtopiona w korpus tłoka. Badanie wizualne dowiodło, iż różnią się one kształtem, który może mieć istotne znaczenie dla prawidłowego działania podczas pracy silnika. Z przekroju tłoka przedstawionego na rys. 1d wkładka żeliwna w nowym tłoku ma kształt regularny o stałej szerokości, natomiast na rys. 1c wkładka o kształcie zbliżonym do trapezowego.

Rozwiązanie przedstawione na rys. 1c jest bardziej technologiczne w przeciwieństwie do rozwiązania na rys. 1d, ponieważ zapewnia ono dłuższą żywotność tłoka bez niepożądanych uszkodzeń, wynikających na przykład z poluzowania wkładki w korpusie tłoka.

Kolejną różnicę w konstrukcji tłoków wykryto na części prowadzącej. Różnica ta dotyczy długości wtopionej stalowej wkładki segmentowej(4) znajdującej się w płaszczyźnie prostopadłej do osi sworznia. Jak widać na rys. 1d wkładka nie stanowi całego odcinka pomiędzy piastami sworznia jak to ma miejsce w tłoku używanym rys. 1c. Wkładka tego typu jest odpowiedzialna za kompensację luzu między tłokiem w części prowadzącej a cylindrem, aby nie doszło do ich wzajemnego zatarcia w wyniku naprężeń cieplnych mogących powodować odkształcenia w tej części tłoka.

Znaczącą różnicę w budowie stwierdzono w grubości ścianek w obrębie denka tłoka jak i części cylindrycznej. Tłok nowy posiada cieńsze ścianki oraz inaczej uformowane zgrubienia wokół piasty sworznia.

Zauważono również różnicę w ukształtowaniu otworu piasty sworznia, która łączy tłok z korbowodem. Na zamieszczonym rys. 2a można dostrzec występujące charakterystyczne odcienie na powierzchni wewnętrznej otworu jednej z piast.



Rys. 2. Ukształtowanie powierzchni otworu piasty: a) – tłoka po eksploatacji, b) - tłoka nowego

Widoczne są dwa odcienie powierzchni, ciemny (1) oraz jasny (2). Można by wnioskować, iż powierzchnia piasty jest nierównomiernie zużyta. Jest to jednak technologiczne rozwiązanie, zastosowane w celu poprawy smarowania sworznia pracującego wewnątrz piasty tłoka. Jasny (2) odcień piasty stanowi powierzchnię współpracującą ze

sworzniem, natomiast ciemny (1) odcień jest to wgłębienie wykonane w celu ułatwienia dotarcia oleju pomiędzy współpracującymi powierzchniami sworzni oraz piasty tłoka. Dzięki temu, sworzień jest cały czas smarowany olejem silnikowym bez ryzyka wystąpienia zatarcia obu tych części.

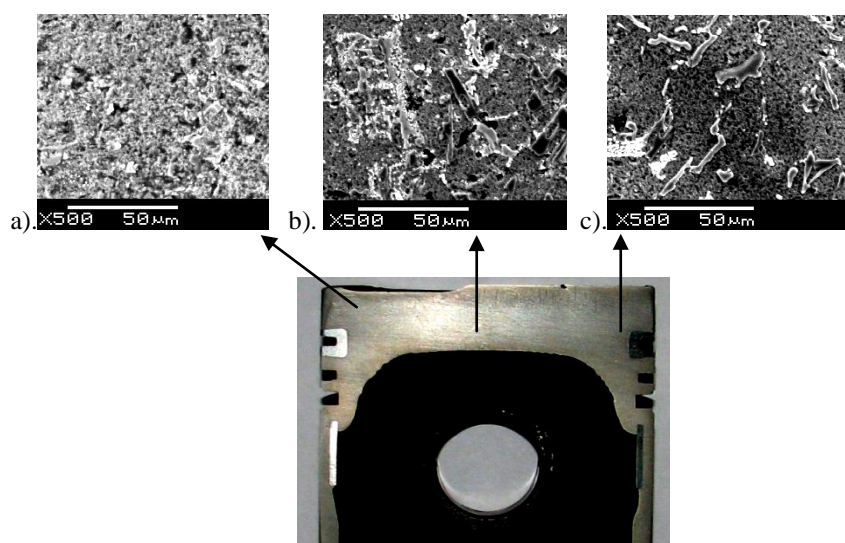
Z kolei na rys. 2b przedstawiono powierzchnię wewnętrzną (3) piasty, która jest całkowicie gładka bez jakichkolwiek kanalików, podcięć, umożliwiających dotarcie oleju pomiędzy piastą a sworzniem. W tym przypadku sworzień będzie pracował z minimalną ilością oleju, która może się okazać niewystarczająca, czego końcowym efektem może być zatarcie sworzni wewnątrz piasty tłoka.

Biorąc pod uwagę dostępność większej ilości oleju z obszarów współpracy sworzni osadzonego w otworze piasty tłoka przyjęto rozwiązanie (rys.2b) za mniej technologiczne w porównaniu do rozwiązania (rys. 2a).

### 3.2. Wyniki badań mikroskopowych

Na rysunku 3 uwidoczniono obrazy mikrostruktury próbek pobranych z korpusu tłoka po eksploatacji.

Obserwując mikrostruktury zamieszczone na rys. 3a stwierdzono rozbudowaną strukturę eutektyki krzemowej oraz brak iglastych wydzieleni fazy  $\beta$ , tak charakterystycznych dla stopów nadeutektycznych modyfikowanych fosforem.



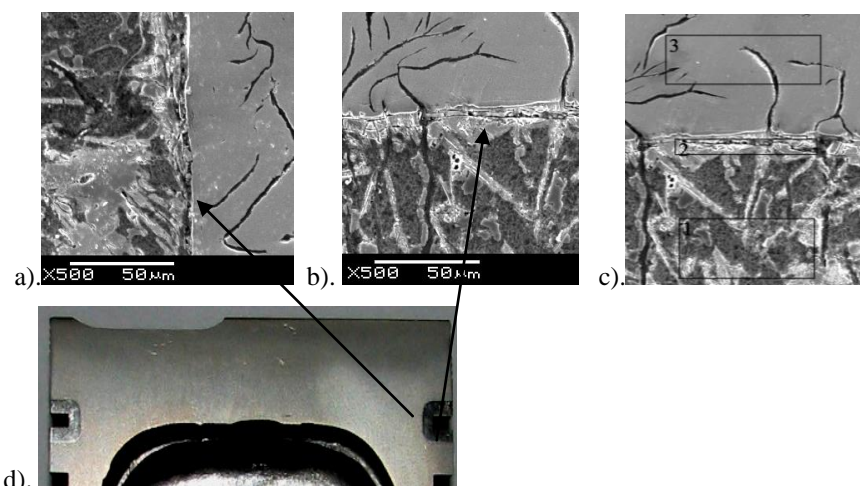
Rys. 3. Mikrostruktura materiału tłoka po wieloletniej eksploatacji z obszarów zaznaczonych strzałkami

Brak iglastych wydzieleni fazy  $\beta$  w warstwach przypowierzchniowych denka tłoka spowodowany jest prawdopodobnie wpływem oddziaływania wysokiej temperatury spalanej mieszanki podczas pracy silnika. Na wskutek tego doszło do sferoidalnych

wydzieleń iglastych i dalszego rozdrobnienia faz charakterystycznych dla procesu starzenia.

Obserwując mikrostruktury warstw bardziej odległych od powierzchni denka tłoka zaznaczyć można coraz to większy udział faz o wydzieleniach podłużnych igieł (rys. 3 b, c) na tle eutektyki ( $\alpha + \beta$ ) do wyraźnych kryształów krzemu pierwotnego (rys. 3b).

Rysunek 4 przedstawia mikrostruktury w miejscu wtopienia wkładki żeliwnej z materiałem tłoka. Jak widać na powierzchni wkładki żeliwnej zaznaczył się grafit w formie płatkowej, a strefę przejściową stanowi wyraźna faza „alfin” [4] na progu obu materiałów. Widoczne są wydzielenia grafitu płatkowego, który przeniknął w głąb materiału tłoka (rys. 4b,c), eutektyka ( $\alpha + \beta$ ) oraz fazy międzymetaliczne z pojedynczymi kryształami krzemu pierwotnego  $\beta$ .



Rys. 4. Mikrostruktura materiału tłoka ze strefy wtopienia wkładki żeliwnej

W celu określenia budowy strukturalnej warstwy wtopienia wkładki żeliwnej dokonano analizy spektralnej wykorzystując do tego mikroskop skaningowy JSM 5600 – LV.

Obszary, które poddano analizie zaznaczono na rys. 4c. Obszar (1) znajduje się na powierzchni materiału rodzimego tłoka, obszar (2) na granicy obu materiałów. Z kolei obszar (3) zlokalizowano na powierzchni wkładki żeliwnej.

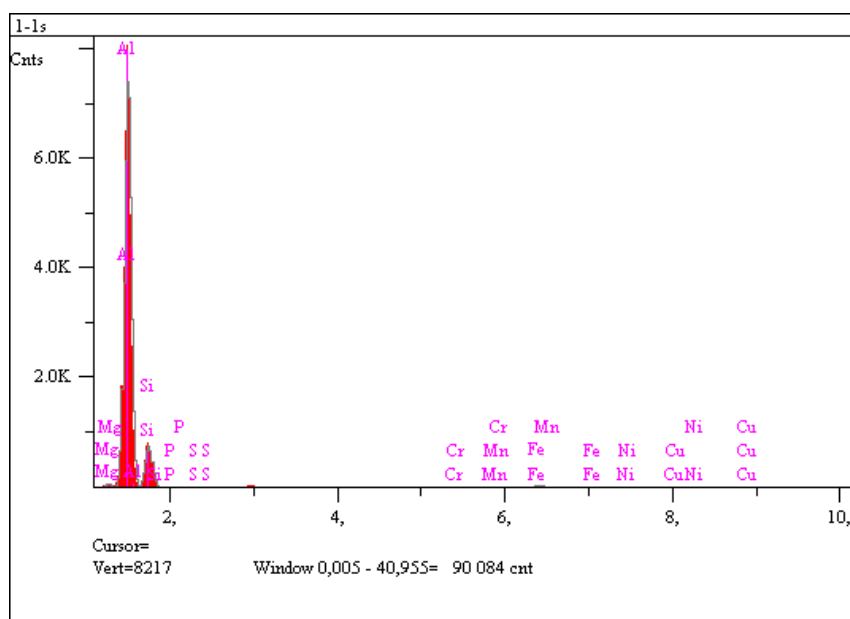
Wyniki analizy spektralnej i widmowej przedstawiono odpowiednio dla każdego obszaru (1, 2, 3) na rysunkach 5, 6 i 7.

Uzyskane wartości dla obszaru (1) dowodzą, iż stężenie krzemu wynosi ponad 14 %, w którym występuje drobna faza  $\beta$  oraz eutektyka ( $\alpha + \beta$ ), z udziałem aluminium (Al) o stężeniu około 73 %. Zidentyfikowano również fazy międzymetaliczne zawierające niewielkie ilości żelaza (Fe) około 3,4 %, magnezu (Mg) około 0,6 % oraz miedzi (Cu) około 1,5 %. Stwierdzono również obecność węgla (C) o zawartości 5,6 % w postaci grafitu.

## Obszar (1)

Elm.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	7,08	12,343	5,686	wt.%	0,636	1,471
Mg	Ka	15,86	0,678	0,632	wt.%	0,047	0,097
Al	Ka	1 650,74	70,813	73,281	wt.%	0,537	0,105
Si	Ka	174,63	13,420	14,456	wt.%	0,325	0,163
P	Ka	0,52	0,037	0,044	wt.%	0,018	0,137
S	Ka	1,65	0,101	0,124	wt.%	0,029	0,125
Cr	Ka	0,92	0,079	0,158	wt.%	0,049	0,208
Mn	Ka	1,15	0,116	0,245	wt.%	0,068	0,230
Fe	Ka	13,38	1,607	3,443	wt.%	0,280	0,298
Ni	Ka	0,91	0,171	0,384	wt.%	0,120	0,383
Cu	Ka	2,59	0,635	1,548	wt.%	0,286	0,512
			100,000	100,000	wt.%		

kV 14,4  
Takeoff Angle 35,0°  
Elapsed Livetime 45,2



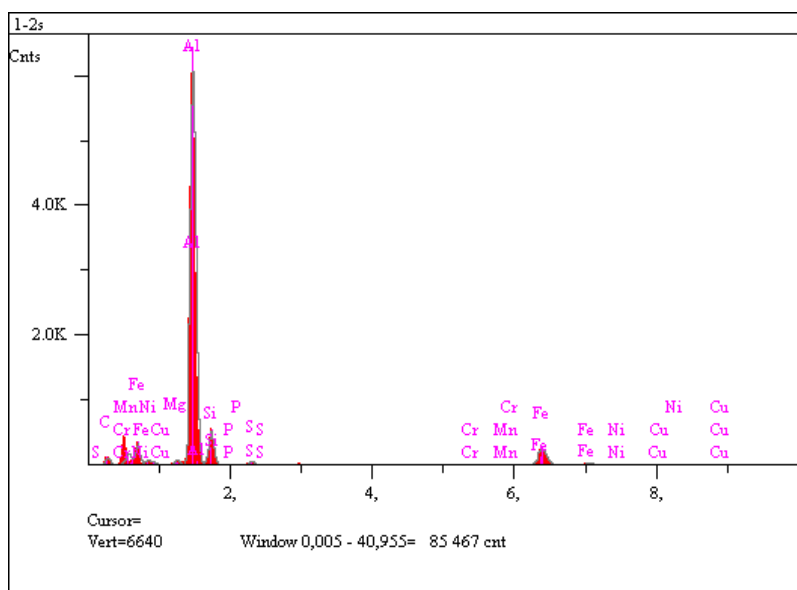
Rys. 5. Analiza spektralna i widmowa obszaru (1)

Generalnie należy stwierdzić, że struktura tłoków jest typową strukturą siluminu nadeutektycznego z domieszkami takich pierwiastków jak: Ni, Fe, Cu, Mg. Świadczyć o obecności tych metali mogą podłużne wydzielenia faz międzymetalicznych w postaci igiełek na tle eutektyki lub jako tak zwane „chińskie pismo” [3].

## Obszar (2)

El.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	14,55	24,752	11,224	wt.%	0,717	1,182
Mg	Ka	11,65	0,803	0,737	wt.%	0,053	0,104
Al	Ka	897,49	55,762	56,803	wt.%	0,462	0,102
Si	Ka	81,74	7,504	7,957	wt.%	0,214	0,142
P	Ka	0,56	0,046	0,054	wt.%	0,018	0,135
S	Ka	8,73	0,621	0,752	wt.%	0,062	0,125
Cr	Ka	1,75	0,169	0,331	wt.%	0,061	0,198
Mn	Ka	1,32	0,154	0,320	wt.%	0,068	0,248
Fe	Ka	59,53	8,311	17,523	wt.%	0,553	0,288
Ni	Ka	5,20	1,128	2,501	wt.%	0,267	0,382
Cu	Ka	2,67	0,750	1,800	wt.%	0,268	0,515
			100,000	100,000	wt.%		

kV 14,7  
Takeoff Angle 35,0°  
Elapsed Livetime 67,5



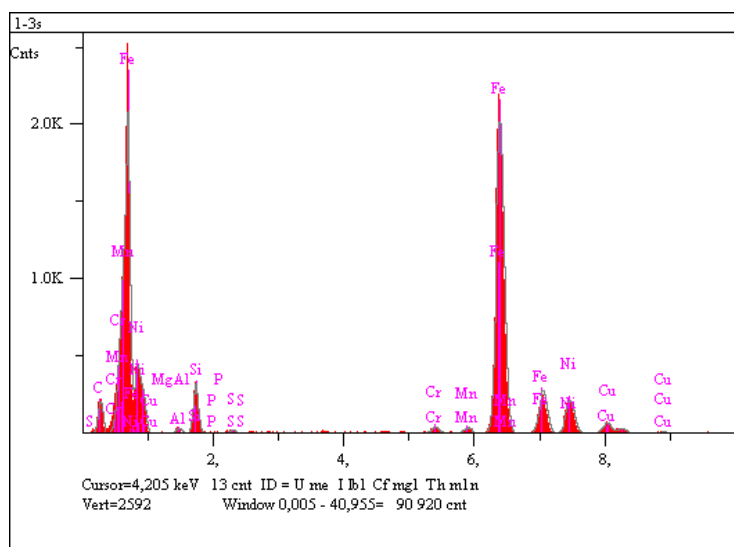
Rys. 6. Analiza spektralna i widmowa obszaru (2)

Wyniki z obszaru (2), który znajduje się bezpośrednio na granicy obu materiałów wskazują na zawartość krzemu (Si) w ilości 7,9%, aluminium (Al) o stężenie ponad 56% co dowodzi, że występuje wyraźna faza  $\alpha$ . Dodatkowo wykryto fazę międzymetaliczną, którą stanowią Al – Fe – Si oraz znaczny udział węgla (C) w ilości 11,2%.

## Obszar (3)

Elm.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	16,11	22,646	6,022	wt.%	0,274	0,397
Mg	Ka	0,58	0,127	0,068	wt.%	0,016	0,135
Al	Ka	2,97	0,485	0,290	wt.%	0,031	0,126
Si	Ka	28,73	3,956	2,460	wt.%	0,084	0,114
P	Ka	0,84	0,101	0,070	wt.%	0,014	0,115
S	Ka	2,05	0,220	0,156	wt.%	0,020	0,106
Cr	Ka	5,41	0,570	0,656	wt.%	0,051	0,129
Mn	Ka	4,15	0,694	0,844	wt.%	0,076	0,206
Fe	Ka	265,80	56,501	69,855	wt.%	0,782	0,254
Ni	Ka	29,75	10,245	13,313	wt.%	0,446	0,387
Cu	Ka	10,19	4,456	6,268	wt.%	0,359	0,499
			100,000	100,000	wt.%		

kV 14,9  
Takeoff Angle 35,0°  
Elapsed Livetime 120,0



Rys. 7. Analiza spektralna i widmowa obszaru (3)

Wyniki analizy spektralnej obszaru (3) obejmującego część powierzchni wkładki żeliwnej, wykazują zwiększone stężenie żelaza (Fe) o zawartości 69,8 %, stężenie krzemu (Si) 2,4%, niklu (Ni) 13,3% oraz miedzi (Cu) na poziomie 6,2%.

Zwiększona zawartość węgla (C) do 6 % jest skutkiem objęcia analizą wydzieleń grafitu płatkowego w obszarze (3).

## 8. POSUMOWANIE

Wyniki z przeprowadzonego badania wizualnego dostarczyły dużo więcej informacji, głównie na temat: różnicy w budowie obu tłoków, uszkodzeń mechanicznych oraz kawitacyjnych, które najprawdopodobniej powstały na wskutek złego funkcjonowania niektórych układów silnika.

Pierwszą różnicę wykryto w części pierścieniowej tłoka, która dotyczy kształtu wkładki pod pierścieniowej. W tłoku po eksploatacyjnym ma ona kształt zbliżony do trapezowego, który zapobiega przed samoczynnym luzowaniem się podczas pracy tłoka wewnątrz cylindra. Wkładka tłoka nowego ma kształt prosty, który w żaden sposób nie zabezpiecza jej przed samoczynnym wysunięciem na zewnątrz.

Druga różnica dotyczy długości wkładki segmentowej zatopionej w części prowadzącej, która leży w płaszczyźnie prostopadłej do osi sworznia. W tłoku nowym nie stanowi całego odcinka pomiędzy piastami sworznia jak w przypadku tłoka po eksploatacji. Jest to bardzo istotne gdyż wkładka segmentowa odpowiedzialna jest za kompensację luzu między tłokiem a cylindrem w części prowadzącej.

Trzecia różnica została wykryta w grubości ścianek w obrębie denka oraz części cylindrycznej tłoka. Tłok przed eksploatacyjny posiada cieńsze ścianki oraz inaczej uformowane zgrubienia wokół piasty sworznia w przeciwieństwie jak to ma miejsce w tłoku przed eksploatacyjnym.

Czwartą różnicę, jaką wykryto, dotyczy ukształtowania otworu piasty, który łączy tłok z korbowodem. Na powierzchni piasty tłoka po eksploatacji można dostrzec charakterystyczne odcienie ciemny oraz jasny. Odcień jasny stanowi powierzchnię bezpośredniego kontaktu tłoka ze sworzniem podczas pracy. Odcień ciemny jest to technologiczne wycięcie, które ułatwia wnikanie oleju pomiędzy powierzchnie tłoka a sworznia, dzięki czemu praca przebiega w sposób płynny. W tłoku nowym niestety nie wykonano takiego podcięcia technologicznego, przez co powierzchnia piasty tłoka oraz sworznia pracują prawdopodobnie z minimalną ilością oleju.

Oceniając stopień uszkodzeń tłoka to do jednych z pierwszych, zalicza się kawitacyjne wypłukanie krawędzi komory spalania umieszczonej w denku tłoka. Uszkodzenie tego typu powstało najprawdopodobniej w wyniku złego rozpylania cieczy przez wtryskiwacz, którego zadaniem jest dostarczanie rozpylonego paliwa nad powierzchnie denka tłoka. Kolejne uszkodzenia posiadały charakter mechaniczny w wyniku, którego na powierzchni denka oraz części pierścieniowej i prowadzącej tłok powstały liczne zatarcia, rysy oraz głębokie wybrania w materiale. Z informacji uzyskanych od posiadacza pojazdu, w którym pracował tłok doszło dwukrotnie do przegrzania silnika na wskutek wadliwego funkcjonowania układu chłodzenia. W wyniku tego, silnik nie otrzymał dostatecznego chłodzenia, czego efektem mogło być nadmierne nagrzanie tłoka. Efektem nadmiernego nagrzewania była prawdopodobnie zwiększona objętość tłoka, co doprowadziło do nadmiernej tarcia między tłokiem a gładzią cylindra.

Trwający taki stan mógł spowodować deformacje tłoka oraz wzrost nacisku na pierścienie, które w końcowym efekcie pękły, a ich liczne elementy przedostały się do prze-

strzeni nad denkiem oraz między częścią prowadzącą tłok a cylinder, wywołując w ten sposób ogrom zniszczeń.

Wyniki badań mikroskopowych nie ujawniły znaczących różnic między mikrostrukturą tłoka po eksploatacji oraz tłoka nowego. W tłoku zużytym wykryto jedynie uszkodzoną strukturę na krawędzi piasty sworznia oraz nieliczne zanieczyszczenia, które również dały się zauważyć w tłoku nowym. Może to oznaczać, że tłok być może nadawałby się jeszcze do dalszej eksploatacji, gdyby nie liczne uszkodzenia zewnętrzne.

Stwierdzone uszkodzenia głównie powierzchniowe, kwalifikują go do złomowania. Badany tłok mógłby nadal pracować gdyby stosowano profilaktyczne przeglądy okresowe stanu poszczególnych elementów silnika oraz zużycia niektórych elementów układu korbowo – tłokowego. Dodatkowo należałoby kontrolować stan układu chłodzenia polegający między innymi, na sprawdzeniu stanu ilości płynu chłodzącego w zbiorniczku wyrównawczym, a następnie dbać o sprawność czujnika odpowiedzialnego za pomiar temperatury silnika.

Kolejny rodzaj kontroli profilaktycznej powinien polegać na ocenie stanu zużycia pierścieni tłokowych za pośrednictwem przetwornika indukcyjnego, mierzącego odchylenia wytwarzanego pola magnetycznego przez wszystkie elementy składowe tłoka przemieszczające się obok niego. W przypadku wykrycia pękniętego pierścienia, przetwornik wykryje niższy sygnał elektryczny. Wówczas można podjąć działania naprawcze, które polegałyby na wymianie uszkodzonych pierścieni, co mogłoby zapobiec poważnej awarii silnika i uniknąć znacznych kosztów jego naprawy.

Na podstawie wiedzy literaturowej oraz wyników badań struktury z obszaru strefy wtopienia wkładki żeliwnej i stalowej w materiał tłoka jak i uzyskanych stężeń poszczególnych pierwiastków można przypuszczać, że mechanizm kształtowania się struktury w strefie wtopienia jest zbliżony do procesu nanoszenia powłok aluminiowych na powierzchniach żeliwnych lub stalowych. Biorąc pod uwagę stężenie poszczególnych pierwiastków w strefie analizowanej, można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że na powierzchni wkładki żeliwnej utworzyła się warstwa złożona z węgla żelazokrzemowego  $Fe_4CSi$  [3]. W dalszej kolejności, z faz Al – Fe – Si oraz eutektyki  $\alpha + \beta$  (Al + Si) +  $\beta$  (Si). Stwierdzone zróżnicowanie stężeń poszczególnych pierwiastków było prawdopodobnie efektem dyfuzji reakcyjnej atomów Al i Si z krzepnącego siluminu do wkładki żeliwnej i ich adsorpcja oraz dyfuzji Fe i Si z wkładki żeliwnej w stronę krzepnącego stopu po zalaniu nim formy odlewniczej.

## LITERATURA

- [1] **Jeziński J.:** *Technologia tłokowych silników wysokoprężnych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- [2] **Kozarzewski W.:** *Konstrukcja grupy tłokowo – cylindrycznej silników spalinyowych*, Wydawnictwo Komunikacji i łączności, Warszawa 2004.
- [3] **Pietrowski S.:** *Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów tłokowych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1999.



- [4] **Pietrowski S., Szymczak T.:** *Budowa połączenia powłoki alfinowanej z siluminem*, Archiwum Odlewnictwa, nr. 12, PAN – Katowice 2004.

# OCENA WPŁYWU DODATKÓW STOPOWYCH NA TEMPERATURĘ W PROCESIE KRYSZALIZACJI SILUMINÓW OKOŁOEUTEKTYCZNYCH

## 1. WPROWADZENIE

Siluminy są to stopy aluminium z krzemem oraz innymi dodatkami tj. Mg, Mn, Cu czy Ni. To najbardziej wyróżniające się oraz stosowane stopy aluminium. Znajdują one bardzo szerokie zastosowanie w m. in. przemyśle motoryzacyjnym, maszynowym oraz lotniczym [1-4].

Ze względu na udział procentowy krzemu, siluminy można podzielić na: podeutektyczne ( $4\div 10\%Si$ ), okołoeutektyczne ( $10\div 13\%Si$ ), nadeutektyczne ( $17\div 26\%Si$ ). Serię badań przeprowadzono na siluminach okołoeutektycznych, które posiadają bardzo dobre właściwości odlewnicze tj.: niewielki skurcz, niewielki współczynnik rozszerzalności cieplnej, a także stosunkową niewielką tendencję do pękania. W okresie krystalizacji ulegają niewielkiemu skurczowi (ok. 1,15%), co wpływa na obniżenie możliwości wystąpienia defektów skurczowych. Dla tego typu odlewów nie stosuje się obróbki cieplnej, ale dla poprawy właściwości plastycznych oraz wytrzymałości stosuje się przesycenie [5].

Na właściwości technologiczne, a także użytkowe siluminów w sposób korzystny wpływają niektóre pierwiastki stopowe. Umocnienie stopu dodatkiem np.: Cu, Co, Cr oraz procesami wydzieleniowymi w czasie starzenia i przesycania dodatkiem np.: Mg, Mo, Cu powodują poprawę właściwości mechanicznych. Dodatki stopowe mają wpływ na przebieg procesu krystalizacji, zmieniając zakres temperatury wydzielenia i skład fazowy, co wpływa na właściwości mechaniczne odlewu [6].

W przedstawionym artykule badano wpływ dodatków stopowych (Fe, Mn, Mg, Ni) na przebieg procesu krystalizacji z zastosowaniem metody ATD.

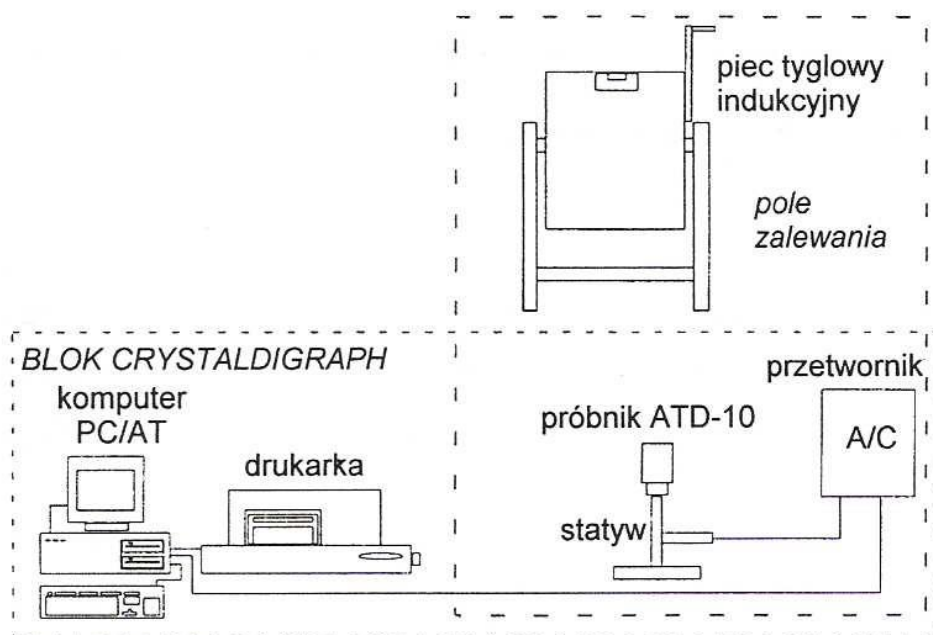
## 2. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

Badanie przeprowadzono dla wybranych siluminów (tab. 1) okołoeutektycznych (13.5% Si). Próbki odlewano w warunkach laboratoryjnych, według wyznaczonej kolejności (tab.1). Krzywe ATD realizowano przy użyciu mikroprocesorowego rejestratora PDOC-16 (autorstwa M. Żygadło) [7] oraz programu komputerowego do rejestracji i przetwarzania przesłanych sygnałów (autorstwa J. Mutwila) [8].

Tab. 1. Badane siluminy okołoeutektyczne AlSi9Cu oraz kolejność wytapiania

Kolejność wytapiania	Stopy siluminów okołoeutektycznych
1	AlSi13.5Cu1
2	AlSi13.5Cu1Fe0.8
3	AlSi13.5Cu1Fe0.8Mn0.55
4	AlSi13.5Cu1Fe0.8Mn0.55Mg0.35
5	AlSi13.5Cu1.5Fe0.8Mn0.55Mg0.35
6	AlSi13.5Cu1.5Fe0.8Mn0.55Mg0.35Ni1.3
7	AlSi13.5Cu1.5Fe0.8Mn0.55Ni1.3Mg1.5

Schemat przykładowego stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1, natomiast na rysunku 2 zobrazowano próbnik ATD-10.



Rys 1. Przykładowe stanowisko badawcze [1]

Przy użyciu tygla do próbnika wlewano ciekły metal o temperaturze 800°C. Próbnik o wymiarach  $\varnothing 30 \times 40$  mm wykonano z masy skorupowej składającej się z piasku cyrkonowego otoczonego żywicą. Temperatura rejestrowana była przy użyciu trzech termoelementów płaszczyznowych  $\varnothing 1$  mm typu K z nieosłoniętą spoiną pomiarową. Spoiny pomiarowe termoelementów umieszczono w próbniku na 1/3 wysokości i rozmieszco-

no je w równych odstępach wzdłuż promienia próbника. Należy odnotować, że najbardziej znaczący termoelement umieszczono w centrum.



Rys. 2. Zdjęcie próbника z masy skorupowej [5]

## 2.1. Analiza termiczno-derywacyjna

Wykres ATD przedstawia wartości temperatur zarejestrowane podczas krzepnięcia metalu w próbniku: krzywą termiczną  $T = f(t)$  oraz krzywą derywacyjną  $T' = dT/dt = f'(t)$ . Na ich podstawie dla wszystkich wytopów wykonano analizę, polegającą na wyznaczeniu punktów charakterystycznych temperatur w procesie krzepnięcia i stygnięcia odlewu.

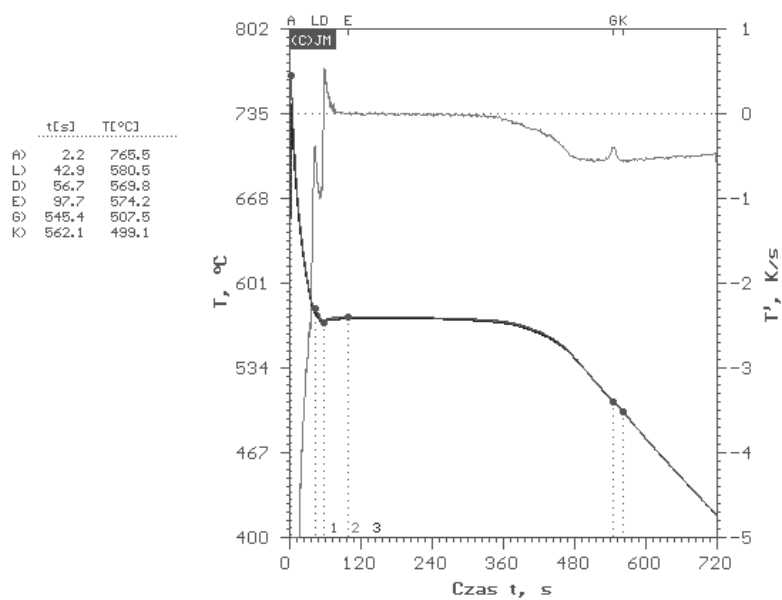
Na wykresach punkty charakterystyczne oznaczono następującymi oznaczeniami literowymi:

- A - temperatura zalewania,
- L - temperatura likwidus (jeśli wystąpiło),
- D - przechłodzenie przed temperaturą eutektyczną,
- E - temperatura eutektyczna,
- H - wydzielenie odrębnej fazy (jeśli wystąpiło),
- G - wydzielenie odrębnej fazy,
- K - koniec krystalizacji.

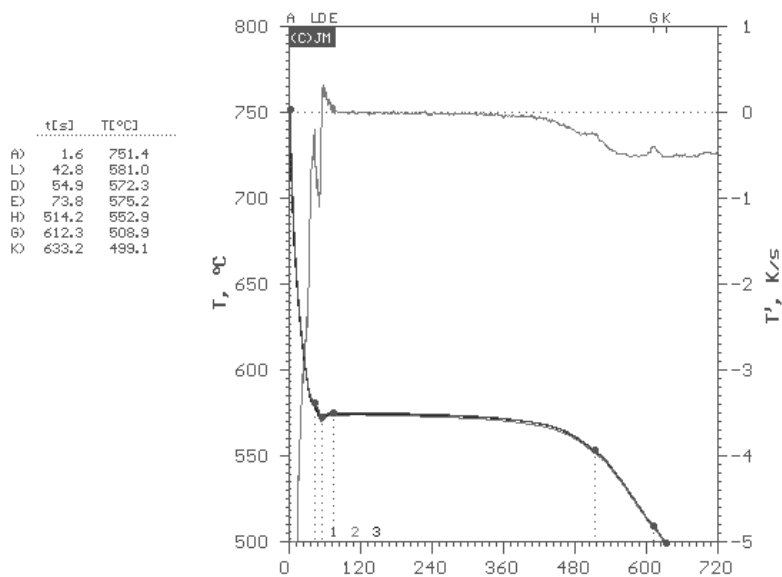
Na wykresie dla stopu AlSi1.5Cu naniesiono oznaczenia dla widocznych na rysunkach krzywych:

- T(t) - temperatura odlewu w funkcji czasu,
- T'(t) - pochodna temperaturowa w funkcji czasu,

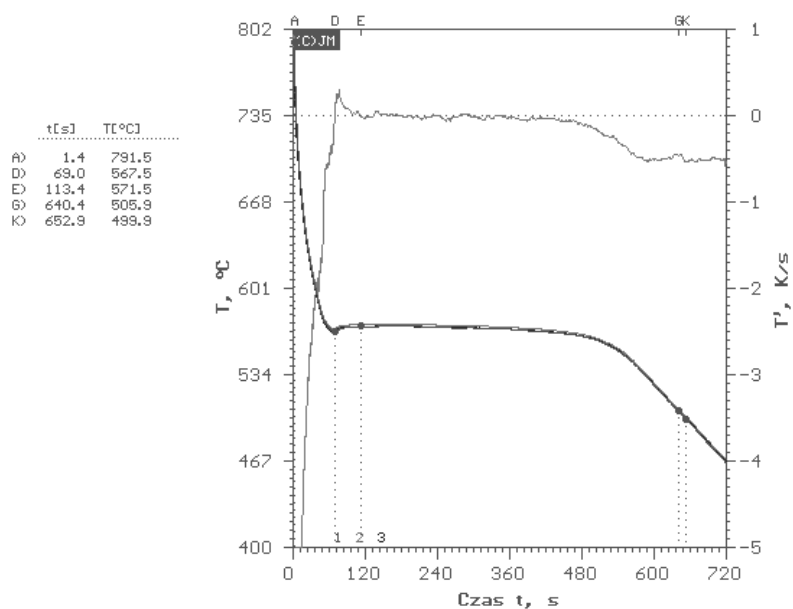
Poniżej przedstawiono wykresy ATD wraz z naniesionymi punktami charakterystycznymi dla poszczególnych stopów.



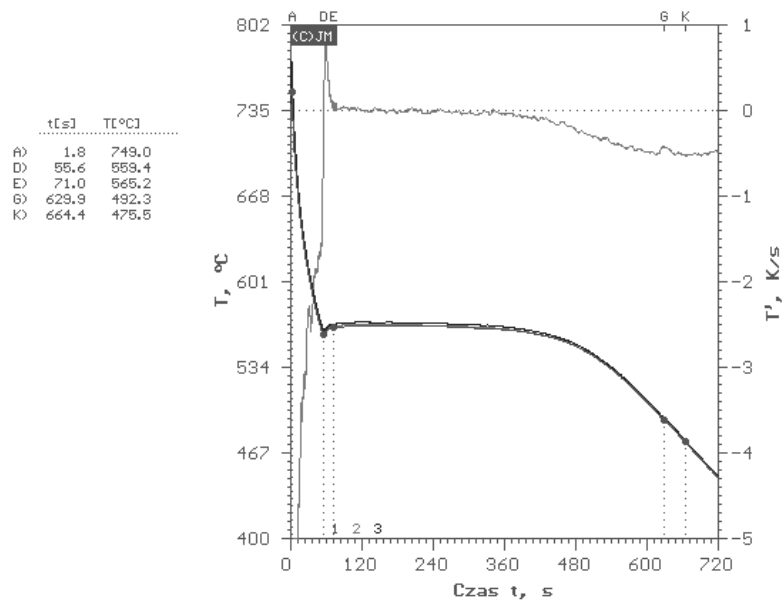
Rys. 3. Wykres ATD dla stopu AlSi13.5Cu1



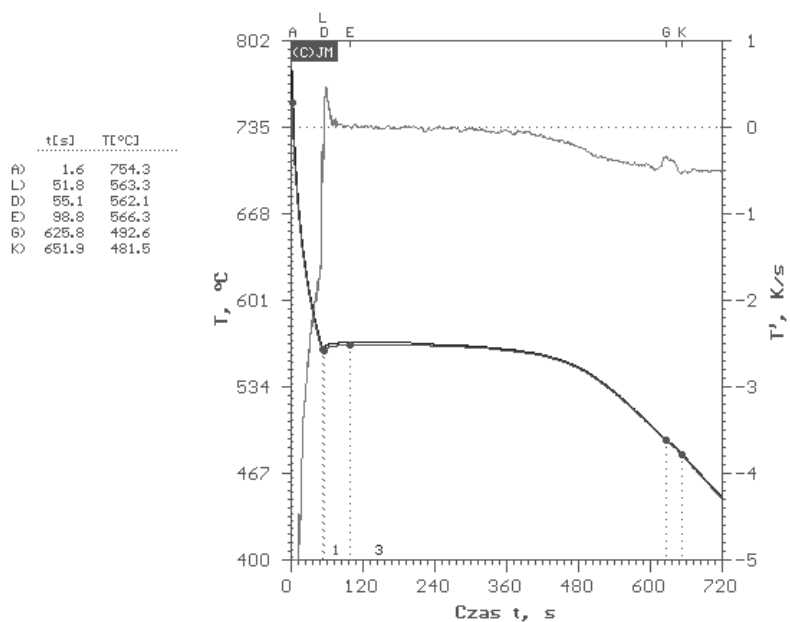
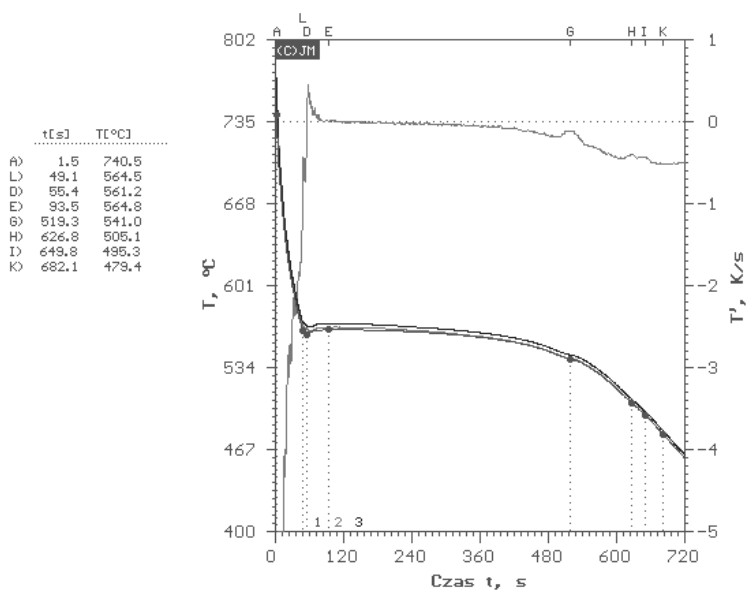
Rys. 4. Wykres ATD dla stopu AlSi13.5Cu1Fe0.8

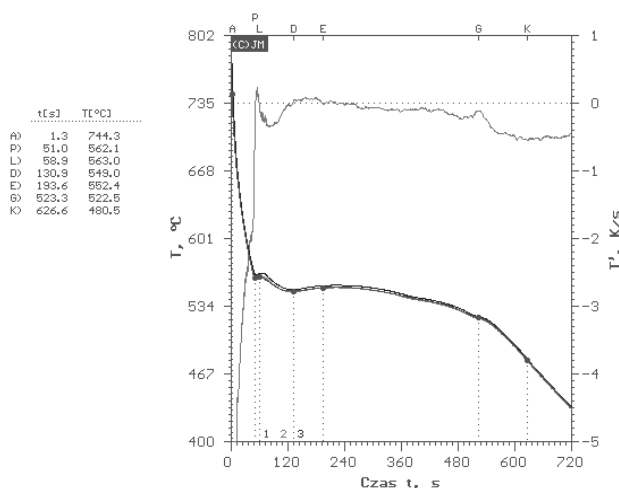


Rys. 5. Wykres ATD dla stopu AlSi13.5Cu1Fe0.8Mn0.55



Rys. 6. Wykres ATD dla stopu AlSi13.5Cu1Fe0.8Mn0.55Mg0.35

Rys. 7. Wykres ATD dla stopu  $AlSi_{13.5}Cu_{1.5}Fe_{0.8}Mn_{0.55}Mg_{0.35}$ Rys. 8. Wykres ATD dla stopu  $AlSi_{13.5}Cu_{1.5}Fe_{0.8}Mn_{0.55}Mg_{0.35}Ni_{1.3}$



Rys. 9. Wykres ATD dla stopu  $AlSi_{13.5}Cu_{1.5}Fe_{0.8}Mn_{0.55}Ni_{1.3}Mg_{1.5}$

W dalszej części pracy zaprezentowano tabelę z wynikami badań otrzymanymi dla każdego ze stopów w próbie ATD wraz z zestawieniem w postaci wartości temperatur charakteryzujących krystalizację oraz przedstawiono wnioski.

### 3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

W tabeli 2 przedstawiono wartości charakterystycznych temperatur dla badanych stopów otrzymanych w analizie termiczno - derywacyjnej.

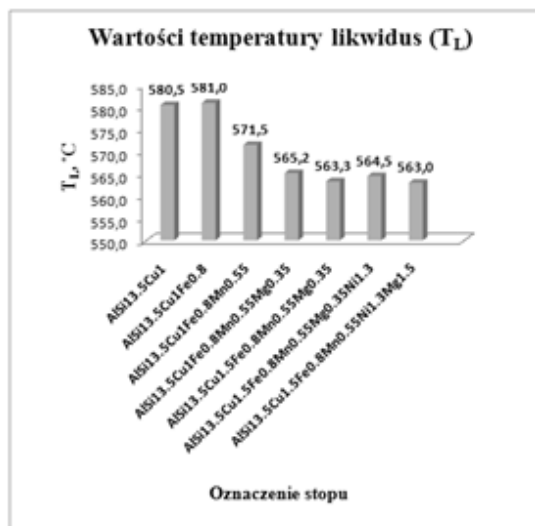
Tab. 2. Wartości charakterystycznych temperatur z próby ATD

Oznaczenie stopu	Temperatura					
	$T_Z$	$T_P$	$T_L$	$T_D$	$T_E$	$T_K$
AlSi13.5Cu1	765,5	-	580,5	569,8	574,2	499,1
AlSi13.5Cu1Fe0.8	751,4	-	581,0	572,3	575,2	499,1
AlSi13.5Cu1Fe0.8Mn0.55	791,5	-	571,5	567,5	571,5	499,9
AlSi13.5Cu1Fe0.8Mn0.55Mg0.35	749,0	-	565,2	559,4	565,2	475,5
AlSi13.5Cu1.5Fe0.8Mn0.55Mg0.35	754,3	-	563,3	562,1	566,3	481,5
AlSi13.5Cu1.5Fe0.8Mn0.55Mg0.35Ni1.3	740,5	-	564,5	561,2	564,8	479,4
AlSi13.5Cu1.5Fe0.8Mn0.55Ni1.3Mg1.5	744,3	562,1	563,0	549,0	552,4	480,5

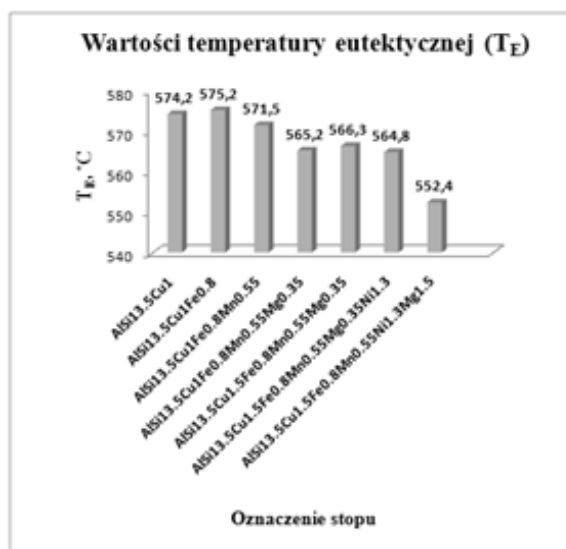
$T_Z$  – temperatura zalewania,  $T_P$  – temperatura przechłodzenia przed przemianą likwidus,  
 $T_L$  – temperatura likwidus,  $T_D$  – temperatura przechłodzenia przed przemianą eutektyczną,  
 $T_E$  – temperatura eutektyczna,  $T_K$  – temperatura końca krzepnięcia.



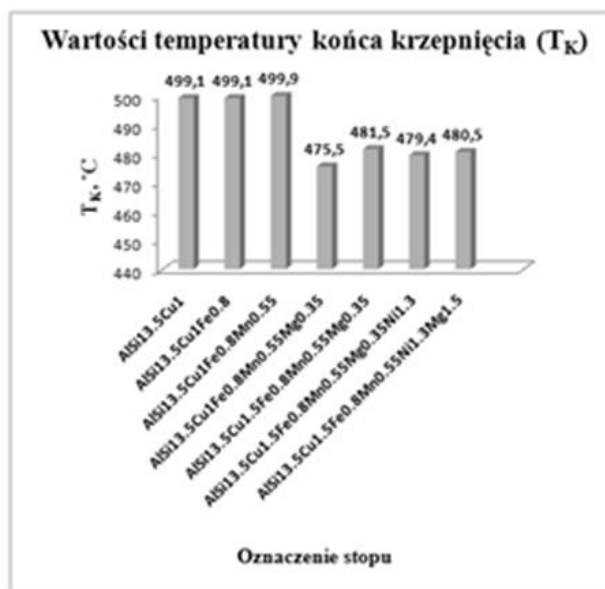
Dane zestawione w tabeli 2 umożliwiają ocenić wpływ składu chemicznego stopu na wartość temperatur charakteryzujących krystalizację: temperaturę likwidus, temperaturę przemiany eutektycznej, temperaturę końca krzepnięcia.



Rys. 10. Wpływ składu chemicznego stopu na wartość temperatury likwidus w próbie ATD



Rys. 11. Wpływ składu chemicznego stopu na wartość temperatury eutektycznej w próbie ATD



Rys. 12. Wpływ składu chemicznego stopu na wartość temperatury końca krzepnięcia w próbie ATD

Analizując rysunki 10÷12 można wyciągnąć następujące wnioski:

- w stopach o zawartości krzemu 13,5% temperatura likwidus (TL) w wyniku dodawania do stopu bazowego manganu i magnezu ulegała obniżeniu (rys. 10),
- w stopach o zawartości krzemu 13,5% temperatura eutektyczna (TE) uległa obniżeniu po dodaniu do stopu bazowego magnezu oraz manganu, a także gdy ponownie zwiększono ilość magnezu (rys. 11),
- w stopach o zawartości krzemu 13,5% dodanie do stopu bazowego magnezu obniżyło temperaturę końca krzepnięcia (TK) (rys. 12).

## 5. POSUMOWANIE

Analiza termiczno-derywacyjna to metoda wykorzystywana do kontroli produkcji stopów. Pozwala ona na ciągłą rejestrację temperatury krzepnącego metalu i przeliczanie jej pochodnej. Na tej podstawie możliwe jest wyznaczenie punktów charakteryzujących krystalizację (TL, TE, TK).

Przeprowadzone badania pokazały, iż w wyniku wprowadzenia do siluminów około eutektycznych o zawartości krzemu 13,5% magnezu i manganu zakres temperaturowy procesu krystalizacji uległ obniżeniu. Należy zaznaczyć, że dodanie do stopu pierwiastka żelaza i niklu nie wpłynęło w znaczący sposób na rejestrowaną w procesie krystalizacji temperaturę.

W celu uzyskania wysokiej jakości odlewu, zapewnieniu właściwego przebiegu procesu oraz obniżeniu energochłonności, uzyskane wyniki mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle.

## 6. LITERATURA

- [1] **Pietrowski S.**, *Siluminy*. Politechnika Łódzka, Łódź, 2001.
- [2] **Pietrowski S.**, *Siluminy tłokowe. Monografia, Krzepnięcie Metali i stopów*, PAN, Komisja Olewnictwa, 1997.
- [3] **Poniewierski Z.**, *Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów*. WNT, 1989.
- [4] **Kielec R., Leksycki K.**, *Ocena wpływu składu chemicznego wybranych stopów na wartość temperatur w procesie krystalizacji z wykorzystaniem metody ATD*. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T1, s. 707-718. Opole, (2016).
- [5] **Sendecki A., Leksycki K.**, *Analiza jakości ciekłych siluminów z grupy AlSiCu, AlSi(9)Cu, AlSiNiMg w oparciu o analizę procesu ich kurczenia się w okresie krzepnięcia i stygnięcia*. Praca magisterska, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, (2010).
- [6] **Binczyk F., Piątkowski J., Szymuszal J.**, *Krystalizacja eutektyki w siluminach nadeutektycznych*. Archiwum odlewnictwa, Rocznik 1, Nr1 (2/2), PAN, Katowice, (2001).
- [7] **Mutwil J., Żygadło M.**, *Mikroprocesorowy system do badań zjawisk i procesów odlewniczych*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, vol.20, nr 1, 2000, s. 117-126.
- [8] **Żygadło M.**, *Projekt mikroprocesorowego rejestratora do pomiarów w odlewnictwie*, Raport wewnętrzny z projektu KBN Nr 7 To8B 032, Zielona Góra, (1999).

# **STATYSTYCZNE STEROWANIE PROCESEM ZA POMOCĄ KART KONTROLNYCH PRZY WYKORZYSTANIU PROGRAMU STATISTICA**

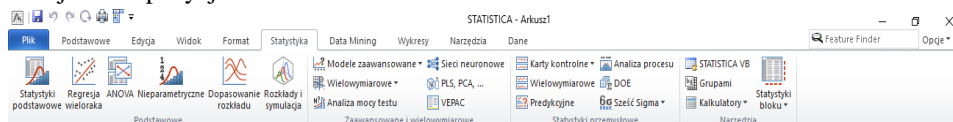
## **WPROWADZENIE**

Statystyczne sterowanie procesem (Statistical Process Control) należy do najważniejszych narzędzi stosowanych szeroko w systemach zarządzania jakością. To metoda statystycznego sterowania procesami, która polega na monitorowaniu całości procesu i występujących w nim możliwych rozregulowań. Głównym zadaniem SPC jest zapobieganie niezgodnościom poprzez odpowiednio wczesne wykrycie destabilizacji procesu. Charakterystyka procesu, która zostaje przedstawiona i opisana, pozwala na określenie przyczyn, które mają wpływ na niestabilność procesu. Głównym celem Statistical Process Control jest wykluczenie wszystkich wpływających na dany proces czynników, co równa się z poprawą jakości. Dzięki statystycznej metodzie można określić z jakim rozproszeniem odnotowanych wyników pomiarowych proces produkcyjny jest realizowany. Minimalizuje się straty, które powodują właśnie odchylenia od wartości średnich procesu. Statystyczne sterowanie procesem opiera się na kartach kontrolnych, które są uznane za podstawowe narzędzie SPC [1,2,3,5,7].

## **1. PROGRAM STATISTICA**

Na polskim rynku praktycznie nie występuje samodzielne oprogramowanie do SPC. Narzędzia SPC stanowią z reguły moduł większych pakietów statystycznych [5]. Jednym z nich jest pakiet Statistica, który może być stosowany wszędzie tam, gdzie procesy decyzyjne i organizacyjne można wspomagać za pomocą nowoczesnych metod analizy danych. Program Statistica jest pomocny w przeprowadzaniu różnorodnych analiz statystycznych, w obliczaniu podstawowych charakterystyk i w wizualizacji danych (modelowanie klasycznymi metodami statystycznymi). Statistica oferuje wiele przydatnych metod oraz narzędzi, które umożliwiają m.in. automatyzację wykonywanych analiz. Za pomocą tego programu można zarówno modelować, prognozować i powiększać wiedzę na temat zachodzących procesów. Wyróżnia się bogatym zasobem narzędzi, dobrą grafiką oraz łatwością poruszania się po programie. Produkt został wyróżniony nagrodą z tytułu: "Best Product or Service of the Year – Software – Big Data Solution". Składa się z wielu modułów, które wybiera się w zależności od typu badania. Przykładowe moduły, z których można skorzystać to m.in. podstawowe statystyki, sterowanie jako-

ścią, karty kontrolne czy analiza procesu. Wszystkie moduły wyglądają prawie identycznie, mają ten sam układ. Ikony wyglądają właściwie podobnie. Program ten zapisuje efekty pracy w kilku formatach, co jest praktyczne. Menu przedstawione na rys. 1. można bez problemu dostosować do potrzeb użytkownika, dzięki ukrywaniu zbędnych w danej chwili pozycji.



Rys. 1. Menu programu Statistica [opr.własne]

Statistica jest wysokiej jakości programem, pod względem narzędzi wizualizacji wyników analiz. Podczas przeprowadzania analiz w programie na wyjściu otrzymujemy wyniki w postaci arkuszy oraz wykresów. Natomiast dane, które użytkownik wprowadza zapisywane są w skoroszytcie (możliwe jest zapisanie utworzonego skoroszytu w formacie HTML, co ułatwia pracę w Internecie). Końcowe arkusze i wykresy z przeprowadzonych badań mogą być wstawiane do raportów, które program tworzy automatycznie. Statistica został ogłoszony najlepszym narzędziem analitycznym, które może pracować jako wersja jednostanowiskowa lub w sieci. Zakres metod analitycznych, które oferuje Statistica jest bogaty. Na liście programów STATISTICA znajdują się m.in.:

- STATISTICA Pakiet Podstawowy,
- STATISTICA Pakiet Zaawansowany,
- STATISTICA QC,
- STATISTICA Pakiet Zaawansowany +6 QC,
- STATISTICA Zestaw Medyczny,
- STATISTICA Zestaw Plus itp.

Programy z rodziny Statistica są częścią CAQ, który stosowany w przedsiębiorstwie przynosi wiele korzyści, m.in.:

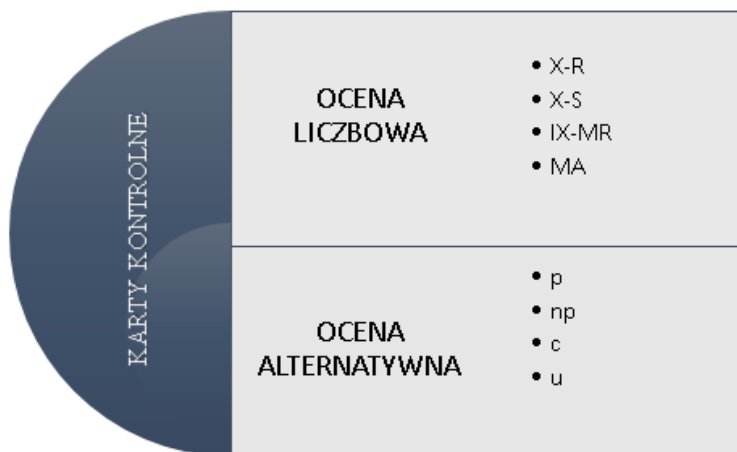
- ułatwia współpracę między działami w przedsiębiorstwie (w tym przekazywanie sobie danych),
- szybka i dokładna analiza danych,
- możliwość sterowania wszystkimi segmentami w przedsiębiorstwie związanymi z jakością.

Jeżeli chodzi o moduł karty kontrolne w programie Statistica, program oferuje szeroki zestaw możliwości. Karty mogą być wykreślane na podstawie danych przedstawionych przez użytkownika lub danych, które zostają bezpośrednio wyliczone. Program wykreśli każdy typ karty kontrolnej. Linie kontrolne mogą być ustalane na bazie rozkładu normalnego, Johnsona lub też jako ustalone niezmiennicze wartości. Poza tym program jest tak dogodny, że użytkownik jest w stanie dodawać sam dodatkowe informacje, typu: tytuły, komentarze (np.: opisywać przyczynę rozregulowania i działania zapobiegające). Może także dostosować wykres karty kontrolnej poprzez dorysowywanie linii, szerego-

wanie próbek datami czy kodami identyfikującymi. Na kartach kontrolnych można dodawać lub usuwać informacje czy punkty, używając do tego narzędzi edycji.

## 2. KARTY KONTROLNE SHEWHARTA

Żaden proces nie przebiega idealnie stabilnie, bez zakłóceń. Zawsze w procesie pojawiają się pewne zakłócenia, podzielono je na dwie grupy: na zakłócenia losowe i zakłócenia specjalne [10,11,13]. Wg normy ISO zakłócenia losowe to takie, które występują stale w procesie i można je uznać za naturalne. Nie powodują szczególnych zmian w procesie i trudno jest je zidentyfikować. Jest to możliwe lecz wymagałoby to radykalnych zmian w procesie, co jest bardzo kosztowne i czasochłonne m.in.: zmiana wykorzystywanego materiału do produkcji czy zastosowanie maszyn wyższej technologii. Do drugiej grupy zakłóceń zalicza się wszystkie te, które występują systematycznie lub sporadycznie ale ich działanie na proces jest znacznie silniejsze, dzięki temu można je szybciej zidentyfikować i zlikwidować, dla przykładu może to być: ułamanie się wiertła przy pracy, co nastąpiło przypadkowo [8,9]. W celu wykrycia zakłócenia należy przeprowadzić np. analizę statystyczną. Aby wykryć przyczyny losowe stosuje się karty kontrolne zmienności procesu. Karty kontrolne utworzone przez Waltera A. Shewharta i wykorzystane po raz pierwszy w roku 1924 pozwalają na nadzór i panowanie nad procesem, aby przebiegał w miarę możliwości stabilnie. Dzięki nim możliwe jest wczesne wykrycie szkodzącego czynnika, a kierownictwo może podjąć działania eliminujące wszelkie zakłócenia powodujące rozregulowania procesu. Karty kontrolne mają na celu ograniczenie przyczyn związanych z zakłóceniami. Pierwsze karty stosuje się we wszystkich rodzajach produkcji na całym świecie. Karta kontrolna to nic innego jak analiza zebranych w sposób systematyczny wyników procesu i porównanie ich ze specjalnie wyznaczonymi granicami kontrolnymi, których zadaniem jest powiadamiać o rozregulowaniach występujących w procesie. Wszystko to przedstawia się w sposób graficzny. Tę metodę statystyczną stosuje się zarówno dla danych uzyskanych w ocenie liczbowej jak i alternatywnej. Na rys.2. przedstawiono główny podział kart kontrolnych biorąc pod uwagę ocenę liczbową i alternatywną.



Rys.2. Główny podział kart kontrolnych [opr. własne]

Podczas badań i nadzorowania procesów produkcyjnych dąży się do tego, aby proces był zbliżony jak najbardziej do rozkładu normalnego, jeżeli w procesie wykryje się czynniki powodujące rozregulowanie, kształt jego odbiega od faktycznego rozkładu normalnego. Prowadzenie kart kontrolnych polega na naniesieniu na wykres odpowiednich danych statystycznych. Należą do nich: średnia, rozstęp, mediana czy niezgodności podane w liczbach. Karty alternatywne są proste w stosowaniu w porównaniu z kartami liczbowymi. Wynika to z tego, że ilość próbek jest większa i karty te nie są zbyt dokładne. Przekazują mniej informacji na temat zachowania procesu. Stosowana jest skala dwustopniowa tzn. są do wyboru dwa wyjścia: tak/nie, jest/nie jest lub zgodny/ niezgodny itp. Innymi słowy zmienna losowa przyjmuje wartość 0 lub 1 w tym przypadku. Wartość „0” oznaczać będzie to, że na przykład dany wyrób spełnia wymagania klienta. Wartość „1” będzie zaprzeczeniem poprzedniego, czyli wyrób nie jest zgodny z wymaganiami. Karty kontrolne przy ocenie liczbowej wykorzystuje się wtedy, gdy mamy konkretne wyniki liczbowe pochodzące z pomiarów badanych właściwości produkowanych wyrobów.

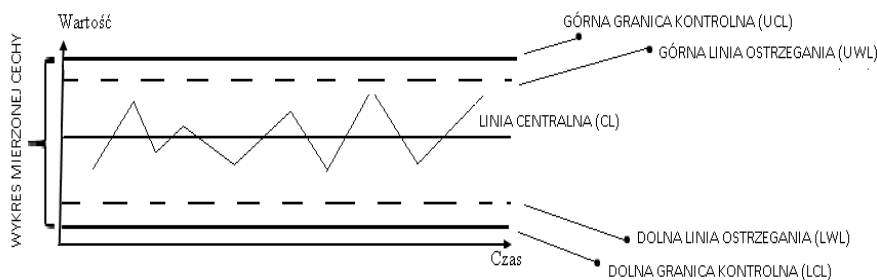
## 2.1. Budowa karty kontrolnej

Wykres karty kontrolnej przedstawia przebieg procesu. Na podstawie wykresu można wywnioskować, czy proces jest prawidłowy, czy też nie. Jeżeli nie jest prawidłowy wymaga ingerencji osoby odpowiedzialnej za dany proces. Na każdym wykresie (karcie kontrolnej) można zaobserwować:

- linię centralną – (ang. CL),
- górną granicę kontrolną (ang. Upper Control Limit – UCL),
- dolną granicę kontrolną (ang. Lower Control Limit – LCL),
- górną linię ostrzegawczą (ang. Upper Warning Limit –UWL),
- dolną linię ostrzegawczą (ang. Lower Warning Limit –LWL),

- wykres mierzonej cechy (rys.3).

Linia centralna obrazuje wartość średnią wszystkich zebranych pomiarów, które zostały umieszczone na karcie kontrolnej. Wokół tej linii oscylują wszystkie wartości mierzonej cechy. Linie centralną wyznacza się na podstawie próbki pilotażowej lub koncepcji technologicznej [3,4,9]. Górna i dolna granica kontrolna jest wyznaczana na podstawie odpowiednich wzorów. Linie te wskazują graniczne miejsca, do których mogą sięgać wartości rejestrowanych charakterystyk stabilnego procesu. Jest to obszar, w którym występują zmienności procesu ale spowodowane tylko przyczynami naturalnymi. Linie kontrolne wyznaczane są na podstawie 20-30 wybranych próbek. Jeżeli granice kontrolne zostaną już ustalone, a proces zostanie uznany za stabilny, karty służą do dalszego monitorowania procesu. Obszar pomiędzy liniami kontrolnymi dzieli się na sześć jednokowych stref o rozmiarze 1s. Linie kontrolne nanoszone są w odległości  $\pm 3s$ . Górna i dolna linia ostrzeżenia są to linie, po których przekroczeniu należy bliżej przyjrzeć się obserwowanemu procesowi. Określenie granic kontrolnych jest jednym z najważniejszych decyzji, które muszą być wykonane w projektowaniu wykresu karty kontrolnej. Głównym elementem karty kontrolnej jest wykres postępu, poza tym na każdym wykresie widnieją dwie osie. Oś pozioma, która wskazuje numery kolejno badanych próbek. Oś pionowa, na której jest przedstawiona wytypowana miara badanej zmiennej.

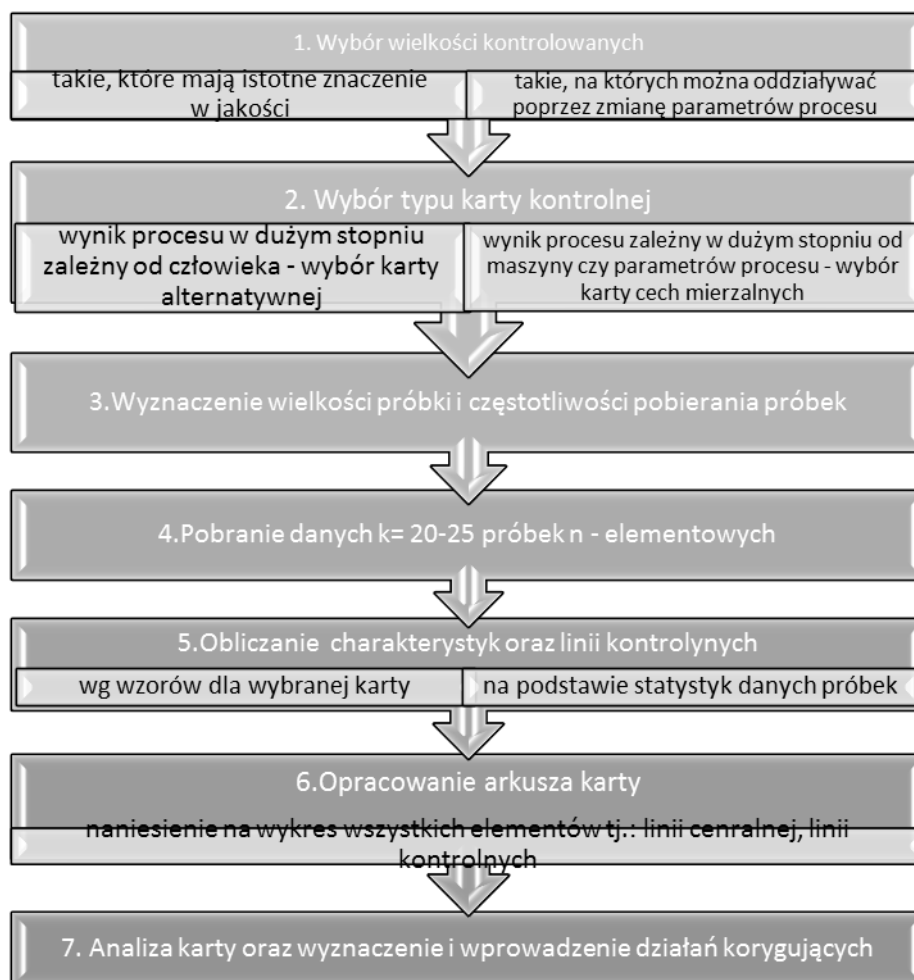


Rys. 3. Konstrukcja karty kontrolnej [opr. własne]

## 2.2. Procedura budowy kart kontrolnych w programie Statistica

Przed utworzeniem wykresu obrazującego przebieg procesu z wszystkimi występującymi rozregulowaniami lub ich brakiem należy postępować zgodnie z procedurą tworzenia kart kontrolnych. Z rys.4.5. można odczytać, jak należy postępować kreując karty kontrolne.



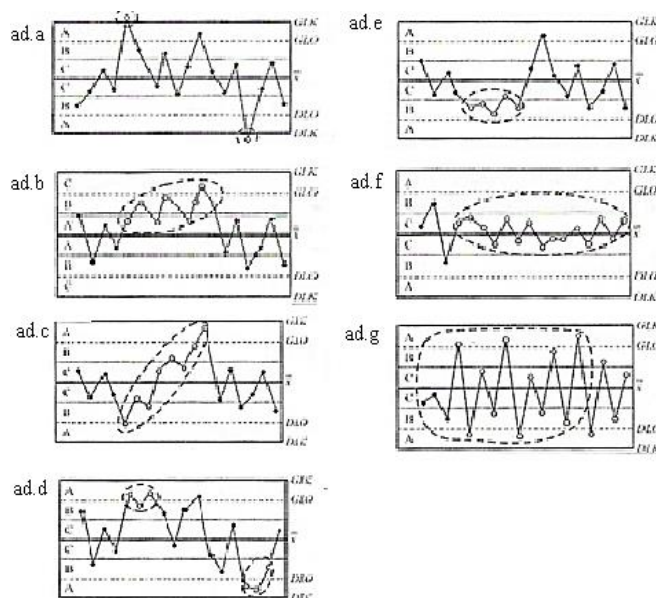


Rys.3. Schemat procedury tworzenia kart kontrolnych [opr. własne na podstawie [9]]

Po wykonaniu karty kontrolnej, kolejnym krokiem jest interpretacja uzyskanych wyników. Interpretacja polega na sprawdzeniu warunku, czy proces jest statystycznie uregulowany (stabilny). Jeżeli proces będzie stabilny, większość punktów na wykresie będzie zbliżonych do linii centralnej, co ważniejsze będą znajdowały się w obszarze między granicami kontrolnymi. Punkty nie mogą pokazywać cykli mówiących o tym, że zmienność procesu powodują nienaturalne przyczyny. Kiedy proces jest stabilny na wykresie nie widać powtarzających się okresowo układów, a linie łączące kolejne punkty ze sobą powinny przecinać linię centralną. Ilość punktów nad linią jak i poniżej linii

centralnej powinna być w miarę przybliżona do siebie. Wykres wskazuje na to, że proces jest rozregulowany kiedy:

- punkty wykraczają poza górną lub/i dolną granicę kontrolną,
- siedem kolejnych punktów mieści się po jednej stronie linii centralnej,
- trend malejący lub rosnący,
- w strefie A znajduje się dwa z trzech kolejnych po sobie punktów,
- w strefie B znajdują się cztery z pięciu kolejnych punktów,
- w strefie C znajduje się piętnaście kolejnych punktów - oznacza to błąd przyrządu pomiarowego, niewłaściwie ustalone linie kontrolne, zmniejszenie rozproszenia występują tzw. okresy tzn.: punkty na wykresie układają się w falę,
- czternaście punktów na przemian „wyżej/nizej” siebie - kolejne próbki pochodzą z różnych maszyn od różnych operatorów.



Rys. 4. Układy punktów sygnalizujące o możliwości rozregulowania procesu [opr. własne]

### 3. ANALIZA WYBRANYCH KART KONTROLNYCH WYGENEROWANYCH W PROGRAMIE STATISTICA

Informacje na temat przebiegu procesu, są to ważne czynniki, które należy brać pod uwagę przy wyborze dalszego toku. Zadaniem kart kontrolnych jest rozwiązywanie problemu, polegającego na tym, czy występujące odchylenia od normy są przypadkowe czy też systematyczne. Po wykreśleniu kart kontrolnych należy przejść do analizy. Ana-

liza powinna w pierwszej kolejności rozpocząć się od sprawdzenia, czy zebrane wyniki mają rozkład normalny, a w kolejnych krokach należy sprawdzić czy:

- lokalizacja punktów odpowiadających danym nie wykracza poza granice kontrolne,
- kształt wykresu nie jest podejrzany,
- występuje któryś z toku przebiegu wykresu, mówiący o rozregulowanym procesie.

Na etapie analizy ważne jest ustalenie związków przyczynowo – skutkowych w procesie, zrozumienie jak działa proces i występujące w nim pewne zmienności. Analizując należy się skupić na wykryciu ewentualnych przyczyn, które są powodem rozregulowania procesu; na wykryciu problemów jakościowych i czy występują niezgodności w czasie trwania cyklu. Ważne jest też, aby umieć rozróżnić przyczyny losowe od specjalnych. Prawidłowo wykonana analiza karty kontrolnej umożliwi kontrolę i nadzór nad procesem.

Dane w tab.1. przedstawiają wyniki pomiarów średnicy łożysk, średnią z wyników, rozstęp. Są one bazą do utworzenia analizowanej karty kontrolnej.

Tab.1. Pomiaru badanych próbek – średnice łożysk [mm]

NR PRÓ BKI	NR POMIARU					ŚREDNIA	MAX	MIN	ROZ- STĘP
	1	2	3	4	5				
1	1,7	1,3	1,6	1,4	1,7	1,54	1,7	1,3	0,4
2	1,6	1,4	1,6	1,3	1,8	1,54	1,8	1,3	0,5
3	1,3	1,3	1,4	1,5	1,4	1,38	1,5	1,3	0,2
4	1,8	1,3	1,4	1,6	1,7	1,56	1,8	1,3	0,5
5	1,6	1,5	1,6	1	1,9	1,52	1,9	1	0,9
6	1,2	1,3	1,7	1,2	1,6	1,4	1,7	1,2	0,5
7	1,2	1,6	1,4	1	1,3	1,3	1,6	1	0,6
8	1,8	1,6	1,6	1,7	1,5	1,64	1,8	1,5	0,3
9	1,4	1,8	1,4	1,2	1,3	1,42	1,8	1,2	0,6
10	1,6	1,3	1	1,5	1,4	1,36	1,6	1	0,6
11	2,1	2	2,5	1,7	2	2,06	2,5	1,7	0,8
12	1,4	1,8	1,2	1,9	1,5	1,56	1,9	1,2	0,7
13	1,1	2,2	1,4	1,6	1,8	1,62	2,2	1,1	1,1
14	1,2	1,8	1,1	1,2	1,4	1,34	1,8	1,1	0,7
15	1,4	2	1,5	1,5	1	1,48	2	1	1
16	2,1	1,6	1,6	1,8	1,1	1,64	2,1	1,1	1
17	1,9	1,4	1,9	0,3	0,8	1,26	1,9	0,3	1,6
18	0,9	0,6	1,6	2,3	2,3	1,54	2,3	0,6	1,7
19	1,3	1,6	1,7	1,8	2,2	1,72	2,2	1,3	0,9
20	0,8	1,8	1,3	1	1,9	1,36	1,9	0,8	1,1
SUMA						30,24	38	22,3	15,7
ŚREDNIA						2,88	1,9	1,115	0,785

Po zdefiniowaniu zmiennych, program tworzy wybraną kartę kontrolną. Kiedy zmiennymi są ciągle pomiary, powszechnie stosuje się dwa wykresy, które w połączeniu ze sobą tworzą kartę kontrolną  $X_{\bar{x}}-R$ . Pierwszy wykres pokazuje zmienność wartości średniej, drugi wykres bada rozstęp badanych wartości. Zbiór danych składa się z zestawu próbek określonych wartości wykonanych w różnych punktach czasu. Pionowa oś karty  $X$ -średnie wykazuje średnią z próbki badanej charakterystyki, natomiast karta  $R$  przedstawia rozstęp. Program Statistica samoczynnie wylicza granice kontrolne i rozstęp. W danym przypadku linia centralna dla karty  $X_{\bar{x}}-R$  wyniosła:  $LC = 0,78500$ , górna granica kontrolna:  $UCL = 1,9648$ , a dolna granica:  $LCL = 1,0592$ , co można odczytać z wykresu karty kontrolnej (rys.3.1.). Dodatkowo na wykresie można zaobserwować histogramy, które obrazują rozkład zmiennej. Położenie każdego punktu na wykresie jest rezultatem obliczonej wartości średniej w próbce. Punkty są symbolem poszczególnych próbek i są łączone ze sobą linią. Tytuł karty  $X$ -średnie zawiera takie dane jak: wartość średniej procesu i wartość linii centralnej. W tytule karty, która bada zmienność procesu, podana jest wartość odchylenia standardowego procesu. Na podstawie kształtu sporządzonych wykresów użytkownik jest w stanie stwierdzić, czy należy uznać proces za rozregulowany, co wpływa znacząco na jakość wyrobów. Podczas monitorowania procesu za pomocą wykresu karty kontrolnej zwrócono uwagę na to, czy jakkolwiek próbka wychyla się poza granice kontrolne oraz obserwowano trendy i nagłe zmiany w procesie. Na utworzonym wykresie powstałym na podstawie danych z tabeli 3.1. można zauważyć, iż od próbki nr 10 wartości zaczynają gwałtownie oddalać się od wartości średniej, a rozregulowanie procesu widoczne jest już przy próbce nr 11, która wykroczyła poza dolną granicę kontrolną. Zakłócenie, jakie występuje w próbce nr 11, zaznaczono za pomocą czerwonej kropki. Przyczynę występowania nieprawidłowości podczas procesu należy wyjaśnić, wyeliminować oraz na nowo utworzyć wykres kontrolny na podstawie zbioru danych zredukowanych. W tym wypadku przyczyną rozregulowania procesu może być brak kompetencji operatora maszyny, zmęczenie pracownika lub obecność osoby nadzorującej pracę, zużycie narzędzi. Zaproponowanym działaniem, które wyeliminowałoby daną przyczynę może być zapewnienie szkolenia w zakresie obsługi maszyn CNC dla obecnych operatorów, zajmujących się danym procesem, dodatkowa przerwa w pracy lub wymiana narzędzi na nowe. Tendencje do rozregulowania mogą wynikać z przyczyn sezonowych, takich jak temperatura.



Rys. 5. Karta kontrolna  $\bar{X}$ -R, proces rozregulowany [opr. Własne]

## PODSUMOWANIE

Stosowanie programu Statistica w zakresie sterowania procesem produkcyjnym za pomocą kart kontrolnych jest efektywne. Pozwala nie tylko na zaoszczędzenie czasu, gdyż program wykonuje wszystkie niezbędne obliczenia ale także na szybkie wykrycie możliwych niezgodności. Jednocześnie pozwala na szybką reakcję w celu eliminacji zidentyfikowanych przyczyn. Statystyczna kontrola procesu pozwala na bieżące monitorowanie procesu oraz ciągłe jego doskonalenie.

## LITERATURA

- [1] Corejowa T., Borkowski S., *Instrumenty rozwiązywania problemów w zarządzaniu*, WSZiM, Sosnowiec 2004.
- [2] Greber T., *Statystyczne sterowanie procesami – doskonalenie jakości z pakietem Statistica*, Kraków 2000.
- [3] Hamrol A., *Zarządzanie jakością z przykładami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [4] Hayter A.J. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Fourth Edition., USA 2012.

- 
- [5] **Hryniewicz O.**, *Efektywne statystyczne sterowanie procesami (SPC) z wykorzystaniem pakietu statistica*. StatSoft Polska, 2015
  - [6] **Iwasiewicz A.**, *Zarządzanie jakością w przykładach i zadaniach*, Śląskie Wydawnictwo Naukowe, Wyższa Szkoła Zarządzania i Nauk w Tychach, Tychy 2005.
  - [7] **Montgomery D.C.**, *Introduction to Statistical Quality Control*. Sixth Edition. John Wiley & Sons, Inc. USA 2009.
  - [8] **PN-EN ISO 9000:2015-10**, *Systemy zarządzania jakością -- Podstawy i terminologia*.
  - [9] **Salaciński T.**, *SPC, statystyczne sterowanie procesami produkcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
  - [10] **Szczepańska K.**: *Zarządzanie jakością*. W dążeniu do doskonałości, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2011, s. 22.
  - [11] **Wawak S.**, *Zarządzanie jakością- podstawy, systemy i narzędzia*, Wyd. HELION 2011.
  - [12] **Więcka J.**, [red.] *Zintegrowane zarządzanie*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2007;
  - [13] **Zymonik Z., Hamrol A., Grudowski P.**, *Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.

# MODELOWANIE PROCESÓW BIZNESOWYCH ZA POMOCĄ NOTACJI UML I BPMN

## 1. WPROWADZENIE

Dla przedsiębiorstwa funkcjonującego w oparciu o wiedzę, ważnym jest wdrożenie i realizowanie procesu zarządzania wiedzą (ZW) w celu rozwoju tej firmy. Zarządzanie dynamicznie zmieniającym się zasobem jest ciągłym wyzwaniem dla każdej instytucji. Prakash et al. (2011) twierdzi, że moc wiedzy jest bardzo ważnym źródłem zarówno dla osób fizycznych, jak i organizacji obecnie i w przyszłości. Warto zatem właściwie zrozumieć proces ZW, celem doskonalenia jego realizacji w przedsiębiorstwie. Definiuje się go następująco: (1) identyfikacja źródeł wiedzy, (2) definicja reguł do pozyskania wiedzy, (3) pozyskiwanie wiedzy, (4) magazynowanie wiedzy, (5) klasyfikacja wiedzy, (6) zrozumienie wiedzy, (7) użycie wiedzy, (8) zachowanie wiedzy, (9) podział wiedzy, (10) budowanie kultury organizacyjnej. Dla odpowiedniej realizacji tego procesu w przedsiębiorstwie należy podjąć działania prowadzące do identyfikacji i definicji każdego etapu. Według powszechnie znanego podziału (Nonaka, Takeuchi, 1995; Jashapara, 2006) w przedsiębiorstwie wyróżnia się pokłady wiedzy jawnej – sformalizowanej i skodyfikowanej, zawartej m.in. w dokumentacji, instrukcjach. Istnieje również wiedza ukryta, której źródłem są pracownicy wiedzy, a jej podstawą ich doświadczenie (Nonaka, Von Krogh, 2009). Nazywana się ją także wiedzą ekspercką lub techniczną. Postrzegana się ją jako motor działań odkrywczych i twórczych (Yang et al., 2009) identyfikowanych z działami badawczo-rozwojowymi (B+R) (Song et al., 2011; Patalas-Maliszewska, Śliwa 2017).

Kierownictwo przedsiębiorstwa produkcyjnego winno wspierać rozwój firmy poprzez właściwą realizację procesów biznesowych. Oznacza to postrzeganie przedsiębiorstwa jako całości, gdzie zadania poszczególnych działów skupiają się wokół celu – wytworzenia produktu (Polski Przemysł). W innowacyjnym przedsiębiorstwie z własnym działem B+R, czynności te opierają się głównie na prowadzeniu prac rozwojowych. Modelowanie procesów biznesowych pozwala na usprawnienie realizacji kroku 1, 2 i 3 cyklu ZW: „(1) Identyfikacja źródeł wiedzy”, a następnie „(2) Definicja reguł do pozyskania wiedzy”, co pozwala w efekcie na „(3) Pozyskiwanie wiedzy” i zwiększenia know-how przedsiębiorstwa. Dzięki temu wzrasta efektywność podejmowanych działań, co skutkuje przyspieszeniem realizacji nowych projektów. Dodatkowo podczas analizy procesów wewnątrz przedsiębiorstwa zachodzi czynność „mapowania wiedzy”, która opiera się na definicji informacjach wsadowych, ich właściwości i wzajemnych relacji (Pan et al., 2007).

Autorzy podejmując się tematyki dotyczącej modelowania procesów biznesowych w przedsiębiorstwie, sformułowali etapy zarządzania zasobem wiedzy, a następnie przybliżyli metody pozwalające na przedstawianie reprezentacji wiedzy. Na podstawie działań prowadzonych w dziale B+R, zamodelowano realizację zadań biznesowych opartych na wiedzy technicznej w tym dziale, przy użyciu notacji UML i BPMN.

## 2. MODEL PROCESU ZARZĄDZANIA WIEDZĄ UKRYTĄ

Zarządzanie wiedzą ukrytą (ZWu) zgromadzoną w kadrze pracowniczej wymaga zaangażowania struktur informatycznych uposażonych w moduły optymalizujące i obliczeniowe. Jednakże istota, pierwszych etapów pracy z wiedzą techniczną polega na inteligentnym powiązaniu subtelnych sygnałów, przeczuciu, nieformalnych rozmowach czy obserwacjach. Świadoma realizacja cyklu ZW, skutkuje zachowaniem wiedzy eksperckiej w przedsiębiorstwie, co pozwala na szybszą realizację projektów. Proces ZW techniczną opisano w 10 krokach.

**Krok 1: Identyfikacja źródeł wiedzy** w wyniku użycia dostępnych w przedsiębiorstwie metod i narzędzi. Według Pohl, Hadorn and Bammer (2010) identyfikacja zasobu w aspekcie przydatności do procesu badawczego utożsamiana jest z pytaniami systematyzującymi „Jaki to jest przypadek?”, celu „Co powinno zostać osiągnięte?” i transformacji: „Jak można dokonać pożądaney zmiany?”. Jej lokalizacja może tkwić w technologiach, procesach, produktach, a także zgromadzona w umysłach, relacjach międzyludzkich (Mikuła, 2011).

**Krok 2: Definicja reguł.** Operacja niezbędna do wskazania rodzajów, typów, formatów dla wiedzy, celem pozyskiwania danych i informacji uważanych za potencjalnie wartościowe. Rozpatrywana wiedza musi być jak najlepiej wyselekcjonowana. W przeciwnym razie produkty intelektualne generowane na następnych poziomach będą niższej jakości (Dalkir, 2005). Przy planowaniu pozyskiwania wiedzy do systemu należy przewidzieć formy jej reprezentacji oraz jej indeksacji według ustandaryzowanych reguł.

**Krok 3: Pozyskiwanie wiedzy** odbywa się przy pomocy zaprojektowanych metod i narzędzi mających na celu sformalizowanie wiedzy pochodzącej ze źródeł zewnętrznych i wewnętrznych (Prodan, Svetina, 2008). Pozyskiwanie wiedzy nie jest możliwe bez bezpośredniego kontaktu pracownika ze źródłem wiedzy, np. udział w szkoleniach, jak i przy nieformalnych kontaktach z ekspertami (Mikuła, 2011).

**Krok 4. Magazynowanie wiedzy** jest konsekwencją pozyskiwania każdej wiedzy, która powiązana jest z zglębioną tematyką.

**Krok 5: Klasyfikacja wiedzy.** Zgodnie z cyklem KM proponowanym przez McElroy (2000) można ją przyrównać do procesu walidacji. Według logiki rozpatrywana jako: restrukturyzacja, indeksacja i integracja, co wspomagają techniki klasyfikujące. Pozwalają one na systematykę obiektów, reguł a także wykrywanie nowych rodzajów wiedzy (anomalii). Środki wspomagające klasyfikację winny być postrzegane jako pierwszy krok w automatyzacji zrozumienia wiedzy (Fish et al, 2016).

**Krok 6: Zrozumienie wiedzy** – polega na akceptacji i zaufaniu do pozyskiwanej wiedzy – przyjęciu za pewnik. Zrozumienie to także logiczne uporządkowanie zasobu wiedzy u jej odbiorcy, wytworzeniu i osadzeniu jej w kontekście. Voronin et al (2015)



twierdzi, że w tym sensie rozumienie jest pozyskiwaniem umiejętności kognitywnej. Powołując się na Chisholm (1977) i Sosa (2007) panuje pogląd, że rozumienie jest ważniejsze niż wiedza, ponieważ implikuje złożone procesy oparte na inteligencji.

**Krok 7: Użycie wiedzy** – etap nawiązuje do spotykanej w literaturze „dystrybucji wiedzy”, a następnie jej aplikacji (Wang et al, 2017). Pierwsze w kolejności <stosowanie wiedzy> następuje w sytuacjach wzorcowych, typowych. Kolejnym krokiem jest jej stosowanie w przypadkach problemowych – co stanowi <końcowy etap> procesu uczenia się (Dalkir, 2005; Niemierko, 2005). W strukturach informatycznych używanie może być związane z tymczasowym zapisem wiedzy, który poddawana jest reinterpretacji (np. algorytm genetyczny, który generuje nową populację przekazując jej najlepsze cechy (Chakraborty et al, 2017)) w otoczeniu nowej wiedzy.

**Krok 8: Zachowanie wiedzy.** Celem etapu jest wybiórczy zapis tylko użytecznej i nowej wiedzy. Dodawanie jej do bazy i nadpisywanie wcześniej pozyskanych informacji powinno nastąpić po ostatecznym zatwierdzeniu jej poprawności przez decydenta (kierownictwo).

**Krok 9: Podział wiedzy** stanowi istotę transferu wiedzy (Kanat, Atilgan, 2014) zaraz obok jej pozyskania. W ludzkich kontaktach dużą rolę odgrywa zaufanie i integracja w stosunku do otoczenia i odbiorcy wiedzy (Olaisen, Revang, 2017). W wypadku algorytmów podział wiedzy można utożsamiać z kontrolowanym przekazywaniem jej wewnątrz własnej struktury, pomiędzy zróżnicowanymi modułami (np. systemy klasy ERP).

**Krok 10: Budowanie kultury organizacyjnej** – wdrożenie systemów wspomagających zarządzanie wiedzą zmienia postrzeganie wiedzy wśród pracowników. Wymaga traktowania zasobu według ustalonych zasad przy jednolitej indeksacji, wykorzystywania i popierania swoich decyzji analizami dostępnej wiedzy. Poprzez wytworzenie w pracownikach świadomości podejmowania zdefiniowanych działań związanych z KM, podział wiedzy przy pomocy wewnętrznych baz i stron stają się nieodłącznym elementem kultury organizacji oraz uczenia się wiedzy (Lopez-Nicolas, Soto-Acosta, 2010).

W rozważanym przedsiębiorstwie produkcyjnym zamodelowano za pomocą notacji BPMN procesy realizowane w dziale badawczo-rozwojowym. Zastosowanie takich modeli w firmie usprawni realizację procesu ZW: Krok 1: Identyfikacja źródeł wiedzy i Krok 2: Definicja reguł do pozyskania wiedzy, co w efekcie pozwala na realizację Kroku 3: Pozyskiwania wiedzy i zwiększenia know-how przedsiębiorstwa. Poniżej zaprezentowano wybrane metody modelowania procesów biznesowych.

### 3. METODY MODELOWANIA PROCESÓW BIZNESOWYCH

Jedną z pierwszych metod wykorzystujących graficzną reprezentację procesów, były diagramy przepływu danych DFD (Data Flow Diagrams) (Olczyk, 2010), w których systemy są reprezentowane jako procesy połączone przepływami danych, nie wyróżniające definicji obiektów. W projektowaniu systemów stosowana jest notacja UML (Unified Modeling Language). Jest to graficzny standard formalnego opisu wykorzystujący szereg diagramów o różnym przeznaczeniu, wśród których wyróżnić można (Wrycza, 2006):

- Diagram przypadków użycia – przedstawia funkcjonalności systemu oraz przypadki ich użycia przez aktorów (użytkowników), a także związki między nimi.

- Diagram aktywności (czynności) – pozwala opisywać procesy, w których udział bierze kilku użytkowników, pozwala przedstawiać sekwencje kroków w danym fragmencie systemu.
- Diagram klas – diagram strukturalny, pozwalający zobrazować zbiór klas obiektów oraz związków między nimi.
- Diagram sekwencji – pozwala prezentować zachodzące w czasie interakcje pomiędzy obiektami wraz z przesyłanymi pomiędzy nimi komunikatami.

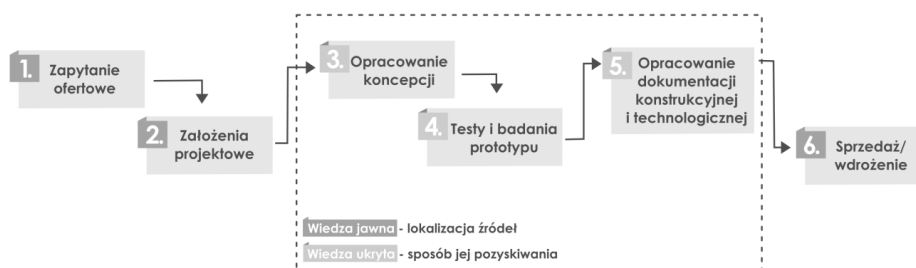
W oparciu o standard opracowany przez Stephena White (2004) opracowano graficzną notację opisu procesów biznesowych o nazwie BPMN (Business Process Modeling Notation), która jest rozwijana przez Object Management Group [OMG]. Diagramy w notacji BPMN mogą zawierać 4 rodzaje elementów (Szczurba, 2017).

- Obiekty przepływu pracy – stanowią podstawę diagramu i pozwalają określić podstawowe zachowania modelowanych obiektów. Wśród nich wyróżnić można:
  - zdarzenia: początkowe, pośrednie, końcowe,
  - czynności: zadania, podprocesy
  - bramki (rozgałęzienia): XOR, OR, AND, złożone
- Obiekty łączące – pozwalają przedstawiać związki pomiędzy elementami w przepływie: przyływy sekwencji, przepływy komunikatów, asocjacje.
- Obiekty grupujące – grupują elementy diagramu na poziomie tzw. basenów (reprezentujących np. modelowaną organizację) oraz torów (reprezentujących aktorów).
- Artefakty – elementy, które rozszerzają diagram: obiekty danych, grupy, adnotacje.

W celu zastosowania wyróżnionych do zamodelowania procesów biznesowych realizowanych w przedsiębiorstwie produkcyjnym w dziale badawczo-rozwojowym należy zdefiniować te działania w firmie.

### **3. PROCESY BIZNESOWE REALIZOWANE W DZIALE BADAWCZO-ROZWOJOWYM**

W przedsiębiorstwie produkcyjnym z własnym działem B+R, realizację procesu biznesowego inicjuje wpłynięcie zapytania ofertowego powiązanego z prowadzeniem działań wstępnych. Określenie wymagań i definicja warunków brzegowych opiera się głównie na wiedzy jawnej, czyli na wytycznych wynikających z dokumentacji technicznej udostępnionej przez klienta (Rys. 1). Obszar od kroku 3 do 4 – opracowanie koncepcji i prototypu bazuje na procesach twórczych, analizach i wyborach optymalnych rozwiązań, zatem dominuje w nim wiedza ukryta, która przenika się z wiedzą jawną (Kromer, 2008). Podczas opracowania dokumentacji technicznej wzrasta użycie już skodyfikowanej wiedzy ukrytej, aczkolwiek dobranie parametrów wytwórczych i opracowanie procesów montażu, czy zaprojektowanie specjalnych urządzeń wspomagających użytkownika (np. dedykowany klucz) w ciągu dalszym wymaga pokładów wiedzy eksperckiej. Ostatnim krokiem jest produkcja wyrobu i jego sprzedaż, wdrożenie.



Rys. 1. Proces projektowy – kaskadowy w dziale B+R, na podstawie: Bonecki, 2014

W procesie projektowym jako źródła wiedzy jawnej wymienia się:

- ogólnodostępną wiedzę konstrukcyjną i techniczną pozyskaną w procesie edukacji, zawartą w książkach, w Internecie, w patentach, itp.
- wiedzę ekspercką zgromadzoną w wewnętrznych bazach danych, dziennikach dobrych praktyk, intranecie, forach wymiany wiedzy, normach, ekspertyzach, poradach itp.
- wiedzę zgromadzoną w dokumentacji technicznej realizowanych projektów, procedurach, instrukcjach.

Źródła wiedzy ukrytej w dziale B+R to:

- wiedza inżyniera projektu oparta na doświadczeniu w realizacji podobnych zadań,
- nieformalne rozmowy pracownicze, wymiany myśli, burze mózgow, sugestie przekazywane poprzez metafory,
- obserwacje pracy eksperta (bezpośrednio lub z nagrań).

Według ujęcia wdrożonego w badanym przedsiębiorstwie MŚP, działania B+R podzielone są na 5 etapów. W procedurze projektowej, stanowiącej uzupełnienie procesu, zwraca się szczególną uwagę na zapobieganie błędom.

## I Działania wstępne

### Identyfikacja potrzeb

Osoby odpowiedzialne: V-ce prezes, Główny konstruktor; dodatkowo: inżynier projektu, główny technolog, szef produkcji, V-ce prezes, pełnomocnik ds. jakości, zaopatrzeniowiec, klient.

Efekt: ustalenia dot. wymagań funkcjonalnych, parametrów wyrobu, regulacji prawnych, możliwości i ograniczenia technologiczne i wykonawcze, ewentualne problemy logistyczne i zaopatrzeniowe, analiza opłacalności.

Sporządzone dokumenty: protokół spotkania, wpis do rejestru projektów.

Etap następny jeśli: pozytywna decyzja o przystąpieniu do projektu.

### Identyfikacja danych wejściowych

osoby odpowiedzialne: inżynier projektu.

Efekt: tworzy zbiór założeń projektowych, danych wejściowych, wymagań, przeprowadza analizę podobnych rozwiązań, itp.

Sporządzone dokumenty: Założenie i wymagania projektowe.

Etap następny jeśli: brak przeciwwskazań.

## II Projektowanie wstępne

### **Zatwierdzenie założeń**

Osoby odpowiedzialne: V-ce prezes, Główny konstruktor, inżynier projektu.

Efekt: akceptacja przygotowanych założeń projektowych.

Sporządzone dokumenty: protokół spotkania.

Etap następny jeśli: zatwierdzenie / ewentualna korekta.

### **Opracowanie koncepcji, i wybór optymalnej**

Osoby odpowiedzialne: V-ce prezes, Główny konstruktor, inżynier projektu.

Efekt: akceptacja i wybór jednej koncepcji.

Sporządzone dokumenty: protokół spotkania.

Etap następny jeśli: akceptacja koncepcji / ewentualna korekta.

### **Opracowanie dokumentacji projektowej prototypu**

Osoby odpowiedzialne: inżynier projektu; dodatkowo: szef produkcji, główny technolog

Efekt: opracowanie dokumentacji prototypu, zamodelowanie prototypu, sporządzanie rysunków wykonawczych, wybór technologii wytworzenia prototypu.

Sporządzone dokumenty: modele i rysunki CAD, identyfikacja cech specjalnych.

Etap następny jeśli: brak przeciwwskazań.

### **Opracowanie harmonogramu działań projektowo – wytwórczych**

Osoby odpowiedzialne: V-ce prezes, Główny konstruktor, inżynier projektu.

Osoby zaangażowane: główny konstruktor, konstruktor prowadzący, główny technolog, szef produkcji, V-ce prezes, pełnomocnik ds. jakości, zaopatrzeniowiec.

Efekt: opracowanie dokumentacji prototypu, zamodelowanie prototypu, sporządzanie rysunków wykonawczych, wybór technologii wytworzenia prototypu.

Sporządzone dokumenty: harmonogram działań, analiza wykonalności.

Etap następny jeśli: pozytywna analiza wykonalności/ redefinicja założeń lub danych wejściowych.

## III Wykonanie prototypu

### **Wykonanie prototypu**

Osoby odpowiedzialne: V-ce prezes, szef produkcji, pełnomocnik ds. jakości, inżynier projektu

Efekt: wykonanie prototypu.

Sporządzone dokumenty: raport.

Etap następny jeśli: brak przeciwwskazań.

### **Badanie prototypu**

Osoby odpowiedzialne: V-ce prezes, inżynier projektu; dodatkowo: pracownik działu jakości /laborant.

Efekt: badanie prototypu.

Sporządzone dokumenty: raport z badań.

Etap następny jeśli: akceptacja wyników badań.

#### IV Wykonanie wzoru

##### **Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej wzoru**

Osoby odpowiedzialne: inżynier projektu.

Efekt: dokumentacja techniczna.

Sporządzone dokumenty: rysunki CAD, specyfikacja techniczna.

Etap następny jeśli: akceptacja dokumentacji przez V-Prezesa.

##### **Sporządzenie protokołów do kontroli wymiarów**

Osoby odpowiedzialne: inżynier projektu, szef produkcji.

Efekt: protokół kontroli wymiarów.

Sporządzone dokumenty: protokół kontroli wymiarów.

Etap następny jeśli: brak przeciwwskazań.

##### **Wykonanie wzoru**

Osoby odpowiedzialne: inżynier projektu, szef produkcji.

Efekt: wykonanie partii próbnej.

Sporządzone dokumenty: protokół pomiarów.

Etap następny jeśli: brak przeciwwskazań.

##### **Badanie wzoru**

Osoby odpowiedzialne: inżynier projektu, pełnomocnik do spraw jakości.

Efekt: badanie produktów.

Sporządzone dokumenty: formularz wzorca.

Etap następny jeśli: brak przeciwwskazań.

##### **Wysłanie do klienta**

Osoby odpowiedzialne: inżynier projektu; dodatkowo: V-ce Prezes

Efekt: wysłanie produktów do akceptacji u klienta.

Sporządzone dokumenty: formularz wzorca lub inna pisemna deklaracja klienta

Etap następny jeśli: akceptacja klienta /ewentualne poprawki.

##### **Sporządzenie ostatecznej dokumentacji dla klienta**

Osoby odpowiedzialne: inżynier projektu, V-ce Prezes.

Efekt: kompletowanie dokumentacji.

Sporządzone dokumenty: dokumentacja CAD, dokumentacja techniczna, specyfikacja wyrobu, instrukcja użytkowania, gwarancji, montażu, demontażu itp.

Etap następny jeśli: brak przeciwwskazań.

#### V Wydanie dokumentacji konstrukcyjnej na produkcję

##### **Zatwierdzenie dokumentacji konstrukcyjnej**

Osoby odpowiedzialne: inżynier projektu, V-ce Prezes

Efekt: zatwierdzanie dokumentacji.

Sporządzone dokumenty: dokumentacja CAD, dokumentacja techniczna, specyfikacja wyrobu, instrukcja użytkowania, gwarancji, montażu, demontażu itp., procedury produkcji – archiwizacja dokumentacji.

Etap następny jeśli: akceptacja kompletnej dokumentacji.

##### **Przekazanie dokumentacji na produkcję**

Osoby odpowiedzialne: inżynier projektu, szef produkcji.

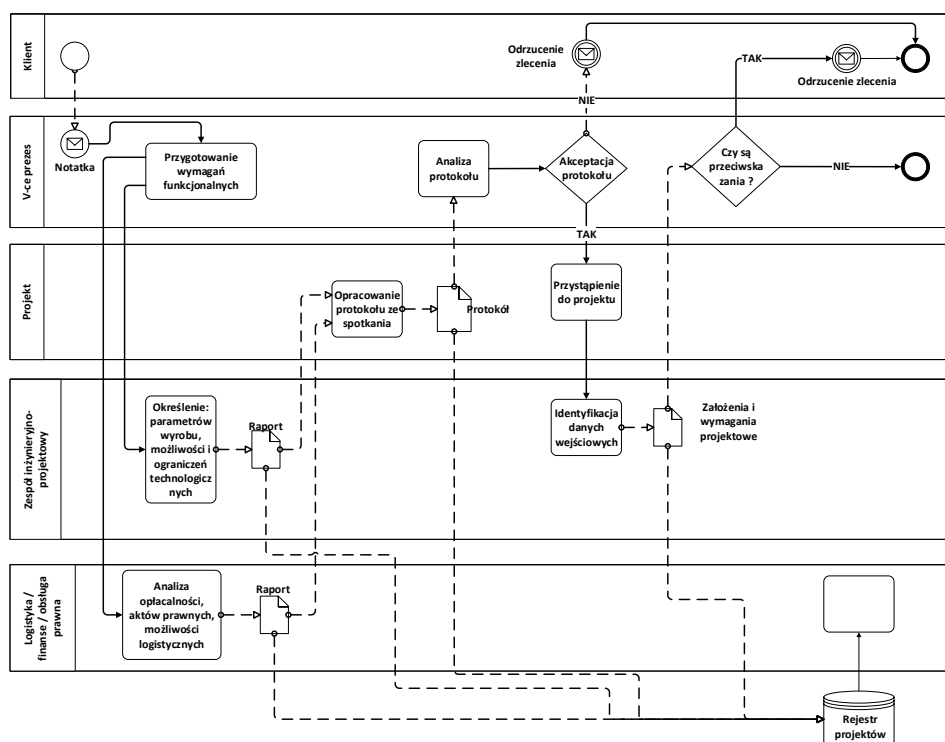
Efekt: wydanie kopii dokumentacji konstrukcyjnej.

Sporządzone dokumenty: wpis do rejestru dokumentacji wydanej na produkcję.

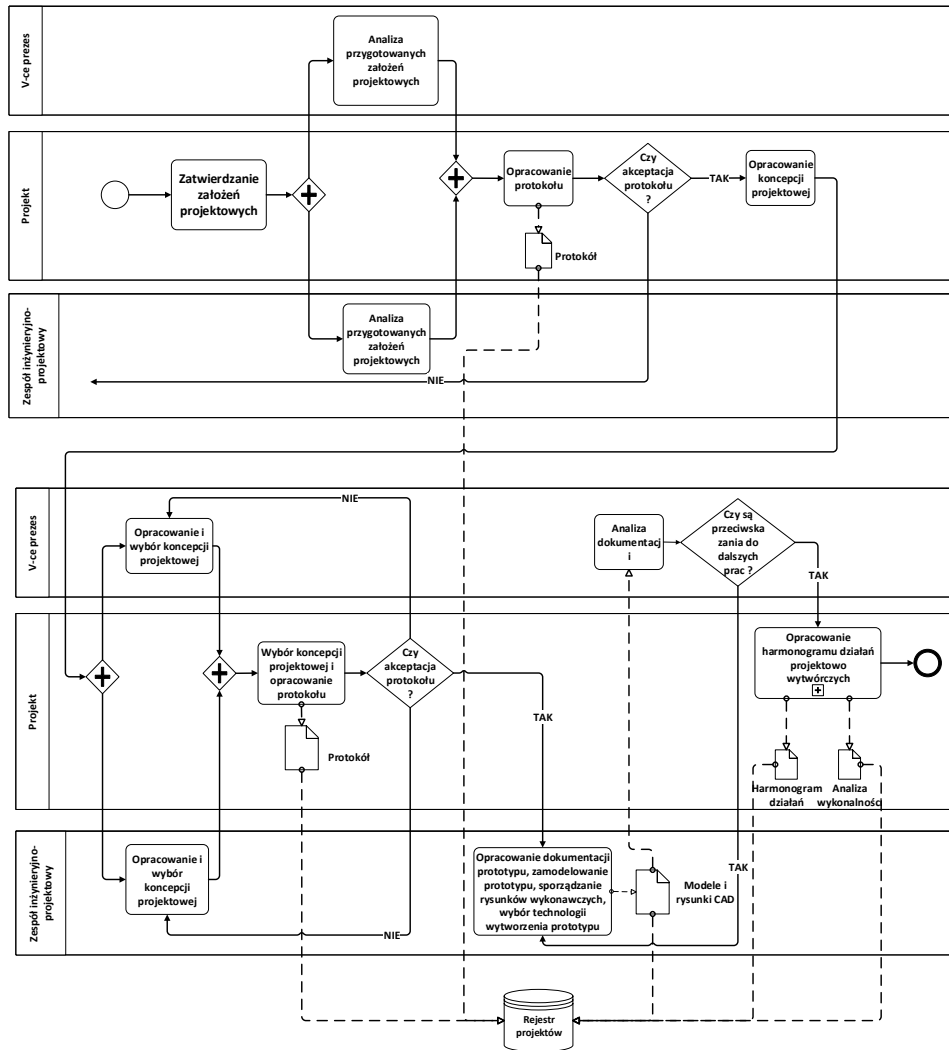
#### 4. MODELOWANIE PROCESÓW BIZNESOWYCH ZA POMOCĄ NOTACJI UML I BPMN

W celu przygotowania firmy do wdrożenia procesu ZW, wyróżnione w rozdziale 3 działania prowadzone w sekcji B+R zaprezentowano za pomocą notacji BPMN (etap I i III) i UML (etap II i III).

Przy użyciu BPMN (Rys. 2) zamodelowano proces oznaczony jako **działania wstępne**, a na Rys. 3 – **projektowanie wstępne**.

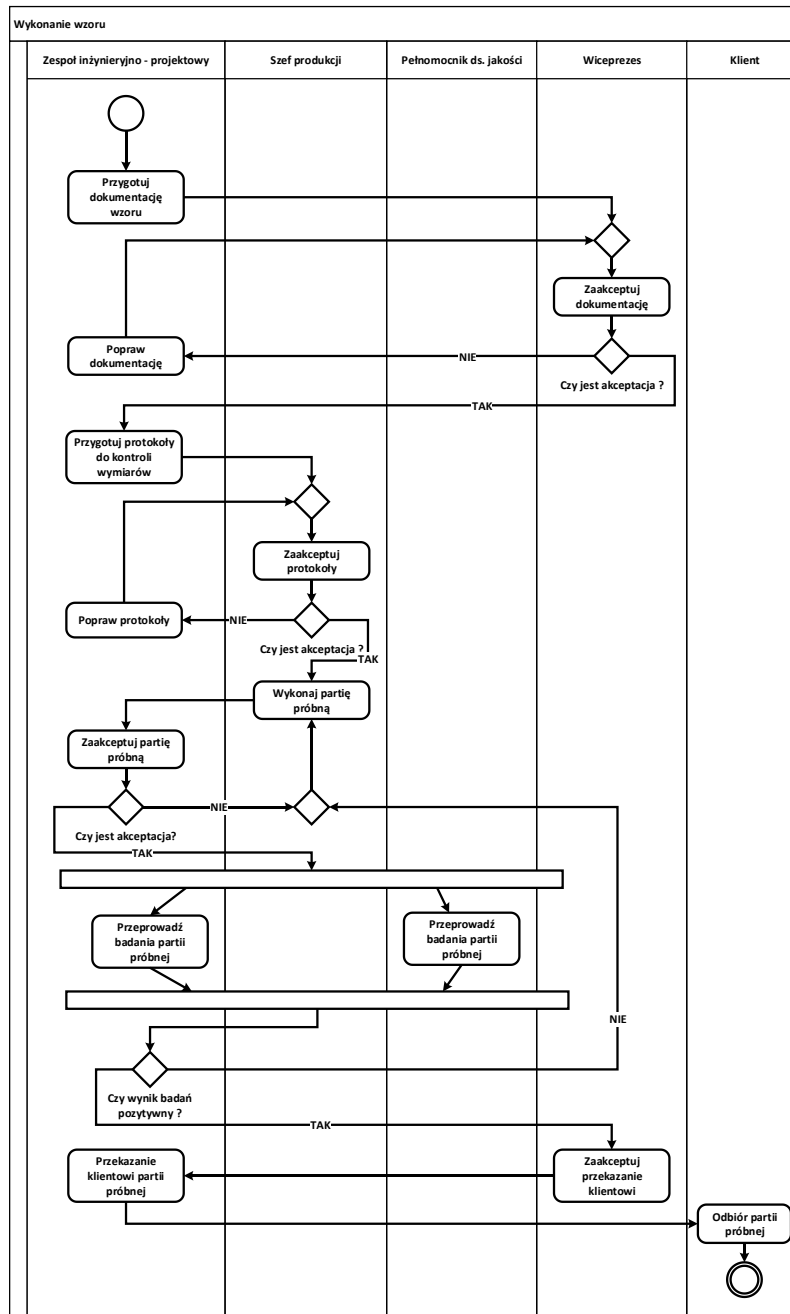


Rys. 2. Diagram sekwencji dla procesu *działania wstępne*



Rys. 3. Diagram sekwencji dla procesu projektowanie wstępne

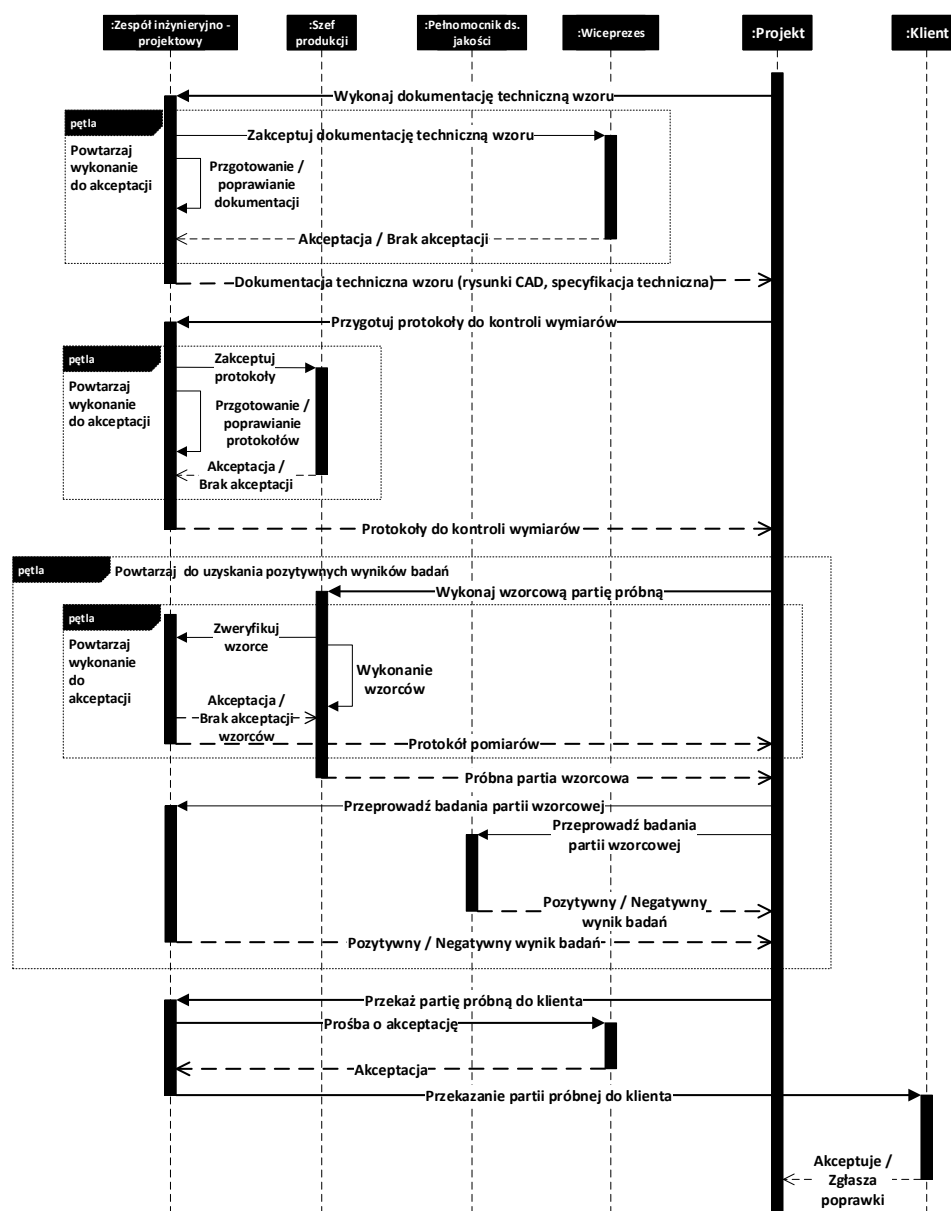
Do zaprezentowano diagramu aktywności dla procesu **wykonanie prototypu** użyto notacji UML (Rys. 4).



Rys. 4. Diagram aktywności dla procesu wykonania prototypu



Na rysunku 5 zaprezentowano ponownie proces wykonania prototypu, zamodelowany przy wykorzystaniu diagramu sekwencji.



Rys. 5. Diagram sekwencji dla procesu wykonania prototypu

Modelowanie procesów biznesowych wspomaga realizację procesu zarządzania wiedzą w przedsiębiorstwie. W pierwszym etapie projektowania diagramów należy zlokalizować źródła wiedzy ukrytej, czyli osoby odpowiedzialne za realizację poszczególnych zadań. Następnie, istotne jest zrozumienie zależności pomiędzy nimi. Definicja reguł, nawiązująca do wskazania relacji (możliwych do wyrażenia także jako tekst w języku XML – XPDŁ lub BPEŁ) (Śliwczyński, 2015), zostaje przełożona na wizualizację. Zamodelowany proces pozwala na przyporządkowanie zadania do osoby odpowiedzialnej lub na wskazanie obszaru oddziaływania. Model uwypukla również obszar pętli procesów biznesowych. Używanie w diagramie znormalizowanych kształtów zapewnia szybką interpretację działań opartych na akceptacji (decyzji) wraz ze wskazaniem rodzaju powstałej dokumentacji (UML). Równocześnie warto zaznaczyć, że modelowanie za pomocą notacji UML i BPMN może wykorzystywać gotowe słowniki kluczowych haseł zawartych w danej dziedzinie (np. realizacja projektów, praca B+R). Zaletę stanowi również łatwa edycja diagramów w każdej fazie jego rozwoju.

## 5. POSUMOWANIE

Nowoczesne przedsiębiorstwa, by zachować konkurencyjną pozycję, zobligowane są do wykorzystywania narzędzi wspomagających zarządzanie wiedzą. Działania te są ściśle powiązane z otrzymaniem korzyści, które prowadzą do oszczędności finansowych (Tabaszewska, 2008). W związku z tym, należy zrozumieć i wdrożyć zachowania wspomagające realizację procesu ZW. Celem kierownictwa jest z jednej strony optymalizacja dostępu do wiedzy jawnej zgromadzonej już w organizacji, a z drugiej wydobywanie eksperckiej (zw. ukrytej), niezbędnej do lokalizacji elementów budujących procesy biznesowe. Dzięki doświadczeniu pracowników, możliwym jest wskazanie źródeł wiedzy, wraz z definicją reguł i zależności jakie między nimi występują. Pozyskanie wiedzy technicznej oznacza jej formalizację i zachowanie w postaci tekstu lub grafiki. Narzędziami wspomagającymi modelowanie procesów są m. in. notacje typu UML oraz BPMN, reprezentowane przez skończony zestaw symboli (Żytniewski, Zadora, 2013). Umożliwia to definiowanie: reguł dla poszczególnych etapów procesu, przynależności do źródła wiedzy, zdarzeń decyzyjnych, sekcji czy pętli. Tak zaprojektowane modele dostosowane są do łatwej edycji, przekształcania. Zachowanie wzorców za pomocą narzędzi do reprezentacji wiedzy pozwala na jej jednoznaczną interpretację możliwą do intuicyjnego odczytania zarówno przez nowych, jak i pozostałych pracowników.

## LITERATURA

- [1] **Bonecki M.:** *Zwinne podejście do zarządzania procesem badawczo-rozwojowym*. Studia Metodologiczne, 32/2014, pp. 149-163.
- [2] **Chakraborty S., Chattopadhyay P.P., Ghosh S.K., Datta S.:** *Incorporation of prior knowledge in neural network model for continuous cooling of steel using genetic algorithm*. Applied Soft Computing 58/2017, pp. 297–306.

- [3] **Chisholm R.:** *Theory of Knowledge* (2nd Ed.). New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1977.
- [4] **Dalkir K.:** *Knowledge management knowledge management in theory and practice*. Elsevier, Oxford, 2005.
- [5] **Fisch D., Gruhl C., Kalkowski E., Sick B., Ovaskac S.J.:** *Towards automation of knowledge understanding: An approach for probabilistic generative classifiers*. *Information Sciences*, nr. 370–371/2016, pp. 476–496.
- [6] **Hadorn G.H., Pohl C., Bammer G.:** *Solving problems through transdisciplinary research*. W: *The Oxford handbook of interdisciplinarity*, R. Frodeman (Ed.), Oxford: Oxford University Press, 2010, pp. 431–452.
- [7] **Jashapara A.:** *Zarządzanie wiedza*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2006.
- [8] **Kanat S., Atilgan, T.:** *Effects of knowledge management on supply chain management in the clothing sector: Turkish case*. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 103/2014, pp. 9–13.
- [9] **Kromer B.:** *Wiedza jako podstawowy czynnik funkcjonowania organizacji inteligentnej*. *Zeszyty Naukowe Wydziału Nauk Ekonomicznych Politechniki Koszalińskiej*, 12/2008, pp. 93–99.
- [10] **Lopez-Nicolas C., Soto-Acosta P.:** *Analyzing ICT adoption and use effectson knowledge creation: An empirical investigation in SMEs*. *International Journal of Information Management*, 30(6)/2010, pp. 521–528.
- [11] **McElroy M. W.:** *The New Knowledge Management, Knowledge and Innovation*. *Journal Of The Kmci*, Vol. 1, No 1/2000, pp. 43–67.
- [12] **Mikula B.:** *Transfer wiedzy w organizacji*. W: *Komunikacja w procesach zarządzania wiedzą*, red. A. Potocki, Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków, 2011, pp. 59–76.
- [13] **Niemierko B.:** *Ocenianie szkolne bez tajemnic*, WSiP, Warszawa, 2005.
- [14] **Nonaka I., Takeuchi H.:** *The knowledge-Creating company. How Japanese Companies Create the Dynamic of Innovation*. Oxford University Press, New York, 1995.
- [15] **Nonaka I., Von Krogh G.:** *Tacit Knowledge and Knowledge Conversion: Controversy and Advancement in Organizational Knowledge Creation Theory*. *Organization Science*, Vol. 20, No /2009, pp. 635–652.
- [16] **Object Management Group,** *Business Process Model and Notation*, <http://www.bpmn.org/> [dostęp: 23.09.2017].
- [17] **Olaisen J, Revang O.:** *The dynamics of intellectual property rights for trust, knowledge sharing and innovation in project teams*. *International Journal of Information Management*, 37/2017, pp. 583–589.
- [18] **Olczyk D.:** *Modelowanie strukturalne: definicje notacja techniki i narzędzia*. *Zeszyty Naukowe Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki*, 2010.
- [19] **Pan X., Wang J., Liu L.:** *Knowledge Sharing Model based on Concept Clustering*. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 27(2)/2007, pp. 126–132.

- [20] **Patalas-Maliszewska J., Śliwa M.:** *The Role of Knowledge Acquisition in a Company—Research Results from German and Polish Manufacturing Companies*. Foundations of Management, 9(1)/2017, pp. 87-98.
- [21] **Polski Przemysł:** <https://polskiprzemysl.com.pl/efektywna-organizacja/procesy-biznesowe-czyli-jak-inaczej-myslec-o-firmie/> [dostęp: 24.09.2017].
- [22] **Prakash A., Chan F.T.S., Deshmukh S.G.:** *FMS scheduling with knowledge based genetic algorithm approach*. Expert Systems with Applications, 38/2011, pp. 3161–3171.
- [23] **Prodan I., Svetina A.C.:** *How Internal and External Sources of Knowledge Contribute to Firms' Innovation Performance*. Managing Global Transitions, 6(3)/2008, pp. 277–299.
- [24] **Song J., Asakawa K., Chu Y.:** *What determines knowledge sourcing from host locations of overseas R&D operations?: A study of global R&D activities of Japanese multinationals*. Research Policy, 40/2011, pp. 380–390.
- [25] **Sosa E.:** *Virtue Epistemology: Apt Belief and Reflective Knowledge*. University Press, Oxford, 2007.
- [26] **Szczerba B.:** *Wykorzystanie notacji BPMN jako metody wspomagającej automatyzację procesów na przykładzie zarządzania reklamacjami w branży motoryzacyjnej*. Zarządzanie Przedsiębiorstwem, 1/2017, pp. 30-35.
- [27] **Śliwczyński B.:** *Środowisko informatyczne modelowania i symulacji zarządzania przepływem materiałów*, Modelowanie systemu zarządzania przepływem materiałów i oceny efektywności procesów, Wyższa Szkoła Logistyki, 2015.
- [28] **Tabaszewska E.:** *Nowoczesne koncepcje zarządzania – zarządzanie wiedzą*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław, 2008.
- [29] **Voronin M., Belousova V., Manskov S., Proskurin E., Khalina N.:** *Understanding Knowledge in Linguistic Theory and Educational Process*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 214/2015, pp. 1139 – 1146.
- [30] **Wang M., Zheng M., Tian L., Qiu Z., Li X.:** *A full life cycle nuclear knowledge management framework based on digital system*. Annals of Nuclear Energy, 108/2017, pp. 386–393.
- [31] **White S. A.:** *Introduction to BPMN*. IBM Cooperation 2.0, 2004
- [32] **Wrycza S., Marcinkowski B., Wyrzykowski K.:** *Język UML 2.0 w modelowaniu systemów informatycznych*. Wyd. Helion, Gliwice, 2006.
- [33] **Yang S.C., Farn C.K.:** *Social capital, behavioural control, and tacit knowledge sharing – A multi-informant design*. International Journal of Information Management, 29/2009, pp. 210–218.
- [34] **Żytniewski M., Zadora P.:** *Modelowanie procesów biznesowych z użyciem notacji BPMN*. Studia Ekonomiczne. Wyzwania w rozwoju podstaw metodycznych projektowania systemów informatycznych zarządzania, nr 128/2013, pp. 195-210.

# OCENA EFEKTYWNOŚCI PROCESU PRODUKCYJNEGO

## 1. WPROWADZENIE

Efektywność funkcjonowania przedsiębiorstw wymaga odpowiednich pomiarów w różnych obszarach ich działalności. Efektywność organizacyjna rozumiana jest jako zdolność firmy do adaptacji zmian w otoczeniu oraz zdolność do racjonalnego wykorzystania posiadanych zasobów dla realizacji celów strategicznych [7]. Produktywność natomiast jest definiowana jako stosunek wielkości produkcji do ilości wykorzystanych lub zużytych w tym okresie zasobów wejściowych w zadanym okresie [3]. Można określić produktywność nie tylko całego przedsiębiorstwa, ale również produktywność poszczególnych obszarów działalności firmy, m.in.: produktywność pracy, produktywność aparatury, produktywność powierzchni roboczej.

W artykule scharakteryzowano metody i narzędzia, których zastosowanie w przedsiębiorstwie produkcyjnym pozwoli na dokonanie oceny efektywności zarówno całej firmy, jak i poszczególnych obszarów jej działalności. Następnie szczegółowo zaprezentowano przykład pokazujący zastosowanie metody *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dla procesu produkcyjnego realizowanego w przedsiębiorstwie produkcyjnym.

## 2. WYBRANE METODY OCENY EFEKTYWNOŚCI PROCESU PRODUKCYJNEGO

W niniejszym rozdziale scharakteryzowano wybrane metody oceny efektywności procesów produkcyjnych.

Koncepcja Lean Manufacturing ma na celu ograniczanie marnotrawstwa oraz eliminację niepotrzebnych operacji i procedur w procesie produkcji, jednocześnie dostarczając produkty i usługi o jak najwyższej jakości oczekiwanej przez klientów zachowując niskie koszty produkcji i wykorzystując relatywnie niską ilość surowców [5]. W wyniku wdrożenia tej koncepcji w przedsiębiorstwie można osiągnąć następujące efekty: ograniczenie lub wyeliminowanie operacji nie przynoszących wartości dodanej, znaczące zmniejszenie zaangażowania kapitału obrotowego, zamrożonego w procesie produkcyjnym (zapasy, nadprodukcja, itp.), usprawnienie procesu podejmowania decyzji, planowania, nadzorowania, elastyczność w tworzeniu i dostarczaniu produktu (różne modele, wersje, odmiany produktu, poprawienie jakości, optymalizację przepływu informacji [1].

Poniżej, na wykresie nr 1 zaprezentowano zastosowanie koncepcji Lean Manufacturing w przedsiębiorstwach produkcyjnych w zależności od branży.



Wykres 1. Zastosowanie koncepcji Lean Manufacturing w przedsiębiorstwach produkcyjnych w zależności od branży (Lean Enterprise Institute)

Na metodę 5S składają się następujące elementy: selekcja - Seiri – Sorting, systematyka – Seiton – Simplify, sprzątnięcie – Seiso – Spotless, standaryzacja – Seiketsu – Standardise, samodyscyplina – Shitsuke – Sustain [6]. Metoda 5S wskazuje jak zorganizować przestrzeń roboczą w sposób skuteczny i efektywny. Efekt taki można osiągnąć poprzez identyfikację i przechowywanie wszelkich przedmiotów prac, narzędzi, wyposażenia, zapasów w sposób uporządkowany i zwizualizowany. Wdrożona metoda 5S powoduje także wzrost ergonomii pracy oraz przyczynia się do zmniejszenia liczny zapasów na stanowisku pracy.

Metoda zarządzanie przez jakość (Total Quality Management – TQM) ma na celu zdefiniowane zadowolenia klienta oraz korzyści dla organizacji i jej członków oraz dla społeczeństwa [2]. Metoda TQM opiera się na założeniu zaangażowania każdego pracownika w przedsiębiorstwie w doskonalenie aspektów jego działalności oraz na konieczności optymalizowania procesów [8].

Koncepcja Kaizen polega na zaangażowaniu wszystkich pracowników organizacji, niezależnie od szczebla, w stałe poszukiwanie pomysłów udoskonalenia wszystkich obszarów organizacji. W przedsiębiorstwach stosujących zachodni styl zarządzania przyjmuje się, że pracownicy powinni stosować instrukcje wykonywania pracy, natomiast wg metody Kaizen, mimo istniejących i stosowanych norm, naturalne dla pracowników jest zgłaszanie rozwiązań mających na celu ich usprawnienie [6].

Kluczowe wskaźniki efektywności (ang. Key Performance Indicators, KPI) to metoda zawierająca zbiór wskaźników stosowanych jako mierniki w procesach pomiaru stopnia realizacji celów organizacji. Zastosowanie KPI ma duże znaczenie dla budowania zorientowanej na wyniki kultury organizacyjnej, gdyż stanowią dla pracowników źródło obiektywnej informacji zwrotnej o wykonywanej przez nich pracy, kosztach oraz

jakości. KPI jest także narzędziem kontroli menedżerskiej, jej zastosowanie pozwala nadawać priorytety działaniom, wcześniej reagować na problemy. Na rysunku nr 1 zaprezentowano przykład implementacji metody KPI w przedsiębiorstwie produkcyjnym.

Performance Report				Change:	1	Time:	6:00-14:00	16.04.2013
Klimakammer				10	1	KPI		
				10	1	KPI		
BLACK				54	1	KPI		
Beige				6	1	KPI		
Grey				6	1	KPI		
Red				10	1	KPI		
Change Statistic				60	58	1	1	76
TOTAL				60	58	1	1	76
PLAN				60	96,67%	1,67%	1,67%	
Daily %				100,00%				
Open time:				10 min. Preparing in the beginning of the shift.				
Overconsumption of material:				From this 60 parts, 12 are Muster's (black)				

Rys. 1. Przykład wdrożenia KPI w przedsiębiorstwie produkcyjnym (opracowanie własne)

Metoda Overall Equipment Effectiveness (OEE) pozwala na pomiar efektywności maszyn. Na wskaźnik OEE składają się trzy składniki: dostępność, wykorzystanie, jakość. Poniżej, na rysunku nr 2 zaprezentowano składniki wskaźnika OEE na przykładzie przedsiębiorstwa produkcyjnego.

Metoda „5 x dlaczego?” jest jedną z technik rozwiązywania problemów w systemie produkcyjnym. Polega na kilkakrotnym zadawaniu pytania „dlaczego?”, dzięki czemu można zarówno poznać naturę problemu, jak i wypracować jego rozwiązanie [4]. Poniżej zaprezentowano przykład zastosowania metody 5x dlaczego w przedsiębiorstwie produkcyjnym:

1. Na hali jest plama oleju. Działanie: usunąć plamę.  
DLACZEGO?
2. Olej wycieka z maszyny. Działanie: usunąć awarię maszyny.  
DLACZEGO?
3. Zużyła się uszczelka. Działanie: Wymienić uszczelkę.  
DLACZEGO?
4. Uszczelka była złej jakości. Działanie: Zmienić specyfikację zakupowanych uszczelek.  
Dlaczego?
5. Konieczność oszczędności. Działanie: Zmiana zasad działania działu zaopatrzenia?

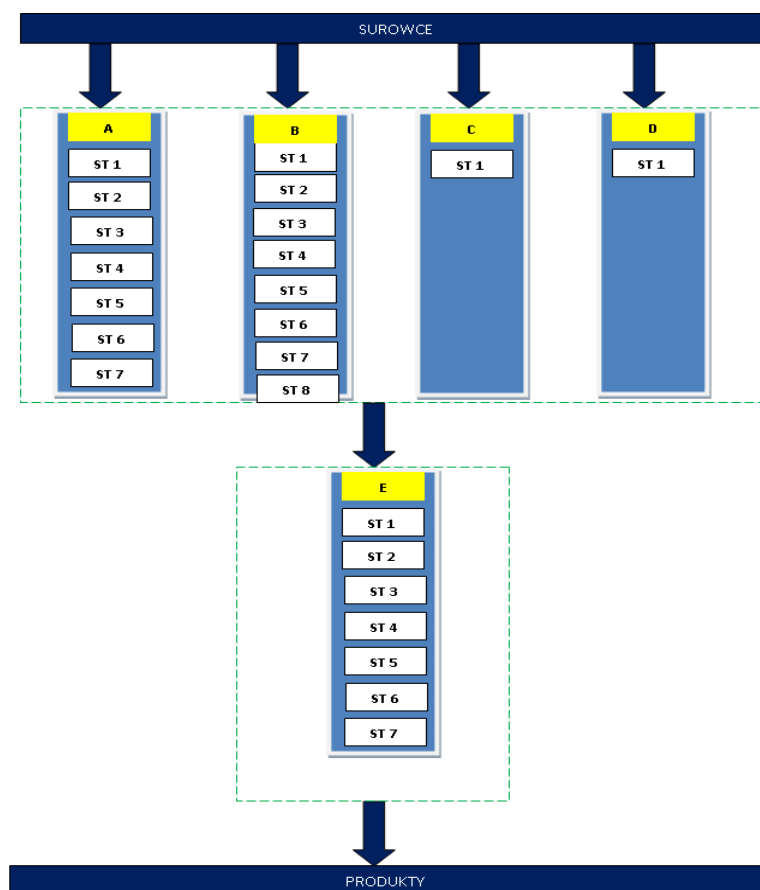
Dostępność	A	Czas całkowity (480 minut)			
	B	Całkowity czas produkcji (450 minut)		- przerwy - szkolenia	
	C	Rzeczywisty czas produkcji (420 minut)		- przebrojenia - awarie	
Wykorzystanie	D	Zakładana ilość wykonanych wyrobów (czas maszyny 420 min x 12 wyrobów /h = 84 wyroby)		Straty dostępności	Przerwy planowane
	E	Rzeczywista ilość wykonana (wykonane zostało 81 wyrobów)	- mikroprzerwy - zredukowana prędkość		
Jakość	F	Całkowita ilość wykonana (81 wyrobów)			
	G	Ilość wyrobów prawidłowych (79 wyrobów OK)	Wyroby niezgodne: - braki		

Rys. 2. Przykład wdrożenia OEE w przedsiębiorstwie produkcyjnym (opr. własne)

### 3. PRZYKŁAD OCENY EFEKTYWNOŚCI PROCESU PRODUKCYJNEGO REALIZOWANEGO W PRZEDSIĘBIORSTWIE

W przedsiębiorstwie produkcyjnym branży motoryzacyjnej proces produkcyjny wyrobów składa się z pięciu podprocesów: obszar poszycia zewnętrznego (A), obszar poszycia wewnętrznego (B), obszar przygotowania uszczelek (C), obszar przygotowania ram (D), obszar montażu końcowego (E) – pp. rysunek nr 3.





Rys. 3. Przykład procesu produkcyjnego przedsiębiorstwie produkcyjnym, gdzie ST – stanowiska pracy (opr. własne)

Zasadniczym celem oceny efektywności procesu produkcyjnego jest określenie planowanej i efektywnej wydajności produkcji, efektywnego stopnia wykorzystania poszczególnych stanowisk roboczych oraz analiza czasu pracy zasobu ograniczającego wydajność całego procesu produkcyjnego. Dla każdego z obszarów procesu produkcyjnego wyznaczono czasy wykonania jednej sztuki (tj – czas jednostowy), czas przygotowawczo-zakończeniowy (tpz), czas przeprowadzania działań serwisowych (ts), czas planowanego przestoju (tp) oraz ogólny czas bez produktywności maszyny (tb). Poniżej w tabeli nr 1 zaprezentowano dane dotyczące czasów wykonywania jednej sztuki dla obszaru poszycia wewnętrznego wyróżnionego w procesie produkcyjnym.

Tab.1. Dane dotyczące czasów wykonywania jednej sztuki dla obszaru poszycia wewnętrznego wyróżnionego w procesie produkcyjnym, opracowanie własne

Proces produkcyjny: obszar poszycia wewnętrznego		
Stanowisko 1	tj	7 min
	tpz	1,5 min
	tp	30 min
Stanowisko 2	tj	7,5 min
	tpz	1,5 min
	tp	30 min
Stanowisko 3	tj	7 min
	tpz	1,5 min
	tp	30 min
Stanowisko 4	tj	7,5 min
	tpz	1 min
	tp	30 min
Stanowisko 5	tj	7 min
	tpz	1,5 min
	tp	30 min
Stanowisko 6	tj	7,5 min
	tpz	1 min
	tp	30 min
Stanowisko 7	tj	7 min
	tpz	1,5 min
	tp	30 min
Stanowisko 8	tj	7,5 min
	tpz	1,5 min
	tp	30 min

Wiedząc, że dostępny czas wykorzystania poszczególnych stanowisk, podczas 8-godzinnej zmiany roboczej jest równa  $t_d = 480$  min wyznaczono efektywną wydajności

(WEO), która uwzględnia czas bezproduktywnej maszyny (serwis, przygotowanie, przestoje, przerwy w pracy dla pracowników, itp.) dla wyróżnionych obszarów procesu produkcyjnego. Poniżej zaprezentowano przykład obliczenia WOE dla obszaru poszycia wewnętrznego:

- Wydajność planowana = 64 szt
- Wydajność efektywna =  $(480 - 1,5 \cdot 30) / (7,5) = 59$  szt.

W celu wykonania oceny efektywności procesu produkcyjnego za pomocą metody stopnia efektywnego wykorzystania (wskaźnika OEE) koniecznym było określenie wydajności ograniczającej dla procesu produkcyjnego.

Wydajnością ograniczającą nadal pozostaje obszar E – montaż końcowy, w związku z tym wydajność efektywna procesu produkcji (rzeczywista wydajność produkcji) wynosi WEE = 55 szt. Określenie wydajności efektywnej na tym poziomie, gwarantuje uzyskanie najbardziej korzystnego wyniku ekonomicznego. Jest to spowodowane eliminacją zapasów robót w toku, co prowadzi do całkowitej redukcji kosztów z nimi związanych.

Zatem stopień efektywnego wykorzystania dla obszaru linii produkcyjnej :obszar poszycia wewnętrznego (obszar B) wynosi  $55 \text{ szt} / 59 \text{ szt} = 94,9 \%$ .

Na podstawie otrzymanych wyników dla wskaźnika: Stopień efektywnego wykorzystania dla każdego obszaru z linii produkcyjnej na poziomie od 91,6 % dla obszaru przygotowania uszczelek (obszar C): do 98,2 % dla obszaru przygotowania ram (obszar D), gdzie w branży motoryzacyjnej wskaźnik OEE jest na poziomie 85 %, stwierdzono, że zastosowany w firmie podział prac na danych stanowiskach jest rozwiązaniem prawidłowym dla przebiegu procesu produkcyjnego.

## 5. PODSUMOWANIE

Pomiar efektywności jest trudnym zagadnieniem dla przedsiębiorstw produkcyjnych. Skuteczność wdrożenia metod umożliwiających pomiar efektywności zależy w dużej mierze od specyfikacji przedsiębiorstwa. Duży wpływ na proces wdrożeniowy ma kultura organizacyjna firmy, doświadczenie pracowników, ich zaangażowanie i posiadanie umiejętności zespołowego rozwiązywania problemów.

W artykule zaprezentowano wybrane metody, których zastosowanie pozwoli na ocenę efektywności procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwach. Następnie pokazano zastosowanie metody OEE dla wybranego obszaru produkcji.

## LITERATURA

- [1] **Bednarek M.**, *Doskonalenie Systemów Zarządzania, nowa droga do przedsiębiorstwa lean,* Difin, Warszawa 2007.
- [2] **Karaszewski R.**, *TQM teoria i praktyka*, Dom Organizatora, Toruń 200.
- [3] **Kosieradzka A.**, *Zarządzanie produktywnością w przedsiębiorstwie*, C.H. Beck, 2012.

- [4] **Lis A., K. Kowal, M. Brożyńska, M. Szymczak**, *5xdlaczeg*, 2K Consulting 2014.
- [5] **Lisisński M., Ostrowski B.**, *Lean management w restrukturyzacji przedsiębiorstwa*, Antykwa, 2007
- [6] **Mikiharu A.**, *Jak działa fabryka Toyoty*, Shinsei Consulting, Poznań 2013.
- [7] **Penc J.**, *Leksykon biznesu*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1997.
- [8] **Urbaniak M.**, *Zarządzanie Jakością teoria i praktyka*, Difin, Warszawa 2004.

# **OPTIMALIZACJA KONSTRUKCJI OBROTOWEGO REAKTORA DO TERMICZNEGO PRZETWARZANIA ODPADÓW KOMUNALNYCH Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA TYPU C(P)FD**

## **1. WPROWADZENIE**

Niniejsza praca przedstawia możliwości optymalizacji konstrukcji obrotowych reaktorów do termicznego przetwarzania odpadów komunalnych z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania CPFDF (ang. Computational Particle Fluid Dynamics), której celem jest dostosowanie istniejących, aczkolwiek rzadko wykorzystywanych technologii spalania odpadów komunalnych opartych na danym typie reaktorów, do aktualnych wymogów prawnych w zakresie gospodarki odpadami, w szczególności zapisów Ustawy o odpadach (Dz. U. z 2012 r., poz. 676) oraz Krajowego Planu Gospodarki Odpadami\* (KPGO 2014).

\* KPGO definiuje konkretne cele gospodarki odpadami:

- zmniejszenie ilości wszystkich odpadów kierowanych na składowiska odpadów,
- od dnia 01.01.2016 r. zakaz składowania odpadów komunalnych o cieple spalania powyżej 6 MJ/kg (praktycznie niemal cały strumień tej grupy odpadów).

## **2. IDENTYFIKACJA POTRZEBY RYNKOWEJ**

### **2.1. Zapotrzebowanie rynkowe**

Obowiązujące przepisy w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi, a w szczególności te, które zaczęły obowiązywać od 1 stycznia 2016 r., drastycznie ograniczają ilości odpadów możliwych do składowania na wysypiskach. Wg. oficjalnych danych Ministerstwa Środowiska w roku 2014 wyprodukowano w Polsce 10,3 miliona ton odpadów komunalnych. Krajowa Izba Gospodarcza natomiast uważa, że kilka milionów ton odpadów znajduje się poza oficjalnym systemem gospodarki odpadami i szacuje łączną ich ilość na około 14 milionów ton.

Aktualnie jedynymi odbiorcami odpadów nienadających się do składowania na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne (tj. odpadów komunalnych o średniej wartości opałowej wyższej, niż 6MJ/kg) są cementownie i spalarnie odpadów komunalnych. Jednakże, wymagania cementowni co do jakości dostarczanych odpadów są coraz większe i nie przyjmują już one tak dużych ilości jak niegdyś (rocznie około 1 miliona

ton paliwa z odpadów komunalnych, tzw. frakcji RDF). Co więcej, obecnie funkcjonujące i planowane do uruchomienia do roku 2022 spalarnie odpadów komunalnych będą w stanie zutilizować jedynie niecały 1 milion ton odpadów rocznie, co stanowić będzie poniżej 10% łącznej ilości odpadów komunalnych produkowanych każdego roku w Polsce [1].

Prawo krajowe w zakresie gospodarki odpadami zmusza wręcz zakłady gospodarki odpadami (ZGO) do poszukiwania rozwiązań i technologii spełniających jego zapisy. Co gorsza, ze względu na parametry procesu nie można przeprowadzić współspalania odpadów np. z węglem czy biomasą, dlatego też większość ZGO znajduje się w przysłowiowej „kropce”. Jednym z najlepszych rozwiązań eliminującym powyższe problemy byłyby stosunkowo małe instalacje termicznej utylizacji odpadów komunalnych zlokalizowane na terenach ZGO, o przepustowości instalacji odpowiadającej zapotrzebowaniu poszczególnego ZGO (7 000 – 15 000 ton/rok). Dodatkowym, wymiernym efektem proponowanego rozwiązania, oprócz rozwiązania problemu zagospodarowania odpadów komunalnych, byłby dodatkowy efekt ekonomiczny polegający na wykorzystaniu odzyskanej energii z odpadów w miejscu jej wytworzenia (na potrzeby własne ZGO, tj. wykorzystanie „darmowego” ciepła i/lub energii elektrycznej w kogeneracji w celu obniżenia kosztów własnych) lub jej sprzedaży do sieci ciepłowniczej lub energetycznej.

Aktualnie na rynku brak jest oferty technologii termicznej utylizacji odpadów komunalnych przystosowanych na potrzeby pojedynczych sortowni odpadów komunalnych (ZGO) [1]. Racjonalne technicznie i opłacalne ekonomicznie rozwiązanie cieszyć się będzie dużym zainteresowaniem nie tylko na rynku krajowym, ale i poza granicami kraju.

Powyższy cel możliwy jest do zrealizowania m.in. poprzez optymalizację (pod kątem spełnienia wymogów prawnych w zakresie warunków prowadzenia procesu przetwarzania odpadów) znanych już konstrukcji i rozwiązań technologicznych reaktorów obrotowych, które wydają się być najlepszym rozwiązaniem opisywanego zagadnienia.

## 2.2. Aktualny stan wiedzy

Współczesne spalarnie odpadów komunalnych to przede wszystkim instalacje wykorzystujące technologię rusztową [2]. Stanowią one ponad 85% wszystkich funkcjonujących w Europie spalarni odpadów [3,4] i należą do najbardziej niezawodnych technologii termicznej utylizacji odpadów. Jednakże technologia ta charakteryzuje się szeregiem niedoskonałości pod kątem prowadzenia procesu, do których należą m.in.:

### - stosunkowo niski poziom konwersji odpadu

Stałe pozostałości poprocesowe w formie żużla, popiołów oraz odcieków powstające ze spalania odpadów komunalnych w technologii rusztowej, stanowią od 10 do 30% masy odpadu wejściowego. Należą one do grupy odpadów niebezpiecznych i są zagrożeniem dla środowiska przede wszystkim ze względu na możliwość wymywania z nich związków zawierających m.in. chlorki, czy metale ciężkie. Powstałe odpady należy składować na składowisku odpadów niebezpiecznych co znacznie podnosi całkowite koszty funkcjonowania instalacji [5].

Co więcej, zgodnie z badaniami wykonanymi na zlecenie rządu Wielkiej Brytanii [6] pozostałości poprocesowe po zabetonowaniu posiadają taką samą objętość, jak kompaktowany odpad komunalny kierowany do składowania. Rzeczywista oszczędność miejsca na składowisku odpadów wynosi więc ~ 0%.

**- wysoki koszt jednostkowy utylizacji odpadu**

Aktualne wymogi prawne z zakresu gospodarowania odpadami skutkują koniecznością stosowania coraz bardziej zaawansowanych instalacji dopalania i oczyszczania spalin powstałych wskutek spalania odpadów, których implementacja stanowi zazwyczaj 30-50% kosztów budowy spalarni odpadów [2]. Finalnie skutkuje to znacznym podniesieniem kosztu utylizacji jednostki masy odpadu, który dla spalarni o wydajności 120 000 t/rok wynosi średnio 100-140 euro/t [9].

**- konieczność zapewnienia odpowiednio dużej ilości wsadu (odpadów)**

Standardowe spalarnie odpadów komunalnych w technologii rusztowej posiadają wydajność 80 000 – 200 000 t/rok. Charakterystyka pracy instalacji (w trybie ciągłym) wymusza konieczność zapewnienia nieprzerwanego dostarczania odpadu. W praktyce skutkuje to koniecznością zwożenia odpadów z terenów odległych o nawet 300 km, czego koszty pokrywa pośrednio zakład gospodarki odpadami oddający odpad do spalarni.

Oprócz instalacji spalania opartych na technologii rusztowej istnieje również szereg innych rozwiązań technologicznych i konstrukcyjnych, do których należą m.in.:

**- spalanie w technologii fluidalnej**

Spalarnie odpadów oparte na technologii fluidalnej spotkać można we Francji, Niemczech, czy też Szwecji, choć stanowią one poniżej 10% ilości spalarni funkcjonujących w tych krajach. Główną przewagą technologii fluidalnych nad rusztowymi jest możliwość regulacji w szerokim zakresie ich wydajności [2,5], co umożliwi dostosowanie charakterystyki pracy instalacji od ilości odpadu koniecznego do utylizacji. Jednakże podstawową wadą spalarni odpadów w technologii fluidalnej jest konieczność rozdrabniania odpadów w celu umożliwienia fluidyzacji złoża, co wiąże się z koniecznością poniesienia dodatkowych nakładów finansowych na instalację przygotowania wsadu (odpadu) oraz z jej wysoką awaryjnością. Wpływa to na finalną niską sprawność energetyczną kotła fluidalnego (m.in. przez wysokie zużycie energii elektrycznej urządzeń peryferyjnych), o około 20% niższą w porównaniu do instalacji opartych na technologii rusztowej.

**- piroliza i zgazowanie odpadów:**

Piroliza i zgazowanie to procesy chemiczne konwersji paliw do frakcji gazowych, ciekłych i stałych przy braku dostępu tlenu (dla pirolizy) lub jego niedomiarze (dla zgazowania). Od strony technologicznej oba procesy charakteryzują się znacznie większą sprawnością w porównaniu do wszystkich dostępnych metod spalania, co wynika głównie z niższych wymaganych temperatur prowadzenia procesu oraz możliwości zagospodarowania poszczególnych produktów rozkładu termicznego odpadu (gaz palny, koks pirolityczny (karbonizat), smoły wytłewne). Specyfika prowadzenia procesów pirolizy i zgazowania wymaga jednak posiadania jednorodnego paliwa o niskiej wilgotności i możliwie powtarzalnej charakterystyce fizykochemicznej (powtarzalny skład chemiczny i uziarnienie).

Technologie te z sukcesem znalazły zastosowanie do utylizacji wybranych frakcji odpadów komunalnych (np. związki poliolefin), lecz ze względu na zmienną charakterystykę fizykochemiczną odpadów komunalnych prawdopodobnie nigdy nie znajdą zastosowania komercyjnego w celu utylizacji całego ich strumienia [5]. Niemniej jednak technologie te są stale rozwijane, głównie pod kątem odzysku związków węglowodorowych z możliwych do odseparowania powtarzalnych frakcji odpadów komunalnych.

Charakterystyka opisanych powyżej technologii spalania odpadów komunalnych oraz wymagania rynku stawiają konieczność opracowania takiej technologii utylizacji odpadów komunalnych, która:

- a) zapewni wysoki stopień konwersji odpadu (cel: minimalizacja ilości pozostałości poprocesowych),
- b) zmniejszy koszt utylizacji jednostki odpadu (cel: minimalizacja ilości zanieczyszczeń w spalinach),
- c) pozwoli na zutylizowanie odpadu możliwie blisko miejsca jego powstania (cel: uniknięcie kosztów transportu odpadu do spalarni oraz lokalne wykorzystanie odzyskanej z odpadów energii).

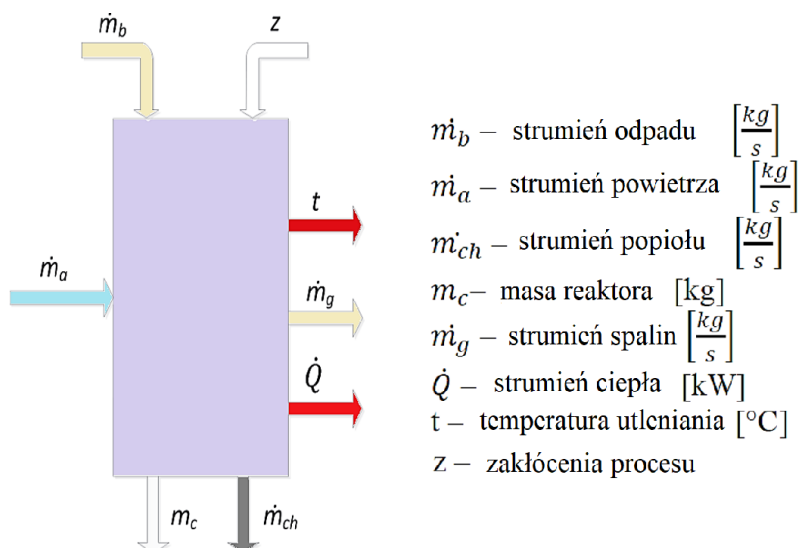
Jednym z najlepszych rozwiązań eliminującym powyższe problemy byłyby stosunkowo małe instalacje termicznej utylizacji odpadów komunalnych zlokalizowane na terenach ZGO, o przepustowości instalacji odpowiadającej zapotrzebowaniu poszczególnego ZGO (7000 – 15 000 t/rok). Dodatkowym, wymiernym efektem proponowanego rozwiązania, oprócz rozwiązania problemu zagospodarowania odpadów komunalnych, byłby dodatkowy efekt ekonomiczny polegający na wykorzystaniu odzyskanej energii z odpadów w miejscu jej wytworzenia lub jej sprzedaży do sieci ciepłowniczej lub energetycznej. Powyższe cele możliwe są do zrealizowania m.in. poprzez optymalizację (pod kątem spełnienia wymogów prawnych w zakresie warunków prowadzenia procesu przetwarzania odpadów) znanych już konstrukcji i rozwiązań technologicznych reaktorów obrotowych, które wg. [2,8] najlepiej nadają się do spalania odpadów stałych i ciekłych.

### **3. OPIS PROPONOWANEGO ROZWIĄZANIA**

#### **3.1. Kryteria optymalizacji**

Reaktor spalania odpadów komunalnych stanowi wielowymiarowy obiekt badań technologicznych (rys. 1.1.). W celu znalezienia najkorzystniejszych rozwiązań (konstrukcyjnych, technologicznych, procesowych) należy przeprowadzić wielokryterialne badania technologiczne i optymalizację parametrów w zależności od zastosowanych rozwiązań.





Rys. 1.1. Reaktor spalania odpadów jako obiekt badań optymalizacyjnych

Specyfika prowadzonych badań oraz teoretyczny wpływ wartości (wielkości) poszczególnych parametrów na rezultaty procesu spalania pozwalają na stworzenie następującej, podstawowej macierzy korelacji, rys. 1.2.

	$m_a(\lambda)$	$m_b$	$t$	$m_g$	$z$	$P$	$W^u$
$m_a(\lambda)$		$r_{mb, ma}$	$r_{t, ma}$	$r_{mg, ma}$	$r_{z, ma}$	$r_{P, ma}$	$r_{Wu, ma}$
$m_b$	$r_{ma, mb}$		$r_{t, mb}$	$r_{mg, mb}$	$r_{z, mb}$	$r_{P, mb}$	$r_{Wu, mb}$
$t$	$r_{t, ma}$	$r_{t, mb}$		$r_{mg, t}$	$r_{z, t}$	$r_{P, t}$	$r_{Wu, t}$
$m_g$	$r_{mg, ma}$	$r_{mg, mb}$	$r_{mg, t}$		$r_{z, mg}$	$r_{P, mg}$	$r_{Wu, mg}$
$t_{pow.}$	$r_{ma, tpow.}$	$r_{tpow., mb}$	$r_{tpow., t}$	$r_{mg, tpow.}$		$r_{P, tpow.}$	$r_{Wu, tpow.}$
$P$	$r_{P, ma}$	$r_{P, mb}$	$r_{P, t}$	$r_{mg, P}$	$r_{z, P}$		$r_{Wu, P}$
$W^u$	$r_{Wu, ma}$	$r_{Wu, mb}$	$r_{Wu, t}$	$r_{Wu, mg}$	$r_{z, Wu}$	$r_{P, Wu}$	

Rys. 1.2. Podstawowa macierz korelacji [opr. własne]

Powyższą macierz w celu optymalizacji procesu należy rozbudować o dodatkowe zależności (rys. 1.3.). Do głównych z nich należą:

	$r(m_a, m_b)$	$r(m_a, t)$	$r(m_a, m_g)$	$r(m_a, W^u)$
$t$	$r(m_a, m_b, t)$	/	$r(m_a, m_g, t)$	$r(m_a, W_u, t)$
$P$	$r(m_a, m_b, P)$	$r(m_a, t, P)$	$r(m_a, m_g, P)$	$r(m_a, W_u, P)$

Rys. 1.3. Rozbudowana macierz korelacji

### 3.2. Analiza dostępnych narzędzi inżynierskich

Badania procesu spalania oraz optymalizacja pracy urządzenia powinny być oparte o metodologię prowadzenia badań naukowych w połączeniu z metodami statystycznymi. Dla omawianego przypadku zasadnym wydaje się przeprowadzenie analizy otrzymanych wyników badań w następujący sposób:

**Krok 1:** określenie współczynnika korelacji – tj. współzależności badanych zmiennych.

W celu poprawnego wykonania zaproponowanych analiz, należy zebrać dostatecznie dużą ilość danych pomiarowych dotyczących wpływu poszczególnych zmiennych na badane parametry. Jednym z najlepszych rozwiązań jest przeprowadzenie symulacji numerycznej (np. CFD, CPM, CACE) i porównanie wyników z wynikami badań eksperymentalnych lub technologicznych w skali pilotażowej. W przypadku zgodności wyników można przejść do analiz statystycznych otrzymanych wyników.

**Krok 2:** zastosowanie metody DEA + CCR, tj. metody oceny wariantów poszczególnych rozwiązań (technologicznych, konstrukcyjnych), pozwalającej na analizę efektywności badanych procesów o podobnym charakterze w oparciu o ustalone dane wejściowe i wyjściowe charakteryzujące badane procesy.

Wynikiem w/w analiz jest stwierdzenie, który wariant (rozwiązanie) technologiczny jest najkorzystniejszy m.in. ze względu na :

- ilość i skład spalin,
- rozkład temperatur,
- stabilność procesu,
- stężenia zanieczyszczeń w gazie lub innego parametru.

Badania symulacyjne procesu spalania powinny umożliwiać uzyskanie możliwie dużej ilości danych, niezbędnych do optymalizacji pracy urządzenia i w dalszej kolejności wyboru najlepszych rozwiązań technologicznych.

Do najczęściej wykorzystywanego oprogramowania inżynierskiego w zakresie symulacji i optymalizacji urządzeń do termicznej utylizacji odpadów należy oprogramowanie

typu C(P)FD (ang. Computational (Particle) Fluid Dynamics) – numeryczna mechanika płynów, często zwana oprogramowaniem do obliczeń przepływowych. Dane oprogramowanie inżynierskie umożliwiające dokładne wykonywanie analiz wymiany ciepła, ruchu ciepła (i cząstek paliwa w przypadku oprogramowania C(P)FD), czy też przepływów, umożliwiając optymalizowanie produktu/technologii już na etapie projektowania. Do przykładowych programów typu C(P)FD wykorzystywanych w szeroko pojętych zagadnieniach związanych z procesem termicznej utylizacji odpadów należą:

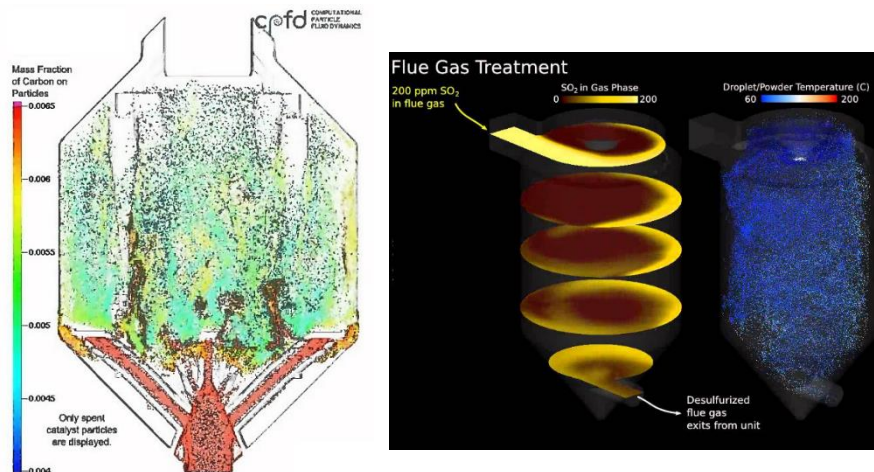
**- SolidWorks CFD Flow Simulation**

Oprogramowanie do tworzenia projektów mechanicznych SOLIDWORKS i oprogramowanie SOLIDWORKS Flow Simulation CFD tworzą kompleksowe środowisko inżynierskie do ewaluacji wymiany ciepła przez połączenie w całość wszystkich faz analizy — od projektowania modeli bryłowych, przez konfigurowanie problemu i jego rozwiązanie oraz wizualizację wyników i optymalizację projektu, aż po generowanie raportów. Dzięki danemu oprogramowaniu zespół projektowy może skupić się na szczegółowej analizie rozkładu temperatur w poszczególnych strefach reaktora. Umożliwia ono także analizę skomplikowanych procesów fizycznych, takich, jak przewodzenie ciepła, konwekcja, promieniowanie, nagrzewanie i wiele innych mających wpływ na ostateczną postać technologii.

**- Barracuda VR (CPFD)**

Jest to jedno z najbardziej rozbudowanych narzędzi typu CFD do symulowania procesów termicznej utylizacji odpadów, w szczególności dla reaktorów fluidalnych. Łączy w sobie funkcjonalności standardowego oprogramowania CFD oraz CACHÉ (możliwość min. symulowania w czasie rzeczywistym emisji spalin do atmosfery). Umożliwia symulowanie najbardziej skomplikowanych układów spalania, łącznie z systemem oczyszczania spalin i pozostałych bloków technologicznych. Jest to narzędzie dające prawdopodobnie największe możliwości badania/optimalizacji procesu i konstrukcji urządzeń energetycznych, szczególnie dla jednostek spalania odpadów. Przykładową symulację przedstawiono na rys. 1.4. [7].

Kolejnym typem oprogramowania szeroko wykorzystywanego w optymalizacji konstrukcji i parametrów technologii termicznej utylizacji odpadów jest CACHÉ (ang. Computer Aided Chemical Engineering) – komputerowo wspomagana inżynieria procesowa, zwana także symulatorami procesów chemicznych. Jest to programowanie inżynierskie znajdujące zastosowanie głównie w przemyśle naftowym, energetycznym i gazowym, pozwalające na modelowanie szeregu zadań technologicznych spotykanych w przemyśle chemicznym. Służy ono do matematycznego modelowania i optymalizacji pracy zarówno pojedynczych aparatów, jak i symulacji złożonych procesów technologicznych stosowanych w różnych gałęziach przemysłu.



Rys. 1.4. Przykład symulacji na oprogramowaniu Barracuda [7]

Do przykładowych programów typu CACHe wykorzystywanych w szeroko pojętych zagadnieniach związanych z procesem spalania należą:

- **ChemCAD**

ChemCAD należy do jednych z najpopularniejszych programów typu CACHe wykorzystywanych w modelowaniu i optymalizacji procesów cieplnych, w tym spalania. W skład programu wchodzi następujące główne moduły:

- CC Steady State: główny składnik oprogramowania służący do projektowania, wyznaczania szybkości i optymalizacji procesów w warunkach równowagowych;
- CC Dynamics: moduł służący do projektowania i wyznaczania szybkości procesów dynamicznych. Jest dogodnym narzędziem symulacyjnym reaktorów przepływowych, uwzględnia szybkości złożonych reakcji chemicznych oraz ciśnienia robocze w różnych stadiach procesu.

- **Aspen (HYSYS, Plus)**

Oprogramowanie ASPEN wykorzystywane jest do modelowania, projektowania oraz optymalizacji pracy obiektów dynamicznych przez jednostki naukowe i przedsiębiorstwa na całym świecie. Oprogramowanie to należy do najbardziej zaawansowanych na rynku i przeznaczone jest do różnych gałęzi przemysłu. Dostępność tego oprogramowania w Polsce, podobnie jak w przypadku ChemCAD, jest dość wysoka. Brak jest natomiast ogólnodostępnych informacji odnośnie zakresu cen omawianego oprogramowania.

### 3.3. Opis proponowanego rozwiązania

W celu dostosowania omawianej technologii do aktualnych wymogów prawnych proponuje się wykorzystanie specjalistycznego oprogramowania typu CPFD. Oprogramowanie to łączy w sobie funkcjonalności standardowego oprogramowania CFD oraz CACHe

(komputerowo wspomagana inżynieria procesowa, zwana także symulatorem procesów chemicznych). Umożliwia symulowanie najbardziej skomplikowanych układów spalania. Tak zaawansowane narzędzie inżynierskie pozwala uzyskać konkretne dane liczbowe – wytyczne do optymalizacji konstrukcji znanych reaktorów obrotowych do spalania odpadów komunalnych, jak i przedstawić uzyskane wyniki w formie interaktywnych modeli 3D. Daje możliwość przeprowadzenia na stworzonych modelach obliczeń wytrzymałościowych, symulacji interakcji pomiędzy przepływem (np. utleniaczem dozowanego do reaktora), a ciałem stałym (dozowanym odpadem) oraz optymalizacji parametrycznej (np. geometrii reaktora, wielkości poszczególnych stref reakcyjnych). CPFD rozwija najnowocześniejsze technologie na dużym, ale niedostatecznym rynku symulacji CFD, wykorzystując własne, oparte na fizyce technologie symulacyjne, które umożliwiają wirtualizację chemicznych reakcji dynamiki przepływu cząstek stałych w reaktorach głównie fluidalnych.

W przeciwieństwie do innych znanych narzędzi inżynierskich, takich jak np. ANSYS Fluent®, CD-Adapco® STAR-CCM+®, Open Foam® i innych, które stopniowo modyfikowały jednofazowe metody CFD w celu modelowania przepływu cząstek, pakiet oprogramowania inżynierskiego CPFD został zbudowany od podstaw, oparty na silnym sprzężeniu między fazami płynu i cząstek stałych oraz gazowych [7].

## PODSUMOWANIE

Propozycja wykorzystania specjalistycznego oprogramowania typu CPFD pozwoli na optymalizację konstrukcji reaktora, czego zakładanym efektem końcowym będzie:

- zwiększenie wymiany ciepła wewnątrz komory spalania poprzez np. zastosowanie zewnętrznego płaszcza ogrzewanego spalinami, czego efektem końcowym będzie zwiększenie wydajności urządzenia i zmniejszenie strat ciepła z reaktora,
- zoptymalizowanie systemu dystrybucji powietrza do strefy spalania oraz wielkości samej strefy spalania w celu osiągnięcia odpowiedniego rozkładu temperatur wewnątrz reaktora, co skutkować będzie dopuszczalnym poziomem emisji m.in. HCl, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dioksyn i furanów z instalacji,
- określenie wpływu kluczowych parametrów procesu, tj. czasu przebywania odpadu w reaktorze, prędkości obrotowej i kąta nachylenia reaktora na możliwość regulacji wydajności urządzenia i prowadzenia procesu w zależności od parametrów fizykochemicznych odpadu.

## LITERATURA

- [1] **Wielgościński G., Niemiecińska O.**, *Spalarnie odpadów komunalnych – perspektywa roku 2020*, Nowa Energia nr 02, 2016, 11-21.
- [2] **Wielgościński G.**, *Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych – wybrane zagadnienia*, Nowa Energia, Racibórz, 2016.
- [3] *Energy from waste – state of the art. Report, Statistics. 6th edition*, ISWA, Copenhagen, 2012.

- 
- [4] **Doing M., Havel J., Kowalczyk K., Mrotzek A., Shi W., Sievert M.** – *Waste to Energy. Der Weltmarkt für Müllverbrennungsanlagen 2010/2011*, Fraunhofer Umsicht, Ecoprog GmbH, Oberhausen, 2010.
  - [5] **Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach S.** *Procesy termiczne utylizacji odpadów*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2012 r.
  - [6] *Making Waste Work - A Strategy for Sustainable Waste Management in England and Wales*, Department of the Environment and the Welsh Office, 1995 r.
  - [7] <http://cpfd-software.com/barracuda-vr-solutions>.
  - [8] *Best available techniques (BREF) for waste treatments*, Dyrektywa IPPC nr 96/61/WE w sprawie zintegrowanego zapobiegania i zmniejszania zanieczyszczeń, [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/WI/WI\\_5\\_24-05-2017\\_web.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/WI/WI_5_24-05-2017_web.pdf).
  - [9] **Rytel K.**, *Dlaczego nie warto budować spalarni odpadów komunalnych*, Zielone Mazowsze, 03.2010 r., <http://zm.org.pl/>.

# **USPRAWNIENIE PROCESU PRODUKCJI – STUDIUM PRZYPADKU**

## **1. WPROWADZENIE**

Przedsiębiorstwo produkcyjne wymaga ciągłego doskonalenia w procesie dążenia do osiągnięcia celów. Firma X jest jednym z największych producentów podzespołów do klimatyzacji w samochodach osobowych. Część produkcyjna koncernu to trzy fabryki rozlokowane w Polsce, Francji oraz Anglii. Polski oddział został utworzony zgodnie ze strategią Firmy w celu spełnienia wymagań klientów dla produkcji w Europie Wschodniej. Różne modele działania dla każdego procesu produkcyjnego dają firmie możliwość reakcji na potrzeby rynku motoryzacyjnego oraz pozwalają wykorzystywać technicznie zaawansowane urządzenia.

W związku ze zmieniającymi się zamówieniami od klientów wymagane było zwiększenie produkcji (z 3300szt do 4800szt wyrobów) minimalizujące koszty modyfikacji. Przyjęto ograniczony budżet 20 k€. Dodatkowym warunkiem było spełnienie wyznaczonego limitu zanieczyszczeń w wyrobie gotowym. W związku z tym, aby spełnić to wymaganie i zapewnić odpowiednią jakość produktu, przed podaniem części do procesu montażu, należy je uprzednio poddać procesowi mycia.

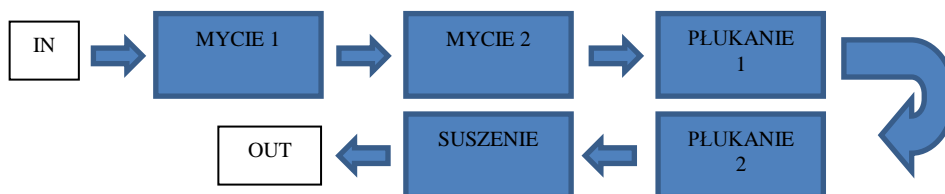
Celem artykułu jest przedstawienie sposobu usprawnienia procesu produkcji poprzez eliminację wąskiego gardła w tym obszarze. Aby osiągnąć postawiony cel, przeprowadzono studia literaturowe i przeanalizowano studium przypadku dużego przedsiębiorstwa funkcjonującego w branży automotive.

## **2. ANALIZA PRZYCZYNY I CZYNNIKÓW**

Pierwszym etapem było zidentyfikowanie wąskich gardeł w procesie. Wyodrębniono trzy główne procesy mające wpływ na osiągnięcie wymaganych celów produkcyjnych. Były nimi obróbka mechaniczna, mycie części oraz lina montażu.

Po wstępnych analizach zostało potwierdzone, że obróbka mechaniczna oraz linia montażu spełniają wymagania, natomiast aktualna wydajność maszyny do mycia części jest niewystarczająca i musi się zwiększyć o minimum 30%.

Proces mycia części został przedstawiony na rys.1.



Rys.1 Schemat procesu mycia części

Części są dostarczane do mycia w koszkach oraz układane na specjalnej ramie, która może pomieścić 6 sztuk koszy z częściami. Następnie części te są transferowane do pierwszego procesu.

Najbardziej popularnym wskaźnikiem określającym całkowitą wydajność wyposażenia jest OEE (Overall Equipment Effectiveness) [3]. Jest to współczynnik, który zawiera w sobie trzy składowe: dostępności, efektywności oraz jakości.

**Dostępność** (czas dostępny) to czas operacyjny pomniejszony o czas, w którym z jakiegoś powodu nie można było maszyny użytkować. Z kolei **wykorzystanie** to czas dostępny (dostępności) pomniejszony o wszystkie straty wynikające ze spowolnienia czy krótkich zatrzymań maszyny. **Jakość** to efektywnie wykorzystany czas pomniejszony o czas utracony z powodów strat jakościowych. Bazując na wynikach z ostatnich 6 miesięcy, OEE utrzymuje się na poziomie 95%, z czego 3% to awarie oraz 2% mikro zatrzymania. Wyliczyć OEE możemy bazując na dostępnym czasie pracy oraz na sumie czasów strat, jakie zachodzą w danej jednostce obliczeniowej. W postaci wzoru wskaźnik OEE definiujemy:

Na tej podstawie zostały wyliczone możliwości podanych ram w proces:

Czas całkowity – 480min /zmianę; Czas strat – 24min (5%); Cykl na 1szt – 3,25min

$$\text{OEE} = \frac{\text{czas całkowity} - \sum \text{czasów strat}}{\text{czas całkowity}} \times 100\%$$

$$\text{Ilość ram przy 100\% OEE} = \frac{480\text{min}}{3,25\text{min}} = 147 \text{ szt};$$

$$\text{Ilość ram przy 95\% OEE} = \frac{(480\text{min} - 24\text{min})}{3,25\text{min}} = 140 \text{ szt};$$

W Tab.1 przedstawiono zestawienie części wchodzących w proces mycia oraz wyszczególniono możliwości mycia przy produkcji dziennej na poziomie 3300szt/dzień (aktualne wymaganie) wyrobów gotowych oraz wydajności na poziomie 95% OEE. Jak wynika z przedstawionych danych – maszyna ma wystarczającą wydajność aby spełnić wymagania klienta.



Tab.1 Lista części wchodzących w proces mycia – zapotrzebowanie vs możliwości – produkcja dzienna 3300szt.

Lp.	Nazwa części	Liczba części w koszu	Zapotrzebowanie	Ilość koszy wymagana do prod.	Ilość ram
1	Cylinder Block	8	3 300	413	69
2	Shoe	2 000	46 200	23	4
3	Swash Boss	48	3 300	69	11
4	Shaft Rotor	50	3 300	66	11
5	Cylinder Head	6	3 300	550	92
6	Front Housing	4	3 300	825	138
7	Flange Bolt	350	23 100	66	11
8	AJ Screw	1 500	3 300	2	0
9	Pivot PIN B	800	3 300	4	1
10	Pivot PIN A	1 200	3 300	3	0
11	AJ plate	1 000	3 300	3	1
12	Rivet	2 000	9 900	5	1
13	Valve Plate	40	3 300	83	14
14	Frangle U – Nut	1 000	3 300	3	1
15	Swash Plate	40	3 300	83	14
				<b>2197</b>	<b>366</b>

	Kosze	Ramy
<b>Zapotrzebowanie</b>	<b>2 197</b>	<b>366</b>
<b>Możliwości</b>	<b>2 520</b>	<b>420</b>
<b>Różnica</b>	<b>323</b>	<b>54</b>

Zgodnie z nowymi wymaganiami ilościowymi klienta (4800szt/dzień), przedstawionymi w Tab.2, brakuje minimum 113 ram. W celu zapewnienia części do procesu wymagane jest znalezienie takiego rozwiązania, które spowoduje zwiększenie wydajności bez konieczności inwestowania w drugą maszynę do mycia części.

Tab.2 Lista części wchodzących w proces mycia – zapotrzebowanie vs możliwości – produkcja dzienna 4800szt.

Lp.	Nazwa części	Liczba części w koszu	Zapotrzebowanie	Ilość koszy wymagana do prod.	Ilość ram
1	Cylinder Block	8	4 800	600	100
2	Shoe	2 000	67 200	34	6
3	Swash Boss	48	4 800	100	17
4	Shaft Rotor	50	4 800	96	16

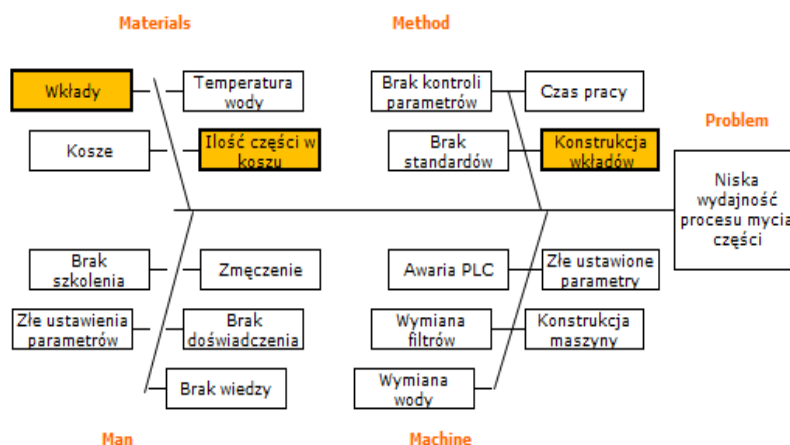
5	Cylinder Head	6	4 800	800	133
6	Front Housing	4	4 800	1 200	200
7	Flange Bolt	350	33 600	96	16
8	AJ Screw	1 500	4 800	3	1
9	Pivot PIN B	800	4 800	6	1
10	Pivot PIN A	1 200	4 800	4	1
11	AJ plate	1 000	4 800	5	1
12	Rivet	2 000	14 400	7	1
13	Valve Plate	40	4 800	120	20
14	Frange U – Nut	1 000	4 800	5	1
15	Swash Plate	40	4 800	120	20
				<b>3196</b>	<b>533</b>

	<b>Kosze</b>	<b>Ramy</b>
<b>Zapotrzebowanie</b>	<b>3 196</b>	<b>533</b>
<b>Możliwości</b>	<b>2 520</b>	<b>420</b>
<b>Różnica</b>	<b>-676</b>	<b>-113</b>

Z zebranych informacji z innych fabryk, z grupy kapitałowej w Europie, które używają tej samej maszyny, zostało potwierdzone, że przebadanym sposobem zwiększenia wydajności była redukcja strat oraz skrócenia czasu cyklu mycia części. Wykonane próby nie przyniosły pozytywnych rezultatów. Wyniki testów zanieczyszczeń po wprowadzonej redukcji czasu mycia, były poza specyfikacją wymaganą przez klienta.

Kolejną możliwością zwiększenia ilości umytych części była redukcja strat wynikająca z awarii oraz mikro zatrzymań. Po przeprowadzonej analizie, został sformułowany wniosek, iż zaproponowane nie przyniosłoby wymaganych efektów, ponieważ 5% strat pozwoliłoby na zwiększenie liczby ram o 21szt./dzień, czyli brakować będzie 92szt./dzień

Następnym krokiem było sprawdzenie rozwiązań organizacyjnych oraz technologicznych. Zostało wysłane zapytanie ofertowe o koszt nowej maszyny oraz modernizacji w myjnie ultradźwiękowe. Wyniki przewyższały kilkukrotnie przeznaczony budżet. W związku z tym, niezbędne było przeanalizowanie innego rozwiązania. Do tego został użyty diagram przyczyn i skutków (Ishikawa diagram).



Rys.2 Diagram przyczynowo – skutkowy (Ishikawa diagram)

Diagram Ishikawy to narzędzie, które służy do identyfikacji i prezentacji graficznej przyczyn problemów lub skutków działań.

Zastosowanie diagramu [4] :

- jest pomocne przy ustaleniu przyczyn problemów dotyczących np. wadliwego przebiegu procesu lub zjawisk towarzyszących defektom produktów,
- pozwala zgromadzić i usystematyzować wiedzę, która umożliwia rozwiązanie potencjalnych przyczyn występowania problemu,
- służy do uporządkowania potencjalnych przyczyn i sformułowania roboczych hipotez na temat związków przyczynowo – skutkowych,
- poprzedza planowane zbieranie danych i ich analizę, która ma doprowadzić do wykrycia rzeczywistych przyczyn problemów.

Na podstawie analizy przyczynowo – skutkowej wyselekcjonowano elementy, które mogą mieć wpływ na wydajność procesu mycia części. Działania zostały podjęte w celu zmiany konstrukcji wkładów do koszy.

### 3. ROZWAŻENIE I WDROŻENIE ROZWIĄZAŃ

Bazując na wstępnej analizie wizualnej konstrukcji części oraz wkładów do koszy, zostały wytypowane 4 części (Tab. 3), w których była możliwość ulepszenia konstrukcji wkładów, dzięki czemu liczba części w koszu mogłaby się zwiększyć.

Tab.3 Proponowana lista części do zmiany wkładów.

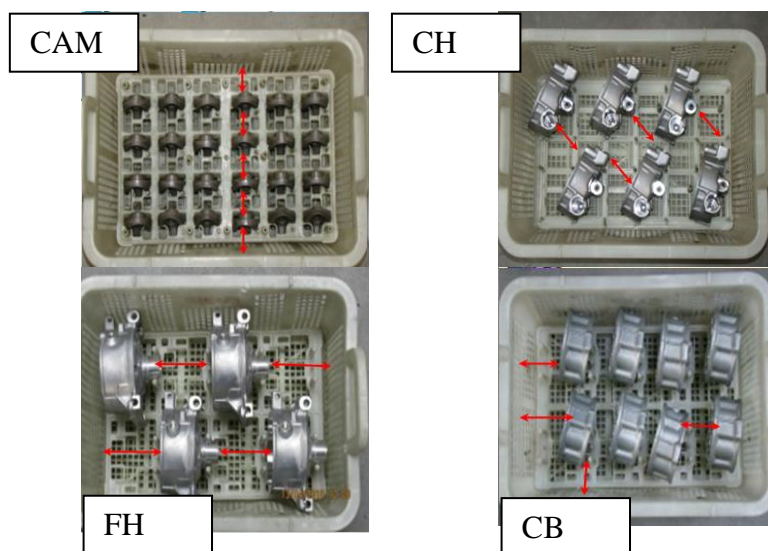
Lp.	Nazwa części	Liczba części w koszu	Zapotrzebowanie	Ilość koszy wymagana do prod.	Ilość ram
1	Cylinder Block	8	4 800	600	100

3	Swash Boss	48	4 800	100	17
5	Cylinder Head	6	4 800	800	133
6	Front Housing	4	4 800	1 200	200

W związku z tym, w programie CATIA (program do wspomagania prac inżynierskich w zakresie projektowania), zostały przeanalizowane pojemności kosza, objętość części oraz wkładów - wyniki przedstawiono w Tab.4

Tab.4 Wyliczenie wolnej przestrzeni w koszu.

Nazwa części	objętość części [dm <sup>3</sup> ]	Liczba części w koszu	objętość części w koszu [dm <sup>3</sup> ]	objętość wkładu [dm <sup>3</sup> ]	wolna przestrzeń w koszu [dm <sup>3</sup> ]	Suma [dm <sup>3</sup> ]
Swash Boss (CAM)	0,23	48	11,04	6,39	1,57	19
Cylinder Head (CH)	1,3	6	7,8	3,19	8,01	19
Cylinder Block (CB)	1,22	8	9,76	3,19	6,05	19
Front Housing (FH)	2,45	4	9,8	3,19	6,01	19

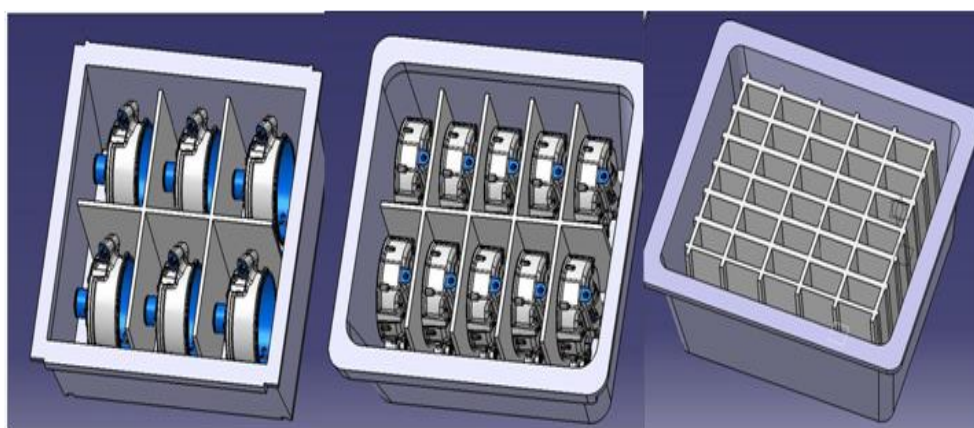


Rys.3 Zdjęcia przedstawiające ułożenie części w koszu.

Następnie w programie CATIA zaprojektowano wkłady dla zwiększonej liczby części w koszu oraz zweryfikowano objętości po wprowadzeniu nowego rozwiązania. W Tab.5 przedstawiono wyniki.

Tab.5 Wyliczenie wolnej przestrzeni w koszu – proponowane rozwiązanie

Nazwa części	objętość części [dm <sup>3</sup> ]	Liczba części w koszu	objętość części w koszu [dm <sup>3</sup> ]	objętość wkładu [dm <sup>3</sup> ]	wolna przestrzeń w koszu [dm <sup>3</sup> ]	Suma [dm <sup>3</sup> ]
Swash Boss (CAM)	0,23	60	13,8	2,89	2,31	19
Cylinder Head (CH)	1,3	10	13	2,23	3,77	19
Cylinder Block (CB)	1,22	10	12,2	2,23	4,57	19
Front Housing (FH)	2,45	6	14,7	0,73	3,57	19

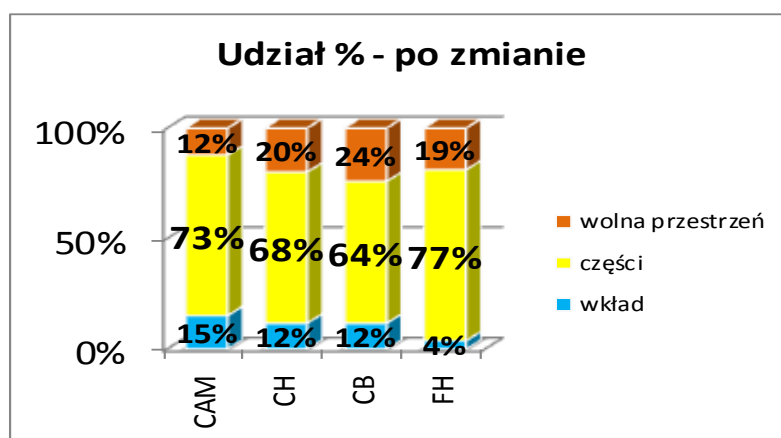
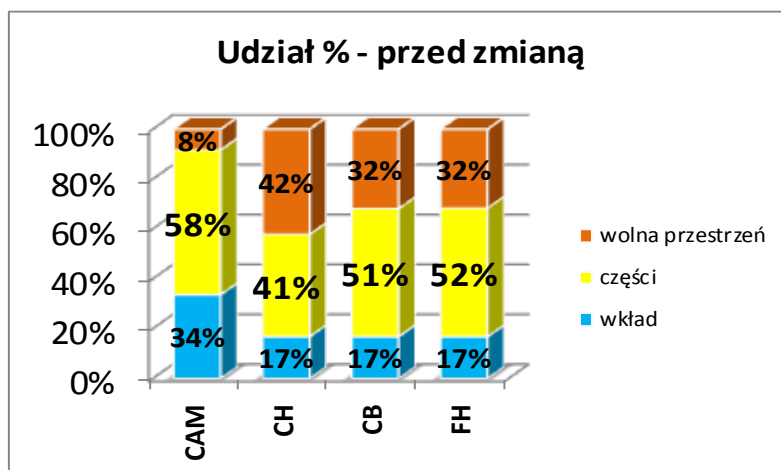


Rys.5 Projekt nowych wkładów do koszy.

#### 4. WERYFIKACJA WPROWADZONYCH ROZWIĄZAŃ I WYNIKI

Jak przedstawiono na poniższych wykresach przed i po zmianie, udział procentowy części wzrósł znacząco, co przekłada się na większą ilość części w koszu:

Swash Boss (CAM)	–	z	48szt	na	60szt;
Cylinder Head (CH)	–	z	6szt	na	10szt;
Cylinder Block (CB)	–	z	8szt	na	10szt
Front Housing (FH)	–	z	4szt	na	6szt



Zweryfikowano i potwierdzono, że po wprowadzonych zmianach udało się osiągnąć zamierzony cel, co przedstawia Tab.6.

Tab.6 Lista części wchodzących w proces mycia – produkcja dzienna 4800szt przy zwiększonej ilości części w koszu.

Lp.	Nazwa części	Liczba części w koszu	Zapotrzebowanie	Ilość koszy wymagana do prod.	Ilość ram
1	Cylinder Block	10	4 800	480	80

2	Shoe	2 000	67 200	34	6
3	Swash Boss	60	4 800	80	13
4	Shaft Rotor	50	4 800	96	16
5	Cylinder Head	10	4 800	480	80
6	Front Housing	6	4 800	800	133
7	Flange Bolt	350	33 600	96	16
8	AJ Screw	1 500	4 800	3	1
9	Pivot PIN B	800	4 800	6	1
10	Pivot PIN A	1 200	4 800	4	1
11	AJ plate	1 000	4 800	5	1
12	Rivet	2 000	14 400	7	1
13	Valve Plate	40	4 800	120	20
14	Frangle U – Nut	1 000	4 800	5	1
15	Swash Plate	40	4 800	120	20
				<b>2336</b>	<b>389</b>

	Kosze	Ramy
<b>Zapotrzebowanie</b>	<b>2 336</b>	<b>389</b>
<b>Możliwości</b>	<b>2 520</b>	<b>420</b>
<b>Różnica</b>	<b>184</b>	<b>31</b>

**Poniesione koszty:**

prototypy – 2 k€  
 modyfikacja formy – 10 k€  
 zakup koszy – 1,7 k€  
 nowe wkłady – 5 k€  
 SUMA: 18,7 k€

Celem wdrożenia nowego rozwiązania było kryterium osiągnięcia czystości części. Elementem sprawdzającym były przeprowadzone testy, których wyniki zostały przedstawione w Tab.7

Tab.7 Wynik zanieczyszczeń w wyrobie gotowym

	CAM (mg)	CB (mg)	CH (mg)	FH (mg)
Przed zmianą	42,6	52,3	47,3	17,1
Po zmianie	43,9	54,1	49,1	18,1
Górny limit zanieczyszczeń	45	55	50	20

## 5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania i otrzymane wyniki pozwoliły na wysunięcie następujących wniosków:

Zostało wprowadzone rozwiązanie, które usprawniło proces produkcji. Dzięki temu wydajność wzrosła o 34% (cel - minimalnie 30%) przy wydatkach na poziomie 18,7tys.euro (cel - maksymalnie 20 k€). Cel został osiągnięty bez przekroczenia zaplanowanego budżetu z zapewnieniem jakości wyrobu gotowego.

Taki sposób ulepszenia procesu produkcji można zastosować w firmach produkcyjnych, gdzie występuje proces mycia części. Ważnym aspektem jest kompleksowe podejście do analizy problemu. Nie tylko redukcja strat (np. awarii) lub czasu cyklu, lecz przeanalizowanie wszystkich możliwych przyczyn mających wpływ na dany proces (organizacyjnych, technologicznych, konstrukcyjnych itp.)

W przyszłości można rozważyć wprowadzanie równoległego procesu mycia lub myjnie ultradźwiękowe, natomiast będzie to zależne od potrzeb oraz finansów firmy (opłacalności projektu).

## LITERATURA:

- [1] **Obora H.**, *Japońska metodyka rozwiązywania problemów*. Historia i perspektywy nauk o zarządzaniu. Praca zbiorowa pod redakcją naukową Bogusza Mikuły, Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków, 2012, 393-402.
- [2] **Brzeziński A.**, *OEE - sposób na zwiększenie efektywności produkcji*, Wiedza i Praktyka, 2013.
- [3] **Mazurek W.**, *Wskaźnik OEE – Teoria i praktyka*. wydanie II, Neuron, 2014.
- [4] [www.ibspan.waw.pl/~sikorski/tqm/wyk\\_3.htm](http://www.ibspan.waw.pl/~sikorski/tqm/wyk_3.htm)
- [5] [http://www.tsolution.eu/userfiles/files/PlastNews\\_3\\_2013\\_Czyszczenie\\_form\\_wtryskowych\\_z\\_wykorzystaniem\\_energii\\_ultradzwiekow.pdf](http://www.tsolution.eu/userfiles/files/PlastNews_3_2013_Czyszczenie_form_wtryskowych_z_wykorzystaniem_energii_ultradzwiekow.pdf)
- [6] **Gawlik J, Plichta J., Świć A.**, *Procesy produkcyjne*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2013.
- [7] **George D. Robson**, *Continuous Process Improvement*, Free Press, New York, 2010.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] **Bednarek M.**, *Doskonalenie Systemów Zarządzania, nowa droga do przedsiębiorstwa lean*,” Difin, Warszawa 2007.
- [2] **Best available techniques (BREF) for waste treatments**, Dyrektywa IPPC nr 96/61/WE w sprawie zintegrowanego zapobiegania i zmniejszania zanieczyszczeń, [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/WI/WI\\_5\\_24-05-2017\\_web.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/WI/WI_5_24-05-2017_web.pdf).
- [3] **Binczyk F., Piątkowski J., Szymuszal J.**, *Krystalizacja eutektyki w siluminach nadeutektycznych*. Archiwum odlewnictwa, Rocznik 1, Nr1 (2/2), PAN, Katowice, (2001).
- [4] **Bonecki M.**: Zwinne podejście do zarządzania procesem badawczo-rozwojowym. *Studia Metodologiczne*, 32/2014, pp. 149-163.
- [5] **Brzeziński A.**, *OEE - sposób na zwiększenie efektywności produkcji*, Wiedza i Praktyka, 2013.
- [6] **Chakraborty S., Chattopadhyay P.P., Ghosh S.K., Datta S.**: Incorporation of prior knowledge in neural network model for continuous cooling of steel using genetic algorithm. *Applied Soft Computing* 58/2017, pp. 297–306.
- [7] **Chisholm R.**: *Theory of Knowledge (2nd Ed.)*. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1977.
- [8] **Corejowa T., Borkowski S.**, Instrumenty rozwiązywania problemów w zarządzaniu, WSZiM, Sosnowiec 2004.
- [9] **Doing M., Havel J., Kowalczyk K., Mrotzek A., Shi W., Sievert M.** – *Waste to Energy. Der Weltmarkt für Müllverbrennungsanlagen 2010/2011*, Fraunhofer Umsicht, Ecoprog GmbH, Oberhausen, 2010.
- [10] **Dalkir K.**: *Knowledge management knowledge management in theory and practice*. Elsevier, Oxford, 2005.
- [11] **Dudziński Z.**: *Poradnik organizatora gospodarki magazynowej w przedsiębiorstwie*, Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012
- [12] **Encyklopedia gospodarki materiałowej**. Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1984
- [13] **Energy from waste – state of the art. Report, Statistics. 6th edition**, ISWA, Copenhagen, 2012.
- [14] **Fisch D., Gruhl C., Kalkowski E., Sick B., Ovaskac S.J.**: *Towards automation of knowledge understanding: An approach for probabilistic generative classifiers*. *Information Sciences*, nr. 370–371/2016, pp. 476–496.
- [15] **Gawlik J, Plichta J., Świć A.**, *Procesy produkcyjne*. *Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2013.*

- 
- [16] **George D. Robson**, Continuous Process Improvement, *Free Press, New York, 2010*.
- [17] **Greber T.**, Statystyczne sterowanie procesami – doskonalenie jakości z pakietem Statistica, Kraków 2000.
- [18] **Hadorn G.H., Pohl C., Bammer G.:** *Solving problems through transdisciplinary research*. W: The Oxford handbook of interdisciplinarity, R. Frodeman (Ed.), Oxford: Oxford University Press, 2010, pp. 431–452.
- [19] **Hamrol A.**, *Zarządzanie jakością z przykładami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [20] **Hayter A.J.** Probability and Statistics for Engineers and Scientists, Fourth Edition., USA 2012.
- [21] **Hryniewicz O.**, Efektywne statystyczne sterowanie procesami (SPC) z wykorzystaniem pakietu statistica. StatSoft Polska, 2015
- [22] **Iwasiewicz A.**, *Zarządzanie jakością w przykładach i zadaniach*, Śląskie Wydawnictwo Naukowe, Wyższa Szkoła Zarządzania i Nauk w Tychach, Tychy 2005.
- [23] **Jashapara A.:** *Zarządzanie wiedza*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2006.
- [24] **Jeziński J.:** *Technologia tłokowych silników wysokoprężnych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- [25] **Kaczmarek M., Korzeniowski A., Skowroński Z., Weselik A.:** *Zarządzanie gospodarką magazynową*, Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1997
- [26] **Kanat S., Atilgan, T.:** Effects of knowledge management on supply chainmanagement in the clothing sector: Turkish case. *Fibres and Textiles in EasternEurope*, 103/2014, pp. 9–13.
- [27] **Karaszewski R.**, *TQM teoria i praktyka*, Dom Organizatora, Toruń 200.
- [28] **Kielec R., Leksycki K.**, Ocena wpływu składu chemicznego wybranych stopów na wartość temperatur w procesie krystalizacji z wykorzystaniem metody ATD. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T1, s. 707-718. Opole, (2016).
- [29] **Kosieradzka A.**, *Zarządzanie produktywnością w przedsiębiorstwie*, C.H. Beck, 2012.
- [30] **Kozarzewski W.:** *Konstrukcja grupy tłokowo – cylindrycznej silników spalinowych*, Wydawnictwo Komunikacji i łączności, Warszawa 2004.
- [31] **Kromer B.:** *Wiedza jako podstawowy czynnik funkcjonowania organizacji inteligentnej*. Zeszyty Naukowe Wydziału Nauk Ekonomicznych Politechniki Koszalińskiej, 12/2008, pp. 93-99.
- [32] **Lis A., K. Kowal, M. Brożyńska, M. Szymczak**, *5xdlaczeg*, 2K Consulting 2014.

- [33] **Lisisński M.**, Ostrowski B., *Lean management w restrukturyzacji przedsiębiorstwa*, Antykwa, 2007
- [34] **Lopez-Nicolas C., Soto-Acosta P.:** *Analyzing ICT adoption and use effectson knowledge creation: An empirical investigation in SMEs*. International Journal of Information Management, 30(6)/2010, pp. 521–528.
- [35] **Making Waste Work - A Strategy for Sustainable Waste Management in England and Wales**, Department of the Environment and the Welsh Office, 1995 r.
- [36] **Mazurek W.**, *Wskaźnik OEE – Teoria i praktyka*. wydanie II, Neuron, 2014.
- [37] **McElroy M. W.:** *The New Knowledge Management, Knowledge and Innovation*. Journal Of The Kmci, Vol. 1, No 1/2000, pp. 43-67.
- [38] **Montgomery D.C.**, *Introduction to Statistical Quality Control*. Sixth Edition. John Wiley & Sons, Inc. USA 2009.
- [39] **Mutwil J., Żygadlo M.**, *Mikroprocesorowy system do badań zjawisk i procesów odlewniczych*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, vol.20, nr 1, 2000, s. 117-126.
- [40] **Mikula B.:** *Transfer wiedzy w organizacji*. W: *Komunikacja w procesach zarządzania wiedzą*, red. A. Potocki, Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków, 2011, pp. 59-76.
- [41] **Mikiharu A.**, *Jak działa fabryka Toyoty*, Shinsei Consulting, Poznań 2013.
- [42] **Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach S.** *Procesy termiczne utylizacji odpadów*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2012 r.
- [43] **Niemczyk A.:** *Zapasy i magazynowanie: Tom II Magazynowanie*, Wyd. Biblioteka Logistyczna, Poznań 2008
- [44] **Niemierko B.:** *Ocenianie szkolne bez tajemnic*, WSiP, Warszawa, 2005.
- [45] **Nonaka I., Takeuchi H.:** *The knowledge-Creating company. How Japanese Companies Create the Dynamic of Innovation*. Oxford University Press, New York, 1995.
- [46] **Nonaka I., Von Krogh G.:** *Tacit Knowledge and Knowledge Conversion: Controversy and Advancement in Organizational Knowledge Creation Theory*. Organization Science, Vol. 20, No /2009, pp. 635–652.
- [47] **Object Management Group**, *Business Process Model and Notation*, <http://www.bpmn.org/> [dostęp: 23.09.2017].
- [48] **Obora H.**, *Japońska metodyka rozwiązywania problemów*. Historia i perspektywy nauk o zarządzaniu. Praca zbiorowa pod redakcją naukową Bogusza Mikuły, Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków, 2012, 393-402.
- [49] **Olaisen J, Revang O.:** *The dynamics of intellectual property rights for trust, knowledge sharing and innovation in project teams*. International Journal of Information Management, 37/2017, pp. 583–589.

- [50] **Olczyk D.:** *Modelowanie strukturalne: definicje notacja techniki i narzędzia*. Zeszyty Naukowe Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki, 2010.
- [51] **Pan X., Wang J., Liu L.:** *Knowledge Sharing Model based on Concept Clustering*. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 27(2)/2007, pp. 126–132.
- [52] **Patalas-Maliszewska J., Śliwa M.:** *The Role of Knowledge Acquisition in a Company—Research Results from German and Polish Manufacturing Companies*. *Foundations of Management*, 9(1)/2017, pp. 87-98.
- [53] **Penc J.,** *Leksykon biznesu*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1997.
- [54] **Pietrowski S.:** *Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów tłokowych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1999.
- [55] **Pietrowski S., Szymczak T.:** *Budowa połączenia powłoki alfinowanej z siluminem*, Archiwum Odlewnictwa, nr. 12, PAN – Katowice 2004.
- [56] **Pietrowski S.,** *Siluminy*. Politechnika Łódzka, Łódź, 2001.
- [57] **Pietrowski S.,** *Siluminy tłokowe*. Monografia, Krzepnięcie Metali i stopów, PAN, Komisja Odlewnictwa, 1997.
- [58] **PN-B-01012:1981.** Budowle magazynowe. Podział, nazwy i określenia
- [59] **PN-EN ISO 9000:2015-10,** Systemy zarządzania jakością - Podstawy i terminologia.
- [60] **Poniewierski Z.,** *Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów*. WNT, 1989.
- [61] **Prakash A., Chan F.T.S., Deshmukh S.G.:** *FMS scheduling with knowledge based genetic algorithm approach*. *Expert Systems with Applications*, 38/2011, pp. 3161–3171.
- [62] **Prodan I., Svetina A.C.:** How Internal and External Sources of Knowledge Contribute to Firms' Innovation Performance. *Managing Global Transitions*, 6(3)/2008, pp. 277–299.
- [63] **Rytel K.,** *Dlaczego nie warto budować spalarni odpadów komunalnych*, Zielone Mazowsze, 03.2010 r.
- [64] **Salaciński T.,** *SPC, statystyczne sterowanie procesami produkcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [65] **Sendecki A., Leksycki K.,** *Analiza jakości ciekłych siluminów z grupy AlSiCu, AlSi(9)Cu, AlSiNiMg w oparciu o analizę procesu ich kurczenia się w okresie krzepnięcia i stygnięcia*. Praca magisterska, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, (2010).
- [66] **Song J., Asakawa K., Chu Y.:** What determines knowledge sourcing from host locations of overseas R&D operations?: A study of global R&D activities of Japanese multinationals. *Research Policy*, 40/2011, pp. 380–390.

- [67] **Sosa E.:** *Virtue Epistemology: Apt Belief and Reflective Knowledge*. University Press, Oxford, 2007.
- [68] **Szczepańska K.:** *Zarządzanie jakością*. W dążeniu do doskonałości, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2011, s. 22.
- [69] **Szczerba B.:** Wykorzystanie notacji BPMN jako metody wspomagającej automatyzację procesów na przykładzie zarządzania reklamacjami w branży motoryzacyjnej. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, 1/2017, pp. 30-35.
- [70] **Śliwczyński B.:** *Środowisko informatyczne modelowania i symulacji zarządzania przepływem materiałów*, Modelowanie systemu zarządzania przepływem materiałów i oceny efektywności procesów, Wyższa Szkoła Logistyki, 2015.
- [71] **Tabaszewska E.:** *Nowoczesne koncepcje zarządzania – zarządzanie wiedzą*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław, 2008.
- [72] **Urbaniak M.,** *Zarządzanie Jakością teoria i praktyka*, Difin, Warszawa 2004.
- [73] **Wang M., Zheng M., Tian L., Qiu Z., Li X.:** *A full life cycle nuclear knowledge management framework based on digital system*. *Annals of Nuclear Energy*, 108/2017, pp. 386–393.
- [74] **Wawak S.,** *Zarządzanie jakością- podstawy, systemy i narzędzia*, Wyd. HELION 2011.
- [75] **White S. A.:** *Introduction to BPMN*. IBM Cooperation 2.0, 2004
- [76] **Wielgoński G., Niemiecińska O.,** *Spalarnie odpadów komunalnych – perspektywa roku 2020*, *Nowa Energia* nr 02, 2016, 11-21.
- [77] **Wielgoński G.,** *Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych – wybrane zagadnienia*, *Nowa Energia*, Racibórz, 2016.
- [78] **Więcka J., [red.]** *Zintegrowane zarządzanie*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2007;
- [79] **Wrycza S., Marcinkowski B., Wyrzykowski K.:** *Język UML 2.0 w modelowaniu systemów informatycznych*. Wyd. Helion, Gliwice, 2006.
- [80] **Voronin M., Belousova V., Manskov S., Proskurin E., Khalina N.:** *Understanding Knowledge in Linguistic Theory and Educational Process*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 214/2015, pp. 1139 – 1146.
- [81] **Yang S.C., Farn C.K.:** *Social capital, behavioural control, and tacit knowledge sharing – A multi-informant design*. *International Journal of Information Management*, 29/2009, pp. 210–218.
- [82] **Zymonik Z., Hamrol A., Grudowski P.,** *Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.
- [83] **Żygadło M.,** *Projekt mikroprocesorowego rejestratora do pomiarów w odlewnictwie*, Raport wewnętrzny z projektu KBN Nr 7 To8B 032, Zielona Góra, (1999).

- [84] **Żytniewski M., Zadora P.:** *Modelowanie procesów biznesowych z użyciem notacji BPMN. Studia Ekonomiczne. Wyzwania w rozwoju podstaw metodycznych projektowania systemów informatycznych zarządzania*, nr 128/2013, pp. 195-210.

### Strony internetowe

- [85] <http://cpfd-software.com/barracuda-vr-solutions>.
- [86] [www.ibspan.waw.pl/~sikorski/tqm/wyk\\_3.htm](http://www.ibspan.waw.pl/~sikorski/tqm/wyk_3.htm)
- [87] [http://www.tsolution.eu/userfiles/files/PlastNews\\_3\\_2013\\_Czyszczenie\\_form\\_wtryskowych\\_z\\_wykorzystaniem\\_energii\\_ultradzwiekow.pdf](http://www.tsolution.eu/userfiles/files/PlastNews_3_2013_Czyszczenie_form_wtryskowych_z_wykorzystaniem_energii_ultradzwiekow.pdf)
- [88] <https://www.isof.pl/> (dn.: 30.07.2016)
- [89] <https://www.jungheinrich.pl/> (dn.: 10.08.2016)
- [90] <http://www.hit-kody.com.pl/> (dn.: 1.08.2016)
- [91] [http://promag.pl/Automatyczne\\_systemy\\_skladowania,9418.html](http://promag.pl/Automatyczne_systemy_skladowania,9418.html) (dn.: 1.08.2016)
- [92] Polski Przemysł: <https://polskiprzemysl.com.pl/efektywna-organizacja/procesy-biznesowe-czyli-jak-inaczej-myslec-o-firmie/> [dostęp: 24.09.2017].

## AUTORZY

**Marcin Chciuk** dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: m.chciuk@iibnp.uz.zgora.pl

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

**Dudek Adam**, mgr inż., Instytut Nauk Technicznych, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie, ul. Chodowieckiego 4, 48-300 Nysa, e-mail: adam.dudek@pwsz.nysa.pl

**Julian Jakubowski**, dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: j.jakubowski@iizp.uz.zgora.pl

**Anna Kuryś**, inż., absolwent Uniwersytetu Zielonogórskiego, Wydział Mechaniczny, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

**Kamil Leksycki**, Park Naukowo-Technologiczny Uniwersytetu Zielonogórskiego Sp. z o.o. e-mail: K.Leksycki@pnt.uz.zgora.pl student studiów doktoranckich Inżyniera Produkcji/Budowa i Eksploatacja Maszyn, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski

**Michał Ociepa**, mgr inż., student studiów doktoranckich Inżyniera Produkcji/Budowa i Eksploatacja Maszyn, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, email: michalociepa@mail.com

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

**Marek Salamaj**, dr inż., Wydział Mechaniczny (Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją), Uniwersytet Zielonogórski, e-mail: M.Salamaj@iizp.uz.zgora.pl,

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

**Rafał Szumski** mgr inż., student studiów doktoranckich Inżyniera Produkcji/Budowa i Eksploatacja Maszyn, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, email: Uniwersytet Zielonogórski, szumskirafal@gmail.com

**Małgorzata Śliwa**, mgr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: m.sliwa@iizp.uz.zgora.pl

**Wojciech Wodzisławski**, inż., absolwent Uniwersytetu Zielonogórskiego, Wydział Mechaniczny, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

**Przemysław Wojciechowski**, mgr inż., absolwent Uniwersytetu Zielonogórskiego, Wydział Mechaniczny, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

**Ewelina Zema** inż., absolwent Uniwersytetu Zielonogórskiego, Wydział Mechaniczny, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji