



**Instytut Inżynierii  
Mechanicznej  
ul. Szafrana 4  
65-246 Zielona Góra**

tel. (0-68) 328-22-73  
sekretariat@iim.uz.zgora.pl

**IIM**  
Instytut Inżynierii Mechanicznej



ISBN 978-83-959326-6-3



9 788395 932663

**19**

# INŻYNIERIA

# PRODUKCJI

*Badania  
w inżynierii  
mechanicznej*

Pod redakcją:  
Juliana Jakubowskiego  
Justyny Patalas-Maliszewskiej

# Z i P

Uniwersytet Zielonogórski  
Zielona Góra 2023

# INŻYNIERIA PRODUKCJI

*Badania  
w inżynierii mechanicznej*

Pod redakcją:  
Juliana Jakubowskiego  
Justyny Patalas-Maliszewskiej



Zielona Góra 2023

## UNIwersytet Zielonogórski



Wydawnictwo Naukowe Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego  
Wydawnictwo Naukowe Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego wydaje  
monografię na licencji CC



# IIM

Instytut Inżynierii Mechanicznej

### Autorzy rozdziałów:

**Rozdział 1:** Kamil Leksycki, Michał Dunaś, Mateusz Jędrzejczyk

**Rozdział 2:** Remigiusz Romankiewicz, Mateusz Zarzycki

**Rozdział 3:** Tomasz Modrzyk, Piotr Gawłowicz

**Rozdział 4:** Damian Draj, Sławomir Kłos

**Rozdział 5:** Kamil Białkowski, Renata Jolanta Kasperska

**Rozdział 6:** Julian Jakubowski, Renata Pietrusiewicz

**Rozdział 7:** Kuryło Piotr, Rębilas Magdalena, Koszulański Konrad, Wysoczański Adam

**Rozdział 8:** Adam Wysoczański, Piotr Kuryło, Dariusz Jakowicz, Konrad Koszulański

**Rozdział 9:** Bartosz Siwczyk, Paweł Schlafka, Michał Sąsiadek,  
Waldemar Woźniak

Redakcja naukowa: **Julian Jakubowski, Justyna Patalas-Maliszewska**

Recenzenci: **prof. Milan Edl, dr hab. inż. Grzegorz Bocewicz, prof. Politechniki  
Koszalińskiej**

ISBN 978-83-959326-6-3



## Spis treści

Przedmowa .....	5
<b>Rozdział 1</b>	
Chropowatość powierzchni stali nierdzewnej 1.4418 QT900 po toczeniu na sucho i z zastosowaniem metody zalewowej .....	7
<i>Kamil Leksycki, Michał Dunas, Mateusz Jędrzejczyk</i>	
<b>Rozdział 2</b>	
Wpływ modyfikacji złożonymi zaprawami modyfikującymi na zmiany w strukturze nadeutektycznego siluminu AlSi21CuNi .....	17
<i>Remigiusz Romankiewicz, Mateusz Zarzycki</i>	
<b>Rozdział 3</b>	
Badanie i zapobieganie występowania nieszczelności w układach pneumatycznych ...	29
<i>Tomasz Modrzyk, Piotr Gawłowicz</i>	
<b>Rozdział 4</b>	
Predykcyjne utrzymanie ruchu na przykładzie pompy załadunkowej ciekłego azotu ...	53
<i>Damian Drąg, Sławomir Kłos</i>	
<b>Rozdział 5</b>	
Metody analizy i oceny gospodarki materiałowej .....	63
<i>Kamil Białkowski, Renata Jolanta Kasperska</i>	
<b>Rozdział 6</b>	
Audyt wewnętrzny jako narzędzie doskonalenia systemu zarządzania jakością w przedsiębiorstwie produkcyjno handlowym .....	79
<i>Julian Jakubowski, Renata Pietrusiewicz</i>	
<b>Rozdział 7</b>	
Analiza oraz doskonalenie metod kontroli jakości .....	95
<i>Kuryło Piotr, Rębilas Magdalena, Koszulański Konrad, Wysoczański Adam</i>	
<b>Rozdział 8</b>	
Wykorzystanie narzędzi informatycznych w procesach produkcyjnych .....	115
<i>Adam Wysoczański, Piotr Kuryło, Dariusz Jakowicz, Konrad Koszulański</i>	
<b>Rozdział 9</b>	
Badania polietyleny wysokiej gęstości (HDPE) metodami zaawansowanej analizy termicznej .....	127
<i>Bartosz Siwczyk, Paweł Schlafka, Michał Sęsiadek, Waldemar Woźniak</i>	
Bibliografia .....	127
Informacja o autorach .....	133



## PRZEDMOWA

*Szanowni Państwo,*

*niniejsza publikacja pokazuje dobre przykłady prowadzonych prac poznawczych przez studentów kierunków kształcenia przypisanych do dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Bardzo często są to rozwiązania rzeczywistych problemów w przedsiębiorstwach, które zostały opracowane przy wsparciu merytorycznym nauczycieli akademickich kierunków kształcenia Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Mechanika i Budowa Maszyn oraz Bezpieczeństwo i Higiena Pracy Uniwersytetu Zielonogórskiego.*

*Pierwsze trzy rozdziały książki pokazują wyniki prac eksperymentalnych. W rozdziale pierwszym dokonano oceny chropowatości powierzchni stali nierdzewnej 1.4418 QT900 po toczeniu wykończeniowym w warunkach obróbki na sucho i z zastosowaniem metody zalewowej, która znajduje powszechne zastosowanie w przemyśle wytwórczym. Do planowania eksperymentów zastosowano metodę Parameter Space Investigation (PSI), która zapewnia minimalizację liczby punktów badań. Jako zmienne parametry zastosowano prędkość skrawania ( $v_c$ ) i posuw ( $f$ ). Obróbka na sucho zapewnia zmniejszenie parametrów  $S_a$  i  $S_z$  chropowatości powierzchni w zakresie  $v_c = 160\text{--}240$  m/min i  $f = 0,2\text{--}0,25$  mm/obr. W porównaniu do obróbki na sucho, zastosowanie metody zalewowej zapewnia zmniejszenie parametrów  $S_a$  i  $S_z$  odpowiednio do 42% i do 49%. Po toczeniu z  $v_c = 231$  m/min i  $f = 0,16$  mm/obr na powierzchniach obrobionych obserwuje się regularnie rozmieszczone wgłębienia i wzniesienia oraz dodatkowo na powierzchni po toczeniu na sucho pojedyncze szczyty i głębokie rowy. Rozdział drugi to wyniki badań nad wpływem modyfikacji na strukturę stopu AlSi21CuNi za pomocą złożonych zapraw modyfikujących. Jako modyfikatory zastosowano zaprawę z fosforem AlCu19P1,4 w ilości 1,07% oraz zaprawę CuP12 w ilości 0,12%. Dodatkowo wraz z zaprawami dodawano również 0,02% żelaza. Badania struktury oraz profili przelomów wykonano na mikroskopie metalograficznym Zeiss Axio Observer Am1 przy powiększeniu 100x. Z badań wynika, że najskuteczniejszym modyfikatorem zapewniającym bardzo skuteczne rozdrobnienie kryształów pierwotnego krzemu okazała się zaprawa AlCu19P1,4 w ilości 1,07% (średni rozmiar kryształów 42  $\mu\text{m}$ ). Wpłynęło to również na łagodniejszy przebieg pęknięcia badanego stopu co ma potwierdzenie w obrazach profili przelomów. Modyfikator w postaci zaprawy CuP12 w ilości 0,12% spowodował znacznie mniejsze rozdrobnienie w stosunku do zaprawy AlCu19P1,4 zapewniając średni rozmiar kryształów pierwotnego krzemu wynoszący 154  $\mu\text{m}$ . W rozdziale trzecim przeprowadzono analizę nieszczelności w układach pneumatycznych. Zbudowano diagram przyczynowo – skutkowy występowania nieszczelności oraz przedstawiono wybrane metody badania wycieków powietrza w instalacjach pneumatycznych.*

*W drugiej części monografii zaprezentowano wyniki prac prowadzących do poprawy efektywności funkcjonowania poszczególnych działów przedsiębiorstw produkcyjnych. W rozdziale czwartym przedstawiono zagadnienia dotyczące możliwości implementacji systemu predykcyjnego utrzymania ruchu dla potrzeb prognozy stanów awaryjnych pompy do załadunku ciekłego azotu. Rozdział piąty to prezentacja metod i narzędzi do analizy i oceny gospodarki materiałowej. Następnie w odniesieniu do działów zarządzania i kontroli jakości w przedsiębiorstwach produkcyjnych zaprezentowano w rozdziale szóstym audyt wewnętrzny jako narzędzie doskonalenia systemu zarządzania jakością. Rozdział siódmy to proces wdrożenia kompleksowego zarządzania jakością, analiza jego korzyści oraz trudności przy implementacji. Zawrócono również uwagę na ważność czynnika ludzkiego jako warunkującego osiągnięcie sukcesu w takich*

*działaniach. W rozdziale ósmym przedstawiono narzędzia informatyczne wspomagające procesy produkcyjne w obszarze technicznego przygotowania produkcji. Rozdział dziewiąty to przykład prac badawczych nad stabilnością tworzyw sztucznych poddawanych recyklingowi, możliwościach ich uzdatniania, ulepszania i wydłużania cyklu życia. Przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości regranulatu HDPE wytworzonego na podstawie odpadów produkcyjnych pochodzących z wytwarzania worków na śmieci.*

*Wyrażamy podziękowanie Autorom rozdziałów, którzy są wykonawcami zadań badawczych realizowanych w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości”. Dzięki ich zaangażowaniu i prowadzonym pracom badawczym możliwe jest wzmocnienie potencjału badawczego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna Uniwersytetu Zielonogórskiego.*

*Mamy nadzieję, iż przedstawione wybrane wyniki badań prowadzonych we współpracy ze studentami w dyscyplinie inżynieria mechaniczna w Uniwersytecie Zielonogórskim będą przyczynkiem do dalszej współpracy nauki i biznesu.*

*Gorąco zachęcamy do lektury.*

*Redaktorzy*

# CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI STALI NIERDZEWNEJ 1.4418 QT900 PO TOCZENIU NA SUCHO I Z ZASTOSOWANIEM METODY ZALEWOWEJ

## 1. WPROWADZENIE

Chropowatość powierzchni jest powszechnie stosowanym wskaźnikiem do oceny jakości wyrobu i odpowiedzią na stawiane wymogi techniczne dla produktów wytwarzanych mechanicznie. Chropowatość powierzchni określana jest jako zbiór nierówności występujących na powierzchni rzeczywistej, niewynikający z jej kształtu, który jest obserwowany optycznie lub wyczuwalny mechanicznie. W obróbce skrawaniem, chropowatość powierzchni zależy od m.in. rodzaju obróbki i materiału obrabianego, geometrii narzędzia skrawającego, warunków chłodzenia i parametrów technologicznych skrawania [1].

Stale nierdzewne są bardzo ważną grupą materiałów stosowanych w przemyśle ze względu na ich korzystne właściwości mechaniczne i chemiczne, a więc bardzo dobrą odporność korozyjną, wysoką odporność zmęczeniową oraz żaroodporność [2]. Jednakże, stale nierdzewne zaliczane są do grupy materiałów trudno skrawalnych, dlatego przy ich obróbce stosuje się ciecze chłodząco-smarujące (CCS). Zastosowanie CCS zapewnia m.in. obniżenie temperatury w strefie skrawania, wydłużenie żywotności ostrza skrawającego czy zmniejszenie chropowatości powierzchni obrabianej [3].

Wpływ warunków chłodzenia na chropowatość powierzchni stali nierdzewnych po procesie toczenia analizowano w wielu pracach naukowych. Leksycki i Feldshtein [4] badali chropowatość powierzchni stali nierdzewnej X5CrNiCuNb16-4 po toczeniu na sucho i z zastosowaniem metody zalewowej. Badania przeprowadzono w zakresie prędkości skrawania 150–500 m/min i posuwu 0,05–0,4 mm/obr i stałej głębokości skrawania 0,5 mm. Podczas obróbki z zastosowaniem metody zalewowej zmniejszają się zarówno parametry  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_p$ ,  $R_v$  i  $R_q$  chropowatości powierzchni, jak i intensywność wpływu prędkości skrawania i posuwu. W porównaniu do obróbki na sucho, z zastosowaniem metody zalewowej uzyskano zmniejszenie badanych parametrów chropowatości powierzchni od 20% do 25%. Krolczyk i in. [5] badali chropowatość powierzchni stali nierdzewnej duplex po toczeniu na sucho i z zastosowaniem metody MQCL (minimum quantity cooling lubrication). Badania zrealizowano w zakresie prędkości skrawania 50–150 m/min, posuwu 0,05–0,094 mm/obr i głębokości skrawania 1 mm. Parametry  $S_a$ ,  $S_q$ ,  $S_z$ ,  $S_p$  i  $S_v$  chropowatości powierzchni wzrastają wraz ze wzrostem posuwu oraz prędkości skrawania. W porównaniu do obróbki na sucho, przy zastosowaniu większych



prędkości skrawania i metody MQCL uzyskano zmniejszenie analizowanych parametrów chropowatości powierzchni. Dhananchezian i in. [6] badali wpływ chłodzenia kriogenicznego na chropowatość powierzchni stali nierdzewnej duplex. Przy chłodzeniu kriogenicznym zastosowano ciekły azot podawany do strefy skrawania pod ciśnieniem 20 bar. Zastosowano prędkości skrawania 72, 119 oraz 197 m/min, posuw 0,111 mm/obr oraz głębokość skrawania 1 mm. W porównaniu do obróbki na sucho, chłodzenie kriogeniczne zapewnia zmniejszenie chropowatości powierzchni od 18% do 23%. Liu i in. [7] badali chropowatość powierzchni stali nierdzewnej AISI 304 po toczeniu z zastosowaniem metody zalewowej oraz MQCL. Zastosowano prędkość skrawania 200–400 m/min, posuw 0,05–0,15 mm/obr i głębokość skrawania 0,2–0,4 mm. Chropowatość powierzchni wzrastała wraz ze wzrostem posuwu oraz malała przy średniej głębokości skrawania. Najmniejszą chropowatość powierzchni uzyskano po obróbce z prędkością skrawania 375 m/min, posuwem 0,05 mm/obr oraz głębokością skrawania 0,2 mm. Sivaiah i Czakradhar [8] badali wpływ obróbki na sucho, z zastosowaniem metody zalewowej, MQL (minimum quantity lubrication) i chłodzenia kriogenicznego na chropowatość powierzchni stali nierdzewnej 17-4 PH. Zastosowano prędkość skrawania 78,5 m/min, posuw 0,143 mm/obr i głębokość skrawania 0,2–1 mm. Obróbka kriogeniczna w całym badanym zakresie głębokości skrawania zapewnia zmniejszenie chropowatości powierzchni obrabianej badanej stali. Leksycki i in. [9] badali topografię powierzchni stali nierdzewnej 17-4PH po toczeniu wykończeniowym w warunkach obróbki na sucho, z zastosowaniem metody zalewowej, MQL oraz MQL z dodatkiem przeciwwzrostowemu EP (extreme pressure). Zastosowano prędkość skrawania 150–500 m/min, posuwu 0,05–0,4 mm/obr oraz głębokość skrawania 0,05 mm. W porównaniu do obróbki na sucho, obróbka z zastosowaniem metody zalewowej zapewnia zmniejszenie parametrów  $S_a$ ,  $S_z$  i  $S_q$  do 40%, z MQL do 48% i z MQL + EP do 43%.

Analiza literatury wykazała, że istnieje wiele artykułów dotyczących wpływu warunków chłodzenia i obróbki na chropowatość powierzchni stali nierdzewnej po procesie toczenia, co oznacza, że istnieje stosunkowo duże zainteresowanie tym zagadnieniem. Należy zauważyć, że w analizowanych pracach naukowych badano znane i popularne stale nierdzewne, a mianowicie: AISI 316L, 17-4PH, AISI 304L czy duplex. Natomiast, pojawiające się na rynku nowe stale nierdzewne wymagają prowadzenia kolejnych badań w rozpatrywanych aspektach.

Celem badań była ocena wpływ parametrów skrawania i warunków obróbki na chropowatość powierzchni utwardzonej stali nierdzewnej 1.4418 w stanie QT900.

## 2. METODYKA BADAŃ

Badano kwasoodporną stal nierdzewną 1.4418 w stanie ulepszenia cieplnego QT900. W celu uzyskania stanu QT materiał poddawany jest procesowi hartowania i odpuszczania w wysokich temperaturach. Skład chemiczny stali 1.4418 podano w tabeli 1.

Stal nierdzewna 1.4418 cechuje się takimi właściwościami mechanicznymi jak: moduł sprężystości 200 GPa, wytrzymałość na rozciąganie 900–1150 MPa oraz granica plastyczności 700 MPa. Materiał cechuje się bardzo dobrą odpornością na korozję, dobrą spawalnością oraz wytrzymałością mechaniczną. Ze względu na swoje korzystne wła-

ściwości znajduje zastosowanie m.in. na obciążone sworznie i wały śrubowe w przemyśle lotniczym czy na elementy turbin wodnych.

Tabela 1. Skład chemiczny stali 1.4418, % (wg normy EN 10088-1:2014).

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N
max	max	max	max	max	15,0	4,0	0,80	min
0,06	1,50	0,70	0,040	0,015	17,0	6,0	1,50	0,02

Badania przeprowadzono na tokarce CNC typu CKE6136i firmy DMTG (rys. 1). Narzędzie skrawające stanowiła oprawka tokarska SDJCR 2020 K11 firmy AKKO (rys. 2) oraz płytki wymienna CoroTurn DCMX 11 T3 04-WM 1115 firmy Sandvik Coromant (rys. 3). Obróbkę przeprowadzono w zakresie prędkości skrawania ( $v_c$ ) 100–250 m/min, posuwu ( $f$ ) 0,005–0,25 mm/obr oraz przy zastosowaniu stałej głębokości skrawania ( $a_p$ ) 0,5 mm. Toczenie przeprowadzono w warunkach obróbki na sucho oraz z zastosowaniem metody zalewowej (obróbka tzw. na mokro). Podczas obróbki z zastosowaniem metody zalewowej, jako ciecz chłodząco-smarująca zastosowana została emulsja wodna na bazie oleju Castrol Alusol SL 51 XBB o 7% stężeniu roboczym.



Rys. 1. Tokarka CNC typu CKE6136i firmy DMTG.



Rys. 2. Oprawka tokarska SDJCR 2020 K11 firmy AKKO.



Rys. 3. Płytkę wymienną CoroTurn DCMX 11 T3 04-WM 1115 firmy Sandvik Coromant.

Parametry chropowatości powierzchni badanej stali mierzono za pomocą mikroskopu optycznego Sensofar S Neox 3D (rys. 4) i przy zastosowaniu technologii Confocal Profilers. Do opracowania wyników pomiarów użyto oprogramowania Mountains Maps 7. Oceniono parametry  $S_a$  i  $S_z$  chropowatości powierzchni, które są zgodne z normą ISO 25178-2:2012. Parametry  $S_a$  i  $S_z$  stosowane są powszechnie w przemyśle do oceny jakości wyrobu. Dokonano również oceny powierzchni obrobionych, a analizy oparto o uzyskane widoki izometryczne i mapy warstwiczne.



Rys. 4. Mikroskop optyczny Sensofar S Neox 3D.

Plan badań został opracowany z wykorzystaniem metody PSI (Parameter Space Investigation), która umożliwia planowanie eksperymentów przy minimalizacji liczby punktów badań [10]. Metoda PSI jest metodą skuteczną przy planowaniu badań naukowych, co potwierdzono w artykułach [9,11,12]. Siedem punktów badań uzyskanych według metody PSI umożliwiło przeprowadzenie analizy statystycznej wyników badań. Do tej analizy posłużył program Statistica 13.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Na podstawie wyników uzyskanych eksperymentalnie w 7 punktach badań według metody PSI dokonano analizy statystycznej. Wygenerowano równania regresji, wykresy powierzchniowe i warstwiczne dla parametrów  $S_a$  i  $S_z$  chropowatości powierzchni w

zależności od prędkości skrawania, posuwu i warunków obróbki na sucho i z zastosowaniem metody zalewowej.

Modele matematyczne do obliczeń parametrów  $Sa$  i  $Sz$  chropowości powierzchni dla warunków obróbki:

- na sucho:

$$Sa = 4,09 - 0,04v_c + 4,68f + 9,93(E-5)v_c^2 - 0,01v_c f - 22,14f^2$$

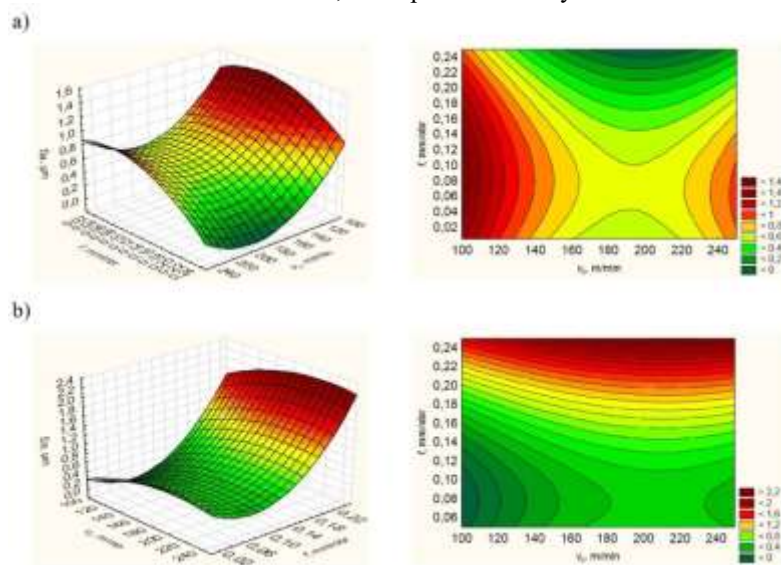
$$Sz = 45,97 - 0,46v_c + 68,29f + 0,001v_c^2 - 0,50v_c f - 60,92f^2$$

- z zastosowaniem metody zalewowej:

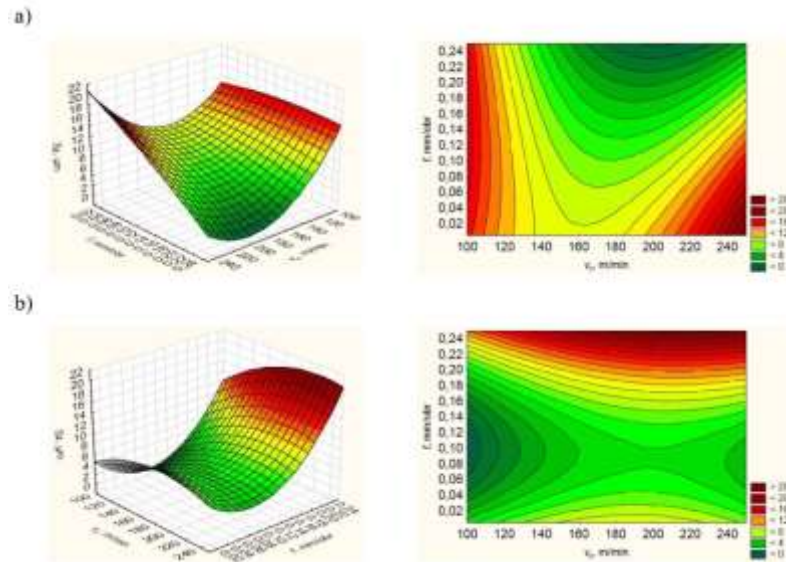
$$Sa = -1,10 + 0,02v_c - 9,55f - 4,45(E-5)v_c^2 + 0,003v_c f + 58,63f^2$$

$$Sz = -10,61 + 0,21v_c - 131,56f - 0,0006v_c^2 + 0,15v_c f + 574,70f^2$$

Na podstawie uzyskanych modeli matematycznych wygenerowano wykresy powierzchniowe i warstwiczne zmian parametrów  $Sa$  i  $Sz$  w zależności od prędkości skrawania i posuwu oraz warunków obróbki, które pokazano na rys. 5 i 6.



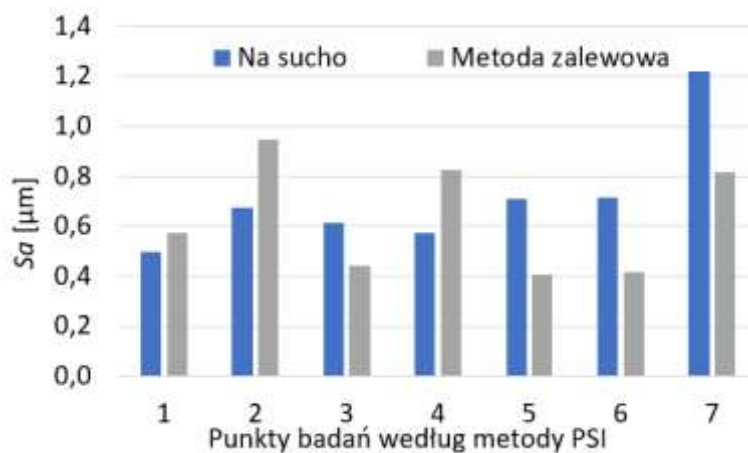
Rys. 5. Wykresy powierzchniowe i warstwiczne zmian parametru  $Sa$  w zależności od prędkości skrawania i posuwu dla warunków obróbki: a) na sucho, b) z zastosowaniem metody zalewowej.



Rys. 6. Wykresy powierzchniowe i warstwiczne zmian parametru  $S_z$  w zależności od prędkości skrawania i posuwu dla warunków obróbki: a) na sucho, b) z zastosowaniem metody zalewowej.

Zmniejszenie parametru  $S_a$  chropowatość powierzchni po toczeniu na sucho uzyskano w zakresie  $v_c = 160\text{--}240$  m/min i  $f = 0,2\text{--}0,25$  mm/obr, a z zastosowaniem metody zalewowej w zakresie  $v_c = 100\text{--}120$  m/min i  $f = 0,005\text{--}0,13$  mm/obr. Natomiast, zmniejszenie parametru  $S_z$ , podobnie jak dla parametru  $S_a$ , uzyskano w zakresie  $v_c = 160\text{--}240$  m/min i  $f = 0,2\text{--}0,25$  mm/obr po obróbce na sucho, a z zastosowaniem metody zalewowej w zakresie  $v_c = 100\text{--}110$  m/min i  $f = 0,05\text{--}0,15$  mm/obr.

Wpływ warunków chłodzenia i parametrów obróbki na parametr  $S_a$  chropowatości powierzchni dla 7 punktów badań według metody PSI przedstawiono na rysunku 7.

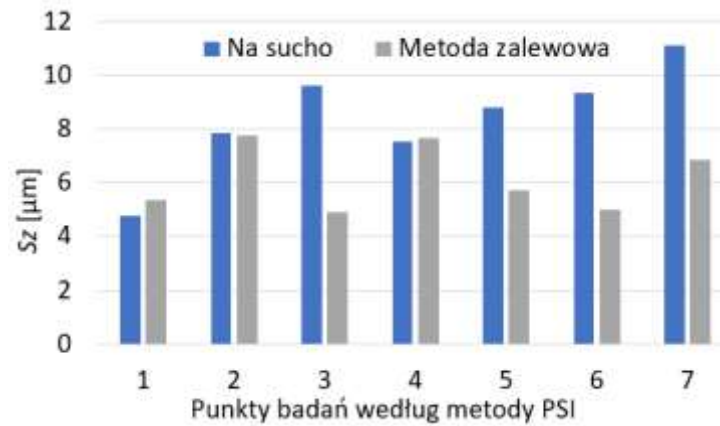


Rys. 7. Wpływ warunków chłodzenia i parametrów obróbki na parametr  $S_a$  chropowatości powierzchni dla 7 punktów badań wg metody PSI.

Najmniejsze wartości parametru  $S_a = 0,4\text{--}0,5 \mu\text{m}$  uzyskano po toczeniu wykończonym z zastosowaniem metody zalewowej w punktach 3, 5 i 6 wg metody PSI oraz po obróbce na sucho w punkcie 1. Z kolei, największe wartości parametru  $S_a = 0,75\text{--}1 \mu\text{m}$  otrzymano z zastosowaniem metody zalewowej w punktach 2 i 4 oraz po obróbce na sucho w punkcie 7. W porównaniu do obróbki na sucho, zastosowanie metody zalewowej zapewnia obniżenie parametru  $S_a$  chropowatości powierzchni od 28% do 42%.

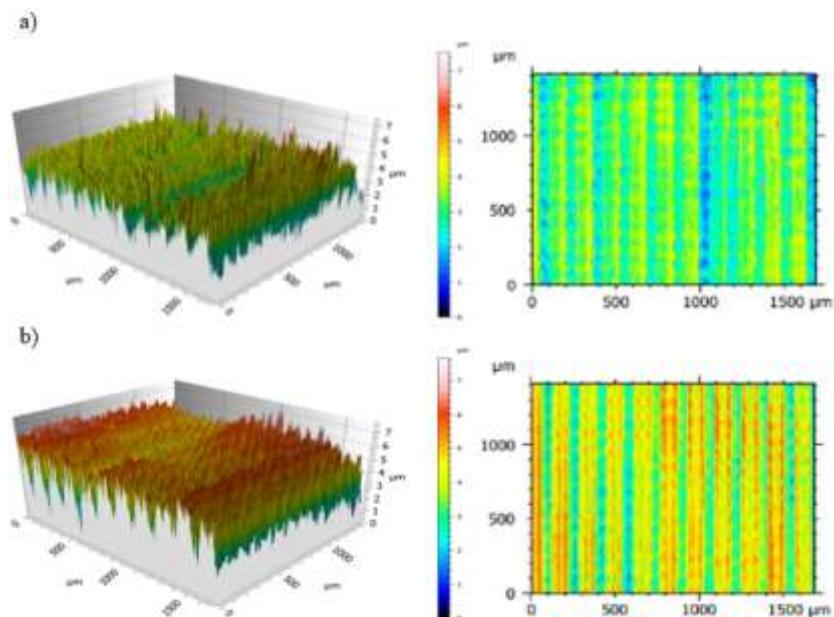
Wpływ warunków chłodzenia i parametrów obróbki na parametr  $S_z$  chropowatości powierzchni dla 7 punktów badań według metody PSI przedstawiono na rysunku 8.

Najmniejsze wartości parametru  $S_z = 4,5\text{--}5,0 \mu\text{m}$  uzyskano po obróbce z zastosowaniem metody zalewowej w punktach 3 i 6 wg metody PSI oraz po obróbce na sucho w punkcie 1. Natomiast, największe wartości parametru  $S_z = 8,8\text{--}11,1 \mu\text{m}$  uzyskano jedynie po toczeniu na sucho w punktach 3, 5–7. W porównaniu do obróbki na sucho, zastosowanie metody zalewowej zapewnia obniżenie parametru  $S_z$  chropowatości powierzchni od 1% do 49%.



Rys. 8. Wpływ warunków chłodzenia i parametrów obróbki na parametr  $S_z$  chropowatości powierzchni dla 7 punktów badań wg metody PSI.

Widoki izometryczne i mapy warstwicowe powierzchni po toczeniu wykończeniowym w warunkach obróbki na sucho i z zastosowaniem metody zalewowej z  $v_c = 231$  m/min i  $f = 0,16$  mm/obr przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Widoki izometryczne oraz mapy warstwicowe powierzchni po toczeniu wykończeniowym z  $v_c = 231$  m/min i  $f = 0,16$  mm/obr w warunkach obróbki: a) na sucho, b) z zastosowaniem metody zalewowej.

Dla badanych warunków obróbki na powierzchniach obrobionych obserwuje się ślady po posuwie widoczne, jako wzniesienia i wgłębienia. W porównaniu do obróbki na sucho, na powierzchni obrobionej z zastosowaniem metody zalewowej wzniesienia i wgłębienia są bardziej regularne. Niezależnie od tego, dla obu warunków obróbki wysokości wzniesień osiągają  $\sim 7,5 \mu\text{m}$ . Dodatkowo, na powierzchni obrobionej na sucho występują nieregularnie rozmieszczone pojedyncze szczyty. Jak podają Leksycki i Feldshtein [13] obserwowane szczyty mogą świadczyć o nalepieniach drobnych odłamków wiórów do obrobionej powierzchni, które podczas obróbki na sucho nie zostały wypłukane, tak jak przy obróbce z zastosowaniem metody zalewowej. Ponadto, na powierzchni obrobionej na sucho obserwuje się pojedynczo występujące, głębokie rowy.

#### 4. PODSUMOWANIE

W artykule oceniono wpływ parametrów skrawania i warunków obróbki na chropowatość powierzchni utwardzonej stali nierdzewnej 1.4418 QT900. Toczenie zrealizowano w zakresie zmiennych parametrów skrawania, a więc  $v_c = 100\text{--}250 \text{ m/min}$  i  $f = 0,005\text{--}0,25 \text{ mm/obr}$  oraz w warunkach obróbki na sucho i z zastosowaniem metody zalewowej. Na podstawie przeprowadzonych badań wywnioskowano, że:

- toczenie na sucho zapewnia zmniejszenie parametrów  $Sa$  i  $Sz$  chropowatości powierzchni w zakresie  $v_c = 160\text{--}240 \text{ m/min}$  i  $f = 0,2\text{--}0,25 \text{ mm/obr}$ , a zastosowanie metody zalewowej parametru  $Sa$  w zakresie  $v_c = 100\text{--}120 \text{ m/min}$  i  $f = 0,005\text{--}0,13 \text{ mm/obr}$  oraz  $Sz$  w zakresie  $v_c = 100\text{--}110 \text{ m/min}$  i  $f = 0,05\text{--}0,15 \text{ mm/obr}$ ,
- wartości parametru  $Sa = 0,4\text{--}0,5 \mu\text{m}$  i  $Sz = 4,5\text{--}5,0 \mu\text{m}$  uzyskano z zastosowaniem metody zalewowej w punktach badań 3 i 6 wg metody PSI oraz po obróbce na sucho tylko w punkcie 1,
- w porównaniu do obróbki na sucho, zastosowanie metody zalewowej zapewnia obniżenie parametru  $Sa$  chropowatości powierzchni od 28% do 42%, a  $Sz$  od 1% do 49%,
- po toczeniu z  $v_c = 231 \text{ m/min}$  i  $f = 0,16 \text{ mm/obr}$  na powierzchniach obrobionych obserwuje się typowe dla toczenia ślady po posuwie widoczne jako wgłębienia i wzniesienia, ponadto na powierzchni obrobionej na sucho obserwuje się pojedyncze szczyty i głębokie rowy.

#### LITERATURA

- [1] **P.G. Benardos, G.C. Vosniakos**, (2003). *Predicting surface roughness in machining: a review*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 43, pp. 833–844.
- [2] **C.A.O. Junior, A.E. Diniz, R. Bertazzoli**, (2014). *Correlating tool wear, surface roughness and corrosion resistance in the turning process of super*



- duplex stainless steel*. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 36, pp. 775–785.
- [3] **S.S. Rahman, M.Z.I. Ashraf, A.K.M.N. Amin, M.S. Bashar, M.F.K. Ashik, M. Kamruzzaman**, (2019). *Tuning nanofluids for improved lubrication performance in turning biomedical grade titanium alloy*. Journal of Cleaner Production, vol. 206, pp. 180–196.
- [4] **K. Leksycki, E. Feldschtein**, (2019). *The Geometric Surface Structure of X5CrNiCuNb16-4 Stainless Steel in Wet and Dry Finish Turning Condition*. In: Diering, M., Wiczorowski, M., Brown, C. (eds) *Advances in Manufacturing II. MANUFACTURING 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham.
- [5] **G.M. Królczyk, R.W. Maruda, J.B. Królczyk, P. Nieslony, S. Wojciechowski, S. Legutko**, (2018), *Parametric and nonparametric description of the surface topography in the dry and MQCL cutting conditions*. Measurement, vol. 121, pp. 225–239.
- [6] **M. Dhananchezian, R.M. Priyan, G. Rajashekar, S.S. Narayanan**, (2018). *Study The Effect Of Cryogenic Cooling On Machinability Characteristics During Turning Duplex Stainless Steel 2205*. Materials Today: Proceedings, vol. 5, pp. 12062–12070.
- [7] **N. Liu, B. Liu, H. Jiang, S. Wu, C. Yang, Y. Chen**, (2021). *Study on vibration and surface roughness in MQCL turning of stainless steel*. Journal of Manufacturing Processes, vol. 65, pp. 343–353.
- [8] **P. Sivaiah, D. Czakradhar**, (2018). *Effect of cryogenic coolant on turning performance characteristics during machining of 17-4 PH stainless steel: A comparison with MQL, wet, dry machining*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol. 21, pp. 86–96
- [9] **K. Leksycki, E. Feldshtein, G.M. Królczyk, S. Legutko**, (2020). *On the Chip Shaping and Surface Topography When Finish Cutting 17-4 PH Precipitation-Hardening Stainless Steel under Near-Dry Cutting Conditions*. Materials, vol. 13(9), 2188.
- [10] **R. Statnikov, A. Statnikov**, (2011). *The Parameter Space Investigation Method Toolkit*. Artech House.
- [11] **R.W. Maruda, G.M. Królczyk, P. Nieslony, J.B. Krolczyk, S. Legutko**, (2016). *Chip formation zone analysis during the turning of austenitic stainless steel 316L under MQCL cooling condition*. Procedia Engineering, vol. 149, pp. 297–304.
- [12] **R.W. Maruda, S. Wojciechowski, N. Szczotkarz, S. Legutko, M. Mia, M.K. Gupta, P. Nieslony, G.M. Królczyk**, (2021). *Metrological analysis of surface quality aspects in minimum quantity cooling lubrication*. Measurement, vol. 171, 108847.
- [13] **K. Leksycki, E. Feldshtein**, (2020). *The Surface Texture of Ti6Al4V Titanium Alloy Under Wet and Dry Finish Turning Conditions*. In: Królczyk, G., Nieslony, P., Królczyk, J. (eds) *Industrial Measurements in Machining. IMM 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham.

# WPŁYW MODYFIKACJI ZŁOŻONYMI ZAPRAWAMI MODYFIKUJACYMI NA ZMIANY W STRUKTURZE NADEUTEKTYCZNEGO SILUMINU ALSI21CUNI

## 1. WPROWADZENIE

Stopy nadeutektyczne Al-Si charakteryzują się występowaniem w swojej mikrostrukturze dużych pierwotnych kryształów krzemu. Kryształy te osiągają rozmiary powyżej 100  $\mu\text{m}$ , a nawet powyżej 180  $\mu\text{m}$ . Tak duże kryształy krzemu, często posiadające skomplikowane kształty, utrudniają obróbkę skrawaniem i niekorzystnie wpływają na gładkość obrabianych powierzchni, a przede wszystkim odlewów tłoków silników. Wpływa to również na pogarszanie właściwości trybologicznych i trwałości tłoków.

Korzystne rozdrobnienie pierwotnych kryształów krzemu w nadeutektycznych stopach Al-Si zapewnia modyfikacja, która zmienia niekorzystną postać pierwotnego krzemu. Powszechnie przyjmuje się, że skutecznym modyfikatorem krzemu jest mikrododatek fosforu [1, 2, 3, 4, 5], który tworzy fazę AlP w stopach Al-Si, a to powoduje niejednorodne zarodkowanie kryształów krzemu. Niektórzy badacze [4] twierdzą, że już niewielki dodatek fosforu w ilości 0,001-0,01% powoduje wywołuje rozdrobnienie i równomierne rozmieszczenie pierwotnych kryształów krzemu w strukturze nadeutektycznych stopów Al-Si. Niektórzy badacze [3, 6] stwierdzili, że efekt rafinacji pierwotnych kryształów krzemu można aktywować mikrododatkiem żelaza, który może tworzyć cząstki fazy FeP [6] i cząstki fazy FeP<sub>1,8</sub> [3].

## 2. OPIS BADAŃ

Zdecydowano się sprawdzić możliwość rozdrobnienia kryształów pierwotnego krzemu stosując mikrododatki fosforu i żelaza dla stopu AlSi21CuNi o składzie chemicznym podanym w tabeli 1.

Tab.1. Skład chemiczny stopu AlSi21CuNi wg. PN 76 / H-88027

Pierwiastek	Si	Cu	Ni	Mg	Mn	Fe	Al
Zawartość [%]	21	1,2	0,9	0,7	0,2	0,5	reszta

## 2.1. Topienie i modyfikacja stopu AlSi21CuNi

Proces topienia i modyfikacji stopu AlSi21CuNi przeprowadzono w tyglu grafitowo-szarnotowym w komorze pieca.

Modyfikację przeprowadzono przy przegrzaniu kąpieli metalowej do temperatury 730°C. Fosfor wprowadzono do modyfikowanego stopu w postaci zaprawy AlCu19P1,4 oraz zaprawy CuP12. Zaprawy modyfikujące dodawano osobno oraz w konfiguracji z mikrododatkiem 0,02% żelaza. Proces modyfikacji trwał 10 min. Warunki modyfikacji zostały przedstawione w tabeli 2.

Tab.2. Warunki modyfikacji stopu AlSi21CuNi

Nr wytopu	Warunki modyfikacji	Sredni rozmiar kryształów krzemu pierwotnego [ $\mu\text{m}$ ]
1	Bez modyfikacji	189
2	Po modyfikacji dodatkiem 1,07% AlCu19P1,4	42
3	Po modyfikacji dodatkiem 1,07% AlCu19P1,4 z dodatkiem 0,02% Fe	39
4	Po modyfikacji dodatkiem 0,12% CuP12	154
5	Po modyfikacji dodatkiem 0,12% CuP12 z dodatkiem 0,02% Fe	167

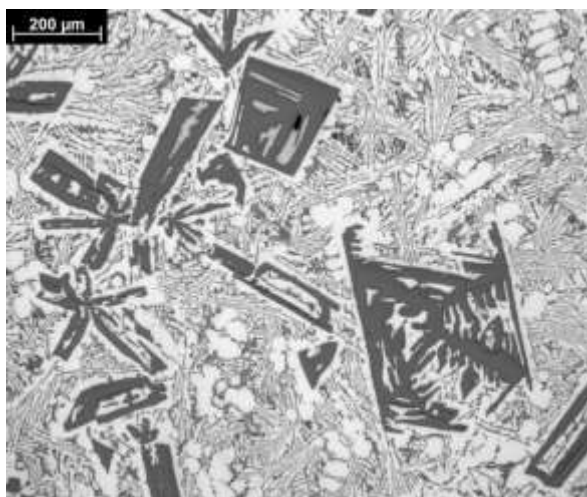
W celu zobrazowania zmian wynikających z oddziaływania zastosowanych modyfikatorów jak również ich ilości, wykonano badania struktury oraz badania profili przełomów. Obrazy struktury oraz obrazy profili przełomów uzyskano za pomocą mikroskopu metalograficznego Zeiss Axio Observer Am1 (rys. 1) stosując powiększenie 100x.



Rys. 1. Mikroskop metalograficzny Zeiss Axio Observer A1

## 2.2. Wyniki badań

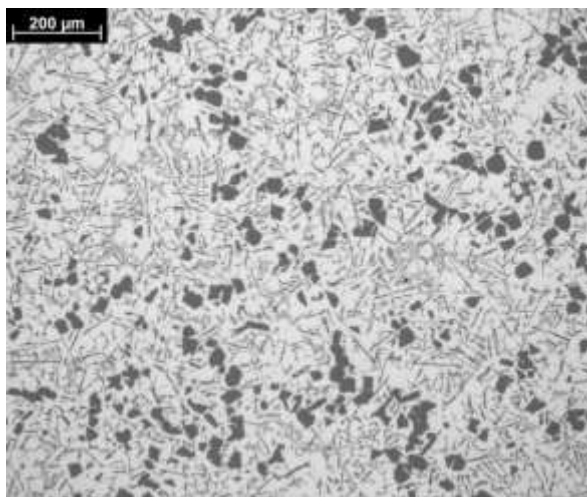
Wyniki badań przedstawiono na rysunkach od 2 do 11. Rysunki 2 do 6 obrazują wyniki badań struktury stopu AlSi21CuNi. Na rysunku 2 przedstawiono strukturę wspomnianego stopu w stanie niemodyfikowanym. W strukturze stopu niemodyfikowanego można zaobserwować niewielką ilość kryształów pierwotnego krzemu (ciemniejszej barwy) charakteryzujących się znacznymi rozmiarami w stosunku do pozostałych składników struktury. Owe pierwotne kryształy przyjmują kształty wielościanów o średniej wielkości 189  $\mu\text{m}$  oraz kształt wieloramiennych tworów (kształt gwiazdy).



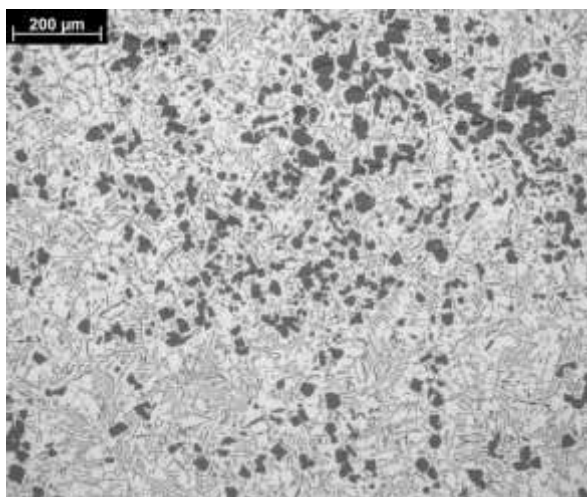
Rys. 2. Obraz struktury siluminu AlSi21CuNi bez modyfikacji

Pierwotna faza krzemowa w strukturze jest otoczona mieszaniną eutektyczną zbudowaną z drobnych jasnych kryształów fazy  $\alpha(\text{Al})$  oraz płytkowych kryształów fazy  $\beta(\text{Si})$  barwy ciemniejszej.

Obraz struktury siluminu  $\text{AlSi21CuNi}$  po modyfikacji dodatkiem zaprawy  $\text{AlCu19P1,4}$  w ilości 1,07% (rys. 3) znacząco różni się od struktury stopu w stanie niemodyfikowanym. Przede wszystkim zaobserwowano, iż występuje tu znacznie więcej kryształów pierwotnego krzemu o kilkakrotnie mniejszych rozmiarach oraz zaokrąglonych kształtach. Średnia wielkość rozdrobnionych kryształów krzemu wynosi  $42 \mu\text{m}$  (tab. 2). Również rozmieszczenie wspomnianych kryształów jest bardziej równomierne w stosunku do stanu niemodyfikowanego. W obszarze występowania eutektyki  $\alpha(\text{Al})+\beta(\text{Si})$  zaobserwowano zmniejszone zagęszczenie płytek krzemu eutektycznego w porównaniu do stopu w stanie niemodyfikowanym.

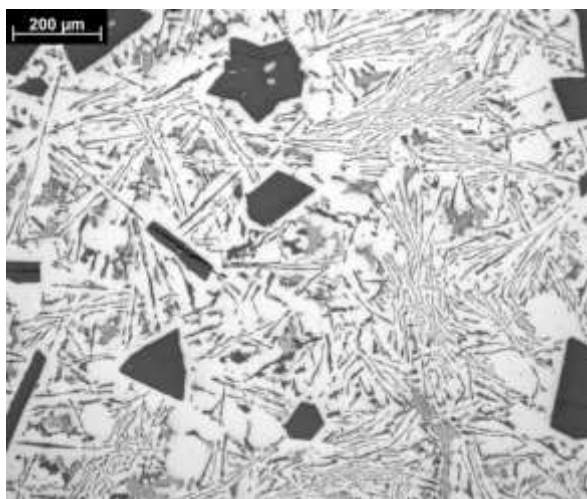


Rys. 3. Obraz struktury siluminu  $\text{AlSi21CuNi}$  po modyfikacji dodatkiem 1,07%  $\text{AlCu19P1,4}$



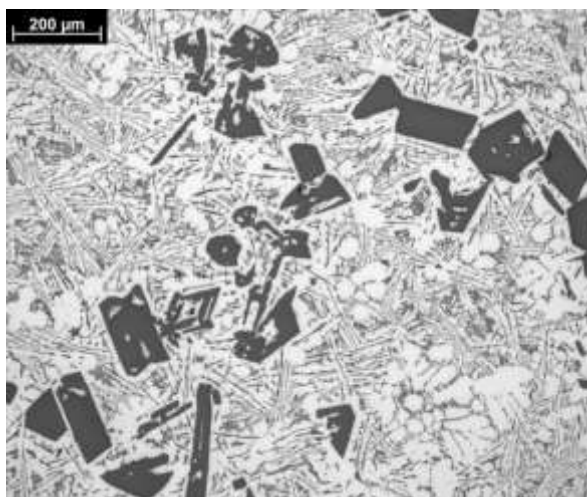
Rys. 4. Obraz struktury siluminu AlSi21CuNi po modyfikacji dodatkiem 1,07% Al-Cu19P1,4 i dodatkiem 0,02% Fe

Na rysunku 4 przedstawiano obraz struktury stopu AlSi21CuNi zmodyfikowanego za pomocą zaprawy AlCu19P1,4 w ilości 1,07%. Dodatkowo do tak zmodyfikowanego stopu wprowadzono żelazo w ilości 0,02%. Wprowadzenie modyfikatora w postaci zaprawy z fosforem spowodowało bardzo korzystne rozdrobnienie kryształów pierwotnego krzemu zapewniając średni ich rozmiar wynoszący 39  $\mu\text{m}$  (tab. 2). Zauważa się równomierne rozmieszczenie zmodyfikowanego krzemu w odniesieniu do próbki stopu niemodyfikowanego jak również w stosunku do stopu zmodyfikowanego dodatkiem 1,07% zaprawy AlCu9P1,4. Na przeważającym obszarze struktury widoczne jest występowanie znacznie drobniejszych kryształów pierwotnego krzemu lokalnie tworzących skupiska (rys. 4). Stan ten wynika z wpływu wprowadzonego dodatku 0,02% żelaza, które to spowodowało przyspieszenie w czasie, procesu modyfikacji badanego stopu.

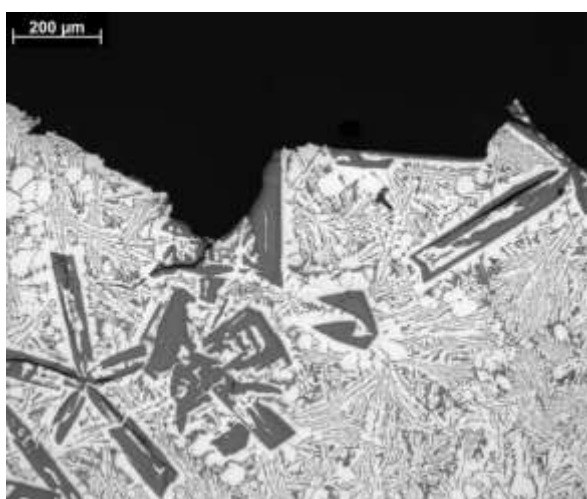


Rys. 5. Obraz struktury siluminu AlSi21CuNi po modyfikacji dodatkiem 0,12% CuP12

Struktura stopu AlSi21CuNi poddanego modyfikacji za pomocą zaprawy z fosforem (AlCu19P1,4 w ilości 0,12%) została przedstawiona na rysunku 5. W odniesieniu do struktury badanego stopu w stanie niemodyfikowanym, w analizowanej strukturze kryształy pierwotnego krzemu przyjmują kształt zwartych wielościanów (trójkątne, podłużne). Rozmiary kryształów krzemu pierwotnego są znacznie mniejsze (średni rozmiar 151 μm, tab. 2) od tych w stanie niemodyfikowanym, jednakże w tym przypadku nie osiągają tak drobnych rozmiarów jak te w strukturze na rys. 3 oraz rys. 4. W mieszaninie eutektycznej  $\alpha(\text{Al})+\beta(\text{Si})$  postać krzemu eutektycznego  $\beta(\text{Si})$  jest zbliżona do tej w stanie niemodyfikowanym. Rozmieszczenie krzemu pierwotnego nie jest tak regularne w strukturze jak po modyfikacji zaprawą AlCu19P1,4 (rys. 3 i rys. 4)



Rys. 6. Obraz struktury siluminu AlSi21CuNi po modyfikacji dodatkiem 0,12% CuP12 i dodatkiem 0,02% Fe

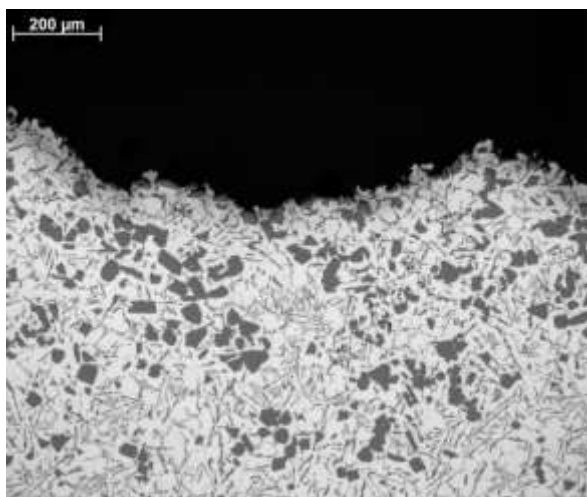


Rys. 7. Obraz profilu przelomu siluminu AlSi21CuNi bez modyfikacji

Obraz profilu przelomu uzyskany dla stopu AlSi21CuNi w stanie bez modyfikacji (rys. 7) pokazuje, że linia pęknięcia głównego w tym przypadku przechodzi przede wszystkim przez znacznych rozmiarów kryształy pierwotnego krzemu. Ponadto kształt linii profilu jest tu bardzo zróżnicowany, posiada wysokie wypiętrzenia jak również głębokie doliny na co również ma wpływ występowanie kryształów pierwotnej fazy krzemowej o różnych kształtach. W obszarze eutektyki  $\alpha(\text{Al})+\beta(\text{Si})$  pękanie odbywało

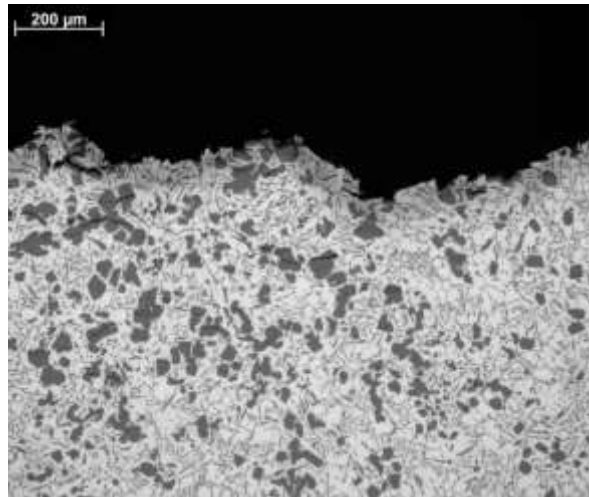


się po granicy roztwór stały  $\alpha(\text{Al})$ /płytkowy krzem  $\beta(\text{Si})$  oraz w samych kryształach krzemu eutektycznego  $\beta(\text{Si})$ . Znaczne rozmiary krzemu pierwotnego oraz jego krucha natura ułatwiały pękanie badanego stopu co potwierdzają również widoczne pęknięcia na przekrojach kryształów krzemu pierwotnego.



Rys. 8. Obraz profilu przełomu siluminu  $\text{AlSi21CuNi}$  po modyfikacji dodatkiem 1,07%  $\text{AlCu19P1,4}$

W przypadku profili przełomów przedstawionych na rysunku 8 oraz rysunku 9, pęknięcie główne przebiegało zarówno przez znacznie rozdrobnione ciemne kryształy pierwotnego krzemu jak również przez płytkowe kryształy krzemu  $\beta(\text{Si})$  w eutektyce  $\alpha(\text{Al})+\beta(\text{Si})$ . W porównaniu do linii przełomu z rysunku 7, tutaj kształt linii pęknięcia głównego jest łagodniejszy oraz w całym zakresie analizowanego profilu występuje znacznie więcej wypiętrzeń oraz dolin przy czym są one znacznie bardziej płytsze (rys. 8 i rys. 9).



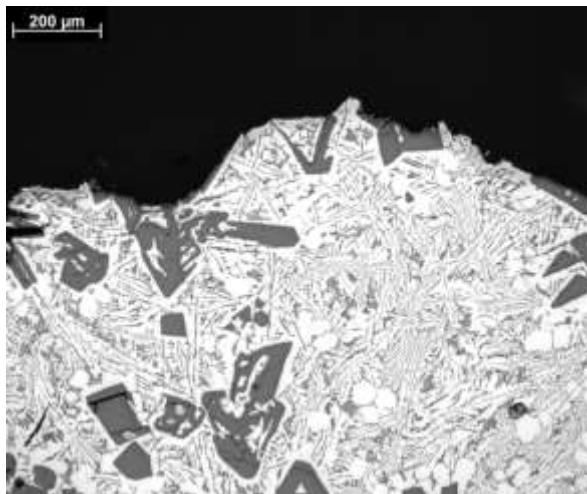
Rys. 9. Obraz profilu przelomu siluminu AlSi21CuNi po modyfikacji dodatkiem 1,07% AlCu19P1,4 i dodatkiem 0,02% Fe



Rys. 10. Obraz profilu przelomu siluminu AlSi21CuNi po modyfikacji dodatkiem 0,12% CuP12

Z obrazów profili przelomów przedstawionych na rysunku 10 oraz rysunku 11 wynika, że główne pęknięcie przebiega przez płytkowe wydzielения krzemu eutektycznego  $\beta(\text{Si})$ , oraz po granicy faz w eutektyce  $\alpha(\text{Al})+\beta(\text{Si})$ . Na profilu pęknięcia występują także

znacznych rozmiarów kryształy krzemu pierwotnego, które również biorą udział w pękaniu stopu.



Rys. 11. Obraz profilu przelomu siluminu AlSi21CuNi po modyfikacji dodatkiem 0,12% CuP12 i dodatkiem 0,02% Fe

#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań struktury oraz profili przelomów wyciągnięto następujące wnioski:

- stosowanie zaprawy modyfikującej AlCu19P1,4 w ilości 1,07% wpłynęło na znaczną poprawę struktury stopu AlSi21CuNi zapewniając bardzo korzystne rozdrobnienie kryształów pierwotnego krzemu (średni rozmiar 42  $\mu\text{m}$ ) w porównaniu do stanu niemodyfikowanego, oraz wystąpiło równomierniejsze rozmieszczenie wspomnianych kryształów,
- dodanie dodatku żelaza w ilości 0,02% w stopie AlSi21CuNi po modyfikacji zaprawą AlCu19P1,4 zapewniło powstanie w strukturze znacznie większej ilości drobniejszych kryształów pierwotnego krzemu (średni rozmiar 39  $\mu\text{m}$ ) w odniesieniu do struktury modyfikowanej samą zaprawą AlCu19P1,4,
- po modyfikacji stopu AlSi21CuNi dodatkiem 0,12% zaprawy CuP12 oraz z dodatkiem 0,02% żelaza, krzem pierwotny uległ rozdrobnieniu (średni rozmiar 154  $\mu\text{m}$ ) w porównaniu do stanu niemodyfikowanego,
- można zaobserwować, iż działanie zaprawy AlCu19P1,4 w ilości 1,07% było bardziej skuteczne w rozdrabnianiu kryształów pierwotnego krzemu niż działanie zaprawy CuP12 w ilości 0,12%, prawdopodobnie ewentualne zwiększenie ilości

tej drugiej mogłoby spowodować zbliżony efekt do zapewnianego przez zaprawę AlCu19P1,4,

- w przypadku analizy profili przelomów badanego stopu AlSi21CuNi po modyfikacji obiema zaprawami (AlCu19P1,4 oraz CuP12), zaprawa AlCu19P1,4 dzięki bardzo skutecznemu rozdrobnieniu kryształów pierwotnego krzemu w odniesieniu do stanu niemodyfikowanego oraz regularnemu ich rozmieszczeniu w strukturze, zapewniła łagodniejszy przebieg pęknięcia.

## LITERATURA

- [1] **Z. Poniewierski**, (1966). *Modyfikacja siluminów*. WNT. Warszawa.
- [2] **Z. Poniewierski**, (1989). *Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów*. WNT. Warszawa.
- [3] **K. Eigenfeld**, (2000), *Metallurgische Beeinflussung übereutektischer Aluminium-Silizium-Legierungen für monolitische Zylinder-Kurbelgehäuse von Verbrennungsmotoren*. Z. f. Metallkunde. Nr 10 (t 91).
- [4] **N. Tenekedijev, D. Argo, J. E. Gruzelski**, (1990). *Wirkung von Natrium, Strontium und Phosphor in übereutektischen Al-Si-Legierungen*. Giesserei-Praxis. Nr 15/16.
- [5] **K. Müller**, (1996). *Möglichkeiten der Gefügebeeinflussung eutektischer und naheutektischer Aluminium-Silizium-Gusslegierungen unter Berücksichtigung der mechanischen Eigenschaften*. Fortschritt-Berichte. VDI-Verlag GmbH. Nr 424.
- [6] **K. Müller**, (2000). *AlFeP-eine Alternative zu AlCuP bei der Feinung des primären Siliziums in übereutektischen Aluminium-Silizium-Gusslegierungen*. Proceedings of Polish-German Symposium on „Science Research Education“. Part 1.



# BADANIE I ZAPOBIEGANIE WYSTĘPOWANIA NIESZCZELNOŚCI W UKŁADACH PNEUMATYCZNYCH

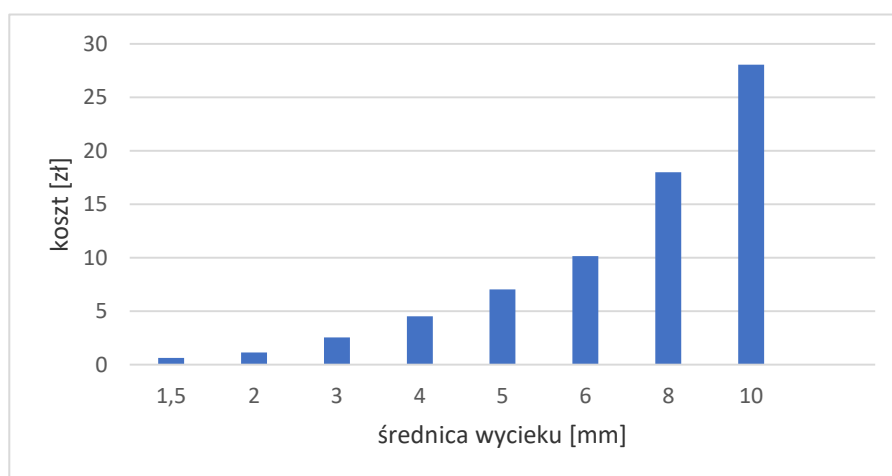
## 1. WPROWADZENIE

Badanie nieszczelności powietrza układów pneumatycznych prowadzi do skuteczniejszego zapobiegania stratom w instalacjach sprężonego powietrza i elementach maszyn przemysłowych takich jak siłowniki, elektrozawory czy poduszki pneumatyczne. Tego typu działanie pozwala na zaoszczędzenie bardzo dużej ilości energii elektrycznej, która jest potrzebna do zasilania sprężarek. Jak się okazuje sprężone powietrze jest bardzo drogim medium wykorzystywanym w zakładach przemysłowych, a każdy ubytek wiąże się z wysokimi kosztami jego wytworzenia oraz częstszym serwisem sprężarek i innych urządzeń instalacji pneumatycznych. Do wytworzenia 1 m<sup>3</sup> sprężonego powietrza potrzeba ok. 0,07 – 0,14 kWh energii elektrycznej. Średnio w przemyśle wycieki generują straty na poziomie 30% energii pobieranej przez sprężarki [1]. Do tego, aby doprowadzić do utraty 1 m<sup>3</sup> powietrza wystarczy otwór w instalacji pneumatycznej o średnicy 3 mm przy ciśnieniu 5 bar i czasie trwania wycieku równego dwie minuty. W Tab.1. zostały przedstawione straty powietrza dla określonego ciśnienia instalacji i średnicy otworu.

Tab. 1. Straty sprężonego powietrza w zależności od średnicy otworu i ciśnienia [5].

Średnica otworu w [mm]	Ciśnienie [bar]						
	2	3	4	5	7	10	12
	Strata – przepływ powietrza [m <sup>3</sup> /min]						
1,5	0,063	0,084	0,104	0,125	0,167	0,23	0,272
2	0,111	0,148	0,185	0,222	0,296	0,408	0,482
3	0,251	0,334	0,418	0,501	0,668	0,919	1,09
4	0,447	0,595	0,745	0,894	1,19	1,64	1,94
5	0,695	0,927	1,16	1,39	1,86	2,55	3,01
6	1	1,34	1,67	2,01	2,68	3,68	4,35
8	1,78	2,38	2,97	3,57	4,76	6,54	7,73
10	2,78	3,71	4,64	5,57	7,42	10,21	12,1

Przyjmując, że cena za 1 kWh energii wynosi 0,70 zł, a sprężarka zużywa około 0,09 kWh energii elektrycznej do wytworzenia 1 m<sup>3</sup> sprężonego powietrza, można łatwo obliczyć, że godzina pracy układu pneumatycznego z wyciekiem powietrza o średnicy otworu 4 mm dla ciśnienia 7 bar kosztuje dodatkowo 4,5 zł. Na Rys. 1. zostały przedstawione przykładowe koszty strat dla ciśnienia sprężonego powietrza 7 bar i różnych średnic otworów wycieku w czasie jednej godziny pracy.



Rys. 1. Koszty zużycia energii elektrycznej dla danej średnicy wycieku [opracowanie własne].

Dane przedstawione na Rys. 1. pokazują jak duży jest wpływ wycieku powietrza na koszty energii elektrycznej potrzebnej do jego wytworzenia, co świadczy o tym jak ważna jest szczelność instalacji pneumatycznych dla zakładów przemysłowych, które pracują często 24 godziny na dobę i 7 dni w tygodniu.

Ubytki sprężonego powietrza mają wpływ nie tylko na koszty zużycia energii czy szybsze zużywanie się sprężarek, ale także na większą dokładność produkcji i mniejszą awaryjność samych maszyn przemysłowych, które są wyposażone w elementy wykonawcze, takie jak np. siłowniki. Nowoczesne maszyny stosowane w zakładach produkcyjnych wyposażone są w szereg układów regulacji sprzężenia zwrotnego, które odpowiedzialne są za ustawienie dokładnych parametrów maszyny, jak np. docisk wałków i regulacja szczeliny pomiędzy nimi. Dodatkowo odpowiednie ciśnienie powietrza zapewnia poprawną pracę siłowników, które narażone są na uderzenia mechaniczne, a tym samym uszkodzenie tłoczków oraz jego uszczelnienia. W takim wypadku zostaje zaburzony przepływ powietrza wewnątrz siłownika prowadząc do jego niepoprawnego działania. Elementy wykonawcze, jeśli nie są we właściwy sposób konserwowane prowadzą do awarii maszyn przemysłowych powodując jednocześnie spadek ich wydajności, a także precyzji wykonywanej pracy. W Tab. 2. zostało przedstawio-

ne orientacyjne zużycie powietrza dla siłownika dwustronnego działania z jednostronnym tłoczyskiem na jeden pełny cykl działania.

Tab. 2. Orientacyjne zużycie powietrza dla siłownika dwustronnego działania z jednostronnym tłoczyskiem na jeden pełny cykl pracy [5].

Skok mm	Orientacyjne zużycie powietrza dla ciśnienia 0,63 MPa [normalne dm <sup>3</sup> ]							
	Średnica siłownika [mm]							
	D12	D16	D20	D25	D32	D40	D50	D100
Zużycie dławika 100 mm	0,165	0,293	0,459	0,716	1,174	1,835	2,867	11,47
Przyrost zużycia na każde następne 100 mm skoku	0,144	0,272	0,401	0,659	1,117	1,649	2,681	10,88

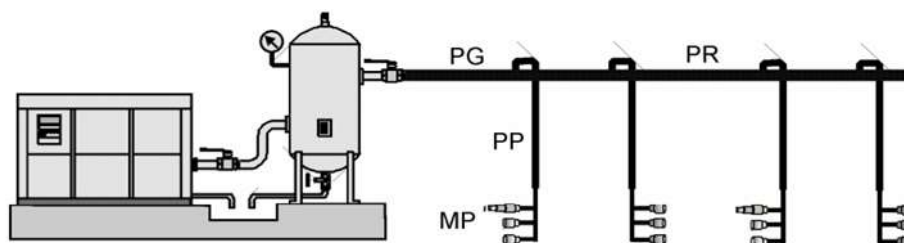
Dane zamieszczone w Tab. 2. pokazują, że siłowniki z nieszczelnością wewnętrzną, którą trudno zdiagnozować standardowymi metodami pomiarowymi mają bardzo duży wpływ na ilość zużytego powietrza. Każdy wyciek wewnętrzny ma wpływ na wydajność pracy takiego siłownika. Od tego zależy jego siła przesuwu oraz prędkość z jaką się porusza. W momencie wykonywania wielu cykli pracy istnieje ryzyko opóźnień, które w przypadku maszyn o ściśle określonej sekwencji ruchów mogą prowadzić do uszkodzenia także innych elementów mechanicznych.

W celu uzyskania jak największych oszczędności i wydajności pracy maszyn warto przeprowadzić gruntowną analizę instalacji pneumatycznej w zakładzie pracy. Takie działanie może pomóc w zoptymalizowaniu zużycia energii elektrycznej, która staje się coraz droższa, a także zmniejszyć awaryjności maszyn przemysłowych.

## 2. ELEMENTY UKŁADÓW PNEUMATYCZNYCH NAJBARDZIEJ PODATNE NA NIESZCZELNOŚCI

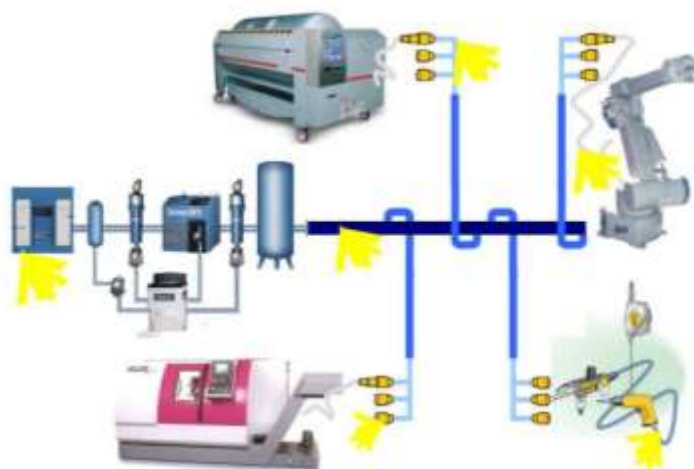
Instalacje pneumatyczne składają się z wielu elementów służących zarówno do wytwarzania sprężonego powietrza jak i jego transportu do urządzeń odbiorczych, np. maszyn przemysłowych, siłowników itd. Na Rys. 2. został przedstawiony przykładowy schemat ogólny instalacji pneumatycznej.





Rys. 2. Schemat instalacji sieci pneumatycznej: PG – główny przewód zasilający, PR – przewody rozprowadzające, PP – przewody przyłączeniowe, MP – miejsca (punkty) przyłączeniowe odbiorników (siłowników) [1].

Każdy z elementów instalacji pneumatycznej może ulec uszkodzeniu, jednak najbardziej podatne na nie są części maszyn, gdzie występują trudne warunki. W tym punkcie zostały opisane przykładowe miejsca, gdzie instalacja sprężonego powietrza jest szczególnie podatna na uszkodzenia mechaniczne, jak i te spowodowane wysokimi temperaturami i dużą wilgotnością. Na Rys. 3. został przedstawiony schemat instalacji pneumatycznej z zaznaczonymi elementami najbardziej podatnymi na wycieki powietrza [1].



Rys. 3. Schemat instalacji pneumatycznej z zaznaczonymi miejscami podatnymi na wycieki sprężonego powietrza [3].

Jak można zauważyć na Rys. 3., instalacja pneumatyczne narażona jest na nieuszczelności w miejscach połączeń przewodów pneumatycznych oraz tam, gdzie elementy są w ciągłym ruchu, np. chwytak robota.

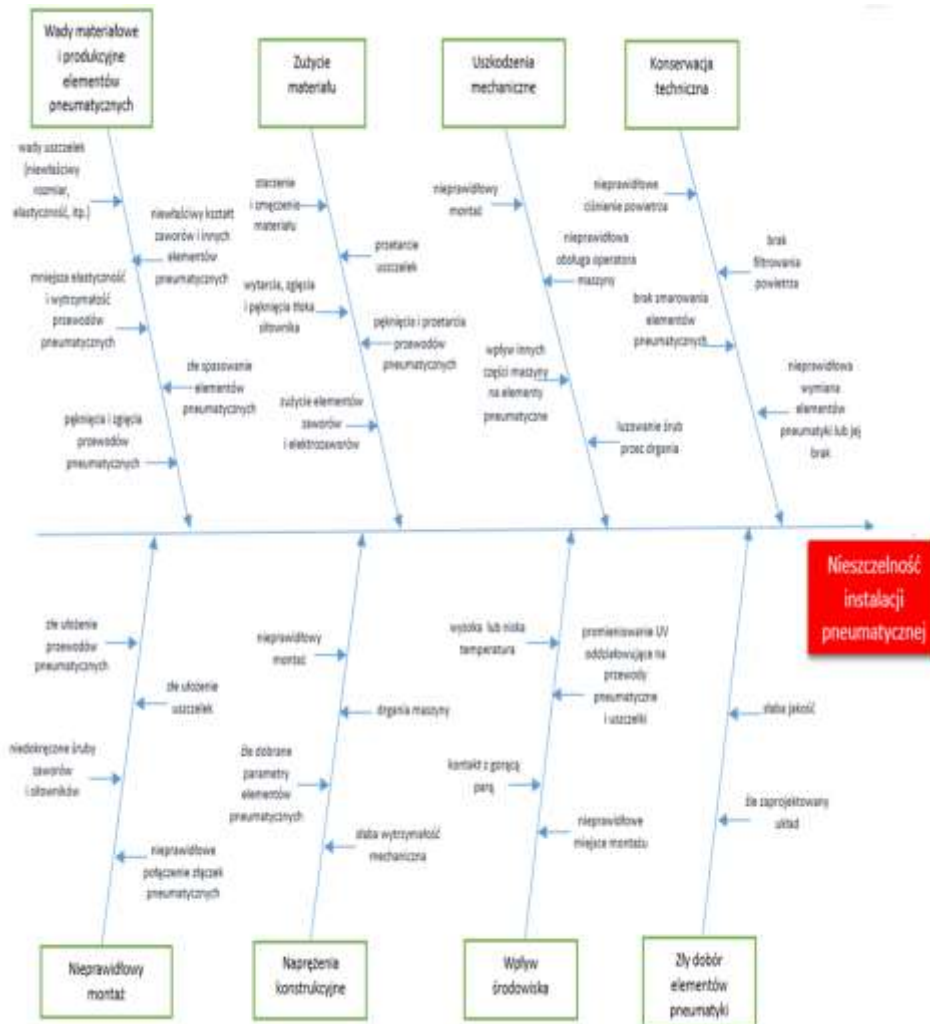
Elementy układów pneumatyki są narażone na wiele czynników, które wpływają na ich żywotność. Odpowiednia konserwacja instalacji pneumatycznej może w

znaczący sposób wydłużyć czas działania jej elementów. Wyeliminowanie nieszczelności prowadzi do mniejszego zużycia sprężarek, które bardzo często są najdroższą częścią omawianej instalacji.

Siłowniki i inne elementy pneumatyczne są bardzo często narażone na uszkodzenia mechaniczne nie tylko przez samą ich pracę, ale też nieprawidłową eksploatację. Przyczyny, które mogą prowadzić do nieszczelności elementów pneumatycznych zostały przedstawione na diagramie przyczynowo–skutkowym (Rys. 4.). Diagram pokazuje, że istnieje osiem głównych przyczyn wystąpienia nieszczelności. Każdą z nich można wyeliminować, jednak głównym problemem, na który ma się największy wpływ w zakładach przemysłowych jest nieprawidłowa konserwacja techniczna elementów układów pneumatyki. Regularne przeglądy maszyn i prawidłowe postępowanie działu technicznego mogą wyeliminować także większość pozostałych przyczyn nieszczelności układów sprężonego powietrza. Pozwalają wydłużyć żywotność znajdujących się w zakładzie urządzeń. Obsługa i konserwacja układów pneumatyki polega w dużym stopniu na dbaniu o układ przygotowania sprężonego powietrza, a także prawidłowy montaż i wymianę uszkodzonych elementów. Bardzo ważne w tym przypadku jest również przygotowanie sprężonego powietrza, które polega na oczyszczaniu (filtracji) z cząstek stałych, doboru odpowiedniego ciśnienia, które najczęściej powinno wynosić 6,3 bar oraz smarowaniu mgłą olejową elementów pneumatycznych. Diagram przyczynowo–skutkowy wystąpienia nieszczelności (Rys. 4) pokazuje możliwe przyczyny, które prowadzą do problemów w instalacji pneumatycznej, pozwala wykonać dokładniejszą analizę i umożliwia zaplanowanie ewentualnych działań zapobiegawczych.

### **3. NIESZCZELNOŚCI POWIETRZA W ZAKŁADZIE PRZEMYSŁOWYM**

W tym rozdziale zostały przedstawione nieszczelności w układach pneumatycznych dla zakładu produkującego tekturę falistą. Na Rys. 5. można zobaczyć jedno z miejsc, gdzie występują częste awarie związane z wyciekami powietrza. Jest to część robota rozstawiającego noże, którego zasilanie i sterowanie przechodzi przez przewód kablowy, w którym też znajdują się przewody pneumatyczne. Podczas przejazdu robot porusza się z bardzo dużą szybkością, co powoduje częste pęknięcia przewodów, a także wycieki powietrza przy złączkach pneumatycznych. Generuje to częste awarie i przestoje maszyny. Bardzo ważna w takim przypadku jest wymiana całego przewodu pneumatycznego, minimalizując tym samym liczbę szybkoszłączy w układzie zapewniając swobodny ruch przewodnicy kablowej. W ten sposób eliminuje się także wycieki powietrza, które przyczyniają się do spadku ciśnienia i nieprawidłową pracę maszyny. W podanym przykładzie czujniki szybko wykrywają wszelkie nieprawidłowości związane z ciśnieniem powietrza i zatrzymują maszynę. Odnosząc się do diagramu przyczynowo–skutkowego następuje tutaj zużycie materiału, prowadzące do powstania przetarć i pęknięć przewodów. Także nieprawidłowy montaż podczas wymiany prowadzi do podobnych skutków.



Rys. 4. Diagram przyczynowo–skutkowy występowania nieszczelności w układach pneumatycznych [opracowanie własne]



Rys. 5. Prowadnice przewodów elektrycznych i pneumatycznych [fot. T. Modrzyk].

Kolejnym przykładem są miejsca występowania wysokiej temperatury oraz wycieków oleju, gdzie często przewody pneumatyczne tracą swoje właściwości fizyczne takie jak elastyczność, odporność na zgięcia czy wytrzymałość ciśnieniową. Na Rys. 6. jest przedstawiony odwadniacz i wymiennik ciepła, przy którym panują wysokie temperatury przekraczające  $100^{\circ}\text{C}$  blisko powierzchni z rurami. W tym przypadku zarówno zawory jak i przewody pneumatyczne narażone są na kontakt z gorącą parą. Ważny jest tutaj odpowiedni dobór materiałów, z których wykonany jest przewód tak, aby zapobiec jego pęknięciu. Mniejsze ciśnienie w układzie spowodowane wyciekami powietrza ma duże znaczenie w przypadku zaworów załączających gorącą parą lub wodę, gdzie potrzebna jest duża siła do sterowania takimi elementami.



Rys. 6. Wymienniki ciepła i odwadniacze sterowane pneumatycznie [fot. T. Modrzyk].

Na Rys. 7. został pokazany element stołu grzewczego i podgrzewacza, które składają się z płyt grzewczych oraz cylindrów wypełnionych parą osiagających

temperaturę ok. 140°C. W tej części także znajdują się elementy pneumatyczne, które ulegają awarii poprzez częste występowanie nieszczelności lub uszkodzenie samych siłowników.



Rys. 7. Podgrzewacz (z lewej) i stół grzewczy (z prawej) [fot. T. Modrzyk].

Przewody i siłowniki przedstawione na Rys. 7. narażone są na bardzo wysokie temperatury. W tym przypadku bardzo ważne jest zastosowanie przewodów pneumatycznych odpornych na wysoką temperaturę, np. z teflonu PTFE, których zakres temperaturowy wynosi od -196°C do +260°C. Poprawne ułożenie przewodu również jest bardzo ważne. Wszelkie wycieki sprężonego powietrza są w tym przypadku bardzo trudne w identyfikacji ze względu na trudno dostępne miejsca i duży hałas. Niepoprawne działanie układu prowadzi do problemów z dociskiem i nieodpowiednim wygrzaniem tektury, co prowadzi do spadku jakości towaru.

Następne miejsce, gdzie występują nieszczelności są pokazane na Rys. 8. Są to poduszki pneumatyczne, które odpowiadają za docisk wałka gładkiego do wałka karbowanego. W tym przypadku nawet minimalny ubytek ciśnienia ma wpływ na jakość wyprodukowanej tektury. W maszynie znajduje się czujnik ciśnienia, który informuje o błędzie, gdy w układzie spadnie ciśnienie poniżej 6 bar. Dodatkowo docisk jest regulowany przez zawór proporcjonalny z każdej strony. Miejsce w jakim znajdują się poduszki pneumatyczne jest narażone na uderzenia pary o temperaturze przekraczającej 120°C oraz na wstrząsy, dlatego wykonane są z bardzo twardej gumy i muszą być poddawane regularnym badaniom szczelności.

Kolejnym przykładem są wyspy elektrozaworowe (Rys. 9.), które odpowiedzialne są niejednokrotnie za sterowanie całą częścią pneumatyczną maszyny.

ni sterowanie całą maszyną. Wycieki powietrza występujące na nich są bardzo trudne do zlokalizowania, gdyż nie zawsze są to wycieki zewnętrzne.



Rys. 8. Poduszki pneumatyczne [fot. T. Modrzyk].

Tak samo, jak w przypadku siłowników, uszkodzeniu może ulec uszczelnienie wewnątrz takiej wyspy, co będzie miało wpływ na nieprawidłowe funkcjonowanie całego układu sterowania. Zaletą takich urządzeń jest mały rozmiar i zazwyczaj dość łatwo dostępne miejsce z dala od trudnych warunków takich jak temperatura, kurz czy wstrząsy. Niekiedy do tego typu elementów dedykowana jest osobna szafka sterownicza, co ułatwia badanie szczelności całego układu.



Rys. 9. Wyspy elektrozaworowe [fot. T. Modrzyk].

#### **4. BADANIE NIESZCZELNOŚCI UKŁADÓW PNEUMATYCZNYCH**

Badanie nieszczelności układów sprężonego powietrza przeprowadza się najczęściej w instalacjach pneumatycznych już istniejących. Tego typu test pozwala zidentyfikować

miejsca ubytków powietrza, które są niesłyszalne w halach produkcyjnych, a mogą w istotny sposób przyczynić się do poprawy działania maszyn, jak i zmniejszyć koszty eksploatacji sprzężarek. Dużą część wycieków powietrza można łatwo namierzyć słuchem za pomocą nieuzbrojonego ucha, jednak w przypadku dużej ilości przewodów, zaworów i innych elementów pneumatycznych oraz ubytków wewnętrznych urządzeń, ludzkie ucho jest niewystarczające.

Obsługa techniczna maszyn i instalacji pneumatycznych może w łatwy sposób wykryć problem dzięki charakterystycznym objawom, którymi często są:

- spadki ciśnienia w miejscach przyłączy pneumatycznych;
- spadek siły działania siłowników;
- wolniejsze działanie i mniejsza siła narzędzi pneumatycznych, takich jak klucze, szlifierki itp.;
- zwiększony pobór prądu i awaryjność sprzężarek;
- mniejsze wskazania na manometrach;
- częste komunikaty o błędach wykrywanych przez czujniki ciśnieniowe występujące w maszynach;
- słyszalne charakterystyczne dźwięki wycieku powietrza.

W przypadku dokładniejszej lokalizacji ubytku powietrza można napotkać na szereg trudności takich jak, np.:

- hałas i szum narzędzi pneumatycznych;
- silne tło akustyczne na halach produkcyjnych z innych maszyn i urządzeń;
- występowanie niewielkich nieszczelności niesłyszalnych dla ludzkiego ucha (ultradźwięki);
- brak efektów wizualnych ciekącego powietrza.

Istnieje kilka metod badania szczelności układów pneumatycznych, które wykorzystują różnego rodzaju urządzenia. W tym podrozdziale zostały przedstawione kilka z nich.

#### **4.1. Statyczna próba ciśnieniowa instalacji**

W przypadku nowej instalacji pneumatycznej wykonanie próby szczelności musi być przeprowadzone zawsze przed jej odbiorem. Dla istniejącej już instalacji sprężonego powietrza próba jest wykonywana w celu poprawy działania maszyn i oszczędności energii elektrycznej na zlecenie danego zakładu przemysłowego. Polega ona na zaślepieniu wszystkich punktów odbioru sprężonego powietrza, a następnie napełnieniu instalacji sprężonym powietrzem pod ciśnieniem [7]:

- maksymalnym, które jest podane w dokumentacji projektowej dla sprawdzenia wytrzymałości mechanicznej elementów pneumatycznych oraz ich połączeń;
- roboczym, które będzie występować podczas normalnej pracy układu;
- ciśnieniem o 10% większym od ciśnienia roboczego.

Po wykonaniu tych działań sprawdza się szczelność układu za pomocą przyrządów pomiarowych, takich jak np. manometr (Rys. 10.).



Rys. 10. Manometr [10].

Manometr podłączany jest do punktu pomiarowego, a następnie odcina się zasilanie sprężonego powietrza za pomocą zaworu. Po 24 godzinach od rozpoczęcia próby wykonuje się pomiar spadku ciśnienia w instalacji sprężonego powietrza. Układ uznawany jest za szczelny, gdy po jednej dobie spadek ciśnienia nie przekracza 0,1 bar [7].

#### 4.2. Metoda ultradźwiękowa

Kolejną metodą badania szczelności jest metoda ultradźwiękowa. Za jej pomocą możliwe jest wykrycie wycieków z odległości kilku metrów. Na podstawie fal dźwiękowych można oszacować wielkość nieszczelności i określić priorytet jej usunięcia. Okazuje się, że 25% największych wycieków jest odpowiedzialna za około 70% kosztów powstałych w wyniku ich obecności. Technologia ultradźwiękowa stosowana do wykrywania wycieków sprężonego powietrza wykorzystuje ultradźwięki wytwarzane przez powietrze, które definiuje się jako fale dźwiękowe wysokiej częstotliwości niesłyszalne dla ludzkiego ucha, których częstotliwość przekracza 20 kHz. Standardowe detektory mają możliwość wykrywania ultradźwięków w zakresie od 20 kHz do 100 kHz. Zaleca się stosowanie takich urządzeń, które mają funkcję dostosowywania częstotliwości [12].

Istnieją różne źródła dźwięków o wysokiej częstotliwości, które są możliwe do wykrycia przez urządzenia pomiarowe dzięki turbulencji tworzonej podczas wycieku powietrza, co jest przedstawione na Rys. 11.

Turbulencje powstają wtedy, gdy sprężone powietrze z przewodu pneumatycznego przedostaje się poprzez niewielki otwór do strefy z niskim ciśnieniem. W przypadku nieszczelności próżniowych turbulencja znajduje się wewnątrz instalacji, co skutkuje małą ilością generowanych ultradźwięków. Ten typ wy-



cieków jest trudniejszy do zlokalizowania za pomocą detektora, jednak nadal jest to możliwe, jeśli występuje wystarczający szum ultradźwiękowy [12].

Na rynku istnieje wiele urządzeń, którymi można przeprowadzić badanie szczelności. Jednym z nich jest detektor firmy UE SYSTEMS INC Ultraprobe 15000 (Rys. 12.), przedstawiony podczas skanowania wycieków w szafie pneumatycznej. Wykrywacz ma możliwość mierzenia natężenia dźwięku, temperatury i analizy spektralnej wykonanych pomiarów.



Rys. 11. Turbulencja wyciekającego powietrza [12].

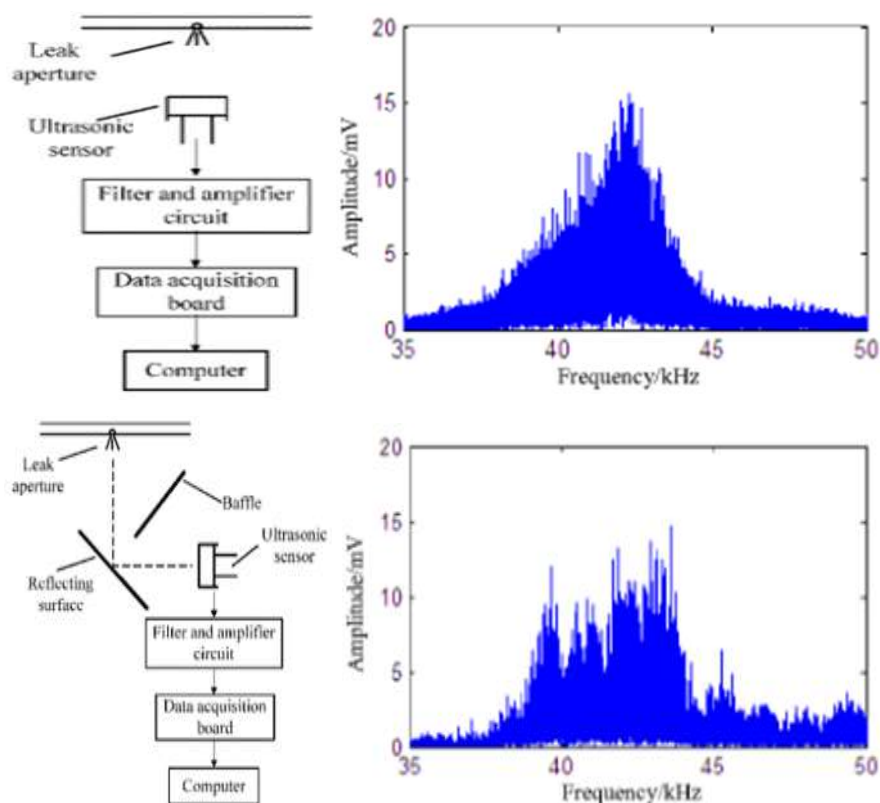
Podczas badania instalacji sprężonego powietrza w zakładzie przemysłowym należy pamiętać o tym, że dźwięk wysokiej częstotliwości nie przechodzi przez powierzchnie stałe, a odbija się od nich. Ważne w tym przypadku jest doświadczenie osoby wykonującej pomiar. Trzeba też pamiętać, żeby skanować obszar we wszystkich kierunkach. Należy także dostosować czułość instrumentu w celu łatwiejszego określenia wielkości wycieku. Większość tego typu urządzeń jest wyposażona w sondę, którą umieszcza się na końcu modułu skanującego, co zawęża obszar poszukiwań [12].



Rys. 12. Skanowanie szafy pneumatycznej [12].

Na Rys. 13. został przedstawiony schemat blokowy pomiaru ultradźwiękowego, bezpośredniego i pośredniego (odbicie powietrza od przeszkody). Czujnik wychwytuje wyciek powietrza, a następnie sygnał z sensora jest filtrowany i wzmacniany tak, aby był słyszalny dla człowieka. Otrzymane dane można pobrać na dysk twardy komputera z odpowiednim oprogramowaniem, które ułatwia ich analizę oraz sporządzenie raportu. Wykonane pomiary można otrzymać

w formie spektrogramów, dla pomiaru bezpośredniego i pośredniego. Z przykładowych badań można zauważyć, że przy pomiarze pośrednim, który odbywa się w utrudnionych warunkach, gdzie powietrze odbija się od różnego rodzaju przeszkód następuje większe rozproszenie odczytów. Wynik pomiaru jest mniej dokładny, a ewentualna analiza zależy w dużej mierze od doświadczenia osoby wykonującej badanie [2].

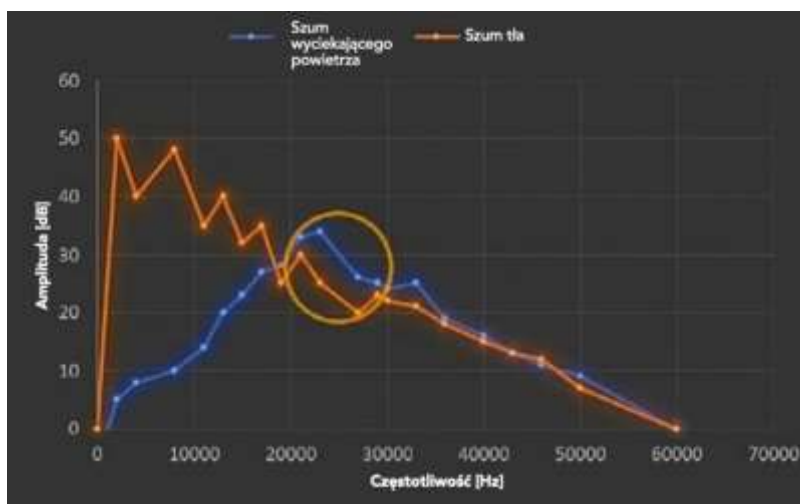


Rys. 13. Schemat i wyniki pomiarów ultradźwiękowych [2].

Metoda obrazowania akustycznego o wysokiej rozdzielczości jest dokładniejszym typem badania ultradźwiękowego w której wykorzystuje się większą liczbę zintegrowanych mikrofonów. Użycie tego typu urządzeń pozwala na szybszą i bardziej precyzyjną analizę otrzymanych wyników niż przy użyciu zwyczajnych detektorów, w których nadrzędną rolę pełni wzmocniony sygnał słyszany przez osobę wykonującą pomiar. Im większa liczba mikrofonów tym lepsze jest działanie wykrywacza, dlatego też obrazowanie akustyczne dostarcza precyzyjniejsze obrazy reprezentujące dane o ultradźwiękach powstających w wyniku wycieku sprężonego powietrza. Tego typu obrazy są nakładane w czasie rzeczy-

wistym na obraz kamery, co pozwala na bardzo dokładne określenie źródła nieuszczelności [13].

Poważnym problemem utrudniającym takie badanie jest hałas otoczenia, dlatego bardzo ważnym aspektem w przypadku badania ultradźwiękowego jest zakres częstotliwości pracy, który najlepiej, gdy wynosi 20 – 30 kHz (Rys. 14.).



Rys. 14. Porównanie dźwięków występujących na hali produkcyjnej towarzyszących wyciekowi sprężonego powietrza [13].

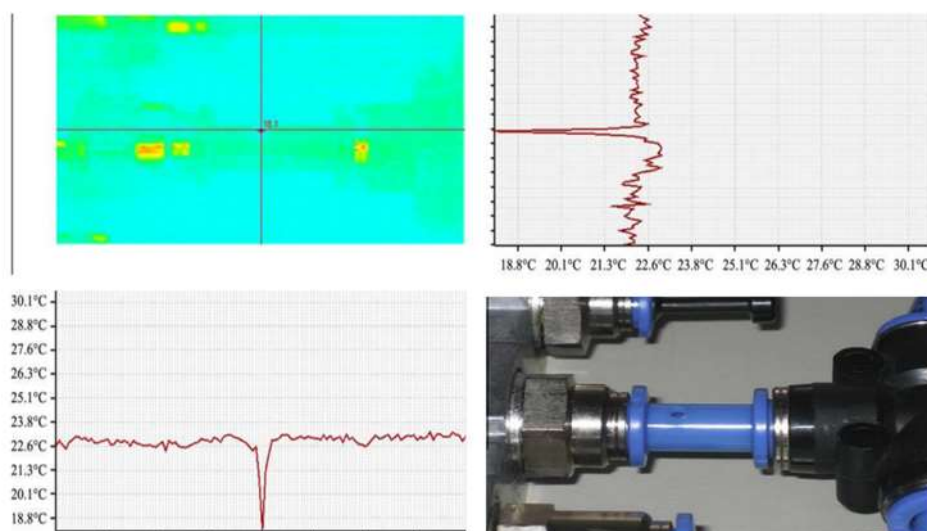
Taki zakres pozwala na odróżnienie szumu otoczenia od wyciekającego sprężonego powietrza. Dźwięk generowany przez maszyny najczęściej osiąga wartości szczytowe przy częstotliwościach poniżej 10 kHz oraz spada do zera dla 60 kHz. W przedziale 20 – 30 kHz istnieje największa różnica pomiędzy szumem otoczenia, a wyciekami sprężonego powietrza, dlatego też najłatwiej wykryć nieuszczelności w tym zakresie. Jednak problemy w detekcji wycieków nadal występują, dlatego też większość obecnych na rynku kamer do obrazowania akustycznego umożliwia ręczne odfiltrowanie zakłócających dźwięków za pomocą ręcznej zmiany zakresu częstotliwości. Droższe urządzenia umożliwiają automatyczne odfiltrowanie i dopasowanie do wzorca dźwięku wycieku sprężonego powietrza, dzięki sztucznej inteligencji. Aby nieuszczelność była dobrze zobrazowana, kamery muszą mieć więcej mikrofonów umieszczonych blisko siebie w celu wyeliminowania zniekształceń przestrzennych [13].

#### 4.3. Metoda termowizyjna

Mniej popularną metodą lokalizacji wycieków jest pomiar temperatury za pomocą podczerwieni. Ta technologia wykorzystuje kamerę termowizyjną, która generuje obraz w paśmie podczerwieni badanego obiektu. Pozwala to na wykonanie dość dokładnego i szybkiego pomiaru bezdotykowego. W większości instalacji sprężonego powietrza

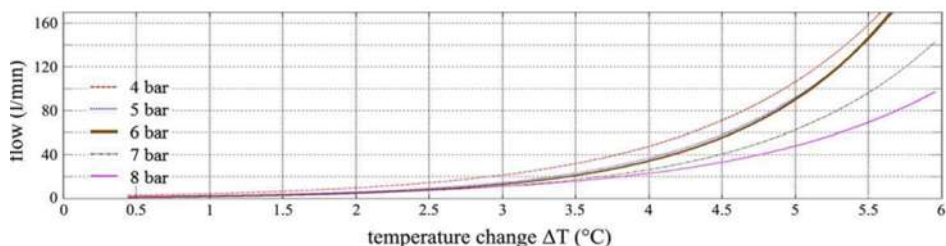
wystąpienie wycieku powietrza jest ściśle związane ze zmianą temperatury mierzonej nieszczelności. Celem badania w podczerwieni jest transmisja pakietu energii w kierunku badanego obiektu i obserwacji jego reakcji na wzbudzenie termiczne – zmiany temperatury powierzchni, które mogą w późniejszej analizie wykazać pęknięcia materiału oraz procesy, które zachodzą pod powierzchnią [3].

Bardzo często wyciekające powietrze z otworu, np. w przewodzie pneumatycznym, absorbuje ciepło z zewnątrz powodując tym samym zmiany temperatury, które mogą być z łatwością wychwycone przez kamerę termowizyjną. Czujnik rejestruje zmianę temperatury między wyciekającym powietrzem, a otoczeniem (Rys. 15.). Otwór miał średnicę 0,7 mm, a sprężone powietrze w instalacji 4 bary. Zdjęcia zostały wykonane za pomocą kamery termowizyjnej FLUKE Ti20 w zakresie widma 7,5 – 14  $\mu\text{m}$ , a czułość termiczna została ustawiona na 200 mK. Można zauważyć duży spadek temperatury w miejscu, gdzie został wykonany otwór, co z kolei zwiększa mierzoną wartość  $\Delta T$ , czyli różnicę temperatur pomiędzy temperaturą przewodu pneumatycznego a otworem, z którego wycieka powietrze [4].



Rys. 15. Różnica temperatury wyciekającego powietrza dla otworu o średnicy 0,7 mm przy ciśnieniu 4 bar [4]

Na Rys. 16. zostały przedstawione charakterystyki dla różnych ilości wycieku sprężonego powietrza. Analiza danych przedstawionych na rysunku pokazuje, że zmiana temperatury w miejscu występowania wycieku zależy od rozmiaru otworu i ciśnienia powietrza. Im więcej powietrza wylatuje tym niższa jest temperatura w miejscu, gdzie znajduje się wyciek, a co za tym idzie zwiększa się różnica temperatury  $\Delta T$ .



Rys. 16. Wyciek powietrza dla zmierzonej zmiany temperatury  $\Delta T$  [°C] [4]

## 5. ZAPOBIEGANIE NIEZCZELNOŚCIOM UKŁADÓW PNEUMATYCZNYCH

Badanie nieszczelności układów pneumatycznych jest jednym z elementów pomagających zapobiegać wyciekom powietrza, a co za tym idzie generuje większe oszczędności w zakładach przemysłowych. Dzięki wyeliminowaniu wycieków powietrza zużywa się nie tylko mniej energii elektrycznej, ale także zmniejsza się ilość występowania usterek w maszynach przemysłowych zwiększając tym samym ich wydajność. W instalacjach pneumatycznych można zapobiegać nieszczelnościom na wiele różnych sposobów. Za pomocą diagramu przyczynowo – skutkowego (Rys. 4.) można w łatwy sposób określić z jakimi problemami ma się do czynienia w danym przypadku, co pozwala przyporządkować rozwiązanie, które będzie najlepsze. Istnieje osiem głównych przyczyn występowania nieszczelności w układach pneumatycznych. Jeśli chodzi o ich zapobieganie w zakładach przemysłowych największy wpływ możemy mieć na: uszkodzenia mechaniczne, nieprawidłowy montaż i na złą konserwację techniczną. W tym rozdziale zostały omówione najważniejsze i najczęściej stosowane metody zapobiegania wyciekom powietrza.

### 5.1. Przygotowanie sprężonego powietrza – konserwacja techniczna

Jedną z ważniejszych metod zapobiegania nieszczelnościom w układach pneumatycznych jest przygotowanie sprężonego powietrza, w którego skład wchodzi:

- oczyszczanie (filtracja) z zanieczyszczeń takich jak: resztki oleju ze sprężarek, cząsteczki stałe (opilki metali, pył) i woda;
- redukcja ciśnienia powietrza, które może negatywnie wpływać na zbyt silne uderzenia siłowników;
- smarowanie mgłą olejową.

Przygotowanie sprężonego powietrza najczęściej odbywa się za pomocą zespołu przygotowania powietrza przedstawionego na Rys. 17. W zespole przygotowania sprężonego powietrza najpierw następuje filtracja powietrza, które następnie przepływa do zaworu redukcyjnego, gdzie ciśnienie zostaje obniżone do wartości roboczej. Smarowanie sprężonego powietrza polega na wprowadzeniu do me-

dium roboczego mgły olejowej, która docierając do elementów wykonawczych i sterujących takich jak siłowniki i elektrozawory, smaruje ich części ruchome. Zapobiega to powstawaniu usterek i awarii, dodatkowo przedłużając ich trwałość i ograniczając występowanie korozji [10].



Rys. 17. Zespół przygotowania sprężonego powietrza [10].

Na jakość sprężonego powietrza bardzo duży wpływ ma jego filtracja, która zapobiega dostawaniu się do układów pneumatycznych cząsteczek stałych i wody, które prowadzą do uszkodzeń uszczelnień siłowników i zaworów. Standardową dokładność oczyszczania jaką najczęściej się stosuje w tego typu układach przyjmuje się 40  $\mu\text{m}$ . Jest to odpowiednik 5 klasy czystości. W przypadku większych wymagań, co do jakości można zastosować dokładność filtracji 5  $\mu\text{m}$ . Bardzo ważne jest odpowiednie dobranie klasy czystości powietrza, co zapobiegania także dostawaniu się cząsteczek wody, która może powodować korozję elementów pneumatycznych. W Tab.3. przedstawiono klasy jakości sprężonego powietrza [10].

Tab. 3. Klasy jakości sprężonego powietrza [10].

Klasa w/g ISO 8573-1	Max. wielkość cząstek stałych [ $\mu\text{m}$ ]	Max. koncentracja cząstek stałych [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	Max. wartość ciśnieniowego punktu rosy [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Max. koncentracja oleju [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	Max. zawartość wody [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]
I	0,1	0,1	-70	0,01	0,003
II	1	1	-40	0,1	0,12
III	5	5	-20	1	0,88
IV	15	8	+3	5	6,0
V	40	10	+7	25	7,75
VI	–	–	+10	–	9,4

Bardzo duży wpływ na jakość sprężonego powietrza ma obsługa techniczna, która powinna dbać o uzupełnianie oleju pneumatycznego. Smarowanie znacznie wydłuża żywotność siłowników zmniejszając tarcie między elementami ruchomymi. Olej dociera do uszczelniaczy, które także często osadzone są na elementach ruchomych. Bardzo ważne jest także regularne czyszczenie lub wymiana filtrów, a także praca układu pneumatycznego z właściwym ciśnieniem powietrza, co zapobiega uszkodzeniom mechanicznym.

## **5.2. Wybór i montaż elementów pneumatyki**

Zapobieganie nieszczelnościom w układach pneumatyki zaczyna się już na etapie samego montażu, który będąc prawidłowo wykonany ma decydujący wpływ na żywotność takich elementów jak siłowniki i przewody pneumatyczne. Problemy z montażem bardzo często występują podczas wymiany uszkodzonych elementów. Zaniedbanie ze strony utrzymania ruchu prowadzi do częstych ubytków powietrza. Przewody pneumatyczne prowadzone są często inną drogą niż oryginalnie.

W układach pneumatyki przemysłowej do łączenia przewodów pneumatycznych stosuje się szybkozłączki, które są nadmiernie używane. Dziurawe wężyki są wycinane w miejscach wystąpienia wycieku powietrza, zamiast zastąpienia ich nowymi. Różnego rodzaju złączki pneumatyczne są słabym punktem instalacji. Niedokładne dociśnięcie przewodu powoduje nie tylko wycieki powietrza, ale także awarie maszyn. Wymienione przewody często są zastąpione innymi gorszej jakości niedostosowanymi do warunków temperaturowych w jakich są instalowane. Także elastyczność przewodów nie zawsze jest dostosowana do pracy w maszynach, gdzie występują części ruchome. Rodzaje przewodów pneumatycznych jakie najczęściej używa się w przemyśle zostały przedstawione na Rys. 18.

	Temperatura pracy	Charakterystyka
Tekalan poliamid PA 12	-40°C do +80°C	Bardzo dobra odporność na czynniki chemiczne, UV oraz czynniki fizyczne.
Poliuretan PU	-20°C do +60°C	Dobra odporność na czynniki chemiczne i wysoka elastyczność przewodu.
Polietylen PE	0°C do +35°C	Znakomita stabilność wymiarów i dobra odporność na czynniki korozyjne.
Teflon PTFE	-60°C do +260°C	Do wysokociśnieniowego transportu farb, oleju, powietrza, wody.
Rilsan poliamid PA11	-40°C do +80°C	Dobra odporność na czynniki chemiczne i wysoka elastyczność przewodu.

Rys. 18. Porównanie niektórych typów przewodów pneumatycznych [9].

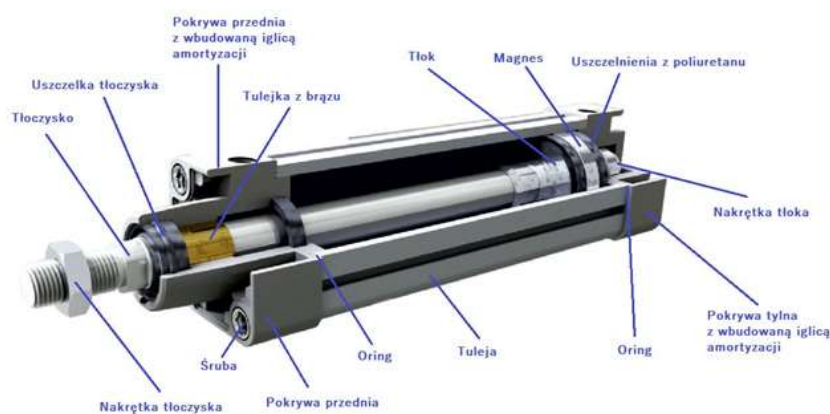
W instalacjach pneumatycznych istnieje wiele rodzajów złączy służących do łączenia przewodów, rurek oraz elementów wykonawczych, takich jak siłowniki czy elektrozawory. Umożliwiają łatwe i bezpieczne odłączanie urządzeń, gdy są pod ciśnieniem. Szybkozłącze (Rys. 19.) składa się z gniazda, tulejki oraz O-ringa, który odpowiada za uszczelnienie powietrza w złączce. Dodatkowym zabezpieczeniem połączenia jest klips zakładany na tulejkę. Bardzo ważne jest, aby przy montażu takiego elementu, przewód pneumatyczny był równo docięty i dobrze dociśnięty do uszczelnienia. O-ringi stosowane w układach pneumatycznych obok złączy i przewodów mają największy wpływ na szczelność i trwałość całej instalacji. Wykorzystywane są we wszystkich rodzajach połączeń i mogą być wykonane z gumy (NBR), Vitonu (FKM) i poliuretanu (PU), co pozwala na użycie ich w środowiskach, gdzie występują wysokie temperatury np. 150°C dla Vitonu. Duża różnorodność materiałów, z których są wykonywane uszczelnienia oraz możliwość stosowania specjalnych klejów do gumy w celu montażu i dodatkowego zabezpieczenia układów, pozwala na stosowanie elementów pneumatyki w różnego rodzaju środowiskach, gdzie występują wysokie temperatury, kontakt z wodą czy różnymi środkami chemicznymi na które elementy pneumatyki powinny być odporne [8].





Rys. 19. Szybkozłącze [11].

Podstawowym elementem w zakładach przemysłowych dla których instalacje pneumatyczne są w ogóle budowane jest siłownik. Właściwy jego dobór pod względem jakości i odpowiedniego dopasowania do środowiska, w którym będzie pracował ma duży wpływ na jego szczelność. Na Rys. 20. przedstawiono budowę przykładowego siłownika, w którym szczególnie ważną rolę pełnią uszczelnienia. Uszczelnienie siłownika występuje w kilku miejscach. Aby zapobiec wyciekom powietrza i poprawnej jego pracy musi być uszczelniony nie tylko jego tłok, ale także pokrywy, które są elementem obudowy. Uszczelnienia stosowane w przypadku siłowników wykonuje się z różnych materiałów, które zostały pokazane na Rys. 21. Najczęstszym rodzajem uszczelnień występujących w standardowych siłownikach jest poliuretan, który może pracować w temperaturze  $-20^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$  i tam, gdzie jest styczność z olejami i smarami. Bardziej odpornym na występowanie wysokich temperatur jest Viton, który może pracować w zakresie  $-20^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ . Jako dodatkowe zabezpieczenie przed ekstremalnymi warunkami można wykorzystać metalowy zgarniacz, który pozwala oczyścić tłoczysko z silnych zabrudzeń [11].



Rys. 20. Budowa siłownika [11].

KOD	USZCZELNIENIE	MATERIAŁ	CHARAKTERYSTYKA
1	Standard	Poliuretan -20°C +80°C	Uszczelnienia montowane w standardowych środowiskach, nie narażonych na trudne warunki pracy.
3	Wysoka temperatura	Nylon -20°C +150°C	Uszczelnienia montowane w przypadku występowania wysokich temperatur.
4	Trudne warunki pracy	Poliuretan -20°C +80°C	Uszczelnienia montowane w przypadku styczności z zanieczyszczeniami, olejami, smarami itp.
5	Wysoka temperatura	Nylon tylko uszczelka tłoczyśka -10°C +150°C	Uszczelnienia montowane w przypadku krótkotrwałej styczności z wysoką temperaturą.
6	Niska temperatura	Poliuretan -40°C +80°C	Uszczelnienia montowane w przypadku pracy siłownika w niskich temperaturach.
8	Ekstremalne warunki pracy	Metalowy garniec -20°C +80°C	Uszczelnienie z metalowym garniecem pozwala w 100% oczyścić tłoczyśko siłownika z silnych zabrudzeń, takich jak błoto, cement, śluz itd.

Rys. 21. Dobór materiału uszczelnień siłowników do środowiska pracy [11].

Materiał, z którego jest wykonany sam tłok też ma istotny wpływ na jego pracę. Standardowo tłoczyśko wykonane jest ze stali chromowanej, natomiast w warunkach, gdzie może być narażony na kontakt z substancjami żrącymi, środkami spożywczymi lub na korozję, zalecane jest zastosowanie tłoczyśka ze stali nierdzewnej [11].

## 6. PODSUMOWANIE

Badanie i zapobieganie nieszczelności w układach pneumatycznych prowadzi do skutecznego zapobiegania i eliminowania wycieków sprężonego powietrza w zakładach przemysłowych, gdzie większość maszyn jest wyposażona w tego typu instalacje. Jak się okazuje, do wytworzenia 1 m<sup>3</sup> sprężonego powietrza, sprężarki zużywają ok. 0,09 kWh energii elektrycznej, co przekłada się na bardzo wysokie koszty produkcji. Wycieki powietrza mają także duży wpływ na poprawność działania samych maszyn. Wraz ze zwiększeniem poziomu automatyzacji w przemyśle, a co za tym idzie wydajności i dokładności wytwarzanych produktów rośnie zapotrzebowanie na stosowanie układów pneumatycznych. Badanie nieszczelności ułatwia lokalizację ubytków powietrza niekiedy trudnych do znalezienia tradycyjnymi metodami.

W przemyśle stosuje się kilka metod badania nieszczelności. Najpopularniejszą jest sprawdzenie wycieków za pomocą dotyku i słuchu, jednak w przypadku mniejszych ubytków w trudno dostępnych miejscach skuteczniejsze jest wykorzystanie specjalnych urządzeń pomiarowych takich jak detektory ultradźwiękowe czy kamery termowizyjne. Z tego typu sposobów najlepszą i najbardziej rozpowszechnioną jest metoda ultradźwiękowa wykorzystująca mikrofony wykrywające dźwięki wysokiej częstotliwości. Badanie wykrywaczem ultradźwiękowym umożliwia również wizualizację dźwięków za pomocą spektrogramów, co znacznie ułatwia wychwycenie źródła problemów. Użycie takiego detektora wymaga jednak dużego doświadczenia od osoby wykonującej pomiar dlatego, że ważny jest sposób ich wykonywania, a także interpretacja otrzymanych wyników. Wadą tego rozwiązania jest częste występowanie tła akustycznego podczas badania, co skutkuje błędnymi odczytami. Mniej popularnym sposobem wykrywania nieszczelności jest metoda termowizyjna, która oparta jest na pomiarze zmiany temperatury w miejscu występowania wycieku. Wadą tego typu badania jest to, że wymaga zaistnienia kontrastu temperaturowego pomiędzy wyciekami powietrza, a jego tłem, co niekiedy może prowadzić do błędnych odczytów. W zakładzie przemysłowym warto też wykonać próbę szczelności instalacji sprężonego powietrza, która pozwala oszacować z jakimi wyciekami mamy do czynienia, jednak tego typu test nie umożliwia dokładnej lokalizacji miejsca wystąpienia nieszczelności. Można zatem zauważyć, że najlepsze jest dostosowanie metody pomiaru do warunków i środowiska w jakim występują wycieki powietrza.

Aby w skuteczny sposób zapobiegać występowaniu nieszczelności w układach pneumatycznych ważne jest poznanie ich przyczyny. Dzięki diagramowi przyczynowo-skutkowemu (Rys. 4.) można dokładnie wyszczególnić z jakimi problemami ma się do czynienia i na które można wpływać w sposób pośredni i bezpośredni. W większości przypadków, jeśli rozpatrujemy zakład przemysłowy zmagający się z szukaniem oszczędności i poprawy działania maszyn, najlepiej wykorzystać do tego celu dział techniczny, którego zadaniem jest między innymi konserwacja układów pneumatyki. Odpowiednie smarowanie, filtracja

i wymiana uszkodzonych elementów na te o odpowiedniej jakości i parametrach ma decydujący wpływ na żywotność instalacji pneumatycznej.

## LITERATURA

- [1] **Dindorf R.:** *Ocena możliwości oszczędzania energii w systemach sprężonego powietrza.* Energetyka nr 1/2010.
- [2] **Dindorf R Wos P.** *Measurement methods of compressed air leakage for pneumatic system.* HydraulPneum 2012; 3: 1–5.
- [3] **Dindorf R. Wos P.;** *Test of measurement device for the estimation of leakage flow rate in pneumatic pipeline systems,* Sage Journals, 2018.
- [4] **Dudic S, Ignjatovic I, Šeslija D.;** et al. *Leakage quantification of compressed air using ultrasound and infrared thermography.* Measurement 2012; 45: 1689–1694.
- [5] **Szelerski M. W.;** *Układy pneumatyczne w maszynach i urządzeniach,* KaBe, 2018.
- [6] **Wang T, Qin H, Zhao L,** et al. *Localization of air leak based on fuzzy clustering of infrared image.* Trans Beijing InstTechnol 2013; 3: 1–8.
- [7] [www.bazawiedzy.air-com.pl/badanie-szczelnosci-instalacji-sprezonego-powietrza/](http://www.bazawiedzy.air-com.pl/badanie-szczelnosci-instalacji-sprezonego-powietrza/) z dnia 5.04.2022 r.
- [8] [www.energetykacieplna.pl/artykuly/silownik-pneumatyczny-jak-dbac-o-jego-dluga-zywotnosc--157706-6#\\_](http://www.energetykacieplna.pl/artykuly/silownik-pneumatyczny-jak-dbac-o-jego-dluga-zywotnosc--157706-6#_) z dnia 7.04.2022 r.
- [9] [www.ekgroup.pl/blog/jak-wybrac-przewod-pneumatyczny/](http://www.ekgroup.pl/blog/jak-wybrac-przewod-pneumatyczny/) z dnia 5.04.2022 r.
- [10] [www.hafner.pl/podstawy-pneumatyki/przygotowanie-sprezonego-powietrza/](http://www.hafner.pl/podstawy-pneumatyki/przygotowanie-sprezonego-powietrza/) z dnia 5.04.2022 r.
- [11] [www.martechpneumatyka.pl/blog/budowa-silownika-pneumatycznego-martechpneumatyka-pl](http://www.martechpneumatyka.pl/blog/budowa-silownika-pneumatycznego-martechpneumatyka-pl) z dnia 10.04.2022 r.
- [12] [www.uesystems.com/pl/dobre-praktyki-w-zakresie-ultradzwiekowego-wykrywania-nieszczelnosci-sprezonego-powietrza/](http://www.uesystems.com/pl/dobre-praktyki-w-zakresie-ultradzwiekowego-wykrywania-nieszczelnosci-sprezonego-powietrza/) z dnia 4.04.2022 r.
- [13] [www.utrzymanieruchu.pl/korzysci-z-wykrywania-i-usuwania-nieszczelnosci-w-instalacjach-sprezonego-powietrza/](http://www.utrzymanieruchu.pl/korzysci-z-wykrywania-i-usuwania-nieszczelnosci-w-instalacjach-sprezonego-powietrza/) z dnia 8.04.2022 r.



# **PREDYKCYJNE UTRZYMANIE RUCHU NA PRZYKŁADZIE POMPY ZAŁADUNKOWEJ CIEKŁEGO AZOTU**

## **1. WPROWADZENIE**

Separacja powietrza atmosferycznego jest jedną z podstawowych technik pozyskiwania czystych gazów niezbędnych do realizacji wielu procesów przemysłowych. Gazy techniczne stosowane są praktycznie we wszystkich obszarach produkcyjnych, coraz częściej w kuchni molekularnej oraz działaniach związanych z ochroną środowiska. Niezależnie od tego, czy firma produkuje stal, metale nieżelazne, wykorzystuje tradycyjne produkty przemysłu petrochemicznego czy najbardziej zaawansowane procesy gazyfikacji lub opalania tlenowo - paliwowego w instalacji czystej energii, instalacja do separacji powietrza odgrywa znaczącą rolę w wykonywanych operacjach. Produkcja gazów polega na separacji z przepływającego strumienia powietrza wybranych gazów. W skrócie, w tym procesie wykorzystuje się różnicę temperatur skraplania poszczególnych gazów: tlen  $-183^{\circ}\text{C}$ , argon  $-186^{\circ}\text{C}$ , azot  $-196^{\circ}\text{C}$ .

Awarie systemów separacji powietrza powodują kosztowne zakłócenia procesu produkcyjnego. Przewidywanie stanów awaryjnych umożliwia podejmowanie wyprzedzających działań zapobiegawczych, a co za tym idzie unikanie awarii i minimalizowanie ich konsekwencji. Predykcyjne utrzymanie ruchu (ang. Predictive Maintenance, PdM) opiera się na gromadzeniu danych o stanie maszyn i przebiegu procesu. Na podstawie zebranych danych tworzone są modele pozwalające przewidywać wystąpienie awarii i określać stan urządzenia np. stopień jego zużycia. Modele są stosowane na bieżąco, aby w czasie rzeczywistym określać ryzyko wystąpienia awarii i alarmować o możliwych problemach. Dzięki wdrożeniu strategii predykcyjnego utrzymania ruchu można zmniejszyć koszty awarii i przestoju produkcji, poprawić wskaźnik OEE, ograniczyć koszty, jednocześnie wydłużając czas działania urządzeń i zwiększając bezpieczeństwo pracowników. W artykule przedstawiono studium przypadku implementacji systemu predykcyjnego utrzymania ruchu opartego na instalacji dodatkowych czujników umożliwiających przewidywanie ryzyka wystąpienia awarii pompy do załadunku ciekłego azotu. Dzięki wdrożeniu systemu predykcyjnego utrzymania ruchu można zmniejszyć koszty awarii i przestojów produkcji, poprawić wskaźnik OEE, ograniczyć koszty, jednocześnie wydłużając czas działania urządzeń i zwiększając bezpieczeństwo pracowników. Predykcyjne utrzymanie ruchu jest ważnym elementem koncepcji Przemysłu 4.0. Automatyzacja procesów wytwórczych i deficyt wykwalifikowanego personelu odpowiedzialnego za naprawy i przeglądy zasobów produkcyjnych skutkują koniecznością implementa-

cji systemów, które będą potrafiły przewidywać stany awaryjne na podstawie analizy danych z czujników. Ważnym aspektem wdrażania systemów PdM jest zastosowanie metod sztucznej inteligencji dla potrzeb wspomagania procesów decyzyjnych.

## 2. PREDYKCYJNE UTRZYMANIE RUCHU

Predykcyjne utrzymanie ruchu to strategia proaktywnej konserwacji zasobów, która wykorzystuje narzędzia do monitorowania stanu w celu wykrywania różnych oznak pogorszenia, anomalii i problemów z wydajnością sprzętu i jego zużyciem. Na podstawie tych pomiarów służby utrzymania ruchu mogą uruchomić wstępnie zbudowane algorytmy predykcyjne w celu oszacowania, kiedy element wyposażenia może ulec awarii, tak aby prace konserwacyjne można było przeprowadzić tuż przed tym, jak to nastąpi.

Celem PdM jest optymalizacja wykorzystania zasobów konserwacyjnych. Wiedząc, kiedy dana część ulegnie awarii, kierownicy służb utrzymania ruchu mogą zaplanować prace remontowe i konserwacyjne tylko wtedy, gdy jest to rzeczywiście potrzebne, jednocześnie unikając nadmiernej konserwacji, przestoju spowodowanego remontem i jednocześnie zapobiegając nieoczekiwanej awarii sprzętu. Przykładem stosowania PdM jest, np. ciągły pomiar wibracji maszyny czy temperatury łożysk. Pomiaru te wykonuje się online bez potrzeby zatrzymywania urządzenia. Na wykresie poniżej przedstawiono schematycznie predykcyjne utrzymanie ruchu. Z wykresu można zaważyć że monitoring stanu urządzenia jest ciągły, a remonty wykonywane są, gdy wskazania z urządzeń pomiarowych zbliżają się do wartości granicznych dla danego parametru urządzenia.

Predykcyjne utrzymanie ruchu jest ważnym elementem koncepcji Przemysłu 4.0. Przewidywanie awarii maszyn ma kluczowe znaczenie dla realizacji projektów związanych z udową elastycznych i autonomicznych systemów produkcyjnych. Predykcja opiera się często na procesach Markowa, sieci bayesowskiej, sztucznych sieciach neuronowych, symulacji Monte Carlo itp. [1]. Wszystkie metody wymagają analizy danych historycznych dotyczących eksploatacji i awarii zasobów produkcyjnych. Monitorowanie zasobów produkcyjnych oraz gromadzenie i analiza danych w celu doskonalenia procesów produkcyjnych należą do koncepcji „inteligentnej” produkcji opartej na danych, która jest również zgodna z koncepcją Przemysłu 4.0 [2]. Istnieje wiele badań opisujących analizę „duże zbiory danych” w przedsiębiorstwach produkcyjnych dla potrzeb predykcyjnego utrzymania ruchu [3, 4, 5]. Bahga i Madisetti zaproponowali CloudView do przechowywania, przetwarzania i analizowania danych dotyczących konserwacji maszyn, zebranych z dużej liczby czujników wbudowanych w maszyny przemysłowe, w środowisku przetwarzania w chmurze [6]. Chen opisuje przesłanki i potrzeby zintegrowanych i inteligentnych systemów produkcyjnych, w tym analizę „big data” dla potrzeb konserwacji predykcyjnej [7]. Baptista i in. zaproponowali integrację metodologii autoregresyjnej średniej ruchomej (ARMA) z technikami opartymi na danych w celu przewidywania zdarzeń awaryjnych [8]. Lee i in. zaproponowali metodologię implementacji systemów cyberfizycznych do predykcyjnych systemów produkcyjnych [9,10]. Selcuk przedstawia nowe trendy i techniki w zakresie predykcyjnego utrzymania ruchu oraz proponuje wdrożenie metody do programu predykcyjnego utrzy-

mania ruchu w przemyśle [11]. Susto i in. zaproponowano wykorzystanie metodologii uczenia maszynowego z wieloma klasyfikatorami w PdM. Zaproponowane rozwiązania umożliwiają przyjęcie dynamicznych reguł decyzyjnych do zarządzania utrzymaniem ruchu. Haszem i in. przeanalizowali ograniczenia czasowych metod utrzymania zasobów oraz zalety PdM w identyfikowaniu początku awarii zasobów [12]. Hashemian i Beam przeanalizowali trzy główne techniki PdM, zdefiniowane pod względem źródła danych i opisane jako technika oparta na istniejących czujnikach, technika oparta na czujnikach testowych i technika oparta na sygnałach testowych [13]. Przedstawiają przykłady wykrywania zatorów w przewodach ciśnieniowych z wykorzystaniem istniejących technik opartych na czujnikach. Horenbeek i Pintelon proponują dynamiczną politykę PdM dla złożonych systemów, która minimalizuje średni koszt utrzymania w perspektywie długoterminowej na jednostkę czasu. Porównują opracowaną, dynamiczną strategię PdM z pięcioma innymi konwencjonalnymi strategiami konserwacji [14]. Kłos i Patalas-Maliszewska proponują wykorzystanie metod symulacyjnych do oceny działania systemu predykcyjnego utrzymania ruchu [15]. Mori i Fujishima wprowadzają system zdalnego monitorowania i konserwacji dla producentów obrabiarek [16]. Dong i in. opisują monitoring i konserwację systemów urządzeń dla bezpieczeństwa górniczego. Tworzą system predykcyjnego utrzymania ruchu, oparty na technologii Internetu Rzeczy, w celu zmiany dotychczasowego sposobu utrzymania ruchu urządzeń górniczych [17].

Głównym założeniem predykcyjnego utrzymania ruchu jest podjęcie czynności zapobiegawczych już w fazie pogorszenia się parametrów pracy zasobu lub procesu wytwórczego, w celu uniknięcia awariom i przestojom systemu produkcyjnego. Do najważniejszych narzędzi PdM należą m.in. [18]:

- monitorowanie parametrów wydajności zasobów, gniazd i linii produkcyjnych, przy użyciu specjalizowanych czujników (temperatury, drgań, przepływu, etc.)
- nieinwazyjne techniki testowania oraz kontrola wzrokowa,
- nadzór wideo.

W zakresie dostępnych metod możliwe jest zastosowanie rozpoznawania wzorców, analizy trendów oraz korelacji, statystycznej analizy danych, określenie i monitorowania progów alarmowych. Wdrożenie monitorowania całego systemu produkcyjnego skutkuje poprawą bezpieczeństwa oraz jakości pracy jednak wiąże się znacznym wzrostem nakładów inwestycyjnych. Zatem implementacja PdM powinna być poprzedzona przeprowadzeniem, analizy krytyczności zasobów w celu klasyfikacji grup zasobów na trzy grupy:

- krytyczne - wymagane jest monitorowanie online parametrów wpływających na utratę jakości i bezpieczeństwa,
- istotne – zalecane jest prowadzenie pomiarów okresowych z analizą trendów,
- ogólnego zastosowania - możliwa jest implementacja pomiarów okresowych, jednak w wielu przypadkach wystarczające jest przyjęcie prewencyjnej metody eksploatacji (z planowaniem harmonogramu remontów).

Klasyfikacja może zostać dokonana pod względem różnych kryteriów, jednak kluczowy jest wpływ ewentualnej awarii na proces wytwórczy. Zakwalifikowanie zasobu do określonej grupy zależy od decyzji służb utrzymania ruchu i kierownictwa odpowiedzialnego



za określony obszar produkcji. Implementacja PdM w systemach wytwórczych powinna być poprzedzona analizą korzyści w stosunku do planowanych nakładów.

### **3. STUDIUM PRZYPADKU PREDYKCYJNEGO UTRZYMANIA RUCHU POMPY ZAŁADUNKOWEJ CIEKŁEGO AZOTU**

Studium przypadku będzie pokazywać analizę awaryjności pompy załadunkowej ciekłego azotu ze zbiornika magazynowego do cystern samochodowych oraz poprawienie jej opomiarowania przez co łatwiej można przewidzieć jej usterkę.

Pompa załadunkowa jest pompą odśrodkową do transportu cieczy kriogenicznej (ciekłego azotu) produkowanego na instalacji, do cystern samochodowych którymi transportowany jest azot do klientów. Miesięcznie wykonywanych jest średnio 200 załadunków produktu do aut. Zespół pompy składa się z silnika elektrycznego o mocy 30kW oraz pompy kriogenicznej z uszczelnieniem mechanicznym oraz nadmuchem azotu pomiędzy pierścieniem jako gazu uszczelniającego. Uszczelnienie mechaniczne to po prostu bariera dla płynu w pompie, w której obracający się wał przechodzi przez nieruchomą obudowę i łączy się z silnikiem. Uszczelnienia mechaniczne składają się z dwóch połączonych ze sobą pierścieni uszczelniających, aby utworzyć uszczelnienie na ich styku. Jeden pierścień uszczelniający obraca się wraz z wałem, a drugi jest nieruchomy. Współpracujące powierzchnie czołowe tych pierścieni uszczelniających zazwyczaj wymagają smarowania co ogranicza ich zużywanie albo płynem procesowym, albo cieczą barierową, albo w przypadku uszczelnień gazowych, do oddzielenia powierzchni stosowany jest azot.

Pierwotnie projektowo pompa posiadała system monitorowania w DCS z opomiarowaniem najważniejszych parametrów wg rysunku poniżej, czyli:

- prąd pobierany przez silnik,
- temperatura na tłoczeniu pompy,
- czas pracy pompy,
- ciśnienie tłoczenia.

Przy załadunkach dużych ilości cieczy i częstym schładzaniu pompy, co 2-3 miesiące pompa zaczynała wydawać z siebie zmienione dźwięki podczas załadunku co zgłaszali kierowcy autocystern, oraz z miejsca uszczelnienia pompy zaczynał wyciekać ciekły azot co stanowi realne zagrożenie poparzenia zimną cieczą oraz ryzyko uduszenia z uwagi na fakt, że azot wypiera tlen z powietrza w przestrzeniach zamkniętych i zagłębieniach. Duże oblodzenie spowodowane wyciekami cieczy w miejscu uszczelnienia powodowało wdzieranie się lodu na silnik i mogło go trwale uszkodzić. Remont pompy, polegający na wymianie uszczelnienia trwa 12 godzin, jednak ze względu na nagłość prac oraz czas na zorganizowanie specjalisty do serwisu pomp kriogenicznych, czas postoju pompy, a co za tym idzie wstrzymanie załadunków ciekłego azotu często było wstrzymywane na 48 godzin. Takie nagłe przestoje były bardzo utrudniające w planowaniu dostaw do klientów przez dział logistyki oraz podwyższały koszt remontu o ok 5 tysięcy złotych. Co stanowiło 20% całkowitego kosztu remontu. Ze względu, że awarie nie były przewidywalne to, gdy już do niej dochodziło, wykonywano tylko najpilniejsze załadunki i często pompa jeszcze 1-2 dni pracowała niesprawna, czyli lejąca azot

z uszczelnienia co dodatkowo powodowało szybsze zużycie się łożysk i silnika. Na rysunku 1 przedstawiono pompę z uszkodzonym uszczelnieniem.



*Rys 1. Obladzona pompa załadunkowa azotu, uszkodzone uszczelnienie na pompie załadunkowej azotu.*

Postanowiono wdrożenie systemu zapobiegania i przewidywania wystąpienia awarii, co pozwoliłoby wcześniej zaplanować remont i zorganizować przyjazd specjalisty zanim wystąpi awaria. Od producenta uzyskano informację, żeby jak najrzadziej schładzać pompę co pozwoli zminimalizować liczbę drastycznych zmian temperatury. Ponadto producent rekomendował pozostawienie na stałe otwartych zaworów na ssaniu pompy aby była ona cały czas zalana i zimna, jednak ze względu na to że w przypadku wycieku czy pęknięcia uszczelki na kołnierzu działała by siła nacisku całego zbiornika azotu tj. nawet 800 ton stąd pomysł także został odrzucony. Testowano także różnego typu uszczelnienia mechaniczne jednak ze względu na typ medium w pompie, oryginalne grafitowe uszczelnienie dostarczane przez producenta pompy wytrzymało najdłuższy czas. Zainstalowano logikę w systemie DCS, który zliczał czas pracy pompy i tak starano się przewidywać, kiedy uszczelnienie będzie podlegało wymianie, jednak można powiedzieć że sztuka sztuce nierówna i wyciek z pompy następował pomiędzy 150-240 godzin pracy na różnych kompletach tego samego typu uszczelnienia co jest dość sporym rozrzutem, gdzie załadunek jednej cysterny trwa 20 minut. Ze względu na to, że koszt nowego uszczelnienia wynosi 4 tysiące euro nie można pozwolić sobie na wymia-

nę jeszcze sprawnego uszczelnienia. Postanowiono zastanowić się jak można zacząć przewidywać czas, gdy uszczelnienie zaczyna przepuszczać.

Pierwszym pomysłem, który zrealizowano był montaż czujnika temperatury na betonowym podeście pompy, aby było widać, kiedy pojawia się oblodzenie wokół pompy. Jednak w zimowych miesiącach, gdy temperatura spadała w nocy do  $-20^{\circ}\text{C}$  dawało to niejednoznaczne zafałszowane wyniki.

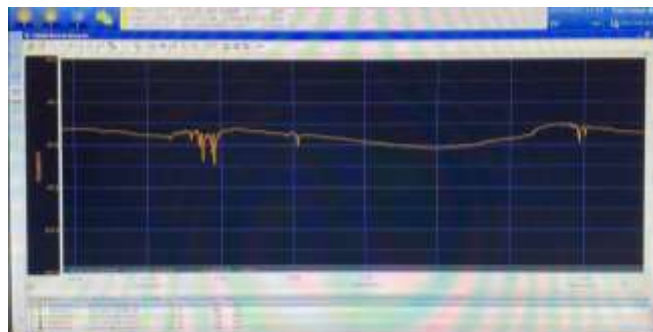
Drugim zrealizowanym pomysłem był montaż czujnika temperatury na wylocie gazu uszczelniającego. Gaz, który wchodzi do pierścieni uszczelniających ma temperaturę dodatnią a opuszczając strefę pompy lekko się ochładzając i jego temperatura w typowych warunkach pracy nie przekracza  $-25^{\circ}\text{C}$ . Po zainstalowaniu termometru na wylocie gazu, dodaniu wskazania w komputerze oraz analizie trendów temperatury, zauważono, że pomysł jest trafiony. Każdy spadek temperatury poniżej  $-25^{\circ}\text{C}$  daje obraz oraz alarm w systemie DCS co świadczy o kończącym się uszczelnieniu mechanicznym.

Obecnie zespół pompy posiada system monitorowania w DCS z opomiarowaniem najważniejszych parametrów wg rysunku poniżej, czyli:

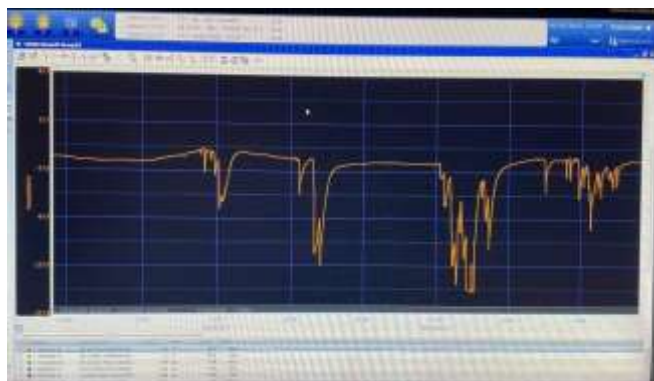
- prąd pobierany przez silnik,
- temperatura na tłoczeniu pompy,
- czas pracy pompy,
- ciśnienie tłoczenia,
- temperatura podstawy pompy,
- temperatura na wylocie gazu uszczelniającego.

Wszystkie pomiary są dokonywane online oraz zapisywane w historii i umożliwiają analizę trendów. Na rysunku 2a przedstawiono przykłady analizy danych dotyczące temperatury gazu wylotowego. Po modernizacji analizowano wykresy rysowane przez czujnik temperatury i można było zauważyć, że podczas załadunków cystern temperatura lekko spada co odpowiada ochładzania się azotu uszczelniającego przez medium tłoczone przez pompę. Na rysunku 2b pokazano trend z pomiarów temperatury wylotu gazu uszczelniającego, w miejscach spadku widać płynące medium w pompie, czyli pomiar był dokonany podczas załadunku cysterny. Po modernizacji analizowano wykresy rysowane przez czujnik temperatury i można było zauważyć, że podczas załadunków cystern temperatura lekko spada co odpowiada ochładzania się azotu uszczelniającego przez medium tłoczone przez pompę. Poniżej załączono trend z pomiarów temperatury wylotu gazu uszczelniającego, w miejscach spadku widać płynące medium w pompie, czyli pomiar był dokonany podczas załadunku cysterny. Azot transportowany przez pompę ma temperaturę ok  $-190^{\circ}\text{C}$  także temperatura gazu spadająca do ok  $-50^{\circ}\text{C}$  jest jak najbardziej prawidłowa i mieszcząca się w normie. Jednak po pewnym czasie zaczęto zauważać większe i częstsze spadki temperatury podczas załadunku azotu do pokazano na rysunku 2b. Na wykresie widać spadki temperatury dochodzące do ok  $-180^{\circ}\text{C}$  co świadczy o przedostawaniu się ciekłego azotu przez uszczelnienie, reakcją obsługi instalacji było lekkie podniesienie ciśnienia i przepływu na zasilaniu gazu co także widać na wykresie, skutkowało to chwilową poprawą pracy uszczelnienia. Dalsza analiza pracy pompy podczas kolejnych załadunków wykazała, że uszczelnienie jest uszkodzone i zwiększenie nadmuchu azotu już nie pomaga co widać na rysunku 2c.

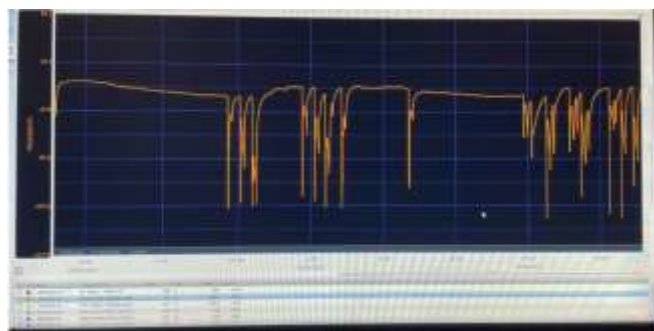
a)



b)



c)



Rys 2. a) trend temperatury wylotu gazu uszczelniającego, b) trend temperatury wylotu gazu uszczelniającego przy kończącym się uszczelnieniu, c) trend temperatury wylotu gazu uszczelniającego przy uszkodzonym uszczelnieniu.

[źródło: zdjęcie wykresu z systemu DCS tlenowni, opracowanie własne]

Na podstawie analizy trendów zlecono remont pompy co potwierdziło obserwacje z opomiarowania o wytartym uszczelnieniu. Jeden cykl pracy uszczelniania od wymiany do wymiany i pełna analiza jego pracy pozwoliła już nauczyć się przewidywać jego zużycie i zbliżającą się wymianę.

Kolejne remonty planowane są już podczas zauważonych pierwszych spadkach temperatury, wtedy podnoszony jest przepływ gazu uszczelniającego i wzywany serwis. Takie zachowanie pozwala przygotować dział logistyki na wstrzymanie odbiorów przez jeden dzień, przez co mogą zaplanować dostawy do klientów odpowiednio wcześniej, można także zarezerwować termin u serwisantów gdzie firma może być już rozliczana wg. normalnych stawek a nie działania w trybie pilnym co podnosi koszt serwisu o kilkanaście procent i łącznie kwota za usługę wymiany uszczelnienia wynosi 3000 zł. Wykonując 4 remonty pompy rocznie, znacząco udało się obniżyć koszty. Podczas każdego remontu uszczelnień pompa z silnikiem jest poddawana osiowaniu co znacznie pozwala zmniejszyć ryzyka szybkiego uszkodzenia łożysk, a także ogranicza zużycie energii. Tabela 1. zawiera podsumowanie kosztów wdrożenia usprawnienia, sumę dni niedostępności w ciągu roku urządzenia przed usprawnieniem oraz po, a także roczny zysk dla przedsiębiorstwa.

*Tab. 1. Przedstawienie kosztów wdrożenia usprawnienia dla pompy załadunkowej azotu. [opracowanie własne]*

Opis kosztów	Koszt przed modernizacją	Koszt po modernizacji	Zysk jednorazowy	Liczba wymian rocznie	Zysk po pierwszym roku
Montaż czujnika temperatury	8000 zł	0 zł	- 8000 zł	1	- 8000 zł
Wymiana uszczelniania	5000 zł	3000 zł	2000 zł	4	8 000 zł
Obsługa logistyki	5000 zł	1000 zł	5000 zł	4	16 000 zł
Zakup uszczelnienia	16 000 zł	16 000 zł	0 zł	4	0 zł
Czas trwania remontu [dni]	2 dni	1 dzień	1 dzień	4	4 dni/rok
Zysk w pierwszym roku				4	16 000 zł
Zysk w drugim roku i kolejnych latach				4	24 000 zł

Na tym przykładzie zastosowania Predictive Maintenance widzimy realne korzyści wynikające ze stosowania planowania i przewidywania awarii. Takie przewidywania przynosi korzyści zarówno finansowe jak i jakościowe które świadczy o niezawodności dostaw do klientów. Po niewielkim nakładzie inwestycyjnym polegającym na montażu dodatkowego czujnika temperatury już w pierwszym roku udało się zaoszczędzić na remontach pompy 16 000 zł.

### 3. PODSUMOWANIE

Analiza procesów oraz działania służb utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie pełni bardzo ważną rolę w funkcjonowaniu całej firmy produkcyjnej. Tylko właściwe i rozwojowe postępowanie pozwala w pełni korzystać z nowoczesnych urządzeń stosowanych w przemyśle. Obecnie zadanie pracownika służby utrzymania ruchu nie ogranicza się tylko do naprawy popsutej maszyny, ale przede wszystkim do działań zabiegających jej awarii. Stosowanie zasad predykcyjnego oraz prewencyjnego utrzymania ruchu pozwala zapewnić długą i niezawodną pracę urządzenia co szczególnie jest ważne w przypadku pracy w ruchu ciągłym, gdzie nie ma czasu na nieplanowany postój remontowy. Dal potrzeb systemu predykcyjnego utrzymania ruchu przedstawionego w niniejszym artykule opracowano algorytm predykcyjnego i prewencyjnego utrzymania ruchu dla jednego z ważniejszych urządzeń na instalacji separacji powietrza. Eksploatacja turbiny rozprężnej azotu jest ciągła przez co niezwykle ważne jest stałe monitorowania parametrów pracy urządzenia, aby wykluczyć możliwość wystąpienia usterki eliminującej urządzenie z pracy.

Artykuł został napisany na podstawie pracy magisterskiej [19]

### LITERATURA

- [1] **Sakib N., Wuest T.**, (2018) Challenges and opportunities of condition-based predictive maintenance: a review, *Procedia CIRP*, 2018, Vol. 78, pp. 267–272.
- [2] **Tao F., Qi Q., Liu A., Kusiak**(2018) A., Data-driven ‘Smart’ manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, 42018, Vol. 8, pp. 157–169
- [3] **Dubey R., Gunasekaran A., Childe S.J., Wamba S.F., Papadopoulos T.**,(2016)*The impact of big data on world-class sustainable manufacturing*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016; Vol. 84, pp. 631–45.
- [4] **Kusiak A.**,(2017) ‘Smart’ manufacturing must embrace big data, *Nature*, 2017, Vol. 544(7648) pp. 23–5.
- [5] **Hashem I. A. T., Yaqoob I., Anuar N. B., Mokhtar S., Gani A., Khan S. U.**,(2015) *The rise of big data on cloud computing : review and open research issues*, *Inf. Syst.* 2015, Vol. 47, pp. 98–115.

- [6] **Bahga A., Madiseti V.K.**,(2012) *Analyzing massive machine maintenance data in a computing cloud*, IEEE Trans. Parallel. Distrib. Syst., 2012 Vol. 23(10), pp.1831–43.
- [7] **Chen Y.**,(2017) *Integrated and intelligent manufacturing: perspectives and enablers*, Engineering, 2017, Vol. 3,pp. 588–595.
- [8] **Baptista M., Sankararaman S., de Medeiros I. P., Nascimento C. Jr., Prendinger H., Henriquesa E. M. P.**,(2018)*Forecasting fault events for predictive maintenance using data-driven techniques and ARMA modeling*, Computers & Industrial Engineering, 2018, Vol. 115, pp. 41–53.
- [9] **Lee, J., Jin, C., &Liu,Z.**,(2017) *Predictive big data analytics and cyber physical systems for TESSystems*,Advances in through-life engineering services, 2017, Cham: Springer pp. 97–112.
- [10] **Lee, J., Jin, C., &Bagheri, B.**,(2017) *Cyber physical systems for predictive production systems*, Production Engineering,2017, Vol. 11(2), pp. 155–165.
- [11] **Selcuk, S.**,(2017)*Predictive maintenance, its implementation and latest trends*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2017, Vol. 231(9), pp. 1670–1679.
- [12] **Susto, G. A., Schirru, A., Pampuri, S., McLoone, S., Beghi, A.**,(2015)*Machine learning for predictive maintenance: a multiple classifier approach*, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2015, Vol. 11(3), pp. 812–820.
- [13] **Hashemian, H. M., Bean, W. C.**,(2011)*State-of-the-art predictive maintenance techniques*, IEEE Transactions on Instrumentation and measurement, 2011, Vol. 60 (10), pp. 3480–3492.
- [14] **Van Horenbeek A , Pintelon L.**(2013) *A dynamic predictive maintenance policy for complex multi-component systems*, 2013, ReliabEngSystSaf, Vol. 120, pp. 39–50.
- [15] **Kłos S., Patalas-Maliszewska J.**,(2019) *The use of the simulation method in analysing the performance of a predictive maintenance system*, Distributed Computing and Artificial Intelligence, Springer Nature Switzerland, 2019 - Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 801 – pp. 42-49.
- [16] **Mori M, Fujishima M.**(2013) *Remote Monitoring and Maintenance System for CNC Machine Tools*. Procedia CIRP; 2013, Vol. 12, 7-12.
- [17] **Dong L., Mingyue R., Guoying M.**,(2017)*Application of Internet of Things Technology on Predictive Maintenance System of Coal Equipment*, 13th Global Congress on Manufacturing and Management, GCMM, Procedia Engineering, 2017, Vol. 174, 885 – 889.
- [18] <https://utrzymanieruchu.pl/predykcyjne-utrzymanie-ruchu/> [26.11.2022]
- [19] **Dług D.**,(2022) *Analiza jakości procesów utrzymania ruchu w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym*, Praca dyplomowa magisterska. Zielona Góra 2022.

# **METODY ANALIZY I OCENY GOSPODARKI MATERIAŁOWEJ**

## **1. WPROWADZENIE**

Magazyny stanowią nieodzowną część działalności każdego przedsiębiorstwa produkcyjnego i handlowego. Umożliwiają gromadzenie zapasów, półproduktów i produktów gotowych przedsiębiorstwa, przechowywanie, a nawet konserwowanie zgromadzonych materiałów i produktów, dokonywanie operacji na tych produktach, kontrolowanie jakości towarów oraz wydawanie towarów. Istnieje wiele klasyfikacji magazynów [3, 7], np. ze względu na ich budowę, wyposażenie, spełniane funkcje, obsługę określonego szczebla obrotu, asortyment czy formę ich użytkowania. Rodzaj, ilość i wyposażenie posiadanych magazynów zależy natomiast, m.in. od profilu, zakresu działalności oraz wielkości przedsiębiorstwa.

Nowoczesna gospodarka magazynowa działająca w warunkach konkurencji rynkowej wymaga ciągłych zmian i usprawnień zasad funkcjonowania w celu dostosowania do szybko zmieniających się warunków rynkowych. Podstawę do kierunku wdrażania tych zmian oraz znalezienie punktów wymagających usprawnień może przynieść nam analiza i ocena gospodarki magazynowej [2]. Analizę i ocenę gospodarki magazynowej można prowadzić wykorzystując różne metody. Najbardziej znaną z nich jest analiza wskaźnikowa. Polega ona na obliczeniu określonych wskaźników, a następnie na interpretacji wyniku i wyciągnięciu wniosków. W literaturze występuje wiele wskaźników do oceny efektywności gospodarki magazynowej. Wskaźniki z biegiem czasu ulegają ciągłym zmianom, co związane jest z rozwojem gospodarki magazynowej.

## **2. GOSPODARKA MAGAZYNOWA**

### **2.1. Istota gospodarki magazynowej**

Gospodarkę magazynową można scharakteryzować jako całość działań, które podejmowane są, a w następstwie stosowane do zarządzania magazynami. Umożliwia to także organizację, która zapewnia koordynację magazynu, zakładając osiągnięcie największych efektów przy najmniejszych nakładach pracy. Pośrednim celem gospodarki magazynowej jest zapewnienie także prawidłowego działania innych części działalności jak na przykład produkcji. Optymalizacja w obszarze gospodarki magazynowej ma na celu zredukowanie wysiłku pracowników oraz jak najlepsze wykonywanie poleceń [4].

Gospodarka magazynowa składa się nie tylko z pracowników, infrastruktury czy magazynów, ale są to również procesy zachodzące w poszczególnych obszarach funkcjo-



nowania przedsiębiorstwa. Podstawowy, a zarazem najważniejszy proces odbywający się w gospodarce magazynowej to magazynowanie. W literaturze można spotkać się z różnymi definicjami tego pojęcia. Jedna z nich mówi, że: magazynowanie to zespół czynności związanych z czasowym przyjmowaniem, składowaniem, przechowywaniem, kompletowaniem, przemieszczaniem, konserwacją, ewidencjonowaniem, kontrolowaniem i wydawaniem dóbr materialnych” [7].

Magazyn spełnia szereg funkcji magazynowych. Wyposażony jest w szereg środków technicznych, które umożliwiają przechowywanie zapasów. Wszystkie składowane w nim wyroby czy materiały mają w nim swoje miejsce co gwarantuje porządek i zmniejsza ryzyko błędów popełnianych przez pracowników w trakcie wykonywania czynności magazynowych. Ponadto w dzisiejszych czasach magazyny wspomagane są najczęściej nowoczesnymi technologiami, które bardzo usprawniają przebieg zachodzących przepływów. Jedną z takich technologii jest RFID, czyli radiowa identyfikacja zapasów [4, 5].

Magazyny pełnią różne funkcje, które kwalifikuje się według różnych kryteriów. Poddział opierający się na czynnościach zachodzących w magazynie składa się z:

- przyjmowania dóbr materialnych i ich rejestrowania,
- manipulacji składowanymi towarami,
- przechowywaniu i wydawaniu,
- ochronie i konserwacji [4].

Magazynowanie stanowi podstawę działalności każdego przedsiębiorstwa logistycznego. To nie odłączny element, który pełni ważne zadania w organizacji. Procesy jakie zachodzą w obszarze gospodarki magazynowej łączą trzy podstawowe etapy łańcucha logistycznego to jest fazę zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji. Sprawnie zorganizowany magazyn przyczynia się do szybkiego przepływu materiałów. Fundamentem gospodarki magazynowej jest struktura organizacji oraz logistyka. Na nim oparty jest system zarządzania przedsiębiorstwem produkcyjnym [4].

## 2.2. Cel oceny gospodarki magazynowej

Metody oceny gospodarki magazynowej jakie stosowane są w praktyce możemy podzielić na uproszczone i ograniczone. Zadania realizowane przez magazyny oraz praca tych magazynów najczęściej oceniane są na podstawie kontroli prowadzonej przez odpowiednie komórki funkcjonalne przedsiębiorstwa lub organy zewnętrzne w ramach ogólnofirmowej analizy wyników. Wyniki analiz prezentowane są w postaci liczb obrazujących rzeczywistość i planowaną realizację zadań magazynu. Dane z analiz i kontroli dają podstawę do ustalenia zgodności przebiegu procesu magazynowego z obowiązującymi zasadami oraz do opracowania zaleceń i wniosków, które mają na celu poprawę efektywności gospodarki magazynowej [3].

Jako główne zadania kontroli i oceny gospodarki magazynowej można uznać:

- wprowadzenie nowoczesnych rozwiązań organizacyjnych i optymalizacja technologii składowania,
- wskazanie usług, które możliwe są do przekazania na zewnątrz w ramach outsourcingu,

- utrzymanie odpowiedniego poziomu zapasów,
- skrócenie kroków magazynowych w ramach łańcucha dostaw.

Badania formalno-rachunkowe gospodarki magazynowej polegają na ustaleniu prawidłowości dokumentów przychodu i rozchodu czy faktycznego stanu zapasów z ewidencyjnym. Sprawdzenie magazynów od strony technicznej polega najczęściej na zbadaaniu warunków przechowywania materiałów pod względem zabezpieczenia ich właściwości użytkowych czy stanu technicznego. Organizacja gospodarki magazynowej oceniana jest zgodność organizacji faktycznej z normatywną, czyli określoną w odpowiednich aktach normatywnych czy instrukcjach magazynowych. Sposób wykonywania określonych czynności przez pracowników magazynów oraz ich wydajność obejmuje także badanie organizacji. Pomimo szerokiego zakresu oceny gospodarki magazynowej pomija najczęściej się takie istotne elementy jak poziom wykorzystania powierzchni magazynu, mechanizacja urządzeń transportowych oraz wielkość magazynu ze stopniem zatrudnienia [1, 3].

Wyniki oceny gospodarki magazynowej podawane są najczęściej w formie opisowej i ilustrowane przykładowymi danymi liczbowymi. Aby ocenić czy dane w sprawozdaniu z kontroli są prawidłowe najczęściej porównuje się je z danymi z innych podobnych magazynów albo bazuje się na wiedzy i doświadczeniu kontrolującego. Dlatego też wyniki ocen mają często charakter subiektywny. W literaturze fachowej również zagadnienia oceny gospodarki magazynowej rozpatruje się w sposób zróżnicowany, poprzez przyjęcie nie zawsze odpowiednich metod i mierników. Do jak najlepszej subiektywnej oceny gospodarki magazynowej potrzebne są właściwie mierniki dla różnych rodzajów magazynów, a także odpowiednie obiektywne metody oceny gospodarki magazynowej [1, 3].

W ramach prowadzonej analizy funkcji poszczególnych elementów gospodarki magazynowej należałoby uwzględnić takie zagadnienia jak:

- strukturę organizacyjną i technologie występujące w gospodarce magazynowej,
- pracochłonności wynikające z czynności eksploatacyjnych magazynów,
- zależności pomiędzy poszczególnymi elementami gospodarki magazynowej, a charakterem działalności przedsiębiorstwa.

Z metodologicznego punktu widzenia należy przyjąć założenie uwzględniające zakres koncepcji gospodarowania magazynem jako obszarem charakteryzującym się takimi czynnikami jak zapasy magazynu, struktura magazynu, wyposażenie magazynu czy koszty i obrót magazynowy [6].

### **3. ANALIZA WSKAŹNIKOWA W GOSPODARCE MAGAZYNOWEJ**

#### **3.1. Wybrane metody oceny gospodarki magazynowej**

W literaturze [2, 3] można znaleźć podział mierników oceny gospodarki magazynowej na syntetyczne i analityczne. Mierniki syntetyczne można zdefiniować jako te, które w sposób zbiorczy i rozległy charakteryzują działanie gospodarki magazynowej, a na ich wielkość wpływają wszystkie jej elementy. Przykładami są mierniki obrotu magazyno-

wego, kosztów magazynowania i przepustowości magazynu. W skład mierników analitycznych wchodzi te opisujące określone zdarzenia gospodarcze, dotyczące podstawowych elementów gospodarki magazynowej.

Zalecany kierunkiem w zakresie metod oceny powinno być ustalenie wielkości tak zwanych wskaźników wzorcowych, które są optymalne w danych warunkach. Dzięki nim możemy odnieść ocenę stanu poszczególnych elementów gospodarki magazynowej. Do wielkości wzorcowych porównujemy ustalony stan gospodarki magazynowej pozwala to na prawidłową ocenę zjawisk oraz umożliwia ustalenie przyczyn niepożądanych efektów w gospodarce magazynowej. Dzięki wielkością wzorcowym możemy obliczyć wskaźniki rzeczywiste i porównać je ze sobą, jednak nie może być to porównanie bez krytyczne należy zawsze skorygować je o rzeczywiste zjawiska, które odbiegają od przyjętych do obliczeń wskaźników wzorcowych. Ustalenie wzorcowych wskaźników organizacyjno-technicznych wymaga wykonania szeregu skomplikowanych obliczeń oraz zgromadzenia obszernego materiału [3].

W zależności od takich czynników jak funkcja, rodzaj, zakres działania magazynu, jego wyposażenie, struktura branżowa zapasów czy organizacja pracy, wskaźniki będą kształtowały się różnie. Dlatego też ustalone mierniki mogą być porównywane tylko z takimi, które obliczone były w zbliżonych lub takich samych warunkach magazynowych. Ze względu na szeroki zakres problemów w gospodarce magazynowej, które mogą być kwalifikowane w formie wskaźników wzorcowych wyróżnia najczęściej się takie zagadnienia jak:

- wskaźniki wydajności,
- operacyjne, logistyczne wskaźniki pracy magazynu,
- wskaźniki kosztowe działalności magazynów,
- wskaźniki ekonomiczne pracy magazynu [3].

### 3.2. Wskaźniki wydajności

Wśród wskaźników wydajności wyróżnić można następujące wskaźniki:

- wskaźnik wykorzystania pojemności użytkowej magazynu ( $M_{vu}$ ),
- wskaźnik produktywności magazynowania ( $M_{vw}$ ),
- wskaźnik wykorzystania pojemności składowej magazynu ( $M_{vs}$ ),
- wskaźnik eksploatacji przestrzeni składowej magazynu ( $M_{ev}$ ),
- wskaźnik technicznego uzbrojenia przestrzeni magazynowej ( $M_{uv}$ ),
- wskaźnik wyposażenia przestrzeni magazynowej w środki transportowe ( $M_{tv}$ ),
- wskaźnik wydajności środków transportu magazynowego ( $M_{wt}$ ),
- wskaźnik wykorzystania czasu pracy urządzeń mechanicznych ( $M_{wu}$ ),
- wskaźnik wykorzystania urządzeń do składowania ( $M_{ws}$ ),
- wskaźnik paletyzacji ładunków w magazynie ( $M_{pz}$ ).

Wskaźnik wykorzystania pojemności użytkowej magazynu  $M_{vu}$  wylicza się ze wzoru:

$$M_{vu} = \frac{Vs}{Vu} \quad (1)$$

gdzie:

$Vs$  – pojemność składowa według planu zagospodarowania przestrzeni magazynowej w  $[m^3]$ ,

$Vu$  – pojemność użytkowa magazynu w  $[m^3]$ .

Wskaźnik ten będzie określał stopień wykorzystania całej części magazynu przez przeznaczone do składowania zapasy. Pozwoli więc ocenić prawidłowość założonej w projekcie konstrukcji magazynu do przechowywania określonych dóbr magazynowych.

Wskaźnik produktywności magazynowania pozwala określić efektywność wykorzystania zasobów w procesie magazynowania. Można wyznaczyć ilościowy i wartościowy wskaźnik produktywności magazynowania. Gdy w liczniku występuje liczba magazynowanych towarów, a w mianowniku zasoby wykorzystywane w procesie magazynowania, wyznacza się ilościowy wskaźnik produktywności. Wartościowy wskaźnik produktywności mierzymy jako wartość magazynowanych towarów w stosunku do wartości zaangażowanych zasobów. Im wyższa wartość danego wskaźnika tym lepiej dla przedsiębiorstwa. Oznacza to, że wartość towaru magazynowego jest wyższa od kosztów zasobów zaangażowanych w tym procesie [3]. Liczony jest według wzoru (2):

$$M_{vw} = \frac{Wm}{Wz} \quad (2)$$

gdzie:

$Wm$  – wartość magazynowania towaru  $[zł]$ ,

$Wz$  – wartość zaangażowanych zasobów w procesy magazynowania  $[zł]$ .

Wskaźnik wykorzystania pojemności składowej powinien kształtować się jak najbliższej wartości 1. Pozwala określić czy pojemność składowa, jaka powinna być wykorzystywana w założeniu, rzeczywiście jest przeznaczona na magazynowanie zapasów. Obliczany jest ze wzoru (3):

$$M_{vs} = \frac{Vsw}{Vs} \quad (3)$$

gdzie:

$Vsw$  – pojemność składowa wykorzystana magazynu  $[m^3]$ ,

$Vs$  – pojemność nominalna wg planu zagospodarowania przestrzeni magazynowej  $[m^3]$ .

Wskaźnik eksploatacji przestrzeni składowej magazynu informuje o stopniu wykorzystania powierzchni składowej magazynu. Wzór potrzebny do jego wyliczenia to:

$$M_{ev} = \frac{Om}{Vs} \quad (4)$$

gdzie:

$Om$  – wielkość obrotu magazynowego  $[t, zł]$ ,

$Vs$  – pojemność składowa wg planu zagospodarowania przestrzeni magazynu  $[m^3]$ .

Wskaźnik technicznego uzbrojenia przestrzeni magazynowej charakteryzuje stopień wdrażania postępu technicznego w magazynie. Jego wartość będzie większa w magazynach w pełni zmechanizowanych w porównaniu do magazynów, gdzie przeważająca jest praca ręczna. Daje on nam w ogólnym zarysie obraz mechanizacji prac w danym magazynie [3]. Obliczany jest na podstawie wzoru (5):

$$M_{uv} = \frac{Ww}{Vu} \quad (5)$$

gdzie:

*Ww*- wartość wyposażenia technicznego magazynu [zł],

*Vu*- pojemność użytkowa magazynu [ $m^3$ ].

Wskaźnik wyposażenia przestrzeni magazynowej w środki transportowe pozwala określić poziom zmechanizowania magazynu, czyli ilość środków transportowych jakie wykorzystywane są przy przemieszczaniu zapasów w magazynie. Określany jest ze wzoru (6):

$$M_{tv} = \frac{Wst}{Vu} \quad (6)$$

gdzie:

*Wst*- wartość środków transportu magazynowego [zł],

*Vu*- pojemność użytkowa magazynu [ $m^3$ ].

Wskaźnik wydajności środków transportu magazynowego określa poziom wykorzystywania środków transportu w procesie magazynowania. Daje obraz czy środki transportu wykorzystywane są dobrze i odpowiednio przystosowane do pracy w magazynie. Aby otrzymać prawidłowe wyniki dla tego wskaźnika należy przeprowadzić osobne wyliczenia dla każdej grupy środków transportu, za podstawę przyjmując jednolite warunki ich pracy i możliwości techniczne. Obliczany jest ze wzoru (7):

$$M_{st} = \frac{Qr}{Tte} \quad (7)$$

gdzie:

*Qr*- ciężar ładunków przemieszczanych za pomocą środków transportu magazynowego w badanym okresie [t],

*Tte*- efektywny czas pracy środków transportu magazynowego w badanym okresie [godz.].

Wskaźnik wykorzystania środków transportu magazynowego świadczy o efektywności wykorzystania badanych środków transportu. Pozwala ustalić stopień wykorzystania środków transportu z ich nominalnymi możliwościami [3]. Określany przy pomocy wzoru (8):

$$M_{wt} = \frac{Tte - Qr}{Ttn - Qn} \quad (8)$$

gdzie:

*Tte* - efektywny czas pracy środków transportu magazynowego w badanym okresie [godz.],

$Q_r$  - ciężar ładunków przemieszczanych za pomocą środków transportu magazynowego w badanym okresie [t],

$T_{tn}$  - nominalny fundusz czasu pracy środków transportu magazynowego w badanym okresie [godz.],

$Q_n$  - nominalna zdolność przewozowa środków transportu magazynowego w badanym okresie [t]; jest to suma iloczynów nominalnej nośności lub udźwigu środków transportu przez liczbę cykli roboczych środka transportu w badanym okresie.

Wskaźnik wykorzystania czasu pracy urządzeń mechanicznych określa stopień wykorzystania urządzeń mechanicznych w porównaniu z ich możliwościami. Ma on istotny wpływ na wykorzystanie ich nominalnego czasu pracy.

$$M_{wu} = \frac{T_{ue}}{T_{un}} \quad (9)$$

gdzie:

$T_{ue}$  - efektywny czas pracy urządzeń mechanicznych stosowanych w magazynie w badanym okresie [godz.],

$T_{un}$  - nominalny fundusz czasu pracy urządzeń mechanicznych magazynu w badanym okresie [godz.].

Wskaźnik wykorzystania urządzeń do składowania pozwala na określenie, w jakim stopniu wykorzystywane są palety, półki, kontenery i inne urządzenia do składowania.

$$M_{ws} = \frac{G_w}{G_n} \quad (10)$$

gdzie:

$G_w$  - ciężar w [t] lub objętość w [m<sup>3</sup>] dóbr materialnych składowanych w urządzeniach do składowania w czasie badania,

$G_n$  - dopuszczalne obciążenie składowanymi dobrami materialnymi w [t] lub nominalna pojemność w [m<sup>3</sup>] urządzeń do składowania znajdujących się w magazynie.

Wskaźnik paletyzacji ładunków w magazynie określa, jaka część zapasów jest składowana na paletach. Wyliczana na podstawie wzoru (11):

$$M_{pz} = \frac{Z_{sp}}{Z_c} \quad (11)$$

gdzie:

$Z_{sp}$  - wielkość zapasu dóbr materialnych składowanych w magazynie na paletach w czasie badań [t],

$Z_c$  - wielkość całego zapasu dóbr składowanych w magazynie w czasie badań [t].

### 3.3. Operacyjne logistyczne wskaźniki pracy magazynu

Wśród operacyjnych logistycznych wskaźników pracy magazynu można wyróżnić:

- procentowy wskaźnik przyjętych zamówień do realizacji w stosunku do ogółu zamówień napływających w przyjętym do badania okresie (Z1),
- procentowy wskaźnik zamówień zrealizowanych w stosunku do ogółu przyjętych zamówień (Z2),

- procentowy wskaźnik bezbłędnych dostaw w stosunku do ogółu wykonanych dostaw (Z3),
- procentowy wskaźnik bezbłędnie wystawionych faktur (Z4),
- procentowy wskaźnik zamówień zrealizowanych z opóźnieniem (Z5),
- procentowy wskaźnik zamówień zrealizowanych w niepełnym wymiarze żądanych asortymentów (Z6),
- procentowy wskaźnik reklamowanych dostaw (Z7).

Procentowy wskaźnik przyjętych zamówień  $Z1$  do realizacji w stosunku do ogółu zamówień napływających w przyjętym do badania okresie określa, ile ze wszystkich zamówień magazyn jest w stanie obsłużyć.

$$Z1 = \frac{Zp}{Zo} \cdot 100\% \quad (12)$$

gdzie:

$Zp$  - zamówienia przyjęte [szt.],

$Zo$  - zamówienia ogółem [szt.].

Procentowy wskaźnik zamówień zrealizowanych w stosunku do ogółu przyjętych zamówień pokazuje, w jaki sposób magazyn wywiązuje się ze swoich obowiązków. Ukazuje stopień realizacji zamówień. Wszelkie odchylenia skutkują opóźnieniami w dostawach.

$$Z2 = \frac{Zr}{Zp} \cdot 100\% \quad (13)$$

gdzie:

$Zr$  - zamówienia zrealizowane [szt.],

$Zp$  - zamówienia przyjęte [szt.].

Procentowy wskaźnik bezbłędnych dostaw w stosunku do ogółu wykonanych dostaw ukazuje poziom poprawności realizowanych dostaw. Im wyższy, tym lepiej jest zorganizowany i zarządzany magazyn.

$$Z3 = \frac{DD}{Do} \cdot 100\% \quad (14)$$

gdzie:

$DD$  - dostawy bezbłędne (dobre) [szt.],

$Do$  - dostawy ogółem [szt.].

Procentowy wskaźnik bezbłędnie wystawionych faktur określa poziom poprawności wystawianych faktur. Błędne faktury są przyczyną reklamacji, więc jak najwyższy poziom miernika jest jak najbardziej pożądany.

$$Z4 = \frac{FD}{Fo} \cdot 100\% \quad (15)$$

gdzie:

$FD$  - faktury bezbłędne [szt.],

$Fo$  - faktury ogółem [szt.].

Procentowy wskaźnik zamówień zrealizowanych z opóźnieniem określa, ile z ogółu zamówień jest takich, które są nieterminowo realizowane. Wskaźnik powinien być jak najniższy.

$$Z5 = \frac{Z_{op}}{Z_o} \cdot 100\% \quad (16)$$

gdzie:

$Z_{op}$  - zamówienia zrealizowane z opóźnieniem [szt.],

$Z_o$  - zamówienia ogółem [szt.].

Procentowy wskaźnik zamówień zrealizowanych w niepełnym wymiarze żądanych asortymentów określa, ile z ogółu zamówień jest takich, które nie zostały całkowicie realizowane. Wskaźnik powinien być jak najniższy.

$$Z6 = \frac{Z_n}{Z_o} \cdot 100\% \quad (17)$$

gdzie:

$Z_n$  - zamówienia niepełne [szt.],

$Z_o$  - zamówienia ogółem [szt.].

Procentowy wskaźnik reklamowanych dostaw określa, ile z ogółu zamówień jest takich, które nie były zrealizowane zgodnie z oczekiwaniami klientów oraz na które magazyn otrzymał reklamację. Wskaźnik powinien być jak najniższy.

$$Z7 = \frac{D_r}{D_o} \cdot 100\% \quad (18)$$

gdzie:

$D_r$  - dostawy reklamowane [szt.],

$D_o$  - dostawy ogółem [szt.].

### 3.4. Wskaźniki kosztowe działalności magazynu

Wśród wskaźników kosztowych działalności magazynów wyróżnić można:

- wskaźnik kosztów magazynowania ( $K_{mj}$ ),
- wskaźnik kosztów składowania zapasów ( $K_{sz}$ ),
- wskaźnik kosztu miejsca składowego ( $K_{ms}$ ),
- wskaźnik kosztów efektywności pracy magazynu ( $E_m$ ),
- wskaźnik kosztów utrzymania powierzchni i przestrzeni magazynowej ( $M_{up}$ ),
- wskaźnik kosztów eksploatacji wyposażenia magazynu ( $M_u$ ),
- wskaźnik kosztów zatrudnienia pracownika magazynowego ( $M_{kp}$ ),
- wskaźnik obniżki kosztów jednostkowych magazynowania ( $M_{ok}$ ).

Wskaźnik kosztów magazynowania jest jednym z podstawowych mierników oceny efektywności działania magazynu. Pozwala śledzić oszczędności z operacji magazynowych w kolejnych okresach. Jego zaletą jest to, że dość dokładnie opisuje podstawową funkcję magazynu, wadą natomiast jest uzależnienie od zbyt wielu czynników (np. stopnia zróżnicowania cen, wysokości płac i struktury rotacji towarów) [3].



$$Kmj = \frac{Kmc}{Omr} \quad (19)$$

gdzie:

*Kmc* - łączne koszty magazynowania w badanym okresie [zł],

*Omr* - wielkość obrotu magazynowego wg rozchodu w badanym okresie [t, zł].

Wskaźnik kosztów składowania zapasów określa koszt za złotówkę (lub inną jednostkę, np. tonę, kg) wartości magazynowanego materiału lub towaru. Im niższą wartość ma ten wskaźnik, tym wydajniejsze i tańsze jest funkcjonowanie magazynu.

$$Ksz = \frac{Kmc}{Zs} \quad (20)$$

gdzie:

*Kmc* - łączne koszty magazynowania w badanym okresie [zł],

*Zs* - zapas średni w badanym okresie [zł, t].

Wskaźnik kosztu miejsca składowego pozwala określić wysokość kosztów jednego miejsca składowania. Analizując dany wskaźnik, należy wziąć pod uwagę koszt energii elektrycznej, jednostkowy koszt obsługi magazynu oraz koszty osobowe związane z obsługą powierzchni magazynowej. Średnie koszty miejsca składowania są bezpośrednio związane z produktywnością, ponieważ reprezentują wartość zasobu w odniesieniu do lokalizacji. Im niższy koszt przestrzeni magazynowej, tym lepsza produktywność firmy.

$$Kms = \frac{Kmc}{Puc} \quad (21)$$

gdzie:

*Kmc* - koszty magazynowania w badanym okresie [zł],

*Puc* - liczba miejsc składowych.

Wskaźnik kosztów efektywności pracy magazynu określa poziom, w jakim koszty zapasów są ponoszone w dwóch okresach oraz jak w tych okresach kształtuje się wydajność pracy w magazynie.

$$Em = (Kmj_b - Kmj_d) - Omr_d \quad (22)$$

gdzie:

*Kmj\_b* - jednostkowy koszt magazynowania okresu bazowego [zł]

*Kmj\_d* - jednostkowy koszt magazynowania okresu docelowego [zł]

*Omr\_d* - wielkość obrotu magazynowego wg rozchodu w okresie docelowym [t, zł]

Wskaźnik kosztów utrzymania powierzchni i przestrzeni magazynowej umożliwia porównanie działalności magazynów zorganizowanych w podobny sposób. Należy pamiętać, aby, aby zawsze brać pod uwagę technologię przechowywania w magazynie, ponieważ wtedy wyniki będą bardziej wiarygodne [3]. Drugi wskaźnik (*Muprz*) jest coraz częściej stosowany, zwłaszcza przy ocenie zmechanizowanych magazynów wysokiego składowania.

$$Mup = \frac{Kmc}{Pu} \quad (23)$$

$$Muprz = \frac{Kmc}{Vu} \quad (24)$$

gdzie:

*Kmc* - łączne koszty magazynowania w badanym okresie [zł],

*Pu* - powierzchnia użytkowa magazynu [ $m^2$ ],

*Vu* - przestrzeń użytkowa magazynu [ $m^3$ ].

Wskaźnik kosztów eksploatacji wyposażenia magazynu służy do porównywania podobnych magazynów pod względem technologicznym, śledzenia tempa modernizacji wyposażenia magazynu czy analizy kosztów użytkowania maszyn i urządzeń w określonym momencie i w konkretnym magazynie.

$$Mu = \frac{Kmu}{Ww} \quad (25)$$

gdzie:

*Kmu* - koszty eksploatacji wyposażenia magazynowego [zł],

*Ww* - wartość maszyn i urządzeń stanowiących wyposażenie magazynu [zł].

Wskaźnik kosztów zatrudnienia pracownika magazynowego jego wysokość zależy od: wielkości magazynu, stopnia jego mechanizacji, liczby i stopnia kwalifikacji pracowników, wysokości płac. Wskaźnik ten powinien być analizowany łącznie z miernikami zmechanizowania magazynów, gdyż wielkość zatrudnienia jest niższa w magazynach zmechanizowanych z ręczną obsługą. Każdy pracownik magazynu to dodatkowe koszty dla przedsiębiorstwa. Kosztów wynagrodzeń nie da się wyeliminować. Są to również koszty, których nie da się obniżyć – oznaczałoby to brak pensji lub premii dla pracowników. Jedyny sposób obniżenia kosztów zatrudnienia, to zmniejszenie liczby pracowników – redukcja etatów. Natomiast przy zoptymalizowanych poziomie zatrudnienia, koszty utrzymania pracowników będą stałe.

$$Mkp = \frac{Kmo}{Zp} \quad (26)$$

gdzie:

*Kmo* - koszty osobowe pracowników magazynu [zł],

*Zp* - liczba pracowników zatrudnionych w magazynie.

Wskaźnik obniżki kosztów jednostkowych magazynowania służy do oceny efektywności nowowprowadzonych maszyn i urządzeń.

$$Mok = \frac{Kj0 - Kj1}{Kj0} * 100\% \quad (27)$$

gdzie:

*Kj0* - jednostkowe koszty magazynowania przed wprowadzeniem mechanizacji,

*Kj1* - jednostkowe koszty magazynowania po wprowadzeniu mechanizacji.

### 3.5. Wskaźniki ekonomiczne działalności magazynu

W skład wskaźników ekonomicznych pracy magazynów wchodzi:

- wskaźnik kosztów utrzymania magazynu ( $Msz$ ),
- wskaźnik średniego zapasu w magazynie,
- wskaźnik średniego obrotu magazynowego ( $Mso$ ),
- wskaźnik wartości zapasu magazynowego ( $Mwz$ ),
- wskaźnik średniej dziennej liczby zamówień ( $Msd$ ),
- wskaźnik szybkości obrotu magazynowego ( $Mrr$  - w razach,  $Mrd$  - w dniach),
- wskaźnik stopnia wykorzystania powierzchni magazynowej ( $Mpm$ ).

Wskaźnik kosztów utrzymania magazynu pokazuje nam jaka część przychodów jest przeznaczana na utrzymanie magazynu i relację z magazynem. Im wyższa wartość tego wskaźnika, tym lepiej dla firmy. Jest to pośredni wskaźnik, ale dobrze opisuje wydajność przechowywania.

$$Msz = \frac{U}{Kmc} \quad (28)$$

gdzie:

$U$  - wielkość zysku osiągniętego w badanym okresie [zł],

$Kmc$  - łączne koszty magazynowania w badanym okresie [zł].

Wskaźnik średniego zapasu w magazynie obliczany jest za pomocą wzoru (29):

$$MSZ = \frac{Z1+Z2...+Zn}{n-1} \quad (29)$$

gdzie:

$Z1$  - wielkość zapasu magazynowego na początku badanego okresu [t, zł],

$Zn$  - wielkość zapasu końcowego [t, zł],

$Z2$  - stany zapasów w badanym okresie [t, zł],

$n$  - ogólna liczba stanów zapasów będąca podstawą obliczenia zapasu średniego.

Wskaźnik średniego obrotu magazynowego przydaje się w szczególności do oceny działalności magazynu o dużej różnorodności materiałów lub towarów. Oblicza się go również w celu porównania magazynów o podobnej wielkości i wartości obrotu oraz ustalenia ewentualnych odchyleń.

$$Mso = \frac{Omr}{d} \quad (30)$$

gdzie:

$Omr$  - wielkość obrotu magazynowego wg rozchodu w badanym okresie [t, zł],

$d$  - liczba dni w badanym okresie.

Wskaźnik wartości zapasu magazynowego określa średnią wartość jednostki towarów lub materiałów składowanych w magazynie.

$$Mwz = \frac{Zs(w)}{Zs(t)} \quad (31)$$

gdzie:

$Zs(w)$  - wartość średniego zapasu magazynowego w badanym okresie [zł],

$Z_s(t)$  - wielkość średniego zapasu magazynowego w jednostkach naturalnych w badanym okresie  $[t, m^3]$ .

Wskaźnik średniej dziennej liczby zamówień jest jednym z głównych wskaźników, oceniających efektywność pracy magazynu.

$$Msd = \frac{O_{mz}}{d} \quad (32)$$

gdzie:

$O_{mz}$  - liczba zamówień w badanym okresie,

$d$  - liczba dni roboczych.

Firma, która chce zwiększyć produktywność magazynu, musi obniżyć koszty magazynowania i starać się zwiększać liczbę przetwarzanych i realizowanych zamówień. Dzięki takim wskaźnikom jak średnia dzienna liczba zamówień oraz komplementacji, wydań wraz ze wskaźnikami poprawności i wadliwości komplementacji można ocenić ewentualny potencjał do poprawy. W sytuacjach, gdy na co dzień realizuje się zbyt mało zamówień lub spada ich dokładność (co powoduje wzrost kosztów dla firmy), warto pomyśleć o pozyskaniu nowych zamówień i ich korekt w celu lepszej obsługi klienta. Zmniejszy to liczbę reklamacji klientów. Z dodatkowymi kosztami wiąże się spadek wydajności [3].

Wskaźnik rotacji zapasów czyli szybkości obrotu magazynowego w razach ( $Mrr$ ) określa, ile razy w danym czasie trzeba było dokonać obrotu średnim zapasem, aby uzyskać określoną wielkość rozchodu towarów lub materiałów. Wskaźnik rotacji zapasów w dniach ( $Mrd$ ) oznacza, przez jaki okres przeciętny zapas pokrywał wielkość rozchodów materiałów lub towarów.

$$Mrr = \frac{O_{mr}}{Z_s} \quad (33)$$

$$Mrd = \frac{Z_s - d}{O_{mr}} \quad (34)$$

gdzie:

$O_{mr}$  - wielkość obrotu magazynowego wg rozchodu w badanym okresie  $[t, zł]$ ,

$Z_s$  - wielkość średniego zapasu magazynowego w badanym okresie  $[t, zł]$ ,

$d$  - liczba dni w badanym okresie.

Wskaźnik stopnia wykorzystania powierzchni magazynowej pozwala określić w jakim stopniu magazyn jest wykorzystywany. Im bliższy jest wskaźnik 100%, tym lepiej dla firmy, ponieważ oznacza to, że powierzchnia magazynowa jest w pełni wykorzystana. Wysoka wartość tego wskaźnika wskazuje na racjonalne wykorzystanie powierzchni magazynowej i sprzyja zwrotowi produkcji. Niska wartość tego pomiaru oznacza zmarnowanie przestrzeni magazynowej.

$$Mpm = \frac{P_{uz}}{P_{uc}} * 100\% \quad (35)$$

gdzie:

$P_{uz}$  - liczba zajętych miejsc składowych,

$P_{uc}$  - liczba miejsc składowych.

Zalecanym kierunkiem działania w zakresie metod oceny jest ustalenie wartości tak zwanych mierników wzorcowych, które są optymalne w danych warunkach. Można odnieść do nich ocenę stanu pojedynczych elementów gospodarki magazynowej i wskazać przyczyny potencjalnych nieprawidłowości wyników gospodarki magazynowej.

#### 4. PRZYKŁAD ANALIZY WSKAŹNIKOWEJ MAGAZYNU

Celem analizy jest proces magazynowy przedsiębiorstwa X, obecnego na polskim rynku od ponad dziesięciu lat i obsługującego sieć sklepów detalicznych na terenie kraju. Do oceny funkcjonowania wybranego magazynu o powierzchni całkowitej 1,7 tys. m<sup>2</sup> i wysokości 15 m, w którym wyróżnione są obszary funkcjonalne (strefa przyjęć, składowania, kompletacji zamówień, wydań), wykorzystano dane przedsiębiorstwa przedstawione w tabeli 1. Dla tych danych zastosowano wybrane wskaźniki magazynowe, żeby podjąć próbę odpowiedzi na pytanie: Czy i jaki wpływ ma odpowiednie zagospodarowanie przestrzeni użytkowej magazynu w przedsiębiorstwie X na efektywność realizowanych procesów magazynowych?

Tab.1. Dane określające pracę magazynu przedsiębiorstwa X.

Nazwa	Opis nazwy wskaźnika	Dane	Jednostka metryczna
Vs	Pojemność składowa (nominalna) wg planu zagospodarowania przestrzeni magazynowej	15 950	m <sup>3</sup>
Vu	Pojemność użytkowa magazynu (kubatura)	25 500	m <sup>3</sup>
Vsw	Pojemność składowa wykorzystania magazynu	12 600	m <sup>3</sup>
Kmc	Łączne koszty magazynowania w badanym okresie	245 000	zł
Om	Wielkość obrotu magazynowego w badanym okresie	9 750 000	zł
Ww	Wartość wyposażenia technicznego magazynu	4 705 000	zł
Tue	Efektywny czas pracy urządzeń w badanym czasie	252	godz.
Tun	Nominalny fundusz czasu pracy urządzeń mechanicznych magazynu w badanym okresie	448	godz.
Omz	Liczba zamówień w badanym okresie	3108	szt.
d	Liczba dni w badanym okresie	28	dni

Korzystając ze wzorów przedstawionych w punkcie 3 wyznaczono wartości wybranych wskaźników. W tabeli 2 przedstawiono zestawienie uzyskanych rezultatów.

W wyniku przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że wskaźnik wykorzystania kubatury użytkowej magazynu  $M_{vu}$  ma bardzo niski poziom i wynosi 0,625. Świadczy to o zbyt niskim wykorzystaniu objętości magazynu. W magazynie znajdują się pojedyncze jednostki paletowe, na których jest składowany towar o dużej masie, nie wykorzystano piętrowania towaru na regałach. Wartość wskaźnika  $M_{vs}$  wskazuje też mały stopień wykorzystania powierzchni składowej. Magazyn jest zapełniony do połowy, co

wpływa na wyższe koszty utrzymania przestrzeni magazynowej, który wg wskaźnika Muprz wynosi w badanym okresie około 9,61 zł/m<sup>3</sup>, co daje kwotę 8750 zł dziennie za utrzymanie magazynu. Chcąc usprawnić funkcjonowanie i zwiększenie efektywności eksploatowanego obiektu należy zastąpienie placu niskiego składowania wyznaczonego na składowanie palet regałem paletowym.

Tab.2. Zestawienie wartości wskaźników analizy procesu magazynowania w przedsiębiorstwie X

Nazwa	Opis nazwy wskaźnika	Wartość
Mvu	Wskaźnik wykorzystania pojemności użytkowej magazynu	0,625
Mvs	Wskaźnik wykorzystania pojemności składowej magazynu	0,494
Muprz	Wskaźnik kosztów utrzymania przestrzeni magazynowej — [zł/m <sup>3</sup> ]	9,608
Mev	Wskaźnik eksploatacji przestrzeni składowej magazynu [zł/m <sup>3</sup> ]	611,285
Mwu	Wskaźnik wykorzystania czasu pracy urządzeń mechanicznych	0,563
Muv	Wskaźnik technicznego uzbrojenia przestrzeni magazynowej [zł.m <sup>3</sup> ]	184,510
Msd	Wskaźnik średniej dziennej liczby zamówień	111

Badany okres obejmuje 28 dni (4 tygodnie) w czasie sezonu letniego, kiedy wózki eksploatowane są najwięcej. Wskaźnik eksploatacji przestrzeni magazynu Mev jest na średnim poziomie. Średni efektywny czas pracy wózków wynosi 9 godzin podczas jednego dnia pracy. Każdy z wózków może być eksploatowany średnio przez 16 godzin na dobę. Wskaźnik Mwu na poziomie 0,563 pokazuje, że sprzęt mechaniczny wykorzystywany jest przez ponad połowę czasu, który zaleca producent, głównie podczas realizacji zamówień. Współczynnik ten informuje nas o przybliżonej żywotności takich urządzeń. Wskaźnik Muv informuje o stopniu technicznego uzbrojenia przestrzeni magazynowej, jego wartość wskazuje na potrzebę dalszego, większego zmechanizowania magazynu.

Rzeczywistą pracę magazynu opisują wskaźniki związane z ilością realizowanych zamówień. Tabela nr 3 prezentuje ilość zleceń w danym tygodniu oraz błędy reklamowane przez klienta w badanym okresie 4 tygodni (28 dni). Wszystkie złożone zlecenia zostały przyjęte i zrealizowane, czyli wskaźnik Z1=100% i Z2=100%

Tab.3. Liczba realizowanych zleceń

Nr Tygodnia	Liczba zleceń ogółem (Zo)	Liczba błędów	Liczba opóźnionych zleceń (Zop)
1	806	12	1
2	745	24	9
3	649	18	2
4	908	27	7
Suma:	3108	81	19

Głównym czynnikiem kształtującym wskaźniki operacyjne logistyczne są błędy popełnione przez magazyniera przyjmującego zlecenie i nie wykryte przez kontrolera. W okresie 4 tygodni pracownicy (dwie osoby) wykryli ponad 81 błędów przy ilości zamówień w miesiącu 3108. Procentowy wskaźnik Z3 bezbłędnych dostaw jest na wysokim poziomie 97,4%, co jest bardzo korzystne dla firmy. Wskaźnik ten nie jest jednak do końca obiektywny, gdyż zdarza się, że klienci na skutek pomyłki dostają więcej towaru niż zamawiali, bądź otrzymują asortyment wartościowszy. Wtedy w większości przypadkach nie są zgłaszane reklamacje. Wskaźnik zamówień zrealizowanych z opóźnieniem wynosi  $Z5=0,6\%$ , co wskazuje niewielką ilość zamówień niezrealizowanych w terminie.

## 5. PODSUMOWANIE

Prawidłowe funkcjonowanie magazynu nie jest uzależnione tylko od zapewnienia odpowiedniego potencjału techniczno-organizacyjnego, ale także od prowadzenia wszechstronnej i systematycznej jego oceny. Pozwala ona zarówno na eliminację nieprawidłowości występujących w magazynach, jak i ustalenie kierunków rozwoju i modernizacji. Odpowiednie zagospodarowanie przestrzeni użytkowej magazynu w przedsiębiorstwie ma wpływ na efektywność realizowanych procesów magazynowych. Ze względu na to, że przebieg prac magazynowych i ich wyniki są w znacznym stopniu uzależnione od funkcji magazynów i charakteru działalności firmy, której są podporządkowane powinno się w praktyce wykorzystywać wskaźniki według odpowiednich wzorów. Skuteczność wykorzystania wzorów służących do obliczania wskaźników jest uzależniona od posiadania realnych danych liczbowych przyjmowanych do obliczeń. Ze względu na ciągły rozwój gospodarki magazynowej niezbędne jest dostosowywanie wskaźników analizy do zachodzących zmian ekonomicznych oraz techniczno-organizacyjnych [3].

## LITERATURA

- [1] **Bartosiewicz S.** (2015). Ocena gospodarki magazynowej branżowego centrum logistycznego z wykorzystaniem metody wskaźnikowej, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* nr 9, s. 10-19.
- [2] **Daroń M., Nowakowska A.** (2013). Analiza gospodarki magazynowej przedsiębiorstw przetwórstwa przemysłowego w województwie śląskim, *Logistyka*, 5: s. 30-34.
- [3] **Dudziński Z.** (2011). *Vademecum organizacji gospodarki magazynowej*. Wyd. Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk.
- [4] **Galińska B.** (2020). *Gospodarka magazynowa*. Wyd. PWN, Warszawa.
- [5] **Golebska E.** (2021). *Kompedium wiedzy o logistyce*, Wyd. PWN, Warszawa.
- [6] **Januła E., Kasińska M., Kwiatkiewicz P., Laskowski M.** (2020). *Zapasy i magazynowanie*. Seria: *Logistyka*. Wyd. Fundacja na rzecz Czystej Energii, As Pik.
- [7] **Niemczyk A.** (2015). *Zarządzanie magazynem*. Wyd. Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań.

# **AUDYT WEWNĘTRZNY JAKO NARZĘDZIE DOSKONALENIA SYSTEMU ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNO HANDLOWYM**

## **1. WPROWADZENIE**

Współcześnie coraz powszechniejsze staje się stwierdzenie że „Jakość to nie tylko system - to ludzie którzy go tworzą”[14].

Każdy człowiek zwraca uwagę na jakość oferowanych wyrobów, usług, informacji itp. Zmiany dokonujące się we współczesnym świecie wymuszają na przedsiębiorcach zmianę mentalności w odniesieniu do niego. Relacje pomiędzy podażą a popytem spowodowały, że coraz częściej zaczęto zastanawiać się czym jest jakość oraz jak można ją wykorzystać w przedsiębiorstwie w celu pozyskania klienta i osiągnięcia jak najlepszych wyników w sprzedaży.

Wiele rozważań teoretyków i praktyków doprowadziło do stwierdzenia, że jakość to spełnienie wymagań i oczekiwań każdego klienta. Zadowolony klient to najlepsza miara jakości. W dobie coraz większej konkurencji producenci różnego rodzaju dóbr prześcigają się nie tylko w zapewnieniu jakości, ale i w innowacyjnym podejściu pro jakościowym nastawionym na zdobywanie coraz to nowych klientów. Niewątpliwie pomoc w tym może system Zarządzania Jakości, który powinien funkcjonować tak, aby był efektywny, a produkt spełniał życzenia odbiorców.

Przedsiębiorcy doszli do wniosku, że dobrze zaprojektowany, wdrożony i nadzorowany system zapewnienia jakości będzie służył podniesieniu wiarygodności ich firmy.

Przedsiębiorstwa zaczęły prowadzić działalność w oparciu o zarządzanie strategiczne jakością. Jasno wytyczać cele jakościowe co wpłynęło na obniżenie kosztów produkcji, a przez to zwiększyło ich konkurencyjność na rynku. Powstały komórki odpowiedzialne za jakość wytwarzanych produktów. Osoby odpowiedzialne za jakość w przedsiębiorstwie miały za zadanie opracowywać, wdrażać i nadzorować system jakości. Zaczęto stosować różne metody statystyczne, które pozwoliły na znalezienie przyczyn występowania błędów oraz na ich eliminację.

Jednym z narzędzi jakościowych jest audyt wewnętrzny, który jest traktowany jak funkcja przedsiębiorstwa wspierająca zarządzanie informacjami i podejmowanie decyzji niezbędnych w procesie zarządzania przedsiębiorstwem.



## 2. PODSTAWOWE ZAGADNIENIA I REGULACJE PRAWNE DOTYCZĄCE JAKOŚCI I AUDYTÓW

### 2.1. Podstawowe pojęcia związane z jakością

Próby zdefiniowania pojęcia jakości podejmowało wielu klasyków jakości między innymi: J. Juran, Ph. Crosby, E. Deming i A.V. Feigenbaum. Stwierdzili oni, że dla każdego człowieka jakość oznacza zupełnie coś innego. Jakość to przede wszystkim zadowolenie klienta [5].

Jakość według A. V. Feigenbauma [5], jest w swojej istocie efektem właściwego zarządzania i organizacji:

- jakość nie jest funkcją techniczną, lecz systemowym procesem, który dotyczy całej działalności i jest podstawowym fundamentem wydajności ekonomicznej i stabilności procesów przemysłowych;
- jakość musi być zorganizowana tak, aby doceniono zarówno jakościową pracę jednostek, jak też prowadzona zespołowo w poszczególnych działach;
- jakość należy egzekwować w obszarze marketingu, rozwoju, techniki wytwarzania i szczególnie w usługach, a nie tylko w produkcji i tylko w stosunku do robotników;
- jakość musi być uważana za to, czego nabywca chce i potrzebuje do zaspokojenia swych wewnętrznych potrzeb;
- jakość musi być podstawą planowania efektywnych urzędzeń;
- nowoczesna poprawa jakości wymaga stosowania nowych technik (od projektowania jakości do wspomaganie komputerowego mierzenia i sterowania zarządzania jakością);
- poprawę jakości uzyskuje się przy pomocy i udziale wszystkich zatrudnionych, nie zaś kilku specjalistów;
- należy stworzyć przejrzysty system zarządzania jakością totalną w całej organizacji, zorientowany na klienta, system, który ludzie rozumieją, w który wierzą i którego częścią chcą być.

Według normy ISO 9000:2015 „Jakość oznacza stopień, w jakim zbiór inherentnych właściwości spełnia wymagania”.

Zarządzanie jakością ma swój początek w USA. Wiązało się to z wdrożeniem wielkich programów przemysłowych w sektorach wojskowym, kosmicznym, lotniczym i nuklearnym. Wówczas za cel postawiono sobie organizację systematycznego i opartego na ściśle określonych metodach zapobiegania przyczynom wadliwości. Cel ten możliwy był do osiągnięcia pod warunkiem stosowania systemu niezmiernie rygorystycznych, ściśle określonych procedur postępowania [2].

Zarządzanie jakością to skoordynowana działalność mająca na celu prowadzenie i kontrolowanie organizacji pod względem jakości.

Główne zasady zarządzania jakością:

- orientacja na klienta,
- podejście procesowe,

- przywództwo,
- zaangażowanie ludzi,
- systemowe podejście do zarządzania,
- ciągłe doskonalenie,
- podejmowanie decyzji na podstawie faktów,
- wzajemne korzystne powiązania z dostawcami.

Coraz powszechniej stosowane jest Kompleksowe Zarządzanie Jakością tzw. TQM (Total Quality Management) Jest to sposób zarządzania organizacją skoncentrowany na jakości, oparty na udziale wszystkich członków organizacji i nakierowany na osiągnięcie długotrwałego sukcesu dzięki zadowoleniu klienta oraz korzyściom dla wszystkich członków organizacji i dla społeczeństwa.

Przez długie lata koncepcja TOM kojarzyła się z 14 zasadami opracowanymi przez Deminga. Mają one już raczej znaczenie historyczne, ale są ciągle merytorycznie inspirowane [1,3,4].

## 2.2. System zapewnienia jakości

System, z greckiego *systema*, to skoordynowany układ elementów, zbiór tworzący pewną całość uwarunkowana stałym i logicznym uporządkowaniem jego części składowych. Jest to zespół metod działania i wykorzystania założonych czynności, całokształt zasad organizacyjnych, ogół norm i reguł obowiązujących w danej dziedzinie, całościowy i uporządkowany zespół działań powiązanych ze sobą określonymi stosunkami logicznymi.

Mówiąc o systemie zapewnienia jakości mamy na uwadze poczucie odpowiedzialności za jakość na wszystkich stanowiskach pracy oraz zmianę postawy pracowników z wyszukiwania wad na zapobieganie wadliwości. Zapewnienie jakości to wszystkie planowane i systematyczne działania niezbędne do stworzenia odpowiedniego stopnia zaufania co do tego, że wyrób lub usługa spełni ustalone wymagania jakościowe [2].

System jakości winien być dostosowany do typu działalności przedsiębiorstwa. Celem jego jest zapewnienie ustalonej i uzgodnionej z klientem jakości poprzez zapobieganie powstawaniu wad, a w przypadku, gdy wystąpią, szybkie ich wykrywanie, identyfikowanie przyczyn ich powstawania i podejmowanie działań eliminujących te przyczyny. Zaoferowanie odbiorcy wyrobów lub usług, które rzeczywiście spełniają jego oczekiwania, buduje wzajemne zaufanie. Działania służące zapewnieniu jakości są ułożone w systemie jakości w logicznej kolejności [5]:

- zaplanuj, co będzie wykonywane;
- wykonaj, co zostało zaplanowane;
- oceń, to co zostało zrobione i przedstaw dowody oceny;
- zmniejsz różnicę między tym, co zostało zaplanowane, a tym, co zrobiono

System zapewnienia jakości ma na celu wywoływanie u klienta zaufania do producenta, że wytworzony produkt lub usługa spełniają dokładnie wymagania i oczekiwania klienta. System zapewnienia jakości to specyficzny środek nadzoru nad czynnikami ludzkim, technicznym i organizacyjnym; nadzór ten musi być udokumentowany w celu prewencji wadliwości.

System zapewnienia jakości uwzględnia dwa aspekty:

- potrzeby i oczekiwania klienta;
- potrzeby i interesy organizacji.

System jakości powinien funkcjonować w taki sposób, by zapewnić odpowiedni stopień wiarygodności co do tego, że: system jest zrozumiały, wdrożony, utrzymywany, skuteczny; wyroby rzeczywiście spełniają uzgodnione potrzeby i oczekiwania klienta; potrzeby społeczeństwa i środowiska są uwzględnione; podstawowym problemem jest zapobieganie wadliwości" [5].

### 2.3. Audyt wewnętrzny

„Termin audyt wywodzi się z języka łacińskiego, gdzie *audire* oznacza: słyszeć, słuchać, przesłuchiwać, badać. W większości słowników języka angielskiego i francuskiego, słowo audytor występuje w znaczeniu słuchacz, ewentualnie rewident ksiąg” [6].

W świetle literatury znajdujemy kolejne definicje opisujące pojęcie audytu wewnętrznego.

„The Institute of Internal Auditor [7] definiuje audyt wewnętrzny jako: działalność niezależną i obiektywną, której celem jest przysporzenie wartości i usprawnienie działalności operacyjnej organizacji, która polega na systematycznej i dokonywanej w usystematyzowany sposób ocenie procesów: zarządzania ryzykiem, kontroli i ładu organizacyjnego oraz przyczyniania się do poprawy ich działania. Pomaga organizacji osiągnąć cele dostarczając zapewnienia o skuteczności tych procesów, jak również poprzez doradztwo”.

Kazimiera Winiarska [8] definiuje audyt wewnętrzny jako nowoczesny instrument zarządzania, zorientowany na cele jednostki organizacyjnej, identyfikujący i oceniający ryzyko działalności, wykorzystywany w sposób niezależny i obiektywny, w celu tworzenia wartości dodanej i usprawniania działalności.

Według Wielkiej encyklopedii PWN [9] audyt to „system rewizji gospodarczej i doradztwa ekonomicznego, realizowany przez wyspecjalizowanych ekspertów. Jest on prowadzony według określonych wzorców, zaleceń i standardów, polega na rewizji ksiąg rachunkowych i innych dokumentów. Jego celem jest stwierdzenie czy dokumenty dają prawdziwy i jasny obraz sytuacji finansowej danego podmiotu gospodarczego oraz wykazanie ewentualnych niedociągnięć”.

Z kolei Edmund Saunders [7], założyciel Polskiego Instytutu Kontroli Wewnętrznej, autor licznych publikacji z zakresu audytu wewnętrznego i kontroli wewnętrznej, na bazie przeprowadzonych wieloletnich badań określił audyt wewnętrzny jako profesjonalną działalność, która stanowi skuteczny instrument władz przedsiębiorstwa. W sposób pro aktywny, niezależny, profesjonalny i ocenia efektywność systemu kontroli wewnętrznej i procesów zarządzania ryzykiem, efektywne prowadzenie wszelkich operacji i czynności przedsiębiorstwa, ich poprawne, jednolite przetwarzanie, księgowanie i raportowanie, przynoszącym wartość dodaną przez ujawnienie braków i słabości oraz przez wskazanie sposobów podnoszenia jakości i wydajności pracy. Audyt wewnętrzny również prowadzi dla przedsiębiorstwa działalność doradczą.

Norma PN EN 19011:2002 określa audyt jako narzędzie oceny i doskonalenia systemu. Jest to systematyczny, niezależny i udokumentowany proces uzyskiwania dowodu z audytu oraz jego obiektywnej oceny w celu określenia stopnia spełnienia kryteriów audytu.

Audyty są także pomocnym narzędziem do oceny dostawców oraz pomagają wykryć marnotrawstwo i zbędne koszty w firmie.

Audyty są efektywnym i wiarygodnym narzędziem wspierającym politykę i nadzór kierownictwa, dostarcza informacji, na podstawie których organizacja może doskonalić swoje wyniki działania.

## 2.5. Rodzaje audytów

Najliczniej jednak reprezentowane są systemy zarządzania ukierunkowane na:

- zarządzanie jakością,
- zarządzanie środowiskiem,
- zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy.

Według Adama Hamrola [1,4] wyróżniamy następujące rodzaje audytów :

- ze względu na przedmiot audytu wyróżnia się audyt: systemu, procesu i wyrobu.

Audyty systemu dają odpowiedź na pytanie, czy wdrożony system zarządzania jest skuteczny i pozwala wykryć jego słabe punkty. Kryteria audytu systemu stanowią przede wszystkim:

- normy odniesienia,
- dokumentacja systemu,
- dokumentacja oceny systemu.

Audyty procesu pozwalają ocenić zgodność procesu z wymaganiami określonymi w procedurach, instrukcjach, specyfikacjach technicznych itp. Jego kryteria stanowią między innymi:

- określone instrukcje, procedury i zapisy,
- wymagania związane z danym procesem, zapisane np. w dokumentacji technologicznej,
- wymagania związane z kwalifikacjami.

Audyty wyrobu polegają na niezależnej ocenie jakości wyrobu w celu ustalenia jego przydatności użytkowej i zgodności z wymaganiami klienta. Jego kryteria stanowią głównie:

- procedury produkcyjne,
- wymagania klienta,
- wymagania techniczne itp., związane z audytowanym wyrobem.

Ze względu na kryteria przynależności organizacyjnej zespołu audytującego audyty można podzielić na trzy rodzaje, tab.1.:

- audyt wewnętrzny pierwszej strony - przeprowadzany dla siebie,
- audyt zewnętrzny drugiej strony- przeprowadzany przez klientów,
- audyt wewnętrzny trzeciej strony- przeprowadzany przez jednostki niezależne np. jednostki certyfikujące.

## 2.6. Audytorzy

O skuteczności audytów decydują kompetencje audytorów [1,4]. Od przygotowania audytora, technik, metod i narzędzi, którymi się posługuje zależy przydatność audytów do prowadzenia oceny efektywności systemu zarządzania. Błędy popełnione w tym zakresie wynikające chociażby z braku środków na szkolenia, prowadzi do ograniczania pozytywnych następstw audytów. Mogą również przyczyniać się do lekceważenia ich znaczenia przez personel przedsiębiorstwa.

Norma PN EN ISO 19011:2002 [13] podaje zasady które stanowią kodeks postępowania audytora (złote reguły). Wśród zasad tych znajdziemy:

- postępowanie etyczne: podstawa profesjonalizmu, zaufanie, rzetelność, poufność i rozważa,
- rzetelna prezentacja: obowiązek przedstawiania spraw dokładnie i zgodnie z prawdą.

Ustalenia z audytu, wnioski z audytu oraz raporty z audytu odzwierciedlają działania audytowe dokładnie i zgodnie z prawdą. Znaczące przeszkody napotkane podczas audytu oraz nierozstrzygnięte lub rozbieżne opinie pomiędzy zespołem audytującym a audytowanym są odnotowywane w raporcie.

## 2.7. Obowiązki i zadania audytora wewnętrznego.

Obowiązki i zadania audytora polegają na uczestnictwie w projektach audytorskich i wykonywaniu prac założonych w planie audytu. Audytor musi zrozumieć cele organizacyjne, specyfikację firmy oraz znać wewnętrzne i zewnętrzne uregulowania prawne w audytowanej firmie. Audytor wewnętrzny jest zobowiązany do przestrzegania zasad etyki zawodowej i standardów audytu wewnętrznego oraz postępowania w sposób wzbudzający zaufanie do audytu wewnętrznego.

Działania podjęte przez audytora dostarczają kierownikowi audytowanej jednostki niezależną i obiektywną ocenę na temat funkcjonowania firmy.

Audytor ma obowiązek:

- zidentyfikować wiarygodne oraz użyteczne informacje pomagające osiągnąć założone cele,
- opierać wnioski oraz wyniki czynności audytorskich na odpowiednich analizach i ocenach zebranych dowodów,
- dokumentować istotne informacje dla poparcia wniosków i wyników,
- niezwłocznie informować odpowiednie osoby o wynikach czynności audytorskich,
- chronić przed osobami niepowołanymi uzyskane w trakcie czynności informacje,
- uczestniczyć w projektowaniu nowych systemów kontroli wewnętrznej,
- sporządzić raport w sposób jasny, rzetelny i zwięzły z wykonanej pracy wraz z przedstawionymi wnioskami i zaleceniami mogącymi usprawnić działalność w audytowanej firmie.

W ramach systemu oceny efektywności pracy audytora wewnętrznego należy uwzględnić oceny wewnętrzne i zewnętrzne.

Ocena wewnętrzna powinna obejmować :

- bieżące przeglądy funkcjonowania audytu wewnętrznego,
- okresowe przeglądy wykonywane przez inną osobę z komórki audytu wewnętrznego

Ocena zewnętrzna:

- dokonywana przez upoważnioną do tego jednostkę.

Oceną należy objąć:

- organizację audytu wewnętrznego,
- cechy osobowości audytora,
- przygotowanie do audytu,
- opracowanie i rozpowszechnienie planu audytu,
- realizację audytu,
- opracowanie i rozpowszechnienie sprawozdania z audytu,
- zamykanie niezgodności,
- czynności doradcze podczas audytu.

### 3. CHARAKTERYSTYKA PRODUKCJI PRZEDSIĘBIORSTWA

Przedsiębiorstwo jest poddostawcą wiązek samochodowych dla firmy Sumitomo Electric Bordnetze Polska Sp. z o.o. w Gorzowie Wielkopolskim. Wiązki wytwarzane są do takich marek samochodów jak: VW, Audi, Skoda, Porsche, Bugatti. Bez wiązek elektrycznych nie byłoby możliwe działanie systemów bezpieczeństwa takich jak ABS, ESP oraz funkcji takich jak ogrzewane siedzenia, elektryczne podnoszenie szyb, klimatyzacja oraz wielu innych. Obecnie ogromna większość komponentów samochodu wymaga doprowadzenia zasilania lub sterowania elektrycznego, rys.1.



Rys 1. Architektura elektryczno-elektroniczna współczesnego samochodu osobowego [10]

Proces produkcji wiązek elektrycznych odbywa się z materiałów powierzonych przez klienta i częściowo wytworzonych przez zakład. Formowanie odbywa się na deskach formierskich, które dostarczane są przez klienta. Deska formierska zbudowana jest na podstawie rysunku technicznego. Zawiera nr formowanego modułu, nazwy kostek, wzór prawidłowego obłożenia przewodów w kostkach, ścieżki rozprowadzania przewodów, rodzaj izolacji oraz sposób izolowania.



Rys 2. Gotowa wiązka elektryczna [11].

### 3.1. Organizacja audytu wewnętrznego w przedsiębiorstwie

Celem audytu wewnętrznego w organizacji było uzyskanie rzetelnych informacji na temat mocnych i słabych stron Systemu Zarządzania Jakością w firmie oraz wskazanie możliwości jego doskonalenia poprzez efektywne zarządzanie. Audyt wewnętrzny obejmował wszystkie aspekty funkcjonowania jednostki:

- audyt systemu zarządzania jakością,
- audyt produkcji,
- audyt wyrobu.

Audytozem wewnętrznym w przedsiębiorstwie może być osoba kompetentna, znająca doskonale podstawową działalność organizacji, jej misję, strategię i wartości. Przedsiębiorstwo posiada własną komórkę audytu wewnętrznego, która ma możliwość systematycznego identyfikowania obszarów ryzyka, w szczególności w trakcie wprowadzania różnych zmian i innowacji.

W skład komórki wchodzi Pełnomocnik ds. Zarządzania Jakością oraz pracownicy posiadający odpowiednie szkolenia udokumentowane certyfikatami. Procedura wewnętrzna P-08-01 dotycząca audytów wewnętrznych określa kto może być audytorem.

Za organizację audytu wewnętrznego w firmie odpowiedzialny był pełnomocnik ds. Zarządzania Jakością. Powołuje on audytorów oraz odpowiada za prawidłowy przebieg audytu. Audyty odbywają się na podstawie rocznego planu audytu (rys.15) Plan audytu jest załącznikiem do Procedury Systemu Zarządzania Jakością P-08-01 *Wewnętrzne Audyty Jakości*.

Procedura określa sposób postępowania podczas przeprowadzania audytu wewnętrznego, odpowiedzialność, opis postępowania, przebieg audytu oraz informacje dotyczące przechowywania zapisów jakościowych. Znajomość procedury obowiązuje Pełnomocnika ds. Systemu Zarządzania Jakością, audytorów wewnętrznych oraz osoby odpowiedzialne za przebieg procesu w audytowanym obszarze.

Podstawowym celem prowadzonego audytu wewnętrznego było ograniczenie ryzyka związanego z funkcjonowaniem Systemu Zarządzania Jakością w przedsiębiorstwie. Ocenę ryzyka przeprowadza systematycznie najwyższe kierownictwo w zaplanowanych odstępach czasu, w celu zapewnienia stałej przydatności, adekwatności i skuteczności. Przegląd obejmuje wyniki z audytów wewnętrznych, a także oceniane są możliwości doskonalenia i potrzeba zmian w SZJ łącznie z polityką jakości i celami dotyczącymi jakości. Ocena ryzyka poprzedza sporządzenie rocznego planu audytów wewnętrznych.

W procesie analizy ryzyka wyróżnia się dwa etapy:

- identyfikację obszarów ryzyka,
- analizę ryzyka, dzięki której zostanie ustalona kolejność przeprowadzania zadań audytowych.

Szczegółowy plan przeprowadzania audytu powinien uwzględniać:

- datę i miejsce przeprowadzenia audytu,
- cele i zakres audytu,
- skład ekipy audytorów,
- wykaz osób bezpośrednio odpowiedzialnych za obszary audytowane,
- identyfikację odnośnych dokumentów przedsiębiorstwa dotyczących jednostki audytowanej takich jak: księga jakości, procedury, instrukcje itp.,
- termin spotkań z kierownictwem jednostki audytowanej, terminy spotkania otwierającego i zamykającego audyt.

W dniu rozpoczęcia audytu, audytor wiodący organizuje spotkanie otwierające z udziałem zespołu audytorów i kierownictwa jednostki audytowanej. Audytor omawia program audytu, omawia cele audytu i zakres audytowania. Przedstawia sposób przeprowadzenia audytu oraz wyjaśnia ewentualne wątpliwości. Osoba odpowiedzialna za obszar audytowany wyznacza kompetentnych pracowników do obsługi audytorów oraz udostępnia wszelkie potrzebne dokumenty, przedmioty i pomieszczenia oraz udziela wyczerpujących informacji i odpowiedzi na pytania audytora. Audytor posługuje się wcześniej przygotowaną listą pytań. Podczas audytu dokumentuje spostrzeżenia dokonane podczas audytu. Spostrzeżenia są na bieżąco weryfikowane przez osobę odpowiedzialną za dany obszar żeby miała możliwość uznania ich słuszności, albo weryfikacji ustaleń audytora. Podczas audytu sprawdzane są również zlecone przy poprzednich audytach zalecenia oraz wprowadzone działania korygujące i zapobiegawcze.



Na zakończenie audytu, audytor wiodący organizuje spotkanie zamykające z udziałem tych samych osób, które uczestniczyły w spotkaniu otwierającym audyt. W czasie spotkania zamykającego audytor wiodący przedstawia wyniki audytu: spostrzeżenia, stwierdzone niezgodności bądź uwagi oraz wnioski dotyczące skuteczności Zintegrowanego Systemu Zarządzania Jakością w realizacji celów jakościowych.

Po zakończeniu audytu, audytor wiodący w terminie 5 dni sporządza raport z audytu na druku P-08-01-04, a następnie przekazuje go Pełnomocnikowi ds. SZJ w celu zatwierdzenia, a następnie przekazuje je osobie odpowiedzialnej za obszar audytowany. Jeżeli osoba odpowiedzialna za obszar audytowany zadeklaruje natychmiastowe podjęcie działań korygujących, przed zakończeniem audytu (audytor ma możliwość ich sprawdzenia), wykryte niezgodności lub spostrzeżenia zostają wprowadzone do raportu z zaznaczeniem że zostały usunięte w trakcie audytu. Przy przedstawionych w raporcie niezgodnościach audytor może zamieścić propozycje działań korygujących jednak nie są one wiążące dla osoby odpowiadającej za dany obszar. Jeżeli w związku z audytem sporządzono i zatwierdzono wnioski w których występują niezgodności do których należy wprowadzić działania korygujące należy przeprowadzić audyt sprawdzający w celu potwierdzenia ich skuteczności. Audyt skuteczności należy wprowadzić do rocznego planu audytów jako audyt pozaplanowy.

Po przeprowadzeniu audytów wewnętrznych w Dziale elektrotechnicznym sporządzony został protokół niezgodności oraz raport końcowy. Wykorzystano do tego formularze przewidziane w instrukcji P-08-01 *Wewnętrzne audyty jakości*.

Raport składał się z dwóch części: raport z audytu wewnętrznego i protokołu niezgodności.

### **3.2. Działania poaudytowe.**

Kierownik jednostki audytowanej w terminie dwóch tygodni od daty otrzymania kopii raportu z audytu wewnętrznego zobowiązany jest do przedstawienia planu podjęcia działań korygujących i przekazanie go do akceptacji Pełnomocnikowi ds. Systemu Zarządzania Jakością. Pełnomocnik po przeprowadzonej analizie, zatwierdza lub odrzuca go do poprawy.

Kierownik działu audytowanego zobowiązany jest w terminach określonych planem działań powiadomić Pełnomocnika ds. Systemu Zarządzania Jakości o sposobie realizacji tych działań. Pełnomocnik sprawdza prawdziwość przekazanych informacji i skuteczność zrealizowanych działań korygujących. W przypadku potwierdzenia skuteczności podjętych działań audyt należy uważać za zakończony.

Po zapoznaniu się z dokumentacją firmy oraz analizie raportów z przeprowadzonych audytów wewnętrznych stwierdzono, że audyty wewnętrzne przeprowadzane w nie są wystarczającym narzędziem zapewnienia prawidłowego funkcjonowania systemu zarządzania jakością, a otrzymane wyniki z audytów są niewiarygodne. Pomimo tego, że zakład posiada certyfikat PN ISO 9001:2008, ma zapisane w procedurze wewnętrznej P-08-01 *Wewnętrzne audyty jakości* wytyczne co do organizacji, przeprowadzania audytów oraz roli audytora w firmie część tych zapisów nie jest stosowana, a niektóre są stosowane niezgodnie z normą PN EN ISO 9001:2008 punkt 8.2.2 *Audyty wewnętrzne* [12]

oraz z normą PN EN ISO 19011:2002 *Wtyczne dotyczące audytowania systemów zarządzania jakością i/lub zarządzania środowiskowego* [13]. Wykryte niezgodności przedstawiono w tab. 2.

Tab. 2. Zestawienie niezgodności jakie popełnia firma podczas przeprowadzania audytów wewnętrznych.

Zestawienie niezgodności			
Lp.	Norma ISO 9001:2015 [12]	Norma ISO 19011: 2002 [14]	Opis niezgodności
1	Audyty wewnętrzne. Organizacja powinna przeprowadzać audyty wewnętrzne w zaplanowanych odstępach czasu w celu określenia, czy system zarządzania jakością a) jest zgodny z zaplanowanymi ustaleniami z wymaganiami niniejszej Normy Międzynarodowej oraz z wymaganiami systemu zarządzania jakością ustanowionymi przez organizację, i b) jest skutecznie wdrożony i utrzymywany.	Postanowienia ogólne . Zaleca się, aby osoby odpowiedzialne za zarządzanie programem audytów a) ustanowiły, wdrożyły, monitorowały, przeglądały i doskonaliły program audytów,	Plan audytów wewnętrznych na rok 2013 uwzględnił dział elektrotechniczny jednak audyt się nie odbył ze względu na problemy w firmie. Brak audytu prowadzi do: niemożliwości oceny zgodności i funkcjonowania SZJ, audyt jest jednym z głównych narzędzi do oceny funkcjonowania jakości w przedsiębiorstwach, uniemożliwia doskonalenie systemu zarządzania jakością
2	Wybór audytorów i prowadzenie audytów powinny zapewniać obiektywność i bezstronność procesu audytu. Audytorzy nie powinni audytować własnej pracy.	potrzeby zapewnienia niezależności zespołu audytującego wobec działań, które mają być audytowane oraz w celu uniknięcia konfliktu interesów;	Brak obiektywności i bezstronności w ocenie audytowanych obszarów w analizowanych latach. Osoby przeprowadzające audyt tj. audytor wiodący oraz audytor pomocniczy na stałe są pracownikami QM w audytowanym obszarze i podlegają pod kierownika audytowanej jednostki organizacyjnej.
3	Kierownictwo odpowiedzialne za obszar pod-	6.8 Prowadzenie działań poaudytowych.	Brak możliwości zweryfikowania działań kory-

Zestawienie niezgodności			
Lp.	Norma ISO 9001:2015 [12]	Norma ISO 19011: 2002 [14]	Opis niezgodności
	gający audytowi powinno zapewnić, aby każda niezbędna korekcja i działanie korygujące były podjęte bez nieuzasadnionej zwłoki w celu wyeliminowania stwierdzonych niezgodności i ich przyczyn. W następstwie powinna być prowadzona weryfikacja podjętych działań i przedstawione jej wyniki	Zaleca się weryfikację zakończenia i skuteczności działań korygujących. Weryfikacja ta może być częścią następnego audytu.	gających do niezgodności wykrytych podczas audytu. Brak: dokumentów potwierdzających wprowadzenie działań korygujących zapisanych w raporcie końcowym z audytu, możliwości weryfikacji działań korygujących podczas audytu w 2013 r.- audyt nie został przeprowadzony.

Powyższe niezgodności pozwalają stwierdzić, że audyt nie był przeprowadzony prawidłowo, a jego ocena nie jest obiektywna. Złamano złote zasady przeprowadzenia audytu takie jak obiektywizm, brak konfliktu interesów i brak uprzedzeń. Obiektywną nie może być osoba, która sprawuje nadzór jakościowy na audytowanych obszarach (audytorem wiodącym była osoba, która zajmuje w przedsiębiorstwie stanowisko Specjalisty ds. Jakości, a audytorem pomocniczym kontroler jakości audytowanych obszarów). Ponadto audytorzy podlegają pod kierownika audytowanych jednostek co wyklucza rzetelną oraz prawidłową ocenę dowodów rzeczowych. Podległość ta wynika z błędów w organizacji firmy. Dział Kontroli Jakości powinien podlegać bezpośrednio pod prezesa firmy. Wykluczyłyby to możliwość wpływania na decyzje podejmowane przez audytorów oraz na rzetelność przeprowadzanych audytów. W przeprowadzanych audytach nie widać żadnej wartości dodanej.

Można stwierdzić, że audyty zostały przeprowadzone pobieżnie i niedokładnie. Obszary audytowane wymagały większej staranności w przeprowadzaniu audytu. Część bardzo ważnych elementów występujących w procesach została pominięta, podczas audytowania. W ciągu dwóch lat nie przeprowadzono audytu procesu zakupu materiałów.

Raporty z audytów są bardzo niedokładne, mało informacji dotyczących sprawdzanych obszarów oraz udzielonych odpowiedzi, propozycje działań korygujących i zapobiegawczych nie zniwelują wykrytych niezgodności.

Wszystkie powyższe niezgodności wykryte podczas audytu trzeciej strony mogą podważyć zasadność otrzymanego certyfikatu PN EN ISO 9001:2008 i doprowadzić do jego cofnięcia.

#### 4. PODSUMOWANIE – DOSKONALENIE PRZEDSIĘBIORSTWA PO AUDYCIE

Audyty są jednym z narzędzi, które mają pomagać w prawidłowym funkcjonowaniu systemu zarządzania jakością. Można go użyć do oceny i poprawy działania systemu w firmie. Audyty przeprowadzane wykazały, że przeprowadzanie audytów wewnętrznych w obecnej formie jest bezcelowe i nie zapewnia prawidłowego funkcjonowania Systemu Zarządzania Jakością zgodnie z punktem 8.2.2 *Audyty wewnętrzne* normy PN EN ISO 9001 [12]. Organizacja powinna przeprowadzać audyty wewnętrzne w zaplanowanych odstępach czasu w celu sprawdzenia, czy system zarządzania jakością jest zgodny z ustaleniami dotyczącymi procesu wyrobu, z wymaganiami niniejszej normy oraz wymaganiami systemu zarządzania jakością ustanowionymi przez organizację. W związku z tym konieczne jest wprowadzenie kilku zmian organizacyjnych oraz dodatkowych narzędzi jakościowych, które zapewnią prawidłowe funkcjonowanie organizacji oraz funkcjonującego w niej SZJ.

Kolejnym etapem powinno być przeszkolenie dodatkowych audytorów oraz warsztaty doskonalące dla osób będących audytorami. Obecnie firma posiada ich tylko siedmioro na cały zakład, z czego część nie posiada odpowiednich kwalifikacji i doświadczenia, aby zostać audytorem wiodącym. Prowadzi to do sytuacji, jaka miała miejsce w analizowanych audytach, tzn. audytowania własnych obszarów pracy. Proponuje się, aby osoby posiadające certyfikaty miały możliwość wdrożenia się w inne obszary produkcyjne za pomocą szkoleń, brały udział w audytach, w których audytorem wiodącym jest doświadczona osoba, a ten uczący się audytor będzie mu towarzyszył jako audytor pomocniczy. Wtedy audytor wiodący będzie miał możliwość przekazania swojej wiedzy oraz umożliwi zapoznanie się z procesami występującymi na „obcych” obszarach audytowania.

Warto było by także do instrukcji P-08-01 *Wewnętrzne audyty jakości* dodać rozdział dotyczący oceny pracy audytora. Ocena obejmowałaby bieżące przeglądy funkcjonowania audytu. Odbywałaby się za pomocą ankiety, która byłaby załącznikiem do instrukcji. Na tej podstawie pełnomocnik ds. jakości miałby możliwość stwierdzenia, czy osoba audytująca jest profesjonalna, kompetentna, rzetelna i efektywna. Ankieta pomogłaby ocenić skuteczność ich pracy oraz predyspozycje do tej funkcji. Ocena dokonywana by była przez kierownika audytowanej jednostki, osoby biorące udział w audycie (zespół audytorów, wyznaczone osoby) oraz w drodze samooceny.

Skala ocen użyta do ankiety: 0 pkt. ocena najniższa, 10 pkt. ocena najlepsza. Suma uzyskanych punktów z przeprowadzonej ankiety umożliwiłaby ocenę audytora. Suma punktów powyżej 60% możliwych do zdobycia oznaczałaby poziom zadawalający, poniżej 60% oznaczałoby konieczność przeanalizowania pracy audytora, jego wiedzy oraz kompetencji. Wskazałoby, z jakimi elementami audytu, audytorzy mają największy problem. Pomogłoby to firmie w tworzeniu planu szkoleń. Ankieta mogłaby być modyfikowana według potrzeb.

Korzystne byłoby wprowadzenie incydentalnie, w miarę możliwości finansowych firmy, audytora zewnętrznego. Audytor zewnętrzny jest osobą postronną, nie jest na co dzień związany z firmą i mógłby obiektywnie ocenić funkcjonowanie systemu, wyłapać

problemy występujące w firmie, które mogą być nie zauważalne przez osoby na co dzień w niej pracujące. Mógłby zaproponować nowe metody oraz sposoby rozwiązania znalezionych nieprawidłowości.

Po wprowadzeniu powyższych zmian w firmie należało by przeprowadzić audyt kontrolny. Ustalając program audytu obszarów, które podlegałyby ocenie w analizowanych latach należałoby sprawdzić dodatkowo inne strategiczne punkty kontrolne, które mogą mieć znaczenie w procesie produkcji:

- obszar produkcji wiązek elektrycznych:
  1. czy do produkcji używane są odpowiednie narzędzia pomocnicze (przelotki, nożyczki, dopychaczki)?
  2. czy materiał na stanowisku pracy jest odpowiednio zabezpieczony?
  3. czy części mocujące wiążkę do karoserii montowane są w ujęciach?
  4. czy przewody w kostkach są prawidłowo mocowane?
  5. czy pracownicy wiedzą co zrobić z wadliwym materiałem?
  6. czy pracownicy wiedzą co zrobić z wadliwym wyrobem gotowym?
  7. czy osoby odpowiadające za poprawę wiązek posiadają niezbędne narzędzia?
  8. czy na stołach elektrycznych znajdują się karty błędów i czy są na bieżąco wypełniane?
- magazyn główny:
  1. w jaki sposób dokonywany jest odbiór dostawy materiałów (czy na rampie)?
  2. czy przeprowadzana jest kontrola materiału oraz zgodność kart materiałowych na wejściu?
  3. czy przewody, kontakty i inny materiał zabezpieczony jest przed uszkodzeniem?
  4. jak zachowana jest zasada FIFO dla zwrotów z produkcji?

Po przeprowadzeniu audytu w przypadku wykrytych niezgodności należy znaleźć przyczynę problemów. Należy zwołać zespół audytorów, kierownika jednostki, osoby posiadające doświadczenie w dziedzinie wiedzy i odpowiednie umiejętności niezbędne do rozwiązania problemu. Kolejnym krokiem będzie znalezienie głównego problemu i zapisanie go za pomocą mierzalnych określeń: Kto?, Co?, Kiedy?, Dlaczego?, Jak?, Jak wiele?, Jak często?. Zespół powinien zidentyfikować wszystkie możliwe metody korekcji problemu oraz ocenić jakie rozwiązanie byłoby najlepsze.

Do przeprowadzenia analizy pomocne będą narzędzia jakościowe, takie jak:

- diagram Ishikawy,
- burza mózgów,
- diagram drzewa,
- analiza 5 Why.

Kolejnym krokiem działań poaudytowych jest wprowadzenie w życie tymczasowych działań naprawczych, które uchronią przed dalszymi skutkami problemu, aż do czasu wdrożenia stałych działań zapobiegawczych.

Następnym etapem jest proces weryfikacji czy dane działania są skuteczne. W raportach musi być widoczne przyporządkowanie działań do przyczyny błędu oraz osoby

odpowiedzialne za wykonanie działań. Określenie kto, co i do kiedy powinien wykonać oraz termin realizacji. Należy wskazać datę, od kiedy wprowadzone działania będą skutecznie zapobiegać przyczynie problemu.

## SPIS LITERATURY

- [1] **Bartoszewicz A.** (2011), *Praktyka funkcjonowania audytu wewnętrznego w Polsce*, Wydawnictwa Fachowe CeDeWu.pl, Warszawa
- [2] **Hamrol A.** (2020) *Zarządzanie i inżynieria jakości*. PWN , Warszawa
- [3] **Hamrol A.** (2018) *Strategie i praktyki sprawnego działania. Lean, Six Sigma i inne*. Wydawnictwo Naukowe PWN SA Warszawa.
- [4] **Hamrol A.** (2007) *Zarządzanie jakością z przykładami*, Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- [5] **Kuc B.**, (2002) *Audyty wewnętrzne teoria i praktyka*, Wydawnictwo menadżerskie, PTM, Warszawa.
- [6] **Salaciński T.** (2018), *Inżynieria jakości w technikach wytwarzania*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [7] **Skrzypek E.** (2000) *Jakość i efektywność*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie Skłodowskiej, Lublin 2000.
- [8] **Winiarska K.** (2005), *Teoretyczne i praktyczne aspekty audytu wewnętrznego*, Difin, Warszawa.
- [9] *Wielka Encyklopedia PWN* (2001) wydanie 30 tomowe, tom 2, Warszawa.
- [10] fot.Delphi [http://www.eautonaprawa.pl/artykuly/3181/technologie\\_zlacz-elektrycznych-cz-i.html](http://www.eautonaprawa.pl/artykuly/3181/technologie_zlacz-elektrycznych-cz-i.html) (Dostęp 21.11.2018)
- [11] <http://www.sws.co.jp/en/product/wireharness/> (Dostęp 21.11.2018)
- [12] [http://www.isqzj.republika.pl/pliki/91\\_9.pdf](http://www.isqzj.republika.pl/pliki/91_9.pdf) (Dostęp 18.11.2019)
- [13] [http://www.bogmisailac.org/web\\_documents/pnen\\_iso\\_19k11\\_2k3.pdf](http://www.bogmisailac.org/web_documents/pnen_iso_19k11_2k3.pdf) (Dostęp 10.11.2018)
- [14] <http://www.centrum.jakosci.pl/podstawy-jakosci,definicja-jakosci.html> ( Dostęp: 12.11.2018)



# ANALIZA ORAZ DOSKONALENIE METOD KONTROLI JAKOŚCI

## 1. WSTĘP

Zainteresowanie problemem jakości pojawiło się ponad 2000 lat temu. Przez wieki zmieniało się jej postrzeganie i definicja, jednak zawsze dążono, aby poziom jakości danego wyrobu czy usługi satysfakcjonował nabywcę. Wprowadzenie pojęcia zarządzania jakością miało ułatwić i upowszechnić zorientowanie na potrzeby klienta. Aktualnie, Kompleksowe Zarządzanie Jakością stało się zasadniczym elementem kultury zarządzania w najbardziej rozwiniętych i najsilniejszych ekonomicznie krajach świata [1].

Proces wdrożenia Total Quality Management jest ciekawy ze względu na swoją złożoność i powiązanie ze wszystkimi procesami w przedsiębiorstwie. Koncepcja ta polega na wspieraniu każdego członka organizacji. Jej głównym celem jest pełne zaspokojenie potrzeb klientów, poprzez poprawę konkurencyjności. Istota TQM oparta jest na ciągłym doskonaleniu procesów realizowanych w firmie na każdym poziomie. Podstawą do zmian jest zaangażowanie pracowników wszystkich szczebli, a także ich wewnętrzne relacje, które mają wpływ na stosunki z otoczeniem zewnętrznym i w konsekwencji oddziałują na postrzeganie przedsiębiorstwa i kształtowanie jego wizerunku. Istotnym elementem jest tutaj planowanie, organizowanie, a także zrozumienie każdego działania i zaangażowanie każdego pracownika na każdym poziomie przedsiębiorstwa [5].

Kompleksowe Zarządzanie Jakością zawiera w sobie aspekt psychologiczny. Nieoceniona jest w tym przypadku umiejętność zarządzania zasobami ludzkimi, bo to ludzie – pracownicy są motorem napędowym każdych zmian, zmian tak dużych i tak ważnych dla przyszłości przedsiębiorstwa [7].

Podwaliną Kompleksowego Zarządzania Jakością jest wdrożenie systemu zgodnego z wymaganiami ISO 9001. Jego wprowadzenie również wymaga zagłębienia się we wszystkie procesy w firmie. Dużą zaletą jest fakt, iż podczas wdrażania systemu można wykryć wiele błędów i nieprawidłowości, które bardzo często są przyczyną niepowodzeń i niskiego poziomu jakości w przedsiębiorstwie. Niezwykle istotne jest przekonanie wszystkich zatrudnionych co do celowości wprowadzenia nowego systemu. Bardzo często opór i niechęć do zmian blokują prawidłową implementację i uniemożliwiają właściwe użytkowanie systemu [8].

Decyzja o wdrożeniu TQM jest trudna i wymaga zdecydowania oraz pewności siebie od osoby lub zespołu, który taką decyzję będzie podejmował. Najczęściej powodem do wdrożenia jest chęć zwiększenia przychodów, obniżenia kosztów, podniesienia poziomu jakości, a także wzrost efektywności produkcji. Sam proces wprowadzenia systemu jest



przede wszystkim sprawdzianem dla wszystkich członków organizacji. Czy uda im się, czy podołają wyzwaniu? To zależy wyłącznie od nich i ich nastawienia oraz chęci do poświęcenia swoich celów na rzecz celów organizacji.

## 2. ISTOTA POJĘCIA JAKOŚCI

### 2.1. Definicja jakości

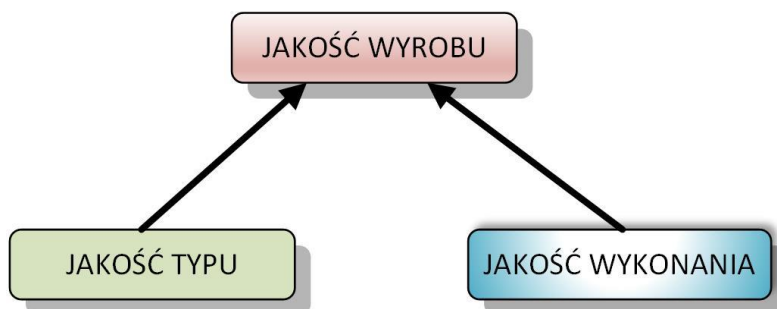
Słowo *jakość* jest powszechnie używane przez społeczeństwo i ma bardzo szerokie znaczenie [2]. Uwidocznienie jakości znalazło wykorzystanie w wielu dziedzinach ludzkiej działalności, począwszy od jakości produktów materialnych, usług, procesów związanych z przetwarzaniem, wymianą, zarządzaniem, a także ogólnie rzecz biorąc z życiem [8]. Współczesne definicje opisują jakość jako zespół cech posiadanych przez dany produkt lub usługę, które potrafią zaspokoić lub przekroczyć oczekiwania potencjalnego klienta. Na określenie tych cech miały wpływ wzrost znaczenia usług w produkcie krajowym, rosnące bogactwo obywateli oraz zwiększająca się konkurencja.

Według normy ISO 9000:2000 jakość to stopień, w jakim zbiór inherentnych właściwości spełnia wymagania [11]. Jakość jest nastawiona na wysoką wartość produktu oraz spełnianie oczekiwań klientów. W dzisiejszych czasach, w dobie dużej konkurencji, klient może wymagać wiele, a producenci prześcigają się winnowacyjnością i podnoszeniu standardów swoich produktów.

Jakość jest zbiorem cech określonego produktu decydujących o jego możliwościach zaspokojenia wyznaczonych potrzeb. Pozwala ustalić zgodność ze standardami, które oznaczają stopień zbliżenia się do wzorcowego prototypu. Jedną z tych cech jest trwałość, będąca miarą oczekiwanego czasu zachowania cech produktu. Wysoka jakość to również niezawodność, która zapewnia, iż produkt nie zepsuje się i będzie działał sprawnie w ustalonym przez producenta czasie. Dodatkowo liczy się estetyka wyglądu oraz wrażenie, jakie wyrób wywiera na kliencie. W całości kształcą cechy jakości mieści się także łatwość obsługi oraz możliwość szybkiego i nieskomplikowanego przywrócenia pożądanego wartości produktu przez klienta bądź sprzedawcę [7].

Wyznacznikiem poziomu jakości powinna być satysfakcja klienta użytkownika produktu, usytuowana na takim poziomie, aby prześcigać konkurencję i umożliwiać osiągnięcie najlepszej pozycji w branży [7].

Jakość wyrobu jest poziomem urzeczywistnienia wymogów klienta - odbiorcy. W danym produkcie jest kombinacją jakości typu wyrobu/produktu i jakości wykonania (rys. 2.1.). Jakość typu jest odzwierciedleniem poziomu wiedzy wykorzystanej podczas przygotowania wyrobu. Inaczej jest to jakość projektowa. Natomiast jakość wykonania jest to zgodność wartości cech produktu już powstałego z jego cechami określonymi w dokumentacji koncepcyjnej i technologicznej. Oba te wymiary są ze sobą ściśle powiązane. Oznacza to, że wyrób nie osiągnie wysokiej jakości, jeżeli jakość typu bądź jakość wykonania nie dojdzie do uprzednio określonego poziomu. Jeśli nie zapewniono odpowiedniej jakości wykonania, oczywiście jest, że ucierpi na tym jakość typu, a przede wszystkim jakość wyrobu. Ocena jakości wyrobu powinna prowadzić do kontroli jakości typu i jakości wykonania w sposób ciągły [2].



Rys. 2.1. Jakość wyrobu, zależność między jakością typu i jakością wykonania [2]

## 2.2. Jakość produktów

Jakość to przede wszystkim cechy produktu finalnego, które są istotne dla klienta. Są to cechy, które produkt wysokiej jakości powinien posiadać w rozumieniu oczekiwań klienta. Mogą to być również specyfikacje, których odbiorca nie oczekuje, ale po ich otrzymaniu jest mile zaskoczony.

Zgodnie z powszechnie obowiązującymi opiniami na jakość usług składają się dwa jej wymiary: jakość techniczna i jakość funkcjonalna. Są one istotne z punktu widzenia konsumenta. Producent musi oprócz tego brać pod uwagę zyskowość i działalność konkurencji, co często jest w konflikcie z jakością technologiczną produktu [4].

Wyróżnia się również szczegółowe atrybuty jakościowe. Są one określane w zależności od rodzaju potrzeby, którą dane dobro ma zaspokoić. Cechy te zostały podzielone na sześć kategorii [2,8]:

- 1) *przyrodniczo – techniczne*: to przede wszystkim kształt, konstrukcja wykonania, jakość użytych materiałów oraz cechy ochronne i wytrzymałość mechaniczna,
- 2) *ekonomiczne*: są to te elementy produktu, które przynoszą użytkownikowi mierzalne korzyści, np. ekonomiczność eksploatacji, amortyzacja,
- 3) *użytkowe*: określić nimi można te wszystkie zdolności produktu, które potrafią zaspokoić materialne i niematerialne potrzeby klienta, np. trwałość, niezawodność, łatwość napraw, ale również wygodę i komfort użytkowania,
- 4) *ergonomiczne*: są to cechy, które człowiek będzie uważał za bezpieczne i wygodne w eksploatacji, między innymi jest to łatwość przenoszenia, dostosowanie wymiarów, łatwość otwierania i zamykania,
- 5) *estetyczne*: parametry charakteryzujące wygląd wewnętrzny produktu, zaliczyć można do nich kształt, kolorystykę, grafikę, liternictwo,
- 6) *ekologiczne*: cechy te określają właściwości produktu, które czynią go przyjaznego dla środowiska, np. zdolność do biochemicznego rozkładu materiału, możliwość recyklingu, mniejsza zawartość substancji szkodliwych, możliwość wielokrotnego użytku.

### 2.3. Wybrane narzędzia i techniki zarządzania jakością

Istnieje wiele narzędzi i technik, które usprawniają zarządzanie jakością. Wybór właściwego zależy od jego przeznaczenia oraz branży przedsiębiorstwa, które ma zamiar wprowadzić konkretny system. Wiele nowoczesnych przedsiębiorstw w Japonii, Stanach Zjednoczonych czy Europie Zachodniej skutecznie rozwiązuje problemy przy udziale pracowników, wykorzystując narzędzia i techniki sterowania jakością. Do najbardziej rozpowszechnionych i najczęściej wdrażanych można zaliczyć [8]:

- system zarządzania jakością wg norm ISO 9000:2000,
- KAIZEN,
- Six Sigma,
- Cykl Deminga,
- Just In Time,
- Total Quality Management.

Wymienione powyżej narzędzia zostaną pokrótce omówione w kolejnych podpunktach.

#### 2.3.1. System zarządzania jakością wg norm ISO 9001:2000

Norma ISO 9000:2000 definiuje podstawowe terminy stosowane w rodzinie norm ISO 9000, które potrzebne są w celu stosowania standardów zarządzania. Natomiast seria norm 9001:2000 zawiera wytyczne w zakresie wdrożenia systemu zarządzania. Implementacja wymagań zawartych w tym standardzie jest podstawą do uzyskania certyfikatu przyznawanego przez jednostkę niezależną. Organizacja chcąc uzyskać certyfikat nie musi wdrażać całej normy, ale sama określa zakres swojego systemu poprzez wyznaczenie procesów, które chce nadzorować, by osiągnąć zadowolenie klienta [8].

#### 2.3.2. KAIZEN

Zasada *ciągłego doskonalenia*, znana pod japońską nazwą KAIZEN, jest rozwinięciem piątej tezy Deminga, która mówi, że należy ciągle szukać przyczyn powstających problemów, tak aby wszelkie elementy systemu i działania stawały się coraz lepsze [3].

Postępowanie zgodne z powyższą zasadą, polega na podejmowaniu działań idących w kierunku stopniowego eliminowania zakłóceń, działających na proces produkcyjny. Każdy proces wykazuje dwojaki rodzaj odchylenia od wymaganego stanu: naturalne (nierozzerwalnie połączone z procesem i trudne do wyeliminowania bez wprowadzenia drastycznych zmian) oraz specjalne (pojawiające się okresowo lub sporadycznie, łatwe do zauważenia oraz wyeliminowania za pomocą standardowych posunięć). Chcąc zminimalizować odchylenia, a następnie je usunąć, należy w pierwszej kolejności rozpocząć eliminację odchylenia specjalnych – tych, które łatwiej zidentyfikować. Po opracowaniu skutecznego sposobu ich ograniczenia, możliwe jest uzyskanie kontroli nad procesem oraz przewidywanie jego stanu. W następnej kolejności powinno przejść się do wykluczenia odchylenia naturalnych, co w efekcie końcowych daje trwałą poprawę jakości [3].

### 2.3.3. Six Sigma

Metoda Six Sigma (*pol. Sześć Sigma*) jest to jedna z najnowszych koncepcji zarządzania jakością. Wywodzi się ze Stanów Zjednoczonych, gdzie pod koniec lat 80. ubiegłego stulecia zapoczątkowano ją w zakładach Motorola. Wprowadzono wtedy jej definicję: *Six Sigma to filozofia biznesu kierująca działaniami przez wyraźne określenie wartości organizacji w ramach jej systemu kompensacji oraz strategii biznesu nastawionej na cięcie kosztów i podnoszenie satysfakcji klienta* [15].

Six Sigma jest koncepcją kompleksowego doskonalenia organizacji, polegającą na ciągłym monitorowaniu i kontroli, aby eliminować i zapobiegać niezgodnościom w procesach oraz powstającym w ich wyniku produktach. Osiągnięcie procesu Sześć Sigma, wymaga dogłębnego zrozumienia przyczyn zmienności procesów, przeprowadzenia analizy przyczyn niezgodności, ocenę kosztów niezgodności (wewnętrznych i zewnętrznych) oraz stosowania narzędzi i technik analitycznych zmniejszających prawdopodobieństwo powstania błędu już w fazie projektowania procesu. Przy doskonaleniu procesów niezbędna jest ciągła identyfikacja obszarów wymagających poprawy. Pomocne są techniki pomiarowe i analityczne, a także narzędzia, takie jak analiza Pareto, diagram Ishikawy czy statystyczna kontrola procesów [8].

### 2.3.4. Cykl Deminga

William Edwards Deming był pierwszym amerykańskim specjalistą, który w sposób metodyczny przekazywał japońskim menedżerom wiedzę na temat jakości. Upowszechnił statystyczne techniki kontroli jakości w japońskich firmach oraz filozofię, którą później nazwano TQM. Wkład Deminga do nauk o jakości jest znaczący. Rozróżnił on wyraźnie pojęcie jakości typu oraz jakości wykonania, których suma jest niepodważalna dla jakości finalnej produktu. Deming skutecznie spopularyzował osiągnięcia swojego współpracownika – Shewharta – zwłaszcza koncepcję cyklu faz zarządzania procesowego – PDCA [8].



κ  
Rys. 2.2. Cykl PDCA [3]

Koncepcja wskazanego na rys. 2 koła zakłada rozpoczęcie prac od badania potrzeb i wymagań użytkownika, poprzez projektowanie produktu i technologii, zaopatrzenie, produkcję, sprzedaż, aż po obsługę posprzedażową [8].

### 2.3.5. Just In Time

System Just In Time (*pol. dokładnie na czas*) został zapoczątkowany w firmie Toyota w połowie ubiegłego wieku jako specyficzny system wytwarzania i filozofii. Całą uwagę kierownictwa i energii załogi skoncentrowano na wypracowaniu mechanizmów, które

zapewniły poprawę trzech głównych elementów decydujących o produktywności przedsiębiorstwa [1]:

- podniesienie jakości (działać jak najlepiej),
- zwiększenie sprawności (działać jak najtaniej),
- zwiększenie skuteczności (działać jak najszybciej).

W systemie JIT do perfekcji zostało opanowane dostarczanie materiałów, części, podzespołów i gotowych wyrobów dokładnie w momencie, w którym wystąpi na nie zapotrzebowanie. Dotyczy to czasu, miejsca i jakości. Pozwala to na uniknięcie długotrwałego magazynowania surowców, półproduktów oraz wyrobu gotowego. To z kolei wiąże się z obniżeniem kosztów działalności przedsiębiorstwa, które nie musi utrzymywać dużych powierzchni magazynowych [10].

### 2.3.6. Total Quality Management

Koncepcja TQM opiera się na dostrzeżeniu i uznaniu faktu, że warunkiem realizacji podstawowych celów organizacji, a także zysku finansowego, jest satysfakcja klienta. Przy silnej konkurencji to klient decyduje o sukcesie przedsiębiorstwa, sensowności podejmowanych działań i pewności zatrudnienia. Bez TQM niemożliwe jest zwiększenie konkurencyjności. Ta filozofia zarządzania zmierza do najbardziej efektywnego wykorzystania zasobów ludzkich i materialnych danej organizacji dla osiągnięcia wytyczonych przez nią celów [8,12].

W zasadzie nie ma jednolitej definicji TQM, ale można założyć, że Total Quality Management jest to całościowe i systematyczne podejście do zarządzania organizacją oparte o ciągłe doskonalenie jakości wyrobów i usług z punktu widzenia klienta. Według japońskiego eksperta Noriaki Kano: TQM to systematyczne, oparte na naukowych podstawach i dotyczące całej firmy przywiązywanie wysokiej rangi do wymagań klienta [9]. TQM jest strategią, której celem jest udoskonalanie produktów, poprawianie wizerunku firmy, jej rentowności i zapału pracowników przez długoterminowe, zdecydowane wysiłki zmierzające do stałego wzrostu jakości produktów. Decyzja o wprowadzeniu TQM musi zapaść odgórnie, dotyczyć całego przedsiębiorstwa i musi poszukiwać zysków w średnio- i długoterminowej perspektywie, nigdy zaś natychmiastowych [10].

Do najważniejszych zasad kompleksowego zarządzania jakością zalicza się [10]:

- podejmowanie decyzji w oparciu o fakty
- orientacja na klienta
- przywództwo
- wzajemne korzystne więzi z dostawcami
- zaangażowanie personelu
- podejście procesowe
- systemowe podejście do zarządzania
- ciągłe doskonalenie.

### 3. ANALIZA WDROŻENIA SYSTEMU TQM OPARTEGO NA NORMACH ISO 9001 W WYBRANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE

Zgodnie z europejską normą PN-ISO 8402:1996P, zarządzanie jakością rozumiane jest jako przejaw całości funkcji, który jest decydujący w określaniu i wdrażaniu polityki jakości. Zarządzanie jakością obejmuje: planowanie strategiczne, rozmieszczanie zasobów i inne systematyczne działania na rzecz jakości. Wymaga to zaangażowania i współdziałania wszystkich członków organizacji, a odpowiedzialność za zarządzanie jakością spoczywa na kadrze kierowniczej najwyższego szczebla. Natomiast wszyscy członkowie organizacji odpowiedzialni są za jakość procesów, produktów i usług [10].

Struktura i etapy wdrażania TQM powinny koncentrować się na następujących problemach [2]:

**Zrozumienie.** Istotne jest, aby kierownictwo firmy rozumiało wagę problemu i potrafiło podjąć odpowiednie decyzje. Decyzja o wprowadzeniu TQM jest trudna i skutkuje ciągłą pracą nad doskonaleniem jakości.

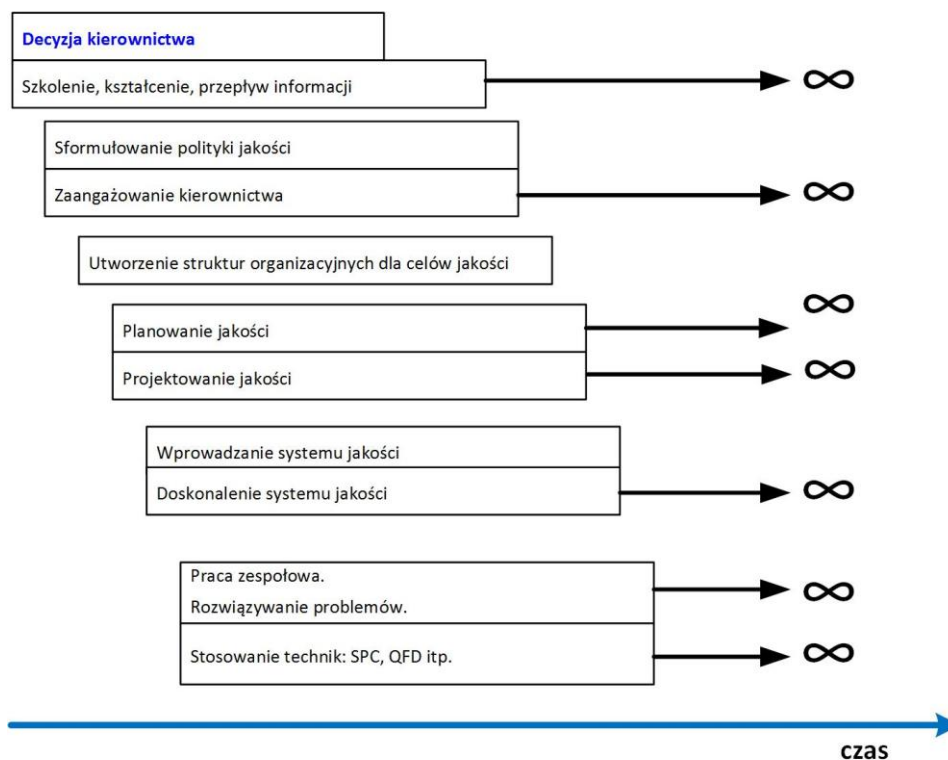
**Zaangażowanie kierownictwa.** Orzeczenie o wdrożeniu TQM i sformułowaniu polityki jakości wymaga bezpośredniego zaangażowania kierownictwa firmy.

**Organizacja.** Struktura firmy będzie reorganizowana, tak aby móc określić kompetencje i odpowiedzialność za sprawy jakości.

**Koszty jakości.** Uwzględnianie liczenia i analizowania kosztów jakości, umożliwia jej doskonalenie.

**System zapewnienia jakości.** Podstawę strategii TQM stanowią normy zarządzania oparte na ISO 9000. Odpowiadają one za porządek organizacji, metod działania i warunkują powodzenie wdrożenia TQM w przedsiębiorstwie.

**Planowanie w czasie.** Wcielenie systemu TQM wymaga czasu i nie jest możliwe, aby został wprowadzony jednorazowo. Również zakończenie wdrażania nie może zostać zaplanowane, gdyż filozofia przewiduje ciągłe doskonalenie (rys. 3.1.).



Rys. 3.1. Czas realizacji strategii TQM [8]

**Projektowanie jakości.** W procesie projektowania nowych wyrobów korzystne jest stosowanie technik, które szczegółowo uwzględniają wymagania klienta.

**Zdolności.** Jedynie pełne zaangażowanie pracowników każdego szczebla, gwarantuje sukces we wdrażaniu TQM. Podstawą zaangażowania jest właściwe szkolenie i kształcenie w przekonaniu, iż każdy jeden pracownik jest współtwórcą sukcesu firmy.

**Sterowanie.** Działania stosowane w celu monitorowania procesu oraz eliminowania przyczyn wadliwości, sprzyjają spełnianiu wymagań jakościowych.

**Praca zespołu.** Wspólne wysiłki umożliwiają podejmowanie trudniejszych decyzji oraz osiągnięcie celów, których dokonanie nie jest możliwe przez pojedynczego pracownika.

**Szkolenie.** Podstawowym celem szkolenia powinna być modyfikacja zachowań i postaw oraz przekonanie wszystkich pracowników do nowej koncepcji zarządzania. Kolejnym etapem jest podnoszenie kwalifikacji, rozwój umiejętności podejmowania decyzji oraz poszerzenie posiadanej wiedzy.

**Wdrażanie TQM.** Proces ten musi być rozłożony w czasie. Jego rozpoczęcie wdziale wiodącym w przedsiębiorstwie, w którym pracuje aktywna kadra menedżerska nastawiona na innowacje i wyraźnie postrzegająca problematykę jakości, da najlepsze rezultaty, gdyż będzie doskonałym przykładem dla reszty pracowników. Będą oni wówczas mieli możliwość sukcesywnego włączania się do realizacji koncepcji TQM.

### 3.1. Wytyczne wprowadzenia TQM

Przedstawiona na początku rozdziału struktura i etapy wdrażania TQM powinny być respektowane na każdym etapie wcielania systemu, ponieważ dzięki nim zostają rozpoznane podstawowe aspekty, które gwarantują powodzenie projektu [8].

Przed przygotowaniem do rozpoczęcia wdrożenia przedsiębiorstwo musiało przeprowadzić analizę swojej strategii, która jest konieczna do określenia przyszłego kształtu systemu oraz zasad jego funkcjonowania. Członkowie zarządu wraz z najbardziej decyzyjnym kierownictwem zdecydowali, że chce działać w interesie klienta i w pełni zaspokajać jego potrzeby. Chce również podnieść i utrzymać na wysokim poziomie jakość, a w związku z tym umożliwić obniżenie kosztów. Są oni świadomi, iż dotychczasowe działania, mimo szczerych chęci, nie przynosiły zadowalających rezultatów i są gotowi podjąć ryzyko związane z wdrożeniem Kompleksowego Zarządzania Jakością. Dotychczasowa strategia przedsiębiorstwa będzie zmieniona, mimo iż cele pozostaną takie same: satysfakcja klienta, wysoka jakość, niskie koszty. Można tym potwierdzić zakończenie pierwszego i najważniejszego etapu: decyzji o wdrożeniu TQM oraz ustaleniu celów do osiągnięcia.

Same normy ISO nie narzucają sposobu działania przedsiębiorstwa, ale pokazują co powinien zawierać prawidłowo wprowadzany System Zarządzania Jakością. W związku z tym, metoda jaką zastosuje firma zależy wyłącznie od niej. Mimo tej dowolności wdrożenie TQM można podzielić na dwie wyraźne fazy [13]. Szczegółowe wytyczne, poszczególne etapy oraz możliwości i wybór firmy co do ich zastosowania zostaną przedstawione poniżej.

#### I. Przygotowanie do wdrożenia [13]:

- ✓ powołanie odpowiedniego zespołu ds. realizacji przedsięwzięcia,
- ✓ ustalenie wymagań odnośnie wdrażanego systemu,
- ✓ ustalenie różnic pomiędzy stanem faktycznym a założonymi wymaganiami systemu,
- ✓ identyfikacja procesów w przedsiębiorstwie.

#### II. Wdrożenie [13]:

- ✓ opracowanie planu wdrożenia,
- ✓ realizowanie działań założonych w planie oraz bieżące kontrolowanie zaawansowania już wykonanych działań,
- ✓ pierwsze szkolenie dla zarządu i kadry,
- ✓ szkolenia dla pozostałych pracowników,
- ✓ tworzenie dokumentacji Systemu Zarządzania Jakością,
- ✓ nadzór i weryfikacja wdrożenia,
- ✓ przygotowanie do procesu certyfikacji,



- ✓ proces certyfikujący,
- ✓ ciągła kontrola i doskonalenie.

Faza przygotowawcza była najważniejszą częścią wdrażania Systemu Zarządzania Jakością zgodnego z wymaganiami ISO 9001, ponieważ warunkuje ona termin wprowadzenia systemu oraz jego efektywność. Całkowity czas wdrożenia TQM zależy od wielkości przedsiębiorstwa [11]. Omawiana fabryka okien i drzwi nie jest dużą firmą, więc powinno ono trwać około pół roku. Podczas wdrażania Systemu Zarządzania jakością kierownictwo firmy będzie zwracało uwagę przede wszystkim na trzy aspekty: zadowolenie klienta, podniesienie poziomu jakości i obniżenie kosztów produkcji. Należy również pamiętać, że to klient stawia wymagania, które należy spełnić, a nie jednostka certyfikująca ani norma. To właśnie klient jest głównym certyfikującym, który przez zwiększanie zamówień (lub reklamacji) decyduje o poziomie jakości.

### 3.2. Analiza etapu wdrożenia

*Opracowanie planu wdrożenia.*

Literatura przedmiotu podaje trzy metody działania [6]:

- 1) **Indywidualne i samodzielne.** To rozwiązanie jest dostępne tylko dla przedsiębiorców, którzy doskonale znają problematykę i mają odpowiednio wyszkolonych pracowników.
- 2) **Indywidualnie, ale ze współpracą konsultantów zewnętrznych.** Taką możliwość spotkamy najczęściej w małych i średnich przedsiębiorstwach, gdzie brak jest odpowiednio wykwalifikowanych pracowników. Skutecznym sposobem jest wtedy skorzystanie z usług profesjonalnych doradców. Ważne jest, aby przed rozpoczęciem współpracy kadra zarządzająca zapoznała się z wymaganiami systemu ISO 9001:2000, aby kooperacja przebiegała sprawnie i mogła spełnić założone cele.
- 3) **W porozumieniu z innymi przedsiębiorcami i we współpracy z konsultantami zewnętrznymi.** To podejście jest możliwe, gdy istnieje kilku zainteresowanych wspólną drogą do wdrożenia systemu. Zaletą tego sposobu jest sposobność dzielenia się wiedzą i doświadczeniami. Ponadto można próbować negocjować z firmą konsultingową koszty, które powinny być niższe ze względu na wielkość zlecenia.

Po szczegółowej analizie dostępnych możliwości firma zdecydowała się na wprowadzenie systemu indywidualnie, ale ze współpracą konsultantów zewnętrznych. Decyzja taka jest uwarunkowana wielkością fabryki oraz brakiem specjalistów w dziedzinie zarządzania jakością. Zarząd zwrócił też uwagę na dwie nieudane próby samodzielnego wprowadzenia systemu. Uznał również, że nie jest możliwe porozumienie z innymi przedsiębiorcami, gdyż ci, z którymi przedsiębiorstwo współdziała mają już wdrożone konkretne systemy zarządzania jakością, a pozostali to konkurenci, którzy nie są dobrym materiałem do wspólnego zwiększania poziomu jakości. Dlatego opracowanie planu wdrożenia będzie należało do wybranych wcześniej specjalistów, ale swój udział w tworzeniu koncepcji będą mieli również członkowie zarządu oraz zespołu ds. realizacji przedsięwzięcia. Konieczne jest jednak, aby zarządzający przedsiębiorstwem zapo-

znali się wcześniej z podstawowymi założeniami i wymaganiami, jakie musi spełnić system oparty na normie ISO 9001:2000. Jest to warunek niezbędny do prawidłowej współpracy z konsultantami zewnętrznymi [9].

*Realizowanie działań założonych w planie oraz bieżące kontrolowanie zaawansowania już wykonanych działań*

Jest to najdłuższa i najbardziej pracochłonna faza wdrożeniowa. Biorą w niej udział nie tylko członkowie zarządu i zespołu ds. realizacji przedsięwzięcia, ale również wszyscy pozostali pracownicy, ponieważ to od nich zależy powodzenie projektu. W tym czasie są zaznajamiani z tajnikami pracy, która od tego momentu stanie się codziennością. Jej celem jest podniesienie jakości wytwarzanych i sprzedawanych produktów [9].

Na tym etapie pracownicy produkcyjni zostaną nauczeni jak zapobiegać wadom przez statystyczną kontrolę procesów i wypełnianie oraz analizę kart kontrolnych. Określając możliwości danego procesu należy wziąć pod uwagę stopień zmienności w procesie oraz zdolność wytwarzania produktów zgodnie ze specyfikacją. Przy projektowaniu kart kontrolnych kierownictwo musi założyć, iż każdy proces poddawany jest działaniu dwóch rodzajów czynników zakłócających. Możliwości tego procesu można określić dopiero wówczas, gdy mają na niego wpływ jedynie czynniki naturalne (zwykłe), natomiast czynniki specjalne (szczególne) zostaną wyeliminowane [1]. W początkowym etapie uruchamiania produkcji metody SPC pozwolą ocenić dokładność pracy urządzeń produkcyjnych (zwłaszcza iż na hali produkcyjnej zostały zainstalowane dwie nowe maszyny do cięcia profili okiennych), co ułatwi wybór najważniejszych stanowisk dla konkretnych pracowników. Metody statystyczne pozwalają w porę zapobiegać powstawaniu braków. Wpływają również na obniżenie kosztów jakości, czyli zwiększanie zysków w firmie [10].

Realizacja działań jest nastawiona na pracę zespołową i zaangażowanie personelu na każdym szczeblu, co umożliwi pełne wykorzystanie potencjału tkwiącego w ludziach. Prawidłowe rozwijanie kompetencji pracowników, służące realizacji celów przedsiębiorstwa i zapewniające, że firma X będzie w stanie sprostać potrzebom stałego jej rozwoju oraz potrzebom zmieniającego się rynku, jest gwarancją sukcesu w rozwoju organizacji. Cele poszczególnych pracowników i zespołów zostały tak skonstruowane, że pokrywają się z głównymi celami przedsiębiorstwa [8]. Strategia TQM wymaga zaangażowania wszystkich członków organizacji w działalność na rzecz poprawy jakości. W związku z tym wszyscy pracownicy zostali poinformowani, że powodzenie wdrożenia systemu zależy od ich zaangażowania, niezależnie od zajmowanego stanowiska.

W ramach niniejszego etapu konsultanci zewnętrzni mieli za zadanie na bieżąco wspomagać wdrożenie systemu zarządzania w firmie. Wdrożenie nowych regulacji (powstałych w wyniku modyfikacji wcześniej realizowanych działań) wymaga przekazania niezbędnej wiedzy pracownikom odpowiedzialnym za poszczególne obszary działalności przedsiębiorstwa. Sposób przekazywania informacji to głównie forma instruktaży oraz szkoleń.

### *Pierwsze szkolenie dla zarządu i kadry*

Szkolenia przeprowadziła firma, która zajmuje się wdrożeniem systemu. Tematy szkolenia zostały skonsultowane i zaakceptowane przez zarząd i będą bazowały na najważniejszych względach procesu wdrożenia Kompleksowego Zarządzania Jakością. Objęły przede wszystkim zarządzanie zasobami ludzkimi, metody motywacji pracowników oraz skuteczną reakcję na obawy i niechęć przed wdrożeniem nowego systemu. Zostały również umówione korzyści związane z wprowadzeniem norm ISO oraz istotność poprawy konkurencyjności firmy w stosunku do przedsiębiorstw, które nie dążą do poniesienia jakości. Uczestnicy tego szkolenia poznali różnice między kompleksowym wdrożeniem TQM, a ubieganiem się jedynie o papierowy certyfikat oraz porównali koszty obu projektów. Ostatnim i właściwie najważniejszym tematem tego szkolenia, było praktyczne pokazanie, jakie działania sprawią, iż system będzie działał płynnie, a zmiany nie zostaną w krótkim czasie zignorowane. Za podtrzymanie odpowiedniego poziomu będą odpowiedzialne wewnętrzne i zewnętrzne audyty [14].

### *Szkolenia dla pozostałych pracowników*

Podstawą tych szkoleń są skuteczne sposoby motywacji pracowników produkcyjnych oraz umiejętność zespołowego rozwiązywania problemów. Praczespółowa to połączenie czterech elementów [10]:

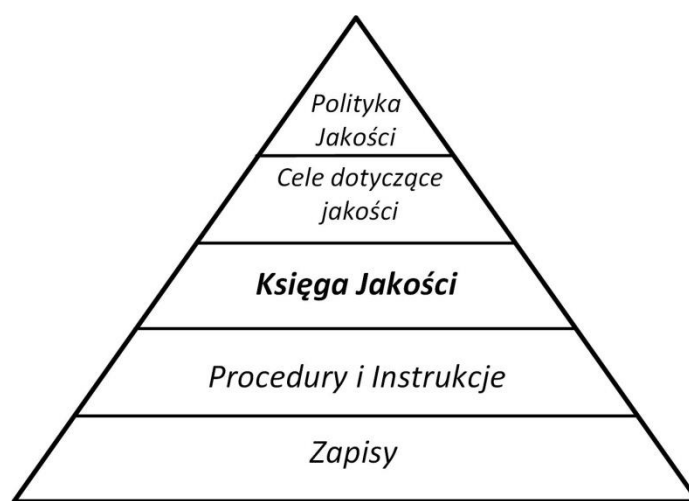
- zaangażowania wszystkich pracowników przedsiębiorstwa niezależnie od zajmowanego stanowiska,
- najefektywniejszego wykorzystania potencjału pracowników firmy,
- kompleksowego podejścia, obejmującego całe przedsiębiorstwo, z uczestnictwem wszystkich działów,
- znakomitej komunikacji wewnątrz przedsiębiorstwa.

Spełnienie tych wszystkich wymagań jest bardzo trudne bez wykorzystania technik inżynierii usprawniającej pracę zespołów. Istnieje kilkanaście narzędzi, zarówno klasycznych, jak i nowoczesnych. Jednak pracownicy produkcyjni zostali zapoznani z jednym, który będą stosować w praktyce. Są to wcześniej wymienione karty kontrolne sterujące. Są one podstawowym narzędziem w statystycznym nadzorowaniu sterowaniu procesów, zwłaszcza w produkcji seryjnej. Prowadzenie karty kontrolnej jest związane z pobieraniem z procesu, ustalonych, regularnych odstępach czasu, próbek o określonej liczebności. Dla każdej próbki obliczane są miary statystyczne (np. średnia arytmetyczna, mediana, odchylenie standardowe). Częstotliwość pobierania próbek oraz ich liczebność powinny być tak ustalone, aby wykres obliczonych wartości wykazywał wszelkie istotne zmiany zachodzące w kontrolowanym procesie. Jeśli wartości mieszczą się w przedziale wyznaczonym na karcie przez linie kontrolne albo nie tworzą określonej sekwencji oznacza to, że proces nie podlega działaniu czynników, które mogą trwale pogorszyć jego wyniki [10]. Zapewniając pracownikom taką wiedzę (tutaj przedstawioną w wielkim skrócie), zarząd może być spokojny o dalsze losy produkcji.

Oczywiście nadrzędnym elementem jest przekonywanie zatrudnionych, że bez ich udziału wdrożenie TQM i poprawa jakości jest niemożliwa. Są oni współtwórcami sukcesu firmy i powinni się z tym sukcesem utożsamiać.

*Tworzenie dokumentacji Systemu Zarządzania Jakością*

Zgodnie z normami ISO 9001 opracowano pisemną dokumentację Systemu Zarządzania Jakością, w skład której wchodzi [16]: Polityka, Cele, Księga Jakości, Procedury i Instrukcje, Zapisy (rys. 3.2.).



Rys. 3.2. Hierarchia dokumentacji wg norm ISO 9001:2000 [16]

Jako pierwsze pojawiły się zapisy, w których przedstawiono dowody na skuteczność działania systemu zarządzania jakością oraz jego zgodność z wymaganiami normy. Każdy zapis potwierdził wykonanie konkretnego działania i przedstawił jego wyniki. Wszystkie zapisy są czytelne, łatwe do identyfikacji i odszukania. Jedynym z zapisów był dowód, że procesy i wyrob powstały w jego wyniku spełniają wymagania – potwierdzone kartą SPC [17].

Podążając za wymaganiami normy ISO 9001 w postaci procedur opisano: nadzór nad dokumentacją, nadzór nad zapisami, audit wewnętrzny, nadzór nad wyrobem niezgodnym, działania krygujące i działania zapobiegawcze [11].

W Księdze Jakości znajdują się podstawowe informacje o firmie X (nazwa, lokalizacja, kontakt) oraz opis rozmiarów organizacji, historia, struktura organizacyjna, zastosowane terminy i definicje oraz historia zmian. Norma ISO 9001 wymaga, by w Księdze Jakości zostały zawarte: zakres systemu zarządzania jakością, wyłączenia (jeśli takie są) wraz z ich uzasadnieniem, udokumentowane procedury systemu zarządzania lub powołanie się na nie, opis oddziaływania między procesami (np. w formie mapy procesów).

Dla potrzeb przedsiębiorstwa sporządzono dwie wersje Księgi. Jedną ogólnodostępną, drugą z danymi poufnym, dostępną tylko wewnątrz firmy [17].

Ostatni element – polityka jakości zawiera zobowiązanie kierownictwa do spełnienia wymagań normy ISO 9001 oraz zobowiązanie do ciągłego doskonalenia systemu zarządzania jakością [9].

#### *Nadzór i weryfikacja wdrożenia*

Władze przedsiębiorstwa nie są w stanie same odpowiedzieć na pytanie, czy wdrożony system jest zgodny z wymaganiami norm. W związku z tym zadanie to zostało powierzone specjalistom, którzy zajmowali się procesem wdrożenia w fabryce. Odbędzie się to na zasadzie wewnętrznego auditu, którego celem jest określenie czy system zarządzania jest skutecznie wdrożony i utrzymywany oraz czy jest zgodny z zaplanowanymi ustaleniami, zarówno normą ISO 9001, jak i wewnętrznymi regulacjami organizacji. Proces ten pozwolił określić, czy przedsiębiorstwo jest gotowe do przeprowadzenia auditu certyfikującego. W trakcie dokonywania wewnętrznej weryfikacji wykryto kilka niezgodności, co do których stwierdzono, iż nie będą one miały wpływu na przyznanie certyfikatu. Zalecono, aby w miarę możliwości usunąć powstałe niedociągnięcia. Celem tego etapu jest pełne zrozumienie zasad systemu oraz stosowanie opracowanej dokumentacji w codziennej pracy u wszystkich pracowników objętych systemem [14].

Należy zaznaczyć, iż wraz z upływem czasu to od pracowników będą zależały dalsze losy wdrożonego systemu. Tylko systematyczne i precyzyjne dostosowywanie się do zaleceń obejmujących poprawę jakości, gwarantuje sukces. Kierownictwo musi zwracać uwagę na wszelkie problemy, jakie sygnalizuje produkcja i starać się je rozwiązywać, tak, aby ograniczyć ich ponowne wystąpienie. Ta faza jest bardzo ważna dla powodzenia całego wdrożenia, gdyż umożliwia weryfikację i naprawę popełnianych błędów, zwłaszcza tych cyklicznych.

#### *Przygotowanie do procesu certyfikacji*

Na tym poziomie możliwe jest jeszcze wykrycie ewentualnych nieprawidłowości w stosowaniu TQM oraz sprecyzowanie niezbędnych zaleceń do poprawy. Jest to również moment, w którym przedsiębiorstwo wybiera jednostkę certyfikującą. Przy wyborze zarząd zwracał uwagę przede wszystkim na opinię o konkretnych jednostkach, ich renomie oraz o tym czy jednostka ma doświadczenie w certyfikacji systemów w branży produkcyjnej. Ważnym wyznacznikiem była także cena, jednak zdecydowano, iż nie będzie ona nadrzędnym czynnikiem decydującym o wyborze. *Podejmując decyzję o doświadczenie certyfikacji systemu zarządzania jakością należy zwrócić uwagę, aby był on przeprowadzany w systemie akredytacji. To, czy dana jednostka certyfikująca posiada akredytację na certyfikację danego systemu zarządzania, determinuje jakość przyznanego nam certyfikatu ISO. Poddanie się certyfikacji przez akredytowaną do tego jednostkę certyfikującą oznacza, że przeprowadzone badanie skuteczności i zgodności wprowadzonego systemu zarządzania zostało przygotowane zgodnie z odpowiednimi standardami certyfikacji. Standardami, które w takiej samej formie obowiązują w ponad 160 krajach na świecie [14].*

### *Proces certyfikujący*

Jest to moment końcowy kompleksowego wdrożenia systemu zarządzania jakością. Jego osiągnięcie jest możliwe po spełnieniu wielu wymagań i dostosowaniu przedsiębiorstwa oraz zatrudnionych w nim ludzi do nowych zaleceń i norm. Certyfikacja zgodności systemu jest zawsze przeprowadzana przez niezależną i bezstronną jednostkę. Jest to ten moment, którego zakończenie umożliwia otrzymanie certyfikatu. W wyniku pozytywnej oceny przedsiębiorstwo X otrzymało certyfikat, który ważny jest trzy lata. Pod warunkiem zgodny na systematyczne i okresowe audyty i ich aprobujące wyniki. Audyty certyfikujące systemy zarządzania jakością na zgodność z ISO 9001 są realizowane w dwóch fazach. W ramach pierwszej fazy weryfikowana jest dokumentacja systemu zarządzania oraz jego ogólne założenia, a także określana jest gotowość do drugiej fazy audytu. Na podstawie wyników z pierwszej fazy planowany jest, w porozumieniu z klientem jednostki, termin drugiej fazy audytu. W jej trakcie gruntownie bada się zgodność systemu z wymaganiami normy ISO9001 oraz skuteczność jego wdrożenia i utrzymywania. Zidentyfikowane przez audytorów niezgodności muszą być usunięte przed przyznaniem certyfikatu. Małe niezgodności oraz spostrzeżenia nie dyskwalifikują systemu. Istotne jest, aby audytorzy nie stwierdzili niezgodności krytycznych, które dyskwalifikować będą system zarządzania do przyznania mu certyfikatu ISO 9001 [14].

### *Ciągła kontrola i doskonalenie*

Ciągła kontrola i doskonalenie to proces, który nie ma końca. Zarząd, dążąc do systematycznego rozwoju, musi mieć stały nadzór nad procesami zachodzącymi w przedsiębiorstwie. Dzięki ciągłej kontroli i doskonaleniu możliwe jest trwałe podniesienie poziomu jakości, a tym samym zadowolenia klientów. Automatycznie przedsiębiorstwo może liczyć na zwiększenie zysków, ponieważ usatysfakcjonowani odbiorcy będą wracać oraz polecać firmę innym. Na przychody fabryki wpłynie również ograniczenie błędów podczas produkcji. Mniej usterek oznacza produkt mniej awaryjny, czyli zmniejsza się ilość reklamacji. Pomijając koszty oraz czas jaki trzeba poświęcić na prawidłowe wdrożenie systemu, z pewnością przyniesie on wiele korzyści, umożliwi wyprzedzenie konkurencji oraz nakreśli wyraźne perspektywy rozwoju w przyszłości [9].

### **3.3. Korzyści z wdrożenia Kompleksowego Zarządzania Jakością opartego na normach ISO 9001**

Pomimo wielu trudności napotkanych na drodze wprowadzenia TQM w firmie X, można w bardzo krótkim czasie zauważyć szereg korzyści, jakie niesie za sobą ten proces. Najczęściej wymieniane przez pracowników to podniesienie prestiżu firmy, usprawnienie obiegu dokumentów, poprawa jakości wytwarzanych produktów, ale również polepszenie komunikacji wewnętrznej. Przy omawianiu czynników pozytywnych, pracownicy po konsultacjach z kierownictwem, zwrócili uwagę na zwiększenie biurokracji, co niestety niesie za sobą stosowanie nowego systemu. Chociaż zarząd i kierownictwo jest zdania, że inwestycja opłaciła się, to nie zostało to odzwierciedlone w obniżeniu wysokości ponoszonych kosztów. Ponadto, w niektórych częściach procesu produkcji zauważono zwiększenie kosztów jednostkowych [6].

Podsumowując, proces wdrożenia Kompleksowego Zarządzania Jakością opartego na normach ISO 9001 jest wart poniesionych kosztów i poświęconego czasu. Pomimo początkowego oporu pracowników do zmian, w szybkim czasie przekonają się oni o słuszności wprowadzenia nowego systemu. Dotyczy to również klientów i dostawców, którzy będą chętnie współpracować z firmą zorganizowaną i mającą wyraźne zasady.

#### 4. WNIOSKI

Po pomyślnym zakończeniu wdrożenia TQM nasuwa się pytanie, co robić, aby utrzymać stan zapoczątkowany podczas implementacji. Przede wszystkim nie rezygnować przy pojawianiu niepowodzeń i wątpliwości. Będą one częstym zjawiskiem, zwłaszcza na początku drogi. Jest to czas nauki i przyzwyczajania wszystkich pracowników do nowych zasad i norm wprowadzonych w przedsiębiorstwie. Jak potwierdzają członkowie firmy X, okres tuż po zakończeniu procesu wdrożenia był najtrudniejszy do akceptacji, gdyż wymagał przestawienia się na inne niż dotychczasowe regulacje i uwarunkowania. Ten etap jest też poniekąd sprawdzianem dla firmy, czy podoła zmianom i będzie w stanie dostosować się do wymagań wprowadzonego systemu. W tym procesie wiele zależy od pracowników, ich zaangażowania i chęci do współpracy.

Nieodłącznym elementem strategii umożliwiającej zaspokajanie potrzeb klienta jest nauka ciągłego doskonalenia. Jest to proces nigdy się niekończący, ponieważ zawsze znajdzie się element systemu, które będzie można poprawić, aby stał się jeszcze bardziej idealny niż aktualnie jest (rys. 4.1.).



Rys. 4.1. Ciągłe doskonalenie [14]

Wszyscy pracownicy mają za zadanie przeprowadzanie ciągłej analizy procesów, zasad postępowania, sposobów i standardów pracy. W firmie X ciągłe doskonalenie oparte jest na zgłaszaniu przez pracowników produkcyjnych problemów pojawiających się w trakcie procesu produkcyjnego, ale także propozycji ulepszeń (na przykład skrócenie czasu operacji, zmniejszenie liczby braków, zmniejszenie ilości odpadów). Zadaniem kierownictwa jest analiza przedstawionych zagadnień i ustalanie wykonalnych celów, poprzez które wykazane problemy zostaną wyeliminowane, a propozycje ulepszeń – które okażą się zasadne – wprowadzone. Należy pamiętać, że zmuszanie pracowników do cięższej pracy mija się z celem wdrożenia TQM. Zwiększanie wydajności pracy powinno odbywać się poprzez poprawę wydajności systemu.

Ciągłe doskonalenie jest procesem długotrwałym, odbywającym się krok po kroku, każdego dnia, dokonywanym przez wszystkich pracowników, począwszy od kadry kierowniczej a skończywszy na pracownikach produkcyjnych. Wymaga włączenia procesu myślowego na każdym etapie produkcji. Rola kierownictwa sprowadza się do wspomaganie pracowników w procesie poszukiwania problemów i sugerowania rozwiązań [12]. Dzięki wprowadzeniu w firmie X delegowania uprawnień i odpowiedzialności zwiększył się stopień zaangażowania pracowników w sprawy organizacji.

Proces wdrożenia Kompleksowego Zarządzania Jakością wymagał od firmy X analizy wszystkich procesów w przedsiębiorstwie. Zmusił także zarząd i pozostałych członków do wprowadzenia zmian i zaangażowania się w życie firmy. Pracownicy wyższego szczebla przekonali się, że najważniejszym czynnikiem warunkującym rozwój przedsiębiorstwa są ludzie zatrudnieni na hali produkcyjnej. Zauważono również, iż wprowadzenie ustalonej decyzyjności, znakomicie wpływa na komunikację między współpracownikami i pozwala na określenie odpowiedzialności. Firma może się pochwalić doskonałą kooperacją z dostawcami, co w dużym stopniu wpływa na postrzeganie jej przez klientów (konkretne terminy, atrakcyjne ceny).

Firma X ma zamiar cyklicznie badać wprowadzony system i oczekiwany poziom jakości poprzez przeprowadzane co kwartalnych audytów zewnętrznych (przez firmę, która pomagała we wdrożeniu) oraz comiesięcznych audytów wewnętrznych (przez powołany zespół ds. wdrożenia systemu). Najważniejszą radą na przyszłość jest niezaniechanie oczekiwań klientów oraz dostateczne docenianie pracowników przez zarząd.

## 5. PODSUMOWANIE

Wdrożenie TQM ma za zadanie podniesienie poziomu jakości, zwiększenie przychodów, obniżenie kosztów oraz wzrost efektywności procesu produkcyjnego. Każda z tych funkcjonalności jest możliwa do osiągnięcia, jednak zarządzanie jakością potrzebuje czasu, aby zmienić nawyki w przedsiębiorstwie i dążyć do wyznaczonych celów. Sam proces implementacji wiąże się z pojawianiem się problemów różnego pochodzenia. Jednak najtrudniejszym z nich jest opór i niechęć pracowników. Jeżeli ta przeszkoda zostanie pokonana, można mówić o połowie sukcesu. Aprobata zatrudnionych jest bardzo ważna, gdyż ich zaangażowanie ułatwia dalsze postępowanie.

Oprócz korzyści jakie niesie za sobą wdrożenie systemu, mogą pojawić się również negatywne skutki. O ile nie utrudniają one normalnego funkcjonowania w firmie i nie



wpływają znacząco na koszty, mogą zostać zignorowane. Dotyczy to na przykład zwiększonej biurokratyzacji po wprowadzeniu systemu. Nie można jej uniknąć, gdyż jest ona częścią podnoszenia poziomu jakości, więc pozostaje się do niej przyzwyczaić.

Cały proces wdrożenia Kompleksowego Zarządzania Jakością pochłania dużo nakładów finansowych i jest czasochłonny. Mimo tego, jeżeli zapadnie decyzja o jego wprowadzeniu, warto dążyć do jej pełnej realizacji i całkowitego przestawienia przedsiębiorstwa na nowe standardy z tym związane. Nagrodą za wytrwałość będą lojalni klienci, wysoki prestiż firmy, znaczne zyski oraz satysfakcja ze spełnienia misji, jaką jest zaspokajanie potrzeb nabywców.

### Podziękowanie

„Projekt finansowany w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2023 nr projektu. 003/RID/2018/19 kwota finansowania 11 936 596.10 PLN”

### LITERATURA

- [1] **John S. Oakland**(2020) Total Quality Management and Operational Excellence: Text with Cases
- [2] **Tkaczyk S.** (2012), Strategia zarządzania jakością, ISBN 9788376416694
- [3] **Hummel T., Malorny C** (2011), Total Quality Management: Tipps für die Einführung.
- [4] **Scott D.M.** (2022), Nowe zasady marketingu i PR. Jak poprzez social media, podcasty, content marketing, newsjacking oraz sztuczną inteligencję dotrzeć bezpośrednio do kupujących
- [5] **Muthukannan R.** (2015) Total Quality Management- Basics - Rajkumar Muthukannan
- [6] **Szczepańska K.**, (2015), wydawnictwo: Zarządzanie Jakością. Koncepcje, Metody, Techniki, Narzędzia Politechnika Warszawska
- [7] **Michalski E.** (2022), Marketing Wydawca: Wydawnictwo Naukowe PWN
- [8] **Hamrol A.** (2017), Zarządzanie i inżynieria jakości, Wydawnictwo Naukowe PWN
- [9] **Wawak S.** (2007), *Podręcznik wdrażania ISO 9001:2000*, wyd. Helion.
- [10] *Zarządzanie Operacyjne* (2006) Polish Open University, wyd. PRET S.A..
- [11] **Zestaw norm serii ISO 9000:2000, PN-EN ISO 9000:2001** (2001) Systemy zarządzania jakością – Podstawy i terminologia, wyd. Polski Komitet Normalizacyjny.
- [12] **Żemigala M.** (2008), *Jakość w systemie zarządzania przedsiębiorstwem*, wyd. Placet, Warszawa 2008
- [13] **Szczepańska K.**(2022) Podstawy zarządzania jakością, wydawnictwo: Politechnika Warszawska
- [14] **Bugdol M.**(2018) System zarządzania jakością według normy ISO 9001:2015, wyd. Helion

- [15] **Hamrol A.**, (2018) Strategie i praktyki sprawnego działania Lean Six Sigma i inne Wydawnictwo Naukowe PWN
- [16] **Pfitzinger E.** (2015) Projekt DIN EN ISO 9001:2015: Vorgehensmodell zur Implementierung eines Qualitätsmanagementsystems wydawnictwo: DIN e.V
- [17] **Gillett J., Simpson P., Clarke S.**, (2015) IMPLEMENTING ISO 9001: 2015: Thrill Your Customers and Transform Your Cost Base with the New Gold Standard for Business Management
- [18] **Koubek A.**, (2017) DIN EN ISO 9001:2015 umsetzen: QM-System aufbauen und weiterentwickeln Wydawca: Gerd F. Kamiske



# **WYKORZYSTANIE NARZĘDZI INFORMATYCZNYCH W PROCESACH PRODUKCYJNYCH**

## **1. WSTĘP**

Zintegrowane systemy informatyczne są obecne w przedsiębiorstwach całego świata już od lat 70 tych. Stanowią głównie źródło informacji, wspierają menadżerów w podejmowaniu decyzji. Umożliwiają wykonywanie pracy w nowy sposób są źródłem innowacji i zmian organizacyjnych. W trakcie swojej ewolucji obejmowały swym zakresem coraz większy obszar funkcjonalny, umożliwiając wsparcie informacyjne kolejnych sfer funkcjonowania organizacji. Niewątpliwie w innowacyjnym zastosowaniu nowoczesnych pakietów wspomagających zarządzanie tkwi bardzo duży potencjał umożliwiający przedsiębiorstwom osiągnięcie lepszych wyników operacyjnych i strategicznych. Mimo spowolnienia wzrostu gospodarczego liczba przedsiębiorstw korzystających z systemów informatycznych wspierających prowadzenie biznesu stale rośnie. Wykorzystanie zintegrowanych systemów informatycznych do wspomaganie procesów biznesowych oraz optymalizacji decyzji gospodarczych jest koniecznością we współczesnych przedsiębiorstwach. Dzięki zastosowaniu tych systemów, możliwe jest m.in. uporządkowanie wewnętrznych procesów organizacji, przetwarzanie, gromadzenie, rejestracja i selekcja danych oraz integracja z kluczowymi kooperantami i klientami przedsiębiorstw. Rozwój technologii informatycznej oraz metod zarządzania był przyczyną pojawienia się systemów klasy ERP, które umożliwiają obsługę większości obszarów funkcjonowania organizacji od marketingu, obsługi klienta, planowania oraz technicznego przygotowania produkcji do strefy finansowo księgowej oraz do strefy, która ma zarządzać personelem [1,2].

## **2. NARZĘDZIA INFORMATYCZNE W PROCESACH PRODUKCYJNYCH**

### **2.1. Informacja, jako istotny czynnik produkcji**

Coraz częściej informację uznaje się za bardzo istotny czynnik produkcji. Informacja zazwyczaj jest definiowana na dwa sposoby. Pierwsze znaczenie to powiadomienie o czymś, zakomunikowanie czegoś, wiadomość, wskazówka, pouczenie. Według drugiej definicji, informacją jest każdy czynnik, dzięki któremu ludzie lub urządzenia mogą automatycznie, bardziej sprawnie oraz celowo wykonywać swoje zadania. Informacja jest wynikiem zorganizowania danych. Organizacja ta dokonywana jest za pomocą na-

rzędzi informatycznych, czyli takich narzędzi, które służą do integrowania danych pochodzących z wielu źródeł w określonym strumieniu informacji. Przepływ informacji wiąże się z przemieszczaniem informacji między komórkami organizacyjnymi wykonującymi kolejne operacje wraz z komunikacją otoczenia. Podejście procesowe koncentruje się na koordynacji, przy jednoczesnym scalaniu funkcji i komórek realizujących określone działania w przedsiębiorstwie. Najważniejszym celem procesów produkcyjnych jest właściwe podejmowanie decyzji w zakresie nabywania i efektywnego wykorzystywania zasobów produkcyjnych, aby móc osiągnąć pożądaną produkt. W celu osiągnięcia zakładanych celów muszą być wykorzystane także wszystkie zasoby systemu logistycznego, którego zadaniem jest zapewnienie właściwej sprawności przepływu produktów i odpowiedniej obsługi przy minimalizacji ponoszonych kosztów. Spełnianie zakładanych celów jest możliwe przy zastosowaniu systemu informatycznego, czyli narzędzia integrującego dane pochodzące z wielu źródeł w jeden strumień informacji. Systemy informacji logistycznej są złożone ze sprzętu, oprogramowania i wyszkolonych pracowników do sterowania i kontroli, a także do oceny działalności logistycznej przedsiębiorstwa [1].

## 2.2. System informatyczny przedsiębiorstwa

Wiele lat rozwoju metod i narzędzi informatyki i ich szczególnego zastosowania, jakim jest wspomaganie procesów decyzyjnych w organizacjach (np.: przedsiębiorstwach produkcyjnych) uczyniło systemy informatyczne koniecznym elementem funkcjonowania organizacji.

Wykorzystanie narzędzi informatycznych w dzisiejszych czasach, nie tylko ułatwia wykonywanie codziennych zadań ale pozwala także ujednoczenie zasad i uproszczenie procesów. Otoczenie, w którym funkcjonują współczesne przedsiębiorstwa to rozwijające się rynki lokalne, krajowe i międzynarodowe o wysokim stopniu ryzyka i konkurencyjności. Presja otoczenia biznesu skłania do coraz większej efektywności procesów w firmie, co w praktyce oznacza poprawę jakości i skuteczności ich wykorzystania. Wykorzystując wszelkie dostępne narzędzia informatyczne możliwe jest uzyskanie wielu informacji. Konieczne jest, zatem określenie źródła i metod pozyskiwania, a także sposobów ich przetwarzania i udostępniania. Jednak, aby uzyskane informacje w pełni wykorzystać niezbędna jest świadomość istnienia i przebiegu kluczowych procesów zachodzących w firmie. Niezwykle pomocny przy ich identyfikacji jest efektywnie wdrożony system, jakości wg. norm ISO. System, Jakości oparty jest, bowiem na procesowym podejściu do całej działalności firmy. Stworzone opisy poszczególnych działań (procedury i instrukcje) są drogowskazami kierującymi odpowiednie działanie do konkretnego celu. Jednak warunkiem koniecznym jest dostępność wszystkich procedur i instrukcji dla wszystkich pracowników przedsiębiorstwa. Warunek ten jest trudny do spełnienia, jeśli korzystamy z papierowej dokumentacji. Mimo iż logistyka informacji w przedsiębiorstwie produkcyjnym jest skuteczna zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz firmy, potrzebne jest wdrożenie odpowiednich narzędzi informatycznych pozwalających na wykonywanie przez pracowników planowanych działań w odpowiedniej kolejności, dzięki czemu praca staje się efektywniejsza oraz oszczędza czas. Zdolnością do podejmowania szybkich i trafnych decyzji jest umiejętność warunkująca sukces współczesne-

go przedsiębiorstwa na rynku konsumenta [3]. Problemy związane z podejmowaniem decyzji obejmują całą sferę działalności przedsiębiorstwa począwszy od planowania strategicznego poprzez techniczne przygotowanie produkcji i zarządzaniem finansami, kadrami, zaopatrzeniem, planowaniem i sterowaniem przepływami produkcji, a także kontroli gotowych wyrobów skończywszy. Istotną pomoc w realizacji zadań produkcyjnych niosą różne, aktualnie dostępne formy informatycznych narzędzi komputerowego wspomaganie. Dostępne na rynku rozwiązania stanowią implementacje sprawdzonych metod modelowania. Elementem warunkującym wykorzystanie dostępnych na rynku narzędzi jest specyfikacja działalności przedsiębiorstwa. Proces informatyzacji jest ważny dla przedsiębiorstw bardzo często wymagających zwiększenia innowacyjności, konkurencyjności, włączenia się w łańcuch dostaw i wdrożenia komputerowo wspomaganego zarządzania[2,3].

### 2.3. Zintegrowane systemy procesów produkcyjnych

Rynek informatycznych systemów wspomagających procesy produkcyjne wciąż bardzo dynamicznie się rozwija. Warto zauważyć, że w ofercie firm opracowujących oprogramowanie dla firm znajdują się takie, które są bardzo zaawansowane i rozbudowane, ukierunkowane dla średnich i dużych firm, oraz takie, które obejmują podstawowe funkcje zakresu systemów ewidencji księgowej oraz analizy finansowej. Te z kolei są skierowane dla małych firm. O ile architektura tego typu oprogramowania może być bardzo zróżnicowana, bowiem każda organizacja ma odrębne, indywidualne potrzeby, to ciekawe wydaje się zastosowanie i wykorzystanie przez firmy tego typu oprogramowania. Standardowym rozwiązaniem jest wdrożenie dostosowanego do potrzeb przedsiębiorstwa systemu wspomagającego rachunkowość, czy jak w przypadku większych firm zintegrowany system zarządzania. Jednakże istnieją obecnie możliwości wykorzystania oprogramowania wspomagającego zarządzanie, w tym również systemów księgowo-finansowych, poprzez Internet [4].

Zintegrowane Systemy Zarządzania najczęściej zbudowane są z następujących podsystemów:

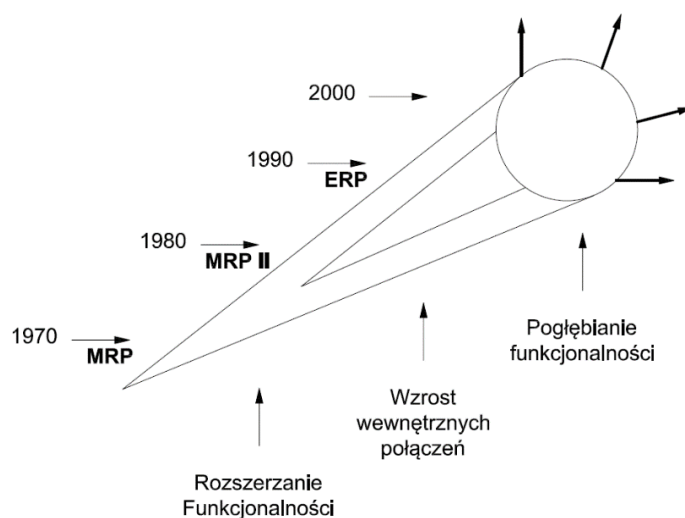
- **BIS** (*ang. Business Information System*), czyli biznesowy(gospodarczy) system informacyjny, który zajmuje się przede wszystkim planowaniem i zarządzaniem produkcją, również zarządzaniem zaopatrzeniem, zapasami. Równie istotnymi elementami tego podsystemu są:
- **CAD** (*ang. ComputerAided Design*) – komputerowe wspomaganie projektowania.
- **CAM** (*ang. ComputerAided Manufacturing*) komputerowe wspomaganie produkcji w tym zarówno planowanie realizacji produkcji, jaki i technologiczne planowanie procesów produkcyjnych).
- **FMSs** (*ang. Flexible Manufacturing Systems*) elastyczne systemy produkcji – ten podsystem koncentruje się głównie na montażu( obróbce technologicznej i mechanicznej), procesach magazynowania i transportu wewnątrzakładowego. Ważnym elementem jest tutaj również obsługa systemu sterowania, jakością.

W literaturze, a także praktyce firm wdrożeniowych powszechnie stosowany jest termin business intelligence.

### 3. ERP

#### 3.1. Charakterystyka systemów klasy ERP

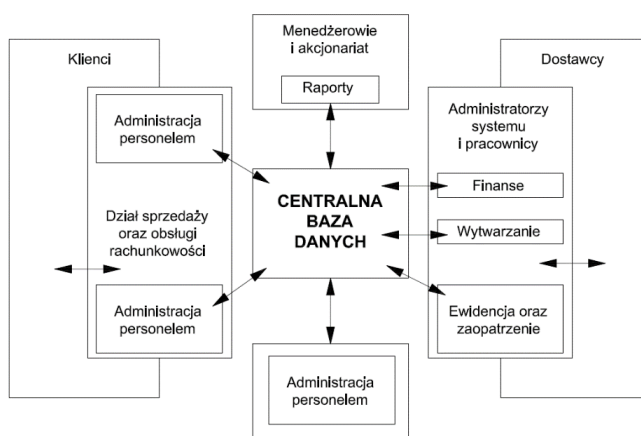
System klasy ERP to system informatyczny, który powstał w latach dziewięćdziesiątych. Jest efektem rozwoju systemów klasy MRP I (*ang. Material Requirements Planning - pol. Planowanie Potrzeb Materiałowych*) i MRP II (*ang. Manufacturing Resource Planning - pol. Planowanie Zasobów Produkcyjnych*). Jego celem jest możliwie najpełniejsza integracja wszystkich szczebli zarządzania, całości procesów zaopatrzenia, produkcji oraz innych działań przedsiębiorstwa. ERP przeznaczone jest, przede wszystkim, dla przedsiębiorstw produkcyjnych. Jest systemem łączącym całość procesów produkcji i dystrybucji, pozwala szybko reagować na szanse i zagrożenia występujące w przedsiębiorstwie oraz odpowiadać na zmiany popytu [6]. Rozszerzenie funkcjonalności systemów ERP o integrację i współdziałanie z wieloma kooperantami w ramach tego samego łańcucha dostaw (środowisko collaborative commerce – c-commerce), z wykorzystaniem technologii internetowych i rozwiązań mobilnych, ukształtowało model systemu zwany ERP II (rys. 3.1.) [3].



Rys. 3.1. Ewolucja informatycznych systemów zarządzania [9]

Do tej pory, brak jest oficjalnego i jednolitego standardu ERP. Przyjęto, że powinien on spełnić funkcję systemów MRP z rozszerzeniem o rachunkowość zarządczą, przepływy finansowe, rachunkowość kosztów, zaawansowane moduły prognostyczne i analityczne, zarządzanie relacjami z klientami, zarządzanie łańcuchem dostaw, rozwią-

zanie e-commerce. Głównym elementem i podstawą prawidłowego funkcjonowania całego systemu jest baza danych, na której opierają się wszystkie moduły funkcjonalne i z której korzystają poszczególne aplikacje wymieniające dane (rys. 3.2.). Zadaniem bazy danych jest gromadzenie, przechowywanie, selekcja, agregacja i personalizacja danych, które są pozyskiwane z wszystkich obszarów funkcjonowania przedsiębiorstwa. Proces przetwarzania danych odbywa się jednorazowo i centralnie, co powoduje aktualność i rzetelność informacji dla wszystkich użytkowników systemu [5].



Rys. 3.2. Budowa systemu ERP [10]

Systemy klasy ERP podzielone są na oddzielne aplikacje zwane modułami tematycznymi (rys. 3.3.).



Rys. 3.3. Moduły funkcjonalne systemu klasy ERP [10,11]



Każda z aplikacji może funkcjonować samodzielnie. To powoduje, że przedsiębiorstwo może wdrażać system etapami, częściowo wybierając tylko te, które dla niego niezbędne, kierując się aktualnymi potrzebami i zasobami finansowymi.

### 3.2. Zastosowanie systemów ERP

Systemy typu ERP (*ang. Enterprise Resource Planning - Planowanie Zasobów Przedsiębiorstwa*). System obejmuje zintegrowane rozwiązania biznesowe w zakresie kluczowych procesów (np.: planowanie i sterowanie produkcją, gospodarka magazynowania) i głównych funkcji administracji (np. księgowość, kadry oraz płace) przedsiębiorstwa. System zarządzania zasobami przedsiębiorstwa obejmuje całość procesów produkcji i dystrybucji. Integruje on także w różne obszary działalności przedsiębiorstwa, a także usprawnia przepływ krytycznych dla jego funkcjonowania informacji. Pozwala także błyskawicznie odpowiadać na zmiany popytu.

Dynamiczny rozwój systemów klasy ERP w ostatnich latach sprawił, iż są one wykorzystywane jako narzędzie informatyczne wspomagające zarządzanie na dużą skalę. Upowszechniło się, że implementacja systemu ERP jest projektem bardzo kosztownym, wiążącym się z dużym ryzykiem nieudanego wdrożenia. Obecnie wiele Małych i Średnich Przedsiębiorstw (MŚP) dostrzega potrzebę stosowania zintegrowanego systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie zasobami przedsiębiorstwa. Jednak na rynku powstała bogata oferta systemów ERP skierowanych głównie dla małych i Średnich Przedsiębiorstw. Funkcje systemów klasy ERP zapewniają optymalizację wszystkich zasobów przedsiębiorstwa i procesów w nich zachodzących. Większość aplikacji cechuje się budową modułową, w ramach, której w poszczególnych elementach dochodzi do wymiany informacji [7]. Dostępne na rynku systemy ERP różnią się między sobą i mogą być wyposażone w dodatkowe moduły, np. odpowiedzialne za zarządzanie transportem, za controlling czy zarządzanie projektami. Decydując się na wdrożenie systemu ERP, pamiętać należy o elastyczności umożliwiającej dostosowanie poszczególnych funkcji i modułów do indywidualnych wymagań przedsiębiorstwa [4].

### 3.3. Wybrane korzyści użytkownika systemu ERP w procesach produkcyjnych

#### – *Szybka wymiana informacji z działem sprzedaży*

Dział sprzedaży funkcjonuje w swojej dynamice – zarówno prognoza popytu, jak i faktyczny poziom zamówień to zmienne, które warunkują procesy produkcyjne. Przekazywana w sposób ciągły szybka i dokładna informacja z działu sprzedaży na temat prognozowanych i faktycznych zamówień, pozwala produkcji szybciej odpowiedzieć na potrzeby rynku. ERP umożliwia integrację obszaru sprzedaży (prognoz sprzedaży i zamówień klientów) z modułami produkcyjnymi, dzięki czemu w systemie mogą automatycznie pojawiać się wygenerowane przez sprzedaż zlecenia produkcyjne. Szybkość i spójność informacji ma duży wpływ na możliwości optymalizacji planów produkcji i dalej, na zwiększanie jej efektywności.

– ***Dokładny termin wykonania produktu***

Wspieranie produkcji zintegrowanym systemem ERP pozwala firmie dokładnie ustalać terminy wykonania produktów. W przypadku produkcji na zamówienie istotną informacją jest realna planowana data dostawy do klienta. To czynnik, który niejednokrotnie pozwala dostawcy wygrać z konkurencją. Ma on wpływ na terminowość, rzetelność i jakość relacji w obszarze sprzedaży. Wielu klientów nie oczekuje towarów dostępnych od ręki, ale chce mieć potwierdzoną i prawdziwą datę otrzymania materiałów, które posłużą do dalszej produkcji.

– ***Zmniejszenie poziomu zapasów***

Efektywniejsze planowanie produkcji pozwala skracać ogólny czas realizacji zamówień. W praktyce oznacza to możliwość przejścia z „produkcji na magazyn” na „produkcję na zamówienie”. W rezultacie firma ma szansę zmniejszyć szereg kosztów. Po pierwsze, nie musi utrzymywać nadmiaru powierzchni magazynowej dla składowania wyrobów gotowych oraz surowców. Po drugie, redukuje do niezbędnego minimum poziom zapasu surowców oraz półwyrobów. Działania te pozwalają poprawić wskaźnik rotacji zapasów

– ***Większa wydajność produkcji***

Zintegrowany system ERP pozwala na bieżąco optymalizować cały obszar produkcji. Poczynając od planowania niezbędnych zasobów i harmonogramowania produkcji, poprzez usprawnienie zarządzania przestrzenią magazynową i logistyką, po doskonalenie parametrów produkcji pod kątem spływających zamówień. Ułożenie z wyprzedzeniem planów produkcyjnych pozwala dostosować harmonogramy produkcji i zmniejszyć czas przebrojeń. W rezultacie poprawia się wydajność całego zakładu produkcyjnego.

– ***Efektywniejsze wykorzystanie kadrowych zasobów w obszarze produkcji***

Ustalanie harmonogramów produkcji jest dla firmy podstawą do planowania liczby pracowników w tym obszarze. Wdrożenie zintegrowanego systemu ERP obejmującego produkcję, pozwala firmie podjąć działania optymalizujące politykę kadrową. Zależnie od ilości i skali zamówień firma ma cały wachlarz możliwości dostosowania zasobów do sytuacji. Z wyprzedzeniem można planować liczbę osób potrzebnych do wykonania produkcji, co zapewnia możliwość znalezienia odpowiednich kadr na rynku pracy. W krótkim terminie możliwe są zarówno działania zmierzające do skrócenia czasu pracy, jak i takie, które pozwolą przyjąć do realizacji więcej zleceń produkcyjnych. Ważnym elementem w planowaniu produkcji jest przeciwdziałanie przestojom, które powodują zwiększenie kosztów w tym kosztów płac.

– ***Możliwość dokładnej analizy kosztów produkcji***

Zintegrowany system ERP pozwala firmie prowadzić dokładne analizy obszarów działalności, w tym oczywiście produkcji. System pozwala przypisywać bezpośrednie koszty produkcji do każdego pojedynczego zlecenia produkcyjnego. Nowoczesny ERP

wspiera przekrojową, wielowymiarową analizę danych także dzięki wykorzystaniu tzw. wymiarów analitycznych. Duże możliwości modelowania analityki w obszarze produkcji pozwalają firmie podejmować działania i reagować, np. na wszelkiego rodzaju odchylenia kosztów rzeczywistych od założonych, na każdy przypadek nieproporcjonalnego lub nieadekwatnego kosztu w procesie produkcji. Ułatwia to wykrywać czynniki błędów i źródła ryzyka, jakie powstają w procesach produkcyjnych.

– ***Zapobieganie kradzieżom w magazynie i w hali produkcyjnej***

Dokładna ewidencja zużycia surowców i zasobów pozwala wdrożyć skuteczne narzędzia monitorowania strat, w tym także kradzieży. Zintegrowany ERP może, zatem przyczynić się do uszczelnienia systemu bezpieczeństwa również w kwestii kontroli pracowników. Choć firmy wyodrębiają obszary produkcji ze swojej działalności, praktyka pokazuje, że zintegrowane zarządzanie wszystkimi obszarami przynosi konkretne korzyści. Dotyczą one zarówno zwiększenia efektywności procesu produkcyjnego zmniejszając koszty, jak również wizerunku: budowania przewagi konkurencyjnej, dotrzymywania terminów dostaw oraz poprawy relacji z klientami poprzez zapewnienie im lepszej, jakości [8].

## **4. POLSKI RYNEK SYSTEMÓW WSPOMAGAJĄCYCH PROCESY PRODUKCYJNE**

### **4.1. Polski rynek systemów ERP**

Rynek systemów ERP w Polsce stale się rozwija, choć w różnym tempie spowodowanym między innymi obecnym kryzysem w wielu krajach Unii Europejskiej. Jest to zaśługą, przede wszystkim, stosunkowo stabilnie rozwijającej się polskiej gospodarki. Większość dużych przedsiębiorstw w Polsce ma już systemy zintegrowane. Jak wynika z opinii dostawców aplikacji ERP obszary, w których niezbędna jest poprawa obsługi informatycznej, to planowanie operacyjne, definiowane jako planowanie sprzedaży, harmonogramowanie produkcji, rozwinięcie MRP i kolejkowanie zadań. Przedsiębiorstwa często nie stosują żadnego wspomagającego systemu zarządzania produkcją lub wykorzystują jedynie proste rozwiązania, ograniczające się do technologicznego przygotowania produkcji, wystawiania zleceń i bilansowania potrzeb materiałowych. Do tych słabiej z informatyzowanych obszarów należy także rachunkowość zarządcza, skupiająca się jedynie na rachunkowości finansowej. Słabo z informatyzowany jest także obszar planowania dystrybucją, utrzymania ruchu oraz kontroli, jakości. Na polskim rynku aplikacji ERP występują systemy producentów zagranicznych, ale pojawia się też coraz więcej systemów polskiej produkcji, które są także wdrażane w innych krajach [2]. Obecnie można wyróżnić około 30 dostawców oprogramowania, którzy proponują wdrożenie swoich systemów przy udziale własnych zespołów wdrożeniowo-szkoleniowych. Większa celowość aplikacji oraz opracowanie wersji skromniejszych, przeznaczonych dla małych i średnich przedsiębiorstw, powoduje ciągle zainteresowanie tymi systemami.

## **4.2. Analiza oprogramowania wspomagającego zarządzanie dla małych i średnich przedsiębiorstw**

Badania dotyczące zastosowanie nowoczesnych technologii w małych i średnich przedsiębiorstwach, dostarczają informacji o tym, że systemy informatyczne w małych i średnich przedsiębiorstwach (MŚP) pełnią głównie rolę narzędzia gromadzenia i klasyfikowania informacji. Z tego względu wydaje się, że są to głównie systemy wspomagające systemy finansowo-księgowe.

W niniejszym opracowaniu przeanalizowano tylko tych dostawców, którzy prezentują możliwe strategie, mogące przyczynić się do rozwoju umiejętnego wykorzystania umożliwiające wypracowanie większej sprawności i efektywności działania przedsiębiorstwa.

Polski jak i zagraniczny rynek systemów informatycznych skupia się nie tylko na Małych i Średnich Przedsiębiorstwach, ma także swoje zastosowanie dla Dużych jak i jeszcze Większych Przedsiębiorstw, których potrzebą jest skorzystanie z oprogramowania, które dobrze wykorzystane przedstawi tzw. kopalnie danych i stanie się odzwierciedleniem życia firmy.

Na polskim rynku istnieje wiele większych i mniejszych dostawców oprogramowania komputerowego wspomagającego samą księgowość oferujących bardziej rozbudowane systemy wspomagające controlling czy ogólnie zarządzanie przedsiębiorstwem. Charakterystykę i próbę oceny trudności implementacji wybranych programów wspomagających zarządzanie w polskich przedsiębiorstwach, przedstawiono poniżej w tab. 1. Analizę przeprowadzono na podstawie materiałów udostępnionych przez firmy informatyczne w swoich ofertach wdrożeniowych, a także na stronach internetowych.

### 4.3. Wybrani dostawcy oprogramowania dla małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce

Jednymi z największych dostawców systemu klasy ERP w Polsce są:

Tab.1. Wybrani dostawcy oprogramowania dla małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce

Rodzaj oprogramowania	Wybrane firmy dostarczające Oprogramowanie lub usługi	Indywidualizacja potrzeb i bezpieczeństwo użytkowników
1	2	3
Systemy finansowo-księgowo	Comarach SA G.K Sage Unit4 TETA Humansoft BPSC EBITDA Insert	Dość często są to nieskomplikowane systemy wspomagające księgowość z elementami sprawozdawczymi, oraz prostymi narzędziami analizy finansowej. Systemy są standardowo zbudowane i wdrażane do przedsiębiorstw po niewielkich zmianach dostosowujących oprogramowanie do profilu i specyfiki firmy. Niestety często wymagania sprzętowe stają się barierą zwłaszcza dla ich wdrażania.
Rozbudowane systemy zintegrowanego zarządzania przedsiębiorstwem	SAP Polska sp. z o.o. Oracle Polska sp. z o.o. Comarach SA G.K IFS Polska sp. z o.o. BPSC SA Microsoft SA G.K QAD Polska sp. z o.o. TETA SA Exact Software Poland sp. z o.o. Solemis Group SA EQ System sp. z o.o.	Systemy takie są wysoko zindywidualizowane i w pełni dostosowane do potrzeb klienta. Wykorzystuje się w nich najnowsze technologie i instrumenty analityczne do gromadzenia, rejestrowania, przetwarzania danych lecz również oceny i prognozowania. Często systemy te mają wbudowane podsystemy rozpoznawania i ograniczania ryzyka (symulatory rozwiązań możliwych do zrealizowania w określonych warunkach). Systemy te jednak wymuszają zastosowanie najnowocześniejszego sprzętu komputerowego, a i same w sobie są zazwyczaj niezwykle kosztowne. Zatem rozwiązanie takie jakkolwiek niesie za sobą wiele korzyści jednak wymaga poniesienia wysokich nakładów inwestycyjnych w etapie wdrożenia.

Rozwój technologii informatycznych ma również swoje konsekwencje w ich zastosowaniu w procesach decyzyjnych w przedsiębiorstwach. Rynek usług informatycznych systemów wspomagających zarządzanie wciąż dynamicznie się rozwija. Warto zauważyć, że w ofercie firm opracowujących i wdrażających oprogramowanie dla firm pozostał wprowadzony podział. Podział ten obejmuje małe, średnie oraz duże przedsiębior-

stwa. Można wyróżnić tu oprogramowania, które są bardzo zaawansowane i rozbudowane oraz takie, które obejmują podstawowe funkcje z zakresu systemów ewidencji księgowej oraz analizy finansowej. O ile architektura tego oprogramowania może być bardzo zróżnicowana, bowiem każda organizacja ma odrębne, indywidualne potrzeby.

## 5. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie narzędzi informatycznych w dzisiejszych czasach, nie tylko ułatwia wykonywanie codziennych zadań. Jest, bowiem czymś o wiele ważniejszym - ujednocila zasady, upraszcza procesy. Możliwości, jakie stwarzają dla przedsiębiorstw nowe technologie informatyczne są ogromne. W zasadzie trudno wyobrazić sobie proces, który nie mógłby być wspomagany poprzez pracę komputera wyposażonego w odpowiednie oprogramowanie. Jednocześnie trudno wyobrazić sobie nowoczesną firmę, w której takiego wspomaganie nie ma. Rozwój systemów obsługujących rachunkowość oraz wspomagające zarządzanie wskazuje jednoznacznie na zmianę modelu zarządzania przedsiębiorstwem, które jest związane ze zwiększeniem potrzeb informacyjnych przez przedsiębiorców. Jeszcze do niedawna systemy (zwłaszcza w zakresie finansów) koncentrowały się głównie na informacjach pochodzących z tradycyjnego rachunku kosztów oraz systemów sprawozdawczych. Jednak teraz wymagania stawiane przez współczesne rynki wymuszają na małych i średnich przedsiębiorstwach perspektywicznego podejścia do procesów występujących w ich przedsiębiorstwie i stąd rodzi się potrzeba zastosowania choćby najprostszycy modułów wspomagających przedsiębiorstwo wybiegając w przyszłość. Warto podkreślić, że nawet najmniejsze podmioty coraz częściej zainteresowane są posiadaniem prostych narzędzi controllingowych umożliwiających prognozowanie. Stąd w ofercie firm opracowujących oprogramowanie dla firm pojawiają się tak urozmaicone systemy wspomagające zarządzanie w małych i średnich przedsiębiorstwach. Zarówno wciąż rozwijające się innowacyjne rozwiązania w zakresie zarządzania firmami oferty podmiotów wdrażających informatyczne systemy, jak również wprowadzenie i zastosowanie tych systemów w samych przedsiębiorstwach świadczy o przemianach zachodzących w systemach zarządczych, a co najistotniejsze w samej świadomości przedsiębiorców potrzebie stosowania takich narzędzi.

### Podziękowanie

*„Projekt finansowany w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2023 nr projektu. 003/RID/2018/19 kwota finansowania 11 936 596.10PLN”*

## 6. LITERATURA

- [1].North K., Kumta G., (2018), Knowledge Management: Value Creation Through Organizational Learning
- [2].Chomuszko M., (2016), System ERP - Dobre praktyki wdrożeń, Wydawnictwo Naukowe PWN

- [3]. **Janusz Jurek** (2016). Wdrożenia informatycznych systemów zarządzania, Wydawnictwo Naukowe PWN
- [4]. **Bojar W., Knopik L., Rostek K.**, (2022), Systemy wspomaganie decyzji, Wydawca: PWE
- [5]. **Rutkowski Ireneusz P.**, (2021), Systemy informacyjne w przedsiębiorstwach Handlowych Wydawca: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne
- [6]. **Wachnik B.**, (2016), Wdrażanie systemów informatycznych wspomagających zarządzanie Wydawnictwo: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne
- [7]. **Banaszak Z., Klos S., Mleczko J.**, (2020), Zintegrowane systemy zarządzania Wydawca: PWE
- [8]. **Gawin B.**, (2002), *Systemy informatyczne w zarządzaniu procesami Workflow* Wydawca: Wydawnictwo Naukowe PWN
- [9]. **Rzewuski M.**, (2002), *Ewolucja Systemów zarządzania - ERP II – Nowy stary gatunek*. PC Kurier 20.
- [10]. **Grudzewski W.**, (2004), *Metody projektowania systemów zarządzania*. Difin.
- [11]. **Kuryło P., Wysoczański A., Bonarski P.**, (2021) Knowledge and information management System Safety: Human - Technical Facility - Environment, Vol. 3

# **BADANIA POLIETYLENU WYSOKIEJ GĘSTOŚCI (HDPE) METODAMI ZAAWANSOWANEJ ANALIZY TERMICZNEJ**

## **1. WPROWADZENIE**

Polietylen wysokiej gęstości (HDPE) jest polimerem stosowanym w wielu gałęziach przemysłu. Cechuje się wysoką odpornością chemiczną i posiada odpowiednie właściwości fizyko-mechaniczne, pozwalające na wykorzystanie tego tworzywa do wytwarzania np. różnego typu opakowań jak worki na śmieci, opakowania do przechowywania żywności itd.

Przykład badań wykorzystujących HDPE jest [9], w którym opisano badania przewodności cieplnej kompozytów HDPE. Natomiast nad wykorzystaniem polietylenu wysokiej gęstości w systemach magazynowania energii rozprawiano w [11]. Polietylen nie tylko jest samodzielnym materiałem, który stosuje się szeroko z różnymi dodatkami tworząc kompozyty, ale sam również jest stosowany jako takowy dodatek co opisano np. w [12].

HDPE ma dobre właściwości płynięcia, można go przekształcać w prostych procesach produkcyjnych takich jak wytłaczanie, formowanie wtryskowe i rozdmuchiwanie. Jest materiałem, który można wielokrotnie poddawać recyklingowi. Z drugiej strony materiał poddawany recyklingowi traci swoje właściwości przetwórcze najczęściej ze względu na zanieczyszczenia które występują w materiale recyklingowanym oraz na brak korzystnej metody recyklingu zapewniającej przywrócenie jego właściwości pierwotnych na poziomie atomowym. Dlatego najpierw HDPE należy poddać odpowiednim procesom oczyszczania i uzdatniania, aby otrzymać materiał o jakości materiału pierwotnego.

W celu zbadania jakości polimeru pochodzącego z recyklingu przeprowadza się badania analizy termicznej, które zostały szeroko opisane chociażby w [8]. Przykładowymi badaniami są różnicowa kalorymetria skaningowa oraz termogravimetria. Pozwalają one określić poziom krystaliczności badanego materiału, a co za tym idzie jego właściwości mechaniczne i jakość.

Przykładowymi badaniami jakie były prowadzone w ramach analizy termicznej jest np. [1], w którym przedstawiono charakterystykę rozkładu termicznego HDPE. Zakres temperaturowy rozkładu próbek czystego HDPE jest zgodny z rozkładem termicznym który otrzymaliśmy w badaniach. W [2] skupiono się na sposobie ulepszenia polietylenu wysokiej gęstości w taki sposób, aby obniżyć temperatury topnienia.

Badania termogravimetryczne i różnicowa kalorymetria skaningowa polietylenu wysokiej gęstości zostały opisane m.in. w [3]. Szeroko opisywane są również badania wła-



ściwości mechanicznych HDPE czystego oraz z domieszkami ulepszającymi np. twardość materiału. Wyniki takich badań przedstawiono w [4].

Utylizacja tworzyw sztucznych również jest tematem wielu badań. Jedną z metod przedstawiona w [5] jest termiczna i katalityczna degradacja polimerów. Innym ciekawym zagadnieniem jest również opisywana piroliza polietylenu i biomasy, która została przebadana i przedstawiona przez [6]. Kinetyka pirolizy odpadów z HDPE oraz określenie parametrów w celu optymalizacji procesu zostały przedstawione w [7]. Jedną z konkluzji pracy były badania TGA, które wykazały, że szybkość nagrzewania odgrywają ważną rolę w pirolizie polietylenu wysokiej gęstości. Innym zagadnieniem które również jest badane przez naukowców jest analiza kinetyczna pęknięcia termicznego HDPE i podejścia „izokonwersyjnego”, którą przedstawiono np. w [10]. Powyższe przykłady pokazują jak szeroko stosowanym i badanym polimerem jest polietylen wysokiej gęstości.

Celem artykułu jest zweryfikowanie jakości polietylenu wysokiej gęstości przetworzonego z postaci folii (z różnymi barwnikami i z różnym poziomem nadruku) do postaci regranulatu. Próbkę przebadano w celu określenia temperatury i entalpii topnienia oraz utraty wagi podczas termicznej utylizacji próbki.

## 2. MATERIAŁY I METODA

### 2.1. Materiał i przygotowanie próbek

W badaniach wykorzystano regranulat powstały z przetworzonego polietylenu wysokiej gęstości pochodzącego z wybrakowanego wyrobu gotowego w postaci worków na śmieci, z uwzględnieniem dodatków barwnika oraz zastosowanej powierzchni nadruku. Z otrzymanego regranulatu wycięto małe fragmenty o średnicy około 0,3 mm i uśrednionej wadze  $11 \text{ mg} \pm 1 \text{ mg}$  z przeznaczeniem do badań jego właściwości. Próbkę przechowywano w suchym pomieszczeniu z kontrolowaną wilgotnością z dala od źródeł ciepła i światła słonecznego. Przed przystąpieniem do badania próbki oczyszczono z zanieczyszczeń powierzchniowych. Zestawienie próbek przedstawiono w Tab. 1.

Tab.1. Wykaz próbek poddanych badaniu analizy termicznej dla materiału HDPE

Kolor próbki	Rodzaj zastosowanego nadruku
Bezbarwny	Bez nadruku
	Nadruk >35%
Czarny	Bez nadruku
	Nadruk >35%
Czerwony	Bez nadruku
	Nadruk >35%
Żółty	Bez nadruku
	Nadruk >35%
Zielony	Bez nadruku
	Nadruk >35%
Niebieski	Bez nadruku
	Nadruk >35%

## 2.2. Analiza DSC i TG

Właściwości termiczne określono za pomocą różnicowej kalorymetrii skaningowej i termograwimetrii. Badania przeprowadzono na urządzeniu marki Netzsch, próbkę umieszczano w platynowym tygielku. Próbki skanowano za pomocą opracowanego programu zdefiniowanego w temperaturze od 25 °C do 840 °C z szybkością nagrzewania 10 °C/min w atmosferze azotu 50 ml/min. Po osiągnięciu temperatury 840 °C doświadczenie prowadzono w atmosferze utleniającej z przepływem 50 ml/min. Badania przeprowadzono na aparaturze zakupionej w ramach projektu RID

Stanowisko badawcze przedstawiono na Rys. 1.



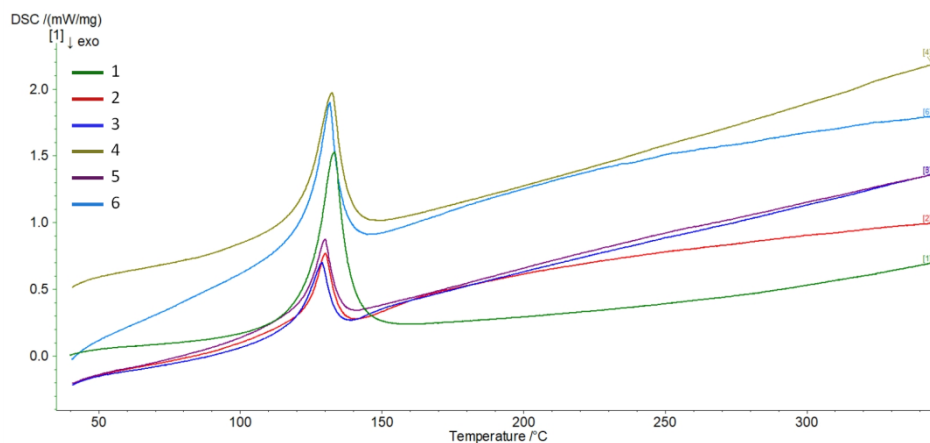
Rys. 1. Stanowisko badawcze do analizy termicznej DSC i TGA

## 3. WYNIKI I DYSKUSJA

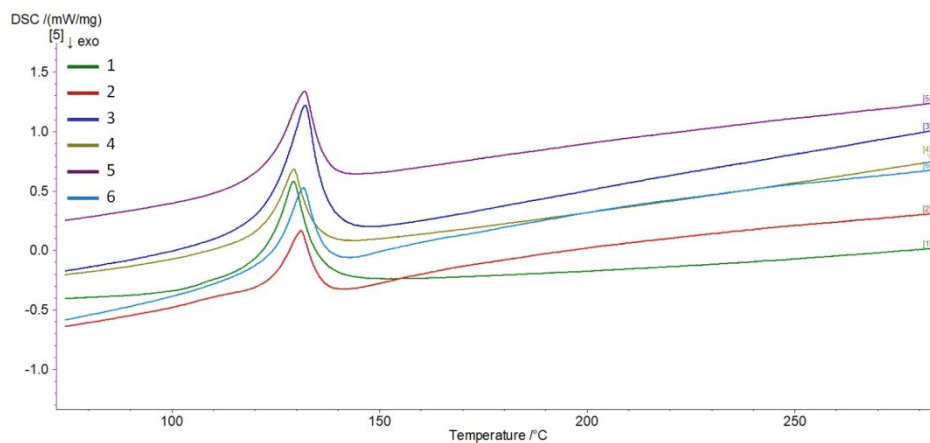
### 3.1. Analiza termiczna DSC

Z otrzymanych wyników można zaobserwować, że dodanie środka barwiącego do polimeru ma wpływ na temperaturę topnienia i entalpię topnienia materiału (HDPE). Badania pokazują, że zabarwienie polietylenu pigmentem o kolorze czarnym lub czerwonym w największym stopniu obniża temperaturę i entalpię topnienia.

Porównując próbki „bez” i „z” nadrukiem widoczne jest, że nadruk na próbkach który zajmował powyżej 35 % powierzchni próbki również ma znaczenie dla badanych parametrów fizycznych. Widoczne jest, że próbka bezbarwna z nadrukiem ma obniżoną temperaturę topnienia o 3,6 °C zaobserwowano również spadek entalpii topnienia dla próbek z nadrukiem powierzchniowym. Taki spadek mógł wystąpić z powodu koloru nadruku zastosowanego na próbkach. Próbki jasne miały nadruku koloru czerwonego lub czarnego, natomiast na próbkach ciemnych stosowany jest nadruk biały i żółty. Otrzymane wyniki temperatury topnienia przedstawiono na Rys.1 oraz Rys. 2.



Rys. 2. Temperatury topnienia próbek bez nadruku powierzchniowego o różnym kolorze pigmentu. (1) próbka bezbarwna, (2) próbka czarna, (3) próbka czerwona, (4) próbka żółta, (5) próbka zielona, (6) próbka niebieska



Rys. 3. Temperatury topnienia próbek z nadrukiem powierzchniowym powyżej 35 % oraz różnym dodatku kolorystycznym. (1) próbka bezbarwna, (2) próbka czarna, (3) próbka czerwona, (4) próbka żółta, (5) próbka zielona, (6) próbka niebieska

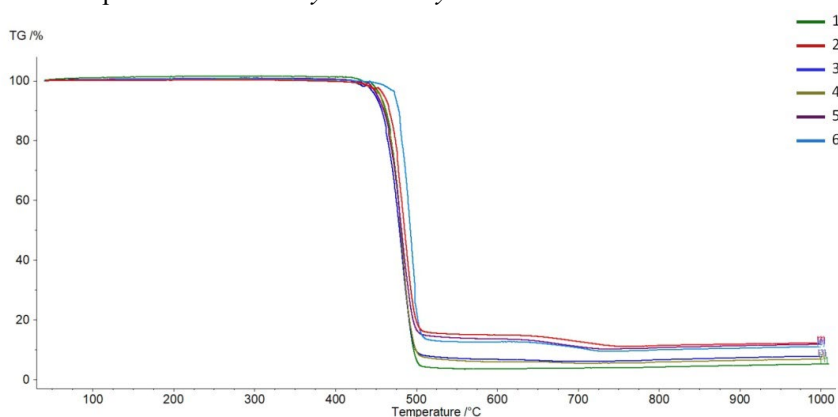
Zestawienie wyników wszystkich badań DSC przedstawiono w Tab.2.

Tab.2. Wyniki badania DSC próbek HDPE

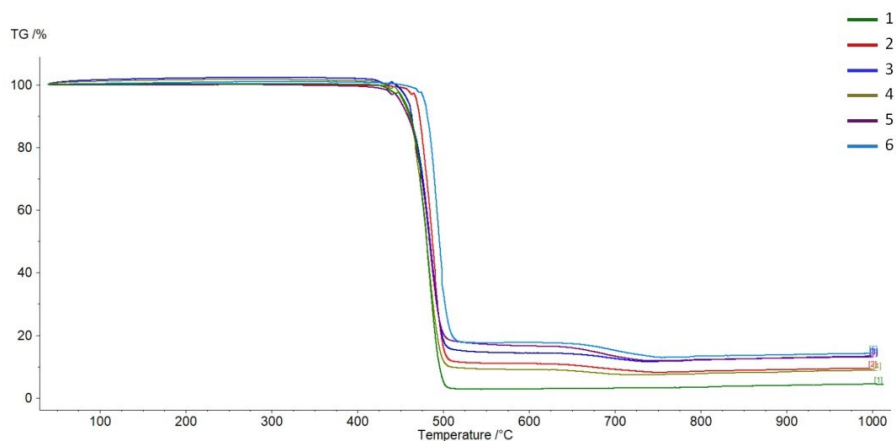
Kolor próbki	Nadruk [%]	T <sub>m</sub> [°C]	ΔH <sub>m</sub> [J/g]
Bezbarwny	0	132,7	109,6
	>35	129,1	66,5
Czarny	0	129,7	32,4
	>35	130,6	35,1
Czerwony	0	128,4	28,8
	>35	131,7	83,3
Żółty	0	131,8	85,6
	>35	132,3	71,6
Zielony	0	129,5	42,2
	>35	131,4	55,8
Niebieski	0	131,2	79,2
	>35	131,3	42,8

### 3.2. Analiza termiczna TG

Na podstawie wykonanych badań TG obserwowalny jest dla wszystkich próbek wzrost początku degradacji termicznej porównując ze sobą próbki z nadrukiem oraz bez zastosowanego nadruku. W przypadku spalania próbek widoczne jest, że dodanie barwnika jak i zastosowanie nadruku zmniejszyło utratę masy. Największą różnicę odnotowano dla próbki z dodatkiem barwnika zielonego dla której odnotowana utrata masy wynosiła zaledwie 60 %. Podczas badania TG nie zaobserwowano innych zmian stabilności termicznej próbek w związku z dodaniem barwnika lub zastosowaniem nadruku. Krzywe badania TG przedstawiono na Rys. 3 oraz Rys. 4



Rys. 4. Wykresy przedstawiający wynik TG próbek bez nadruku powierzchniowego o różnym kolorze pigmentu (1) próbka bezbarwna, (2) próbka czarna, (3) próbka czerwona, (4) próbka żółta, (5) próbka zielona, (6) próbka niebieska



Rys. 5. Wykresy przedstawiający wynik TG temperatury topnienia próbek z nadrukiem powierzchniowym powyżej 35 % oraz różnym dodatku kolorystycznym (1) próbka bezbarwna, (2) próbka czarna, (3) próbka czerwona, (4) próbka żółta, (5) próbka zielona, (6) próbka niebieska

Wyniki całościowe badania TG przedstawiono w Tab.3.

Tab.3. Wyniki analizy TG

Kolor próbki	Nadruk [%]	Początek pro-	Koniec pro-	Zmiana
Bezbarwny	0	440,4	550,0	95,9
	>35	445,5	550,0	94,7
Czarny	0	450,4	550,0	82,3
	>35	461,8	550,0	86,5
Czerwony	0	437,8	550,0	91,2
	>35	468,0	550,0	68,4
Żółty	0	446,5	550,0	90,9
	>35	457,8	550,0	82,5
Zielony	0	452,5	550,0	80,7
	>35	470,0	550,0	60,7
Niebieski	0	465,7	550,0	84,9
	>35	466,5	550,0	81,2

## PODSUMOWANIE

Stosowanie barwników do polietylenu wysokiej gęstości oraz stosowanie nadruku powierzchniowego na materiale ma wpływ na jego temperaturę topnienia, entalpię topnienia oraz energię potrzebną do całkowitej degradacji materiału. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wielokrotnego przetwarzania materiału podczas którego dodawanie barwnika wielokrotnie może sprzyjać utlenianiu się materiału i zastępowaniu grup  $\text{CH}_2$  innymi grupami funkcyjnymi takimi jak  $\text{OH}$ ,  $\text{C}=\text{O}$ , które są odpowiedzialne za degrada-

cję struktury materiału. Badania TG wykazały, że zarówno zastosowanie poziomu nadruku jak i dodanie barwnika nie ma znaczącego wpływu na stabilność termiczną materiałów. Jedyne zaobserwowane zmiany występowały w temperaturze powyżej 430 °C co nie ma znaczenia dla użytkowania HDPE w życiu codziennym (używanie tworzywa jako materiału na worki, butelki, opakowania na żywność), ale ma znaczenie podczas recyklingu materiału. Z otrzymanych wyników TG można wyciągnąć następujący wniosek, że dodawanie barwników oraz zwiększanie pola nadruku powierzchniowego utrudnia proces spalania i wymusza na nas zwiększenia energii do spalania zużytego materiału, a co z tym idzie zwiększa koszty recyklingu.

## LITERATURA

- [1] **Aji I. S., E. S. Zainudin, A. Khalina, S. M. Sapuan, M. D. Khairul**, *Thermal property determination of hybridized kenaf/PALF reinforced HDPE composite by thermogravimetric analysis*, doi.org/10.1007/s10973-011-1807-z
- [2] **Anu M.A. , S. Savitha Pillai**, *Structure, thermal, optical and dielectric properties of SnO<sub>2</sub> nanoparticles-filled HDPE polymer*, doi.org/10.1016/j.ssc.2021.114577.
- [3] **Ashraf, Abdullah. (2014)**. *Thermal Analysis of Polymers (LDPE, HDPE) by Differential Scanning Calorimetry Technique*, 10.13140/2.1.1558.0963
- [4] **Awad A.H., Ayman Aly Abd El-Wahab, Ramadan El-Gamsy, M. Hazem Abdel-latif**, *A study of some thermal and mechanical properties of HDPE blend with marble and granite dust*, doi.org/10.1016/j.asej.2018.08.005
- [5] **Coelho A. , L. Costa, M.M. Marques, I.M. Fonseca, M.A.N.D.A. Lemos, F. Lemos**, *The effect of ZSM-5 zeolite acidity on the catalytic degradation of high-density polyethylene using simultaneous DSC/TG analysis*, 10.1016/j.apcata.2011.11.010
- [6] **Han, B., Chen, Y., Wu, Y. et al.** *Co-pyrolysis behaviors and kinetics of plastics–biomass blends through thermogravimetric analysis*, doi.org/10.1007/s10973-013-3228-7
- [7] **Kumar, Sachin & Singh, Raghubansh Kumar. (2014)**. *Pyrolysis Kinetics of Waste High-density Polyethylene using Thermogravimetric Analysis*. International Journal of ChemTech Research. 6. 131-137
- [8] **Menczel J.D, Prime R.B**, *Thermal Analysis of Polymers: Fundamentals and Applications* (2008)
- [9] **Mingjie Feng, Yamin Pan, Mingtao Zhang, Qingsen Gao, Chuntai Liu, Changyu Shen, Xianhu Liu**, *Largely improved thermal conductivity of HDPE composites by building a 3D hybrid fillers network*, doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108666
- [10] **Sahar Khedri, Siamak Elyasi**, *Kinetic analysis for thermal cracking of HDPE: A new isoconversional approach*, *Polymer Degradation and Stability*, doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.08.002

- [11] **Souvik Roy, Gerardo Diaz, Roland Winston, James W. Palko**, *Packed bed thermal energy storage system using form-stable high-density polyethylene*, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119209
- [12] **Wang Huan , Zhenghua Rao, Liqing Li, Shengming Liao**, *A novel composite phase change material of high-density polyethylene/d-mannitol/expanded graphite for medium-temperature thermal energy storage: Characterization and thermal properties*, doi.org/10.1016/j.est.2022.106603

## BIBLIOGRAFIA

- [1] **Aji I. S., E. S. Zainudin, A. Khalina, S. M. Sapuan, M. D. Khairul**, *Thermal property determination of hybridized kenaf/PALF reinforced HDPE composite by thermogravimetric analysis*, doi.org/10.1007/s10973-011-1807-z
- [2] **Anu M.A. , S. Savitha Pillai**, *Structure, thermal, optical and dielectric properties of SnO<sub>2</sub> nanoparticles-filled HDPE polymer*, doi.org/10.1016/j.ssc.2021.114577.
- [3] **Ashraf, Abdullah. (2014)**. *Thermal Analysis of Polymers (LDPE, HDPE) by Differential Scanning Calorimetry Technique*, 10.13140/2.1.1558.0963
- [4] **Awad A.H., Ayman Aly Abd El-Wahab, Ramadan El-Gamsy, M. Hazem Abdel-latif**, *A study of some thermal and mechanical properties of HDPE blend with marble and granite dust*, doi.org/10.1016/j.asej.2018.08.005
- [5] **Bahga A., Madiseti V.K.**,(2012) *Analyzing massive machine maintenance data in a computing cloud*, IEEE Trans. Parallel. Distrib. Syst., 2012 Vol. 23(10), pp.1831–43
- [6] **Banaszak Z., Klos S., Mleczko J.**, (2020), *Zintegrowane systemy zarządzania* Wydawca: PWE
- [7] **Baptista M., Sankararaman S., de Medeiros I. P., Nascimento C. Jr., Prendinger H., Henriquesa E. M. P.**,(2018)*Forecasting fault events for predictive maintenance using data-driven techniques and ARMA modeling*, Computers & Industrial Engineering, 2018, Vol. 115, pp. 41–53
- [8] **Bartosiewicz S.** (2015). *Ocena gospodarki magazynowej branżowego centrum logistycznego z wykorzystaniem metody wskaźnikowej*, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* nr 9, s. 10-19
- [9] **Benardos P.G., G.C. Vosniakos**, (2003). *Predicting surface roughness in machining: a review*. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 43, pp. 833–844
- [10] **Bojar W., Knopik L., Rostek K.**, (2022), *Systemy wspomaganie decyzji*, Wydawca: PWE
- [11] **Bugdol M.**(2018) *System zarządzania jakością według normy ISO 9001:2015*, wyd. Helion
- [12] **Chen Y.**,(2017) *Integrated and intelligent manufacturing: perspectives and enablers*, *Engineering*, 2017, Vol. 3,pp. 588–595
- [13] **Chomuszko M.**, (2016), *System ERP - Dobre praktyki wdrożeń*, Wydawnictwo Naukowe PWN
- [14] **Coelho A. , L. Costa, M.M. Marques, I.M. Fonseca, M.A.N.D.A. Lemos, F. Lemos**, *The effect of ZSM-5 zeolite acidity on the catalytic degradation of high-density polyethylene using simultaneous DSC/TG analysis*, 10.1016/j.apcata.2011.11.010
- [15] **Dhananchezian M., R.M. Priyan, G. Rajashekar, S.S. Narayanan**, (2018). *Study The Effect Of Cryogenic Cooling On Machinability Characteristics During*



- Turning Duplex Stainless Steel 2205*. Materials Today: Proceedings, vol. 5, pp. 12062–12070
- [16] **Dindorf R.**: *Ocena możliwości oszczędzania energii w systemach sprężonego powietrza*. Energetykanr 1/2010
- [17] **Dindorf R Wos P.** *Measurement methods of compressed air leakage for pneumatic system*. HydraulPneum 2012; 3: 1–5
- [18] **Dindorf R. Wos P.**; *Test of measurement device for the estimation of leakage flow rate in pneumatic pipeline systems*, Sage Journals, 2018
- [19] **Dong L., Mingyue R., Guoying M.**,(2017)*Application of Internet of Things Technology on Predictive Maintenance System of Coal Equipment*, 13th Global Congress on Manufacturing and Management, GCMM, Procedia Engineering, 2017, Vol. 174, 885 – 889
- [20] **Drąg D.**,(2022) *Analiza jakości procesów utrzymania ruchu w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym*, Praca dyplomowa magisterska. Zielona Góra 2022
- [21] **Daroń M., Nowakowska A.** (2013). *Analiza gospodarki magazynowej przedsiębiorstw przetwórstwa przemysłowego w województwie śląskim*, Logistyka, 5: s. 30-34
- [22] **Dubey R., Gunasekaran A., Childe S.J., Wamba S.F., Papadopoulos T.**,(2016)*The impact of big data on world-class sustainable manufacturing*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016; Vol. 84, pp. 631–45
- [23] **Dudic S, Ignjatovic I, Šešljica D.**; et al. *Leakage quantification of compressed air using ultrasound and infrared thermography*. Measurement 2012; 45: 1689–1694
- [24] **Dudziński Z.** (2011). *Vademecum organizacji gospodarki magazynowej*. Wyd. Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk
- [25] **Eigenfeld K.**,(2000),*Metallurgische Beeinflussung übereutektischer Aluminium-Silizium-Legierungen für monolitische Zylinder-Kurbelgehäuse von Verbrennungsmotoren*. Z. f. Metallkunde. Nr 10 (t 91)
- [26] **Galińska B.** (2020). *Gospodarka magazynowa*. Wyd. PWN, Warszawa.
- [27] **Gawin B.**, (2002), *Systemy informatyczne w zarządzaniu procesami Workflow* Wydawca: Wydawnictwo Naukowe PWN
- [28] **Gillett J., Simpson P., Clarke S.**, (2015) *IMPLEMENTING ISO 9001: 2015: Thrill Your Customers and Transform Your Cost Base with the New Gold Standard for Business Management*
- [29] **Golemska E.** (2021). *Kompedium wiedzy o logistyce*, Wyd. PWN, Warszawa
- [30] **Grudzewski W.**, (2004), *Metody projektowania systemów zarządzania*. Difin
- [31] **Hamrol A.** (2017), *Zarządzanie i inżynieria jakości*, Wydawnictwo Naukowe PWN
- [32] **Hamrol A.**, (2018) *Strategie i praktyki sprawnego działania Lean Six Sigma i inne* Wydawnictwo Naukowe PWN
- [33] **Han, B., Chen, Y., Wu, Y. et al.** *Co-pyrolysis behaviors and kinetics of plastics–biomass blends through thermogravimetric analysis*, doi.org/10.1007/s10973-013-3228-7

- [34] **Hashemian, H. M., Bean, W. C.**,(2011)*State-of-the-art predictive maintenance techniques*, IEEE Transactions on Instrumentation and measurement, 2011, Vol. 60 (10), pp. 3480–3492
- [35] **Hashem I. A. T., Yaqoob I., Anuar N. B., Mokhtar S., Gani A., Khan S. U.**,(2015) *The rise of big data on cloud computing : review and open research issues*, Inf. Syst. 2015, Vol. 47, pp. 98–115
- [36] **Hummel T., Malorny C** (2011),*Total Quality Management: Tippsfür die Einführung*
- [37] **Januła E., Kasińska M., Kwiatkiewicz P., Laskowski M.** (2020). *Zapasy i magazynowanie*. Seria: Logistyka. Wyd. FundacjanarzecCzystejEnergii, As Pik.
- [38] **Janusz Jurek** (2016). *Wdrożenia informatycznych systemów zarządzania*, Wydawnictwo Naukowe PWN
- [39] **Junior C.A.O., A.E. Diniz, R. Bertazzoli**, (2014). *Correlating tool wear, surface roughness and corrosion resistance in the turning process of super duplex stainless steel*. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 36, pp. 775–785
- [40] **Klos S., Patalas-Maliszewska J.**,(2019) *The use of the simulation method in analysing the performance of a predictive maintenance system*, Distributed Computing and Artificial Intelligence, Springer Nature Switzerland, 2019 - Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 801 – pp. 42-49
- [41] **Koubek A.**,(2017) *DIN EN ISO 9001:2015 umsetzen: QM-System aufbauen und weiterentwickeln* Wydawca: Gerd F. Kamiske
- [42] **Królczyk G.M., R.W. Maruda, J.B. Królczyk, P. Nieslony, S. Wojciechowski, S. Legutko**, (2018), *Parametric and nonparametric description of the surface topography in the dry and MQCL cutting conditions*. Measurement, vol. 121, pp. 225–239
- [43] **Kumar, Sachin & Singh, Raghubansh Kumar.** (2014). *Pyrolysis Kinetics of Waste High-density Polyethylene using Thermogravimetric Analysis*. International Journal of ChemTech Research. 6. 131-137
- [44] **Kuryło P., Wysoczański A., Bonarski P.**, (2021) *Knowledge and information management System Safety: Human - Technical Facility - Environment*, Vol. 3
- [45] **Kusiak A.**,(2017) *‘Smart’ manufacturing must embracebig data*, Nature, 2017, Vol. 544(7648) pp. 23–5
- [46] **Lee, J., Jin, C., &Liu,Z.**,(2017) *Predictive big data analytics and cyber physical systems forTESsystems*,Advances in through-life engineering services, 2017, Cham: Springer pp. 97–112
- [47] **Lee, J., Jin, C., &Bagheri, B.**,(2017) *Cyber physical systems for predictive production systems*, *Production Engineering*,2017, Vol. 11(2), pp. 155–165
- [48] **Leksycki K., E. Feldshtein, G.M. Królczyk, S. Legutko**, (2020).*On the Chip Shaping and Surface Topography When Finish Cutting 17-4 PH Precipitation-Hardening Stainless Steel under Near-Dry Cutting Conditions*. Materials, vol. 13(9), 2188

- [49] **Leksycki K., E. Feldshtein**, (2020). *The Surface Texture of Ti6Al4V Titanium Alloy Under Wet and Dry Finish Turning Conditions*. In: Królczyk, G., Nieslony, P., Królczyk, J. (eds) *Industrial Measurements in Machining. IMM 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham
- [50] **Leksycki K., E. Feldshtein**, (2019). *The Geometric Surface Structure of X5CrNiCuNb16-4 Stainless Steel in Wet and Dry Finish Turning Condition*. In: Diering, M., Wieczorowski, M., Brown, C. (eds) *Advances in Manufacturing II. MANUFACTURING 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham
- [51] **Liu N., B. Liu, H. Jiang, S. Wu, C. Yang, Y. Chen**, (2021). *Study on vibration and surface roughness in MQCL turning of stainless steel*. *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 65, pp. 343–353
- [52] **Maruda R.W., G.M. Królczyk, P. Nieslony, J.B. Krolczyk, S. Legutko**, (2016). *Chip formation zone analysis during the turning of austenitic stainless steel 316L under MQCL cooling condition*. *Procedia Engineering*, vol. 149, pp. 297–304
- [53] **Maruda R.W., S. Wojciechowski, N. Szczotkarz, S. Legutko, M. Mia, M.K. Gupta, P. Nieslony, G.M. Królczyk**, (2021). *Metroloical analysis of surface quality aspects in minimum quantity cooling lubrication*. *Measurement*, vol. 171, 108847
- [54] **Menczel J.D, Prime R.B**, *Thermal Analysis of Polymers: Fundamentals and Applications* (2008)
- [55] **Michalski E.** (2022), Marketing Wydawca: Wydawnictwo Naukowe PWN
- [56] **Mingjie Feng, Yamin Pan, Mingtao Zhang, Qingsen Gao, Chuntai Liu, Changyu Shen, Xianhu Liu**, *Largely improved thermal conductivity of HDPE composites by building a 3D hybrid fillers network*, doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108666
- [57] **Mori M, Fujishima M.**(2013) *Remote Monitoring and Maintenance System for CNC Machine Tools*. *Procedia CIRP*; 2013, Vol. 12, 7-12
- [58] **Müller K.**,(1996). *Möglichkeiten der Gefügebeeinflussungeutektischer und naheutektischer Aluminium-Silizium-Gusslieferungenunter Berücksichtigung der mechanischen Eigenschaften*. *Fortschritt-Berichte. VDI-Verlag GmbH. Nr424*
- [59] **Müller K.**,(2000). *AlFeP-eine Alternative zu AlCuP bei der Feinung des primären-Siliziums in übereutektischen Aluminium-Silizium-Gusslieferungen*. *Proceedings of Polisch-German Symposium on „Science Research Education“*. Part 1
- [60] **Muthukannan R.** (2015) *Total Quality Management- Basics – Rajkumar Muthukannan*
- [61] **Niemczyk A.** (2015). *Zarządzanie magazynem*. Wyd. Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań
- [62] **North K., Kumta G.**, (2018), *Knowledge Management: Value Creation Through Organizational Learning*
- [63] **Oakland John S.** (2020) *Total Quality Management and Operational Excellence: Text with Cases*

- [64] **Pfitzinge E.**(2015) Projekt DIN EN ISO 9001:2015: Vorgehensmodell zur Implementierung eines Qualitätsmanagement systems wydawnictwo: DIN e.V
- [65] **Poniewierski Z.**, (1966). *Modyfikacja siluminów*. WNT. Warszawa
- [66] **Poniewierski Z.**, (1989). *Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów*. WNT. Warszawa
- [67] **Rahman S.S., M.Z.I. Ashraf, A.K.M.N. Amin, M.S. Bashar, M.F.K. Ashik, M. Kamruzzaman**, (2019). *Tuning nanofluids for improved lubrication performance in turning biomedical grade titanium alloy*. Journal of Cleaner Production, vol. 206, pp. 180–196
- [68] **Rutkowski Ireneusz P.**, (2021), Systemy informacyjne w przedsiębiorstwach Handlowych Wydawca: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne
- [69] **Rzewuski M.**, (2002), Ewolucja Systemów zarządzania - ERP II – Nowy stary gatunek. PC Kurier 20
- [70] **Sahar Khedri, Siamak Elyasi**, *Kinetic analysis for thermal cracking of HDPE: A new isoconversional approach*, *Polymer Degradation and Stability*, doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.08.002
- [71] **Sakib N., Wuest T.**, (2018) Challenges and opportunities of condition-based predictive maintenance: a review, *Procedia CIRP*, 2018, Vol. 78, pp. 267–272.
- [72] **Scott D.M.** (2022), Nowe zasady marketingu i PR. Jak poprzez social media, podcasty, content marketing, newsjacking oraz sztuczną inteligencję dotrzeć bezpośrednio do kupujących
- [73] **Selcuk, S.**,(2017)*Predictive maintenance, its implementation and latest trends*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2017, Vol. 231(9), pp. 1670–1679
- [74] **Sivaiah P., D. Czakradhar**, (2018). Effect of cryogenic coolant on turning performance characteristics during machining of 17-4 PH stainless steel: A comparison with MQL, wet, dry machining. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 21, pp. 86–96
- [75] **Statnikov R., A.Statnikov**, (2011). *The Parameter Space Investigation Method Toolkit*. Artech House
- [76] **Susto, G. A., Schirru, A., Pampuri, S., McLoone, S., Beghi, A.**,(2015)*Machine learning for predictive maintenance: a multiple classifier approach*, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2015, Vol. 11(3), pp. 812–820.
- [77] **Szelterski M. W.**; *Układy pneumatyczne w maszynach i urządzeniach*, KaBe, 2018.
- [78] **Szczepańska K.**, (2015), wydawnictwo: Zarządzanie Jakością. Koncepcje, Metody, Techniki, Narzędzia Politechnika Warszawska
- [79] **Szczepańska K.**(2022) Podstawy zarządzania jakością, wydawnictwo: Politechnika Warszawska
- [80] **Tao F., Qi Q., Liu A., Kusiak**(2018) A., Data-driven ‘Smart’ manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, 42018, Vol. 8, pp. 157–169
- [81] **Tenekedijev N., D. Argo, J. E. Gruzelski**, (1990). *Wirkung von Natrium, Strontium und Phosphor in übereutektischen Al-Si-Legierungen*. *Giesserei-Praxis*. Nr15/16

- [82] **Tkaczyk S.** (2012), *Strategia zarządzania jakością*, ISBN 9788376416694.
- [83] **Van Horenbeek A , Pintelon L.**(2013) *A dynamic predictive maintenance policy for complex multi-component systems*, 2013, ReliabEngSystSaf, Vol. 120, pp. 39–50
- [84] **Wachnik B.,** (2016), *Wdrażanie systemów informatycznych wspomagających zarządzanie* Wydawnictwo: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- [85] **Wang T, Qin H, Zhao L,** et al. *Localization of air leak based on fuzzy clustering of infrared image*. Trans Beijing Inst Technol 2013; 3: 1–8
- [86] **Wawak S.** (2007), *Podręcznik wdrażania ISO 9001:2000*, wyd. Helion
- [87] **Zarządzanie Operacyjne** (2006) Polish Open University, wyd. PRET S.A.
- [88] **Zestaw norm serii ISO 9000:2000, PN-EN ISO 9000:2001** (2001) *Systemy zarządzania jakością – Podstawy i terminologia*, wyd. PolskiKomitetNormalizacyjny.
- [89] **Żemigala M.** (2008), *Jakość w systemie zarządzania przedsiębiorstwem*, wyd. Placet, Warszawa 2008
- [90] [www.martechpneumatyka.pl/blog/budowa-silownika-pneumatycznego-martechpneumatyka-pl](http://www.martechpneumatyka.pl/blog/budowa-silownika-pneumatycznego-martechpneumatyka-pl) z dnia 10.04.2022 r.
- [91] [www.uesystems.com/pl/dobre-praktyki-w-zakresie-ultradźwiękowego-wykrywania-nieszczelności-sprezonego-powietrza/](http://www.uesystems.com/pl/dobre-praktyki-w-zakresie-ultradźwiękowego-wykrywania-nieszczelności-sprezonego-powietrza/) z dnia 4.04.2022 r.
- [92] [www.utrzymanieruchu.pl/korzysci-z-wykrywania-i-usuwania-nieszczelności-w-instalacjach-sprezonego-powietrza/](http://www.utrzymanieruchu.pl/korzysci-z-wykrywania-i-usuwania-nieszczelności-w-instalacjach-sprezonego-powietrza/) z dnia 8.04.2022 r.
- [93] [www.ekgroup.pl/blog/jak-wybrac-przewod-pneumatyczny/](http://www.ekgroup.pl/blog/jak-wybrac-przewod-pneumatyczny/) z dnia 5.04.2022 r.
- [94] [www.hafner.pl/podstawy-pneumatyki/przygotowanie-sprezonego-powietrza](http://www.hafner.pl/podstawy-pneumatyki/przygotowanie-sprezonego-powietrza) z dnia 5.04.2022 r.
- [95] [www.bazawiedzy.air-com.pl/badanie-szczelności-instalacji-sprezonego-powietrza/](http://www.bazawiedzy.air-com.pl/badanie-szczelności-instalacji-sprezonego-powietrza/) z dnia 5.04.2022 r.
- [96] [www.energetykacieplna.pl/artykuly/silownik-pneumatyczny-jak-dbac-o-jego-dluga-zywnosc--157706-6#\\_](http://www.energetykacieplna.pl/artykuly/silownik-pneumatyczny-jak-dbac-o-jego-dluga-zywnosc--157706-6#_) z dnia 7.04.2022 r.
- [97] <https://utrzymanieruchu.pl/predykcjne-utrzymanie-ruchu/> [26.11.2022]

## AUTORZY

**Białkowski Karol**, inż., absolwent studiów I stopnia, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, e-mail: 106373@stud.uz.zgora.pl

**Dunas Michał**, mgr inż. Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski – absolwent UZ

**Gawłowicz Piotr**, dr inż., prof. UZ, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski

**Jakowicz Dariusz**, Uniwersytet Zielonogórski

**Jakubowski Julian**, dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Zielonogórski, e-mail: j.jakubowski@iizp.uz.zgora.pl

**Jędrzejczyk Mateusz**, mgr inż., Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski – Absolwent UZ

**Kasperska Renata Jolanta**, dr inż., Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, ul. prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, e-mail: R.Kasperska@iim.uz.zgora.pl.

**Koszulański Konrad** Uniwersytet Zielonogórski

**Kuryło Piotr**, dr hab. inż., prof. UZ Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski

**Leksycki Kamil**, dr inż., Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski

**Modrzyk Tomasz**, inż – student studiów II stopnia, kierunek: Mechanika i Budowa Maszyn

**Pietrusiewicz Renata**, absolwentka studiów I stopnia, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski,

**Rębilas Magdalena**, Uniwersytet Zielonogórski,

**Romankiewicz Remigiusz**, dr inż., Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny Uniwersytety Zielonogórskiego

**Sąsiadek Michał**, dr hab. inż. Instytut Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Zielonogórski

**Schlafka Paweł**, dr inż. Instytut Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Zielonogórski

**Siwczyk Bartosz**, mgr inż., absolwent, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Zielonogórski

**Woźniak Waldemar**, dr hab. inż. Instytut Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Uniwersytet Zielonogórski

**Wysoczański Adam**, Technicol-Insulation, Dział Automatykacji Procesów Przemysłowych

**Zarzycki Mateusz**, student 3 roku studiów inżynierskich na kierunku MiBM



# IIM

Institut Inżynierii Mechanicznej NA KIERUNKACH:

PROWADZIMY STUDIA  
PIERWSZEGO I DRUGIEGO STOPNIA

## Mechanika i budowa maszyn



## Zarządzanie i inżynieria produkcji



## Bezpieczeństwo i higiena pracy



Więcej informacji na [www.iim.uz.zgora.pl](http://www.iim.uz.zgora.pl)