

ANALIZA NIEZAWODNOŚCI WYBRANYCH MASZYN W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM – STUDIUM PRZYPADKU

ZASADZIEN Michał

Politechnika Śląska, ul. Roosevelta 26, 41 –800 Zabrze, PL
E-mail: michal.zasadzien@polsl.pl

Streszczenie: Artykuł prezentuje wyniki analiz, jakich dokonano na podstawie danych zebranych w jednym z przedsiębiorstw produkujących rury preizolowane dla przemysłu ciepłowniczego. Dane pochodzące z systemu utrzymania ruchu zawierały m. in. długość czasu trwania awarii, czas usuwania awarii i rodzaj awarii dla najważniejszych urządzeń w przedsiębiorstwie jakimi są wytłaczarki rur z polietylenu. Przeprowadzona analiza pozwoliła na wyznaczenie wskaźników niezawodności. Otrzymane wielkości wraz z informacjami na temat rodzaju awarii umożliwiło wyciągnięcie wniosków zawierających zalecenia dla służb utrzymania ruchu w zakresie organizacji pracy techników, zarządzania zasobami ludzkimi i materialnymi oraz planowania przeglądów i remontów.

Słowa kluczowe: niezawodność, utrzymanie ruchu, organizacja, MTBF, awaryjność, awaria.

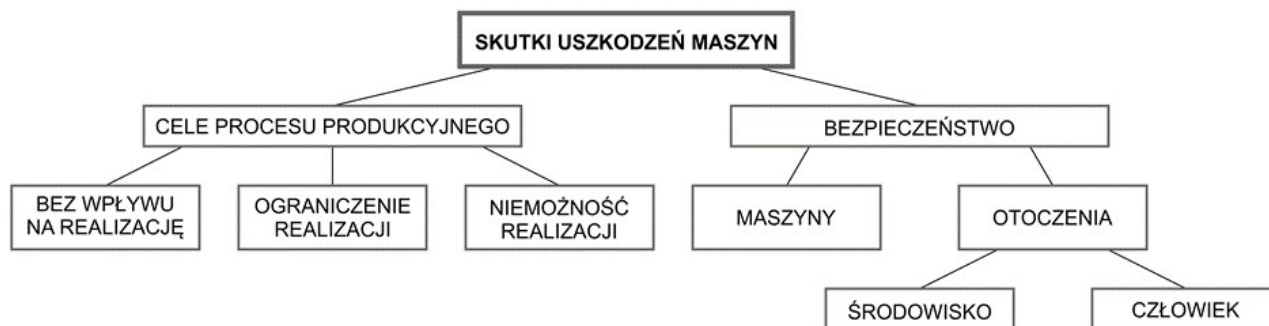
1 Wprowadzenie

Do zapewnienia całkowitej zdolności produkcyjnej firmy niezbędny jest bardzo dobrze zorganizowany i sprawnie zarządzany system utrzymania ruchu. Od sprawnie działającego parku maszynowego w dużej mierze zależeć będzie pozycja przedsiębiorstwa na rynku poprzez zapewnienie swoim klientom towarów i usług w żądanym terminie, wymaganej jakości i ilości. Niedotrzymywanie terminów dostaw czy spadek jakości wyrobów może doprowadzić do utraty zaufania klientów i w rezultacie spowoduje utratę rynków zbytu dla wyrobów przedsiębiorstwa [1]. Utrzymanie ruchu jest zazwyczaj jedną z największych pozycji w kosztach operacyjnych przedsiębiorstwa. Dlatego stale szuka się bardziej skutecznych metod pracy oraz zarządzania tym obszarem działalności firmy [2]. Wzrastający udział bezpośrednich kosztów działu utrzymania ruchu w zmiennych kosztach przedsiębiorstwa, oraz sytuacja konkurencyjna, w której znajdują się obecnie przedsiębiorstwa, zmuszają do ciągłego poszukiwania możliwości ich zmniejszenia [3]. Analiza różnych sposobów podejścia do utrzymania ruchu maszyn i urządzeń, dokonywana jest w ujęciu czasowym, przez co możliwe jest wyodrębnienie trzech okresów, które na drodze rozwoju przechodzą jeden w drugi [4]:

- 1) Reaktywne utrzymanie ruchu (reactive maintenance) – remonty po pojawieniu się uszkodzenia.

- 2) Preaktywne utrzymanie ruchu (preventive maintenance) – zapobiegawcze remonty.
- 3) Progностyczne (proaktywne) utrzymanie ruchu (predictive/proactive maintenance) – inspekcje zapobiegawcze, monitoring stanu technicznego, udział operatorów maszyn oraz urządzeń w utrzymaniu ruchu.

Pomimo zminimalizowania ryzyka nie można ustrzec się od awarii elementów parku maszynowego. W przypadku pojawienia się awarii służby odpowiedzialne za utrzymanie parku maszynowego w odpowiedniej kondycji powinny dążyć do jak najszybszej jej usunięcia skracając czas przestoju do minimum. Ze względu na skutki jakie wywołuje awaria w procesie produkcyjnym możemy dokonać podziału, który ilustruje rysunek 1.



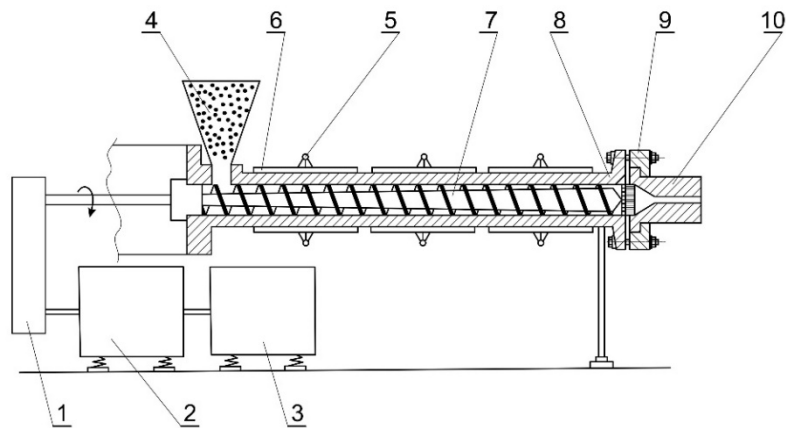
Rys. 1. Skutki wystąpienia awarii [5]

Pojawienie się awarii maszyny biorącej udział w procesie produkcyjnym może spowodować: niemożności kontynuacji produkcji, zmniejszenie wydajności – opóźnienia w produkcji, zagrożenie dla obsługujących ją ludzi lub niebezpieczeństwo dla środowiska naturalnego, zwiększa się ryzyko niedotrzymania terminów dostaw lub spadku jakości wyrobów [1]. Można także wyróżnić awarie nie mające wpływu na proces produkcyjny, jednak są to zjawiska rzadkie i dotyczą przede wszystkim:

- urządzeń wspomagających nie biorących bezpośrednio udziału w procesie produkcyjnym,
- urządzeń, które można zastąpić (przedsiębiorstwo dysponuje nimi w nadmiarze),
- urządzeń, które nie muszą brać udziału w danej chwili w produkcji (wyprodukowane przy ich pomocy półprodukty znajdują się w nadmiarze w magazynie).

Współczesne, nowoczesne koncepcje zarządzania utrzymaniem ruchu do wdrożenia wymagają poświęcenia znaczących zasobów. Nie każda organizacja może pozwolić sobie na takie poświęcenia, nie wszędzie również zainwestowanie nakłady mogą przynieść oczekiwane zyski. Zmiany można wprowadzać także w ograniczonym zakresie, w miejscach, gdzie jest to niezbędnie konieczne. Aby zidentyfikować te miejsca należy zwrócić uwagę przede wszystkim na rodzaje awarii i najważniejsze maszyny z punktu widzenia celów procesu produkcyjnego oraz bezpieczeństwa. Na podstawie analizy wskaźników ich awaryjności powinno dokonać się reorganizacji w zarządzaniu ich eksploatacją.

W niniejszym artykule przebadano wyłaczarki jednoślismakowe, używane do produkcji rur wykorzystywanych do montażu rurociągów ciepłowniczych. Przykładowe urządzenie tego typu zaprezentowano na rysunku 2.



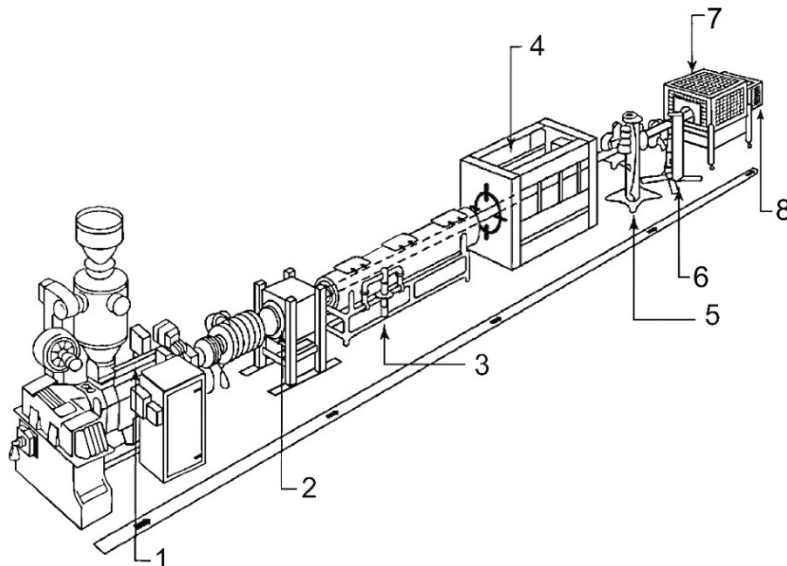
Rys. 2. Schemat ekstrudera [6, 7]

Podstawowymi elementami typowej wylączarki ślimakowej są (rys. 2):

- 1) silnik elektryczny napędzający ślimak ekstrudera,
- 2) układ przekładni służący do regulacji prędkości obrotowej ślimaka,
- 3) układ przeniesienia napędu,
- 4) zbiornik zasypowy na granulat polietylenu połączony rurą ssącą z silosem na granulat,
- 5) układ chłodzący cylinder ekstrudera,
- 6) układ grzania masy plastycznej w cylindrze,
- 7) ślimak podający masę do głowicy,
- 8) korpus ekstrudera,
- 9) montaż głowicy,
- 10) korpus głowicy,

Dodatkowo niezbędne elementy to układ sterowania parametrami ekstrudera oraz układ zasilania wraz z niezbędnymi przyłączami i czujnikami.

W oparciu o ich produkowanie buduje się linie technologiczne, które przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Schemat linii produkującej rury [8]

Podstawowym urządzeniem linii produkującej rury (rys. 3) jest ekstruder (1), w którym następuje uplastycznienie tworzywa sztucznego i wytłoczenie rury. Następnie plastyczna jeszcze

rura trafia do, umieszczonego bezpośrednio za ekstruderem, kalibratora próżniowego (2), w którym ustalany jest ostateczny wymiar i kształt wyrobu. Za kalibratorem znajduje się wanna chłodząca (3), gdzie wymiary i kształt rury są utrwalane. W wannie chłodzącej wyrób porusza się dzięki umieszczonym tam rolkom. Następnym elementem linii jest odciąg gąsiennicowy (4), który zapewnia ruch rury przez linię produkcyjną. Za odciągami znajduje się znakownica rur (5), dzięki której na wyrób nanoszone są oznaczenia w postaci nadruku. Za znakownicą umieszczone jest urządzenie do koronowania plazmowego, czyli aktywator powierzchni wewnętrznej rury. Na końcu linii umieszczona jest piła planetarna (6) przycinająca rury na zadaną długość oraz wyrzutnik (7) umieszczający gotowe wyroby na wózku transportowym.

Jak widać z załączonego schematu (rys. 3) urządzenia w linii ekstrudera umieszczone są w układzie szeregowym, co powoduje, że awaria jednego z elementów linii uniemożliwia realizację procesu produkcyjnego.

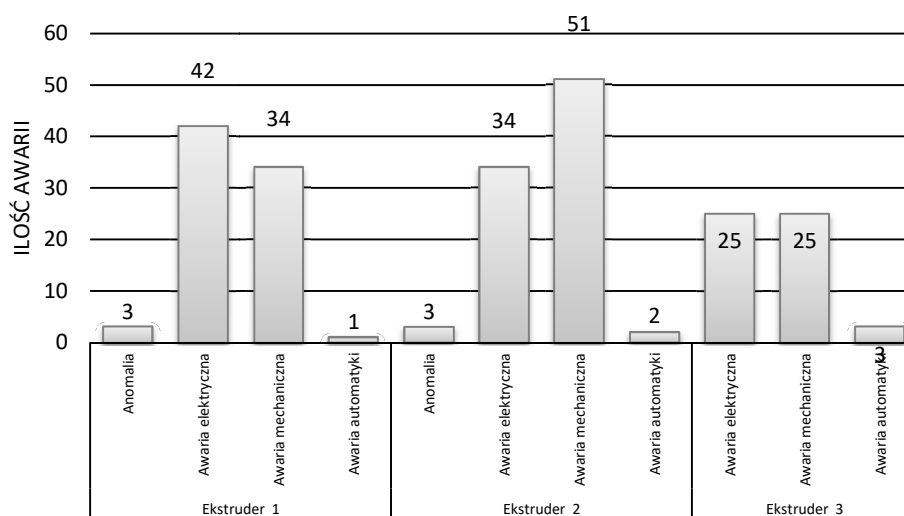
2 Wyniki badań

Dane dotyczące awaryjności maszyn wygenerowane zostały z systemu wspomagającego zarządzanie utrzymaniem ruchu, a ich obróbka dokonana została w oparciu o arkusz kalkulacyjny. Dane pochodziły z okresu 30 miesięcy i obejmowały informacje na temat: czasu przestoju maszyny, czasu pracy utrzymania ruchu oraz opis awarii dokonany przez osobę zgłaszającą.

Wstępna analiza otrzymanych wyników miała na celu identyfikację poszczególnych awarii (wg opisów zgłoszeń) oraz przypisanie jej do jednej z grup, do następujących grup:

- awaria mechaniczna: uszkodzenie mechaniczne części lub zespołu części w wyniku wyeksploatowania lub nieprawidłowego użytkowania, do usunięcia którego niezbędny jest mechanik;
- awaria elektryczna: uszkodzenie elektryczne (sterowania lub zasilania), do usunięcia którego niezbędny jest elektryk z odpowiednimi uprawnieniami;
- awaria automatyki: uszkodzenie sterowania maszyny, do usunięcia którego niezbędna jest interwencja automatyki;
- anomalia: nieprawidłowość w pracy maszyny najczęściej wynikające z nieprawidłowej eksploatacji bądź błędu ludzkiego niewymagające interwencji specjalisty (np. nieumyślne zatrzymanie maszyny).

Po wstępnej analizie otrzymano wyniki zaprezentowane na rysunku 4.



Rys. 4. Ilość awarii ze względu na rodzaj i maszynę

Zaobserwowano, że bez względu na rodzaj maszyny najwięcej awarii to awarie mechaniczne i elektryczne, które stanowią prawie 95% wszystkich zidentyfikowanych awarii. W związku z powyższym przy dalszej analizie skupiono się na tych dwóch rodzajach awarii.

Następnym krokiem było przeanalizowanie średniego czasu pomiędzy awariami MTBF dla poszczególnych rodzajów maszyn. Wskaźniki MTBF dla poszczególnych maszyn i rodzajów awarii obliczono ze wzoru:

$$MTBF_m; MTBF_e = \frac{\text{czas pracy} + \text{czas trwania awarii}}{n}$$

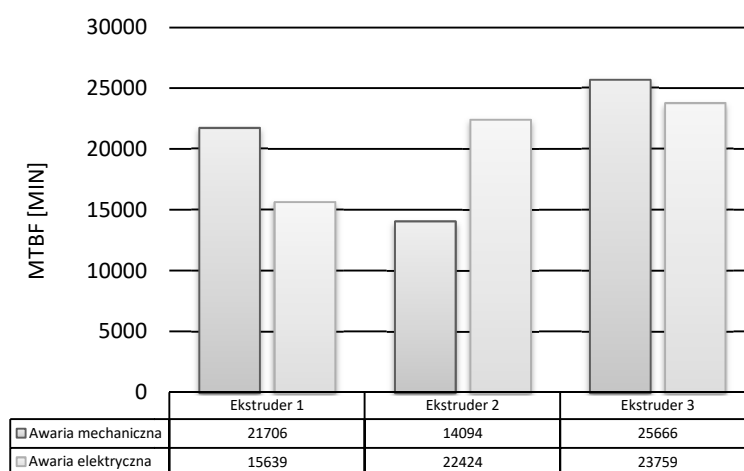
gdzie:

MTBF_m – średni czas pomiędzy awariami mechanicznymi,

MTBF_e – średni czas pomiędzy awariami elektrycznymi,

n – ilość awarii.

Wyniki obliczeń prezentuje rysunek 5.



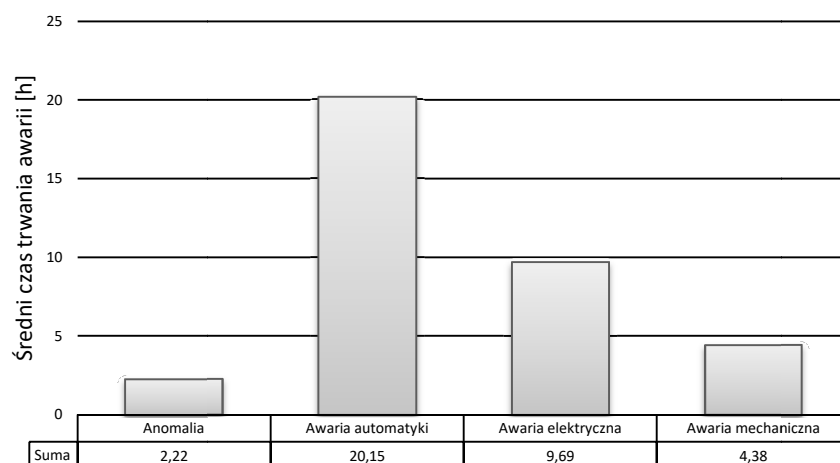
Rys. 5. MTBF dla rodzajów awarii i maszyn

Na podstawie danych wynikających z obliczeń wskaźników MTBF dla rodzajów awarii obliczono wartości średnie dla poszczególnych maszyn (MTBF_s). Ponieważ rodzaje awarii należy traktować, jako układ szeregowy wzór przyjmuje następującą postać:

$$MTBF_s = \left(\frac{1}{MTBF_m} + \frac{1}{MTBF_e} \right)^{-1}$$

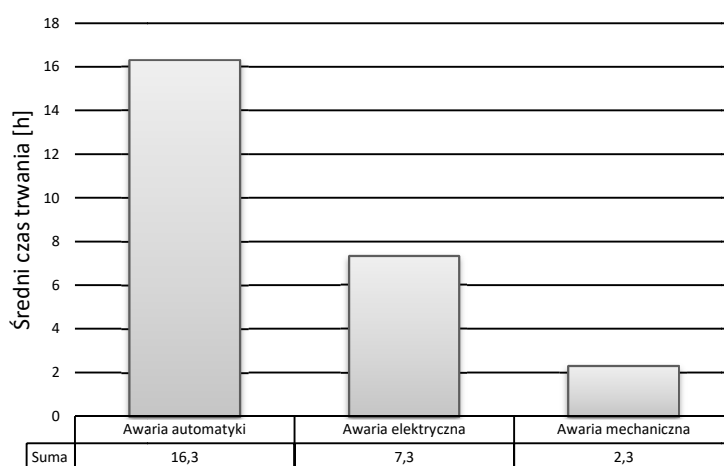
MTBF_s dla Extrudera 1 wyniósł 9090 minut, dla Extrudera 2 – 8654 minut, a dla Extrudera 3 – 12338 minut. W przypadku Extrudera 1 to awarie elektryczne są decydujące o niskiej wartości wskaźnika MTBF, w przypadku Extrudera 2 – mechaniczne, a w Extruderze 3 wyniki są porównywalne, jednak jest on najmniej awaryjny ze wszystkich ekstruderów.

Na wskaźnik MTBF składa się czas pracy oraz czas postoju, ten zaś zależy od czasu usuwania awarii i czasu oczekiwania na części zamienne. Wyniki dotyczące składowych średniego czasu postoju przedstawiają rysunki 6, 7 i 8.



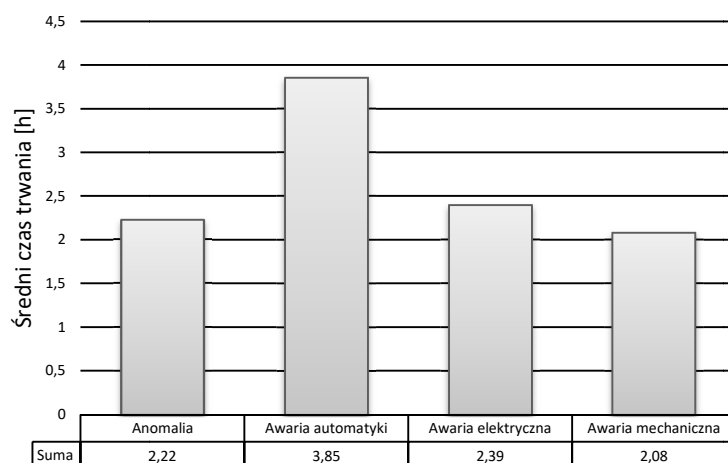
Rys. 6. Czas postoju maszyn

Najdłuższy czas postoju obserwuje się w przypadku awarii automatyki i wynosi on średnio 20,2 godziny, co jest wartością ponad dwukrotnie większą od następnych w kolejności awarii elektrycznych – 9,6 godziny. Najkrótsze przestoje powodują anomalie – średnio 2,2 godziny oraz awarie mechaniczne – 4,4 godziny.



Rys. 7. Czas oczekiwania na części zamienne

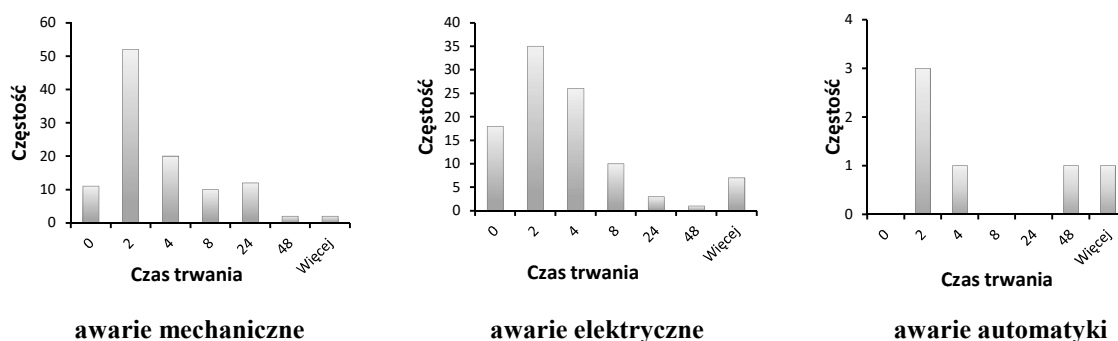
Jak pokazuje rysunek 7 większą część czasu najdłuższych przestojów związanych z awariami automatyki i elektrycznymi pochłania oczekiwanie na części zamienne. Oczekiwanie to stanowi prawie 80% całego czasu przestoju, w przeciwieństwie do awarii mechanicznych, dla których czas oczekiwania na części wynosi ok 50% czasu przestoju.



Rys. 8. Średni czas pracy przy usuwaniu awarii

Wyniki dotyczące czasu pracy służb utrzymania ruchu zawarte na rysunku 6 pokazują, że średni czas usuwania awarii mechanicznych, elektrycznych oraz anomalii nie różni się od siebie i wynosi niewiele ponad 2,2 godziny, z wyjątkiem awarii automatyki gdzie usunięcie awarii zabiera średnio prawie 4 godziny.

Jak często występują awarie w zależności od długości ich trwania pokazują histogramy zamieszczone na rysunku 9.



Rys. 9. Histogramy czasu trwania awarii

Zdecydowanie największą grupę wśród najliczniejszych awarii mechanicznych i elektrycznych zajmują awarie trwające nie dłużej niż 2 – 4 godzin – awarie trwające dłużej występują sporadycznie. Wyjątek stanowią awarie automatyki, które występują sporadycznie, ale trwają zdecydowanie dłużej.

Wnioski

Z przeprowadzonej analizy można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Najczęściej występującymi awariami są awarie mechaniczne oraz elektryczne – udział awarii automatyki jest znikomy.
2. Najbardziej niezawodnym urządzeniem jest Extruder 3 – awaryjność pozostałych dwóch jest porównywalna.
3. Najdłuższy czas postoju spowodowany jest awariami automatyki – na drugim miejscu znajdują się liczne awarie elektryczne.

4. Długi czas przestojów spowodowany jest przede wszystkim oczekiwaniem na części zamienne.
5. Najliczniejszymi awariami są awarie krótkie trwające do 2 godzin.
6. Z powyższych wniosków możliwe jest sformułowanie następujących zaleceń:
 - w pierwszej kolejności należy doprowadzić do poprawy dostępności części związanych układami elektrycznymi poprzez zwiększenie dostępności części w magazynie oraz wypracowanie dobrych kontaktów z dostawcami,
 - ze względu na rzadkość występowania awarii automatyki oraz wysokie koszty magazynowania części należy wypracować bardzo dobre relacje z dostawcami układów automatyki oraz wprowadzić działania predyktywne/proaktywne,
 - aby ograniczyć do minimum czas usuwania drobnych awarii mechanicznych oraz elektrycznych należy zwiększyć dostępność najczęściej wykorzystywanych części w podręcznych magazynkach w hali produkcyjnej oraz wprowadzić innowacyjne technologie wspomagające proces naprawy (karty pracy, augmented reality czy virtual reality),
 - zminimalizować ilość występujących anomalii poprzez szkolenia i informacje utrwalające dobre praktyki w zakresie obsługi maszyn,
 - ze względu na większą awaryjność Ekstruderów 1 i 2 należy zwiększyć monitoring stanu technicznego tych urządzeń oraz zaangażować operatorów tych maszyn w ten proces,
 - ze względu na bardzo dużą ilość awarii mechanicznych i elektrycznych zwiększyć zatrudnienie w służbach utrzymania ruchu.

Wyniki analizy awaryjności parku maszynowego pozwala na znalezienie słabych punktów w procesie utrzymania ruchu i umożliwia opracowanie działań doskonalących w obszarach organizacji pracy oraz gospodarki magazynowej, co przyczynia się do skrócenia czasu przestoi spowodowanych awariami.

Literatura

- [1] W. Mączyński and T. Nahirny. „Efektywność służb utrzymania ruchu jako składowa efektywności przedsiębiorstwa” in *Innowacyjność procesów i produktów*. R. Knosala, Ed. Opole: Oficyna wydawnicza PTZP, 2012, pp. 203–213.
- [2] M. Jasiulewicz–Kaczmarek. „Współczesne koncepcje utrzymania ruchu infrastruktury technologicznej przedsiębiorstwa” in *Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi*. Poznań: Instytut Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej, 2005, pp. 127–134.
- [3] S. Legutko. *Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń*. Warszawa: Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, 2004
- [4] S. Legutko. „Development trends in machines operation maintenance”. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 2, pp. 8-16, 2009.
- [5] S. Wyciszczok. *Maszyny i Urządzenia Górnicze. Część druga*. Warszawa: Wydawnictwo REA 2011.
- [6] Z. Tadmor and C.G. Gogos. *Principles of Polymer Processing*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.
- [7] R. Sikora, Ed. *Przetwórstwo tworzyw polimerowych*. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2006.

[8] Qenos Technical Guides. Pipe and Tubing Extrusion, Qenos Pty Ltd 2015.

ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF SELECTED MACHINES IN A PRODUCTION ENTERPRISE – CASE STUDY

Abstract: The article presents the results of analyses which were conducted on the basis of data collected in one of production companies manufacturing pre-insulated pipes for the heat engineering industry. The data from the facility maintenance system included among others duration of failures, duration of breakdown removal and the type of failures for the major machines in the enterprise, i.e. polyethylene pipes extruders. The conducted analysis allowed determining the reliability indices. The obtained values and information on the type of breakdowns allowed developing recommendations for facility maintenance service teams regarding the organisation of technicians' work, management of human and material resources as well as the planning of inspections and overhauls.

Keywords: reliability, facility maintenance, MTBF (Mean Time Between Failures), failure rate, break down.