

Utrzymanie ruchu oraz eksploatacja maszyn w przemyśle 4.0

Data wpłynięcia do Redakcji: 05/2023
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 05/2023

2023, volume 12, issue 1, pp. 137-151

Tomasz Korbiel
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie, Poland

Stefan Czerwiński

Jan Kania
Politechnika Śląska, Poland



Streszczenie: W artykule omówiono wiele aspektów związanych z Przemysłem 4.0. W wstępie przytoczono definicję Przemysłu 4.0, a następnie poruszono tematy związane z inżynierią utrzymania ruchu i eksploatacją maszyn, diagnozowaniem maszyn z wykorzystaniem AI, wykorzystaniem AI do utrzymania ruchu zakładu przemysłowego, układami sensorycznymi, przetwarzaniem danych pomiarowych w chmurze, redystrybucją informacji krytycznych oraz integracją systemów. Przeanalizowano także wymierne efekty Przemysłu 4.0, takie jak poprawa wydajności produkcji, skrócenie czasu przestoju maszyn, redukcja kosztów utrzymania ruchu, zwiększenie bezpieczeństwa pracowników oraz optymalizacja procesów logistycznych. Wszystkie te elementy wskazują na to, jak wiele korzyści przynosi Przemysł 4.0 dla przedsiębiorstw przemysłowych. Jest to jednak proces wymagający dużego nakładu pracy i inwestycji w nowe technologie, a także odpowiedniego przeszkolenia pracowników, którzy będą obsługiwać te nowoczesne urządzenia.

Słowa kluczowe: Utrzymanie ruchu, eksploatacja maszyn, Przemysł 4.0

WPROWADZENIE

Przemysł 4.0 to koncepcja nowoczesnego przemysłu, który wykorzystuje zaawansowane technologie cyfrowe, takie jak Internet rzeczy (IoT), sztuczna inteligencja (AI), robotyka czy analiza danych w celu zwiększenia efektywności produkcji, poprawy jakości produktów, zmniejszenia kosztów oraz zoptymalizowania procesów produkcyjnych [1]. Przemysł 4.0 obejmuje wiele dziedzin, takich jak przemysł ciężki, motoryzacyjny, elektrotechniczny, chemiczny, farmaceutyczny, energetyczny, wydobywczy i wiele innych [2]. W ramach tej koncepcji wytwarzane są innowacyjne produkty i usługi, takie jak inteligentne systemy transportowe, produkty interaktywne, zaawansowane technologicznie maszyny czy narzędzia utrzymania ruchu. Celem Przemysłu 4.0 jest stworzenie elastycznej i zintegrowanej sieci produkcji, która jest w stanie szybko reagować na zmiany w wymaganiach rynkowych i w sposób zrównoważony wpływa na środowisko naturalne [3, 4, 5].

Utrzymanie ruchu zakładów przemysłowych to zespół działań, które są podejmowane w celu zapewnienia ciągłej i niezawodnej pracy urządzeń oraz

maszyn w zakładzie przemysłowym. W ramach utrzymania ruchu przeprowadza się regularne przeglądy, konserwację i naprawy urządzeń oraz maszyn, które są wykorzystywane w procesie produkcyjnym. Dzięki tym działaniom minimalizuje się ryzyko awarii, a w konsekwencji przerw w pracy, co ma bezpośredni wpływ na efektywność procesu produkcyjnego i wyniki finansowe firmy [6, 7].

Współcześnie utrzymanie ruchu zakładów przemysłowych opiera się na wykorzystaniu nowoczesnych technologii, takich jak systemy monitorowania stanu urządzeń, analiza danych, sztuczna inteligencja czy Internet rzeczy, które umożliwiają automatyzację i optymalizację procesów naprawczych oraz planowanie przeglądów. Dzięki temu możliwe jest zwiększenie niezawodności urządzeń, zmniejszenie kosztów związanych z utrzymaniem ruchu oraz poprawa efektywności i konkurencyjności zakładu przemysłowego [8].

Inżynieria utrzymania ruchu oraz eksploatacji maszyn to dziedziny, które odgrywają kluczową rolę w Przemysle 4.0. W dobie cyfrowej rewolucji przemysłowej, w której następuje zwiększenie automatyzacji i digitalizacji procesów produkcyjnych, wiedza i umiejętności inżynierów utrzymania ruchu i eksploatacji maszyn stanowią niezbędne narzędzia do zapewnienia niezawodności oraz ciągłości pracy maszyn i urządzeń [9].

Wraz z rozwojem technologii, narzędzia, które są wykorzystywane w utrzymaniu ruchu oraz eksploatacji maszyn, ulegają ciągłej ewolucji. Obecnie wykorzystuje się zaawansowane systemy monitorowania stanu urządzeń, które umożliwiają nie tylko wykrywanie awarii, ale także przewidywanie ich wystąpienia. Dzięki temu można planować przeglądy i naprawy maszyn w sposób optymalny, minimalizując tym samym koszty i unikając przerw w produkcji.

Przykładem nowoczesnych rozwiązań wykorzystywanych w utrzymaniu ruchu oraz eksploatacji maszyn w Przemysle 4.0 jest Internet rzeczy (IoT). Dzięki połączeniu urządzeń i maszyn w sieci, możliwe jest zbieranie i analiza danych, które umożliwiają wdrożenie zaawansowanych strategii utrzymania ruchu i eksploatacji maszyn, takich jak tzw. predykcyjne utrzymanie ruchu. Polega ono na wykorzystaniu danych i algorytmów sztucznej inteligencji do przewidywania awarii oraz optymalizacji harmonogramów przeglądów i napraw [10, 11].

W Przemysle 4.0 inżynierowie utrzymania ruchu oraz eksploatacji maszyn odgrywają także kluczową rolę w procesie wdrażania innowacyjnych technologii, takich jak robotyzacja czy automatyzacja procesów produkcyjnych. Wymaga to od nich nie tylko znajomości zagadnień związanych z utrzymaniem ruchu i eksploatacją maszyn, ale także zdolności do projektowania i implementacji rozwiązań technicznych [12, 13, 14].

Wraz z postępowaniem technologicznym, inżynierowie utrzymania ruchu oraz eksploatacji maszyn muszą nieustannie rozwijać swoje kompetencje i umiejętności, by sprostać wymaganiom nowoczesnego przemysłu.

SZTUCZNA INTELIGENCJA Z SYSTEMACH TECHNICZNYCH

Diagnozowanie maszyn z wykorzystaniem sztucznej inteligencji (AI) polega na wykorzystaniu algorytmów uczących maszyny do analizy danych dotyczących pracy urządzenia. Dzięki temu, można na bieżąco monitorować stan maszyny i przewidywać awarie, co pozwala na szybką interwencję i minimalizację kosztów naprawy [15].

W procesie diagnozowania maszyn z wykorzystaniem AI, najpierw należy zgromadzić duże ilości danych na temat pracy maszyny, takie jak dane z czujników, systemów kontroli oraz dane z poprzednich napraw. Te dane są następnie przetwarzane przez algorytmy uczące maszyny, które analizują je i wyciągają wnioski dotyczące stanu maszyny. Na podstawie tych danych, algorytmy są w stanie określić, czy maszyna działa prawidłowo, czy występują jakieś nieprawidłowości w jej pracy [14, 16].

Jedną z najważniejszych zalet diagnozowania maszyn z wykorzystaniem AI jest fakt, że systemy te są w stanie przetwarzać ogromne ilości danych w czasie rzeczywistym, co pozwala na szybką reakcję w przypadku wystąpienia awarii. Systemy te są również w stanie przewidywać awarie, co pozwala na planowanie napraw i minimalizację kosztów związanych z przerwą w pracy maszyny.

W praktyce, diagnozowanie maszyn z wykorzystaniem AI wykorzystywane jest w różnych branżach przemysłowych, takich jak produkcja, transport, przemysł wydobywczy czy energetyka. Dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji, firmy są w stanie poprawić efektywność pracy maszyn oraz zminimalizować koszty związane z naprawami i przerwami w produkcji. W efekcie, diagnozowanie maszyn z wykorzystaniem AI staje się coraz bardziej popularne i stanowi kluczowy element Przemysłu 4.0.

Wykorzystanie sztucznej inteligencji (AI) do utrzymania ruchu zakładu przemysłowego czy wydobywczego może przyczynić się do zwiększenia efektywności procesów produkcyjnych oraz minimalizacji kosztów związanych z naprawami i przestojami w pracy maszyn [17, 18, 19].

Jednym z najważniejszych zastosowań AI w utrzymaniu ruchu zakładu jest wykorzystanie systemów monitorujących pracę maszyn i urządzeń. Dzięki temu, można na bieżąco zbierać informacje o ich pracy i analizować je przy użyciu algorytmów sztucznej inteligencji. Systemy te mogą wykrywać nieprawidłowości w pracy maszyn, np. przeciążenia, spadki wydajności czy problemy z działaniem układów chłodzenia. Na tej podstawie, można podejmować odpowiednie działania, np. planować konserwację maszyn, wymianę podzespołów czy przeprowadzać naprawy.

Innym zastosowaniem AI w utrzymaniu ruchu zakładu jest wykorzystanie technologii predykcyjnej. Polega ona na przetwarzaniu dużej ilości danych dotyczących pracy maszyn oraz analizowaniu ich w celu przewidywania awarii. Dzięki temu, można planować konserwację maszyn i przeprowadzać naprawy wtedy, gdy są one najbardziej potrzebne, minimalizując tym samym koszty napraw i przestojów w pracy maszyn.

AI może również być wykorzystane do optymalizacji procesów produkcyjnych. Systemy sztucznej inteligencji mogą analizować dane dotyczące procesów produkcyjnych i na ich podstawie proponować zmiany w sposobie ich przeprowadzania. Na przykład, można dostosować parametry pracy maszyn w celu zwiększenia ich wydajności i minimalizacji kosztów energii [20].

Oprócz tego, AI może być wykorzystywane do zarządzania zapasami części zamiennych oraz materiałów eksploatacyjnych. Systemy sztucznej inteligencji mogą na bieżąco monitorować stan zapasów i na ich podstawie przewidywać, jakie części i materiały będą potrzebne w najbliższej przyszłości. Dzięki temu, można uniknąć niedoborów i przestoju w pracy maszyn.

Podsumowując, wykorzystanie sztucznej inteligencji w utrzymaniu ruchu zakładu przemysłowego pozwala na poprawę efektywności procesów produkcyjnych oraz minimalizację kosztów związanych z naprawami i przestoje w pracy maszyn. Systemy sztucznej inteligencji pozwalają na monitorowanie pracy maszyn, przewidywanie awarii, optymalizację procesów produkcyjnych oraz zarządzanie zapasami części i materiałów eksploatacyjnych [21, 22].

Wykorzystanie sztucznej inteligencji w przemyśle jest ogromne, w szczególności:

- Monitorowanie maszyn i systemów: Systemy monitorujące pracę maszyn wykorzystujące AI pozwalają na śledzenie parametrów pracy maszyn, takich jak temperatura, ciśnienie i drgania, aby wykrywać wczesne oznaki potencjalnych awarii i informować o nich przed czasem. Dzięki temu można uniknąć nieplanowanych przestojów w pracy maszyn i zminimalizować koszty napraw [23, 24, 25, 26].
- Predykcyjne utrzymanie ruchu: AI może być wykorzystana do przetwarzania dużych ilości danych dotyczących pracy maszyn, na podstawie których tworzone są modele predykcyjne. Dzięki nim można przewidywać momenty awarii oraz planować konserwację i naprawy wtedy, gdy są one najbardziej potrzebne, a nie na podstawie wcześniej ustalonych harmonogramów [27, 28, 29].
- Automatyzacja procesów produkcyjnych: AI pozwala na automatyzację i optymalizację procesów produkcyjnych, co prowadzi do zwiększenia wydajności i obniżenia kosztów produkcji. Przykłady zastosowania AI w automatyzacji procesów produkcyjnych to systemy wizyjne do kontroli jakości, roboty współpracujące z pracownikami oraz systemy zarządzania produkcją [30].
- Inteligentne magazyny: AI może być również wykorzystana do zarządzania magazynami. Systemy wykorzystujące AI są w stanie dokonywać automatycznego zarządzania zapasami, śledzić ruch towarów i dostosowywać stan magazynu do aktualnych potrzeb produkcji [8, 31].
- Analiza big data: AI pozwala na analizę dużych zbiorów danych, co umożliwia lepsze zrozumienie procesów produkcyjnych i lepsze planowanie produkcji. Analiza big data może być również wykorzystana do przewidywania trendów

na rynku i zapewnienia szybszej reakcji na zmieniające się warunki [32, 33, 34].

- Chatboty i asystenci wirtualni: AI może być wykorzystana do stworzenia chatbotów i asystentów wirtualnych, które mogą pomagać pracownikom w przemyśle w zakresie planowania produkcji, monitorowania pracy maszyn czy przetwarzania danych.

To tylko kilka przykładów zastosowania. Zastosowanie sztucznej inteligencji w Przemysle 4.0 ma potencjał do przyspieszenia i zwiększenia efektywności produkcji, a tym samym przyczynić się do wzrostu konkurencyjności firm i przemysłu jako całości.

UKŁADY POMIAROWE

Układy sensoryczne to kluczowy element w Przemysle 4.0, który umożliwia monitorowanie i kontrolowanie różnych parametrów procesów przemysłowych. Układy sensoryczne są często wykorzystywane do zbierania danych, które następnie są przetwarzane za pomocą sztucznej inteligencji (AI) w celu poprawy wydajności, jakości i bezpieczeństwa procesów przemysłowych. Oto kilka przykładów zastosowania układów sensorycznych w Przemysle 4.0 [1, 27, 35, 36, 37, 38]:

- Monitorowanie jakości produktów: Układy sensoryczne umożliwiają ciągłe monitorowanie jakości produktów w trakcie produkcji. Mogą one być wykorzystywane do pomiaru różnych parametrów, takich jak wymiary, kolor, smak, zapach czy waga. Dane te są następnie przetwarzane za pomocą AI, aby zapewnić, że produkty spełniają określone standardy jakości.
- Monitorowanie stanu maszyn: Układy sensoryczne umożliwiają ciągłe monitorowanie stanu maszyn, takich jak temperatura, ciśnienie, drgania czy poziom zużycia. Dzięki temu można wcześniej wykrywać potencjalne awarie i planować konserwację lub naprawy, zanim dojdzie do przerw w pracy maszyn.
- Monitorowanie środowiska pracy: Układy sensoryczne umożliwiają ciągłe monitorowanie warunków środowiska pracy, takich jak poziom hałasu, wilgotność czy temperatura. Dzięki temu można zapewnić bezpieczne i komfortowe warunki pracy dla pracowników.
- Automatyzacja procesów logistycznych: Układy sensoryczne umożliwiają automatyczne monitorowanie i kontrolowanie procesów logistycznych, takich jak transport, magazynowanie czy załadunek i rozładunek towarów. Dzięki temu można zwiększyć wydajność i zredukować koszty procesów logistycznych.
- Monitorowanie zużycia energii: Układy sensoryczne umożliwiają monitorowanie zużycia energii w trakcie produkcji. Dzięki temu można identyfikować źródła marnowania energii i podejmować działania w celu ich minimalizacji.

- Monitorowanie procesów chemicznych: Układy sensoryczne umożliwiają monitorowanie procesów chemicznych, takich jak produkcja leków, farb czy kosmetyków. Dzięki temu można zapewnić, że procesy te są kontrolowane i spełniają określone standardy jakości i bezpieczeństwa.

Układy sensoryczne stanowią kluczowy element w Przemysle 4.0. Umożliwiają one ciągłe monitorowanie i kontrolowanie różnych parametrów procesów przemysłowych, co umożliwia poprawę.

TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE

Przetwarzanie danych pomiarowych w chmurze to jedno z zastosowań technologii chmurowych w Przemysle 4.0. Pozwala na przetwarzanie dużych ilości danych z różnych źródeł w czasie rzeczywistym, co umożliwia podejmowanie szybkich i skutecznych decyzji w celu poprawy wydajności, jakości i bezpieczeństwa procesów przemysłowych.

Chmura obliczeniowa to zbiór zdalnych serwerów, które umożliwiają przechowywanie i przetwarzanie danych w sposób zdalny. Dzięki temu, dane pomiarowe mogą być przetwarzane na bieżąco w czasie rzeczywistym, a wyniki są dostępne dla użytkowników w każdym miejscu i czasie za pomocą przeglądarki internetowej lub aplikacji mobilnej [1, 39].

Przetwarzanie danych pomiarowych w chmurze umożliwia wiele korzyści, w tym:

- Szybkość i skuteczność przetwarzania danych: Dzięki chmurze obliczeniowej, przetwarzanie danych pomiarowych może odbywać się znacznie szybciej i efektywniej niż przy wykorzystaniu lokalnego systemu. Dostępne są także narzędzia i algorytmy AI, które umożliwiają przetwarzanie danych w celu uzyskania bardziej wartościowych informacji.
- Bezpieczeństwo danych: Dane pomiarowe są przechowywane w chmurze, co zapewnia ich bezpieczeństwo i ochronę przed utratą lub kradzieżą. W chmurze dostępne są także narzędzia umożliwiające szyfrowanie danych i autoryzację dostępu do nich.
- Dostępność danych: Dzięki przetwarzaniu danych pomiarowych w chmurze, wyniki pomiarów są dostępne dla użytkowników w czasie rzeczywistym w dowolnym miejscu i czasie. Dzięki temu można podejmować szybkie i skuteczne decyzje w celu poprawy wydajności i jakości procesów przemysłowych.
- Skalowalność: Chmura obliczeniowa umożliwia łatwe skalowanie infrastruktury w zależności od potrzeb. W razie potrzeby można zwiększyć moc obliczeniową lub rozszerzyć przestrzeń dyskową, co umożliwia przetwarzanie większych ilości danych.
- Redukcja kosztów: Przetwarzanie danych pomiarowych w chmurze pozwala na zmniejszenie kosztów związanych z zakupem i utrzymaniem lokalnej infrastruktury IT. Ponadto, użytkownicy płacą tylko za rzeczywiście wykorzystaną moc obliczeniową, co umożliwia lepszą kontrolę kosztów.

Redystrybucja informacji krytycznych to proces przekazywania informacji o kluczowym znaczeniu w szybki i skuteczny sposób w celu umożliwienia podjęcia odpowiednich działań w sytuacjach awaryjnych lub kryzysowych.

W Przemysle 4.0 redystrybucja informacji krytycznych odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa pracowników oraz utrzymaniu ciągłości procesów produkcyjnych. W sytuacjach awaryjnych, na przykład w przypadku wypadku lub incydentu związanego z maszyną, szybkie i efektywne przekazywanie informacji jest kluczowe dla podjęcia odpowiednich działań i zapobieżenia dalszemu rozwojowi sytuacji.

W ramach Przemysłu 4.0, redystrybucja informacji krytycznych może odbywać się na wiele sposobów, w tym:

- **Systemy powiadomień:** W przypadku awarii lub sytuacji kryzysowej, system powiadomień może automatycznie wysłać informacje o awarii do odpowiednich osób w celu podjęcia działań. System powiadomień może również informować pracowników o planowanych przestojach lub zmianach w harmonogramie produkcji.
- **Systemy monitorowania:** Systemy monitorowania umożliwiają ciągłe śledzenie stanu maszyn i urządzeń w celu wykrywania nieprawidłowości lub awarii. W przypadku wykrycia awarii, system może automatycznie wysłać powiadomienie do odpowiednich osób w celu podjęcia działań.
- **Systemy komunikacji:** W celu zapewnienia efektywnej komunikacji w sytuacjach krytycznych, w Przemysle 4.0 wykorzystuje się zaawansowane systemy komunikacyjne, takie jak wideo- i audio-konferencje, systemy czatu czy platformy do współpracy online. Dzięki tym narzędziom, pracownicy mogą szybko i skutecznie komunikować się ze sobą w celu podjęcia działań.
- **Systemy zarządzania danymi:** W celu zapewnienia szybkiego i skutecznego dostępu do informacji krytycznych, w Przemysle 4.0 wykorzystuje się zaawansowane systemy zarządzania danymi, takie jak chmury obliczeniowe czy systemy do zarządzania danymi pomiarowymi. Dzięki tym narzędziom, pracownicy mają łatwy dostęp do informacji krytycznych i mogą szybko podjąć odpowiednie decyzje.
- **Podsumowując,** redystrybucja informacji krytycznych jest kluczowa dla zapewnienia bezpieczeństwa pracowników oraz utrzymania ciągłości procesów produkcyjnych w przemyśle 4.0.

Integracja systemów to proces łączenia różnych systemów informatycznych w celu zapewnienia lepszej wydajności, efektywności i optymalizacji procesów biznesowych. W Przemysle 4.0 integracja systemów jest kluczowa dla zapewnienia ciągłości procesów produkcyjnych, a także umożliwienia szybkiego dostępu do danych i informacji o stanie maszyn oraz urządzeń. W ramach Przemysłu 4.0 integracja systemów może odbywać się na wiele sposobów, w tym:

Integracja systemów SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – System SCADA umożliwia zdalne monitorowanie, sterowanie i kontrolowanie różnych procesów przemysłowych. Integracja systemów SCADA z innymi systemami

informatycznymi pozwala na łatwe i efektywne zbieranie i przetwarzanie danych z różnych źródeł [40].

Integracja systemów MES (Manufacturing Execution System) – System MES umożliwia zarządzanie procesami produkcyjnymi w czasie rzeczywistym. Integracja systemów MES z innymi systemami informatycznymi pozwala na szybkie i skuteczne zarządzanie procesami produkcyjnymi, poprzez ciągłą kontrolę i optymalizację procesów.

Integracja systemów ERP (Enterprise Resource Planning) – System ERP umożliwia zarządzanie zasobami przedsiębiorstwa, w tym procesami biznesowymi, finansowymi i logistycznymi. Integracja systemów ERP z innymi systemami informatycznymi pozwala na lepsze zarządzanie danymi i informacjami, dzięki czemu przedsiębiorstwo może szybciej i skuteczniej podejmować decyzje [2].

Integracja systemów CAD (Computer Aided Design) – System CAD umożliwia projektowanie i modelowanie wirtualnych modeli maszyn i urządzeń. Integracja systemów CAD z innymi systemami informatycznymi pozwala na szybkie i skuteczne wprowadzanie zmian projektowych oraz optymalizację procesów projektowych.

Integracja systemów informatycznych jest kluczowa dla zapewnienia ciągłości procesów produkcyjnych, poprawy wydajności i efektywności, a także umożliwienia szybkiego dostępu do danych i informacji. Dzięki integracji systemów, przedsiębiorstwo może szybciej i skuteczniej podejmować decyzje, poprawić jakość i efektywność produkcji oraz zwiększyć swoją konkurencyjność na rynku.

WYMIERNE EFEKTY IDEI PRZEMYSŁU 4.0 W INŻYNIERII

Wymierne efekty Przemysłu 4.0 można zobaczyć w wielu dziedzinach przemysłu, takich jak produkcja, logistyka, utrzymanie ruchu, jakość i bezpieczeństwo. Poniżej przedstawionych jest pięć przykładów wymiernych efektów Przemysłu 4.0:

Poprawa wydajności produkcji

Dzięki wykorzystaniu systemów automatyzacji i robotyzacji oraz analizie danych z maszyn i urządzeń, produkcja może być bardziej zoptymalizowana, co prowadzi do zwiększenia wydajności i redukcji kosztów produkcji. Przykładowo, zastosowanie systemów wizyjnych do kontroli jakości może zmniejszyć ilość wadliwych produktów, co prowadzi do oszczędności na kosztach produkcji. Poprawa wydajności produkcji jest jednym z najważniejszych celów w Przemysle 4.0. Wykorzystanie nowoczesnych technologii, takich jak automatyzacja, robotyzacja, internet rzeczy (IoT) czy sztuczna inteligencja (AI), pozwala na zwiększenie wydajności procesów produkcyjnych, redukcję kosztów oraz poprawę jakości produktów. Automatyzacja i robotyzacja to rozwiązania, które pozwalają na zastąpienie prac ręcznych przez roboty i maszyny. Dzięki temu procesy produkcyjne stają się bardziej precyzyjne, szybsze i efektywniejsze. Roboty mogą wykonywać powtarzalne czynności, co pozwala na zwolnienie pracowników z tych zadań i skupienie się na bardziej skomplikowanych lub kreatywnych pracach.

Internet rzeczy (IoT) pozwala na zbieranie danych z różnych urządzeń i maszyn, co pozwala na lepszą analizę procesów produkcyjnych oraz szybsze wykrywanie błędów i problemów. Dzięki temu możliwe jest szybsze reagowanie na awarie i uniknięcie czasochłonnej naprawy maszyn. Sztuczna inteligencja (AI) pozwala na automatyczne analizowanie danych i prognozowanie wyników procesów produkcyjnych. Dzięki temu możliwe jest szybsze podejmowanie decyzji i zoptymalizowanie procesów, co prowadzi do zwiększenia wydajności produkcji oraz redukcji kosztów. Oprócz wykorzystania nowoczesnych technologii, poprawa wydajności produkcji wymaga również doskonalenia procesów produkcyjnych i przeprowadzania regularnej analizy ich efektywności. W tym celu stosuje się m.in. metody Lean Manufacturing, Six Sigma czy Kaizen, które pozwalają na ciągłe doskonalenie procesów i zwiększenie ich wydajności. Wniosek jest taki, że poprawa wydajności produkcji jest jednym z kluczowych celów Przemysłu 4.0 i wymaga wykorzystania nowoczesnych technologii oraz ciągłego doskonalenia procesów produkcyjnych. Dzięki temu możliwe jest zwiększenie wydajności i efektywności, redukcja kosztów oraz poprawa jakości produktów, co przekłada się na zwiększenie konkurencyjności przedsiębiorstw na rynku.

Skrócenie czasu przestoju maszyn

Dzięki wykorzystaniu systemów monitorowania i diagnozowania maszyn, możemy szybko wykryć problemy i awarie, co pozwala na szybką interwencję i naprawę. To z kolei prowadzi do zmniejszenia czasu przestoju maszyn i zwiększenia ich dostępności. Skrócenie czasu przestoju maszyn jest jednym z kluczowych celów Przemysłu 4.0, ponieważ dłuższe przestoje maszyn prowadzą do strat w produkcji oraz wyższych kosztów utrzymania i naprawy maszyn. W celu skrócenia czasu przestoju maszyn, można wykorzystać wiele nowoczesnych technologii i rozwiązań. Jednym z najważniejszych narzędzi w skracaniu czasu przestoju maszyn jest monitorowanie stanu maszyn. W tym celu stosuje się systemy diagnozowania i monitorowania maszyn, które pozwalają na ciągłe śledzenie ich stanu i wykrywanie potencjalnych problemów z wyprzedzeniem. Dzięki temu można planować konserwację i naprawy maszyn wtedy, gdy jeszcze nie doszło do awarii, co skraca czas przestoju maszyn. Kolejnym rozwiązaniem, które pozwala na skrócenie czasu przestoju maszyn, jest wykorzystanie technologii predykcyjnej. W ramach predykcyjnego utrzymania ruchu wykorzystuje się sztuczną inteligencję (AI) i uczenie maszynowe (machine learning), aby przewidywać, kiedy dana maszyna będzie wymagała konserwacji lub naprawy. Dzięki temu można zapobiec awariom i skrócić czas przestoju maszyn. Ważnym narzędziem w skracaniu czasu przestoju maszyn jest również automatyzacja procesów serwisowych. W ramach automatyzacji można wykorzystać roboty, które wykonują niektóre czynności serwisowe, takie jak wymiana podzespołów czy naprawa maszyn. Dzięki temu czas przestoju maszyn jest skracany, a pracownicy są zwalniani z rutynowych czynności serwisowych. Ostatnim rozwiązaniem, które pozwala na skrócenie czasu przestoju maszyn, jest doskonalenie procesów produkcyjnych. Poprawa procesów może prowadzić do

zmniejszenia liczby błędów i awarii, co skraca czas przestoju maszyn. Doskonalenie procesów produkcyjnych może być realizowane przy użyciu metod Lean Manufacturing, Six Sigma czy Kaizen. Wniosek jest taki, że skrócenie czasu przestoju maszyn jest kluczowym celem Przemysłu 4.0 i wymaga wykorzystania nowoczesnych technologii i rozwiązań, takich jak monitorowanie stanu maszyn, technologia predykcyjna, automatyzacja procesów serwisowych oraz doskonalenie procesów produkcyjnych. Dzięki temu możliwe jest zmniejszenie strat w produkcji oraz wyższych kosztów utrzymania i naprawy maszyn.

Redukcja kosztów utrzymania ruchu

Wykorzystanie systemów monitorowania i analizy danych z maszyn pozwala na wczesne wykrywanie problemów i planowanie konserwacji lub wymiany części. To z kolei prowadzi do zmniejszenia kosztów utrzymania ruchu i zwiększenia czasu życia maszyn. W Przemysle 4.0 redukcja kosztów utrzymania ruchu jest jednym z kluczowych celów. W ramach tego celu podejmuje się szereg działań mających na celu zoptymalizowanie procesów utrzymania ruchu maszyn, aby koszty były jak najniższe, a efektywność jak największa. Jednym z podstawowych działań podejmowanych w celu redukcji kosztów utrzymania ruchu jest monitorowanie stanu maszyn. W ramach monitorowania stosuje się różne metody pomiarowe, w tym między innymi analizę wibracji, termografię, a także analizę hałasu. Dzięki temu można na bieżąco monitorować stan maszyn, wykrywać potencjalne problemy z wyprzedzeniem, a także planować konserwację i naprawy maszyn wtedy, gdy jeszcze nie doszło do awarii. Dzięki temu redukowane są koszty związane z naprawami i wymianą części. Kolejnym narzędziem, które pozwala na redukcję kosztów utrzymania ruchu, jest technologia predykcyjna. W ramach predykcyjnego utrzymania ruchu wykorzystuje się sztuczną inteligencję i uczenie maszynowe, aby przewidywać, kiedy dana maszyna będzie wymagała konserwacji lub naprawy. Dzięki temu można zapobiec awariom i uniknąć kosztów związanych z wymianą części lub naprawami. Automatyzacja procesów serwisowych to kolejne narzędzie, które pozwala na redukcję kosztów utrzymania ruchu. W ramach automatyzacji można wykorzystać roboty, które wykonują niektóre czynności serwisowe, takie jak wymiana podzespołów czy naprawa maszyn. Dzięki temu czas wykonywania prac serwisowych jest krótszy, a koszty utrzymania ruchu są mniejsze. Ostatnim rozwiązaniem, które pozwala na redukcję kosztów utrzymania ruchu, jest doskonalenie procesów produkcyjnych. Poprawa procesów może prowadzić do zmniejszenia liczby błędów i awarii, co zmniejsza koszty utrzymania ruchu. Doskonalenie procesów produkcyjnych może być realizowane przy użyciu metod Lean Manufacturing, Six Sigma czy Kaizen. Wniosek jest taki, że redukcja kosztów utrzymania ruchu jest kluczowym celem Przemysłu 4.0 i wymaga wykorzystania nowoczesnych technologii i rozwiązań, takich jak monitorowanie stanu maszyn, technologia predykcyjna, automatyzacja procesów serwisowych oraz doskonalenie procesów produkcyjnych. Dzięki temu możliwe jest zmniejszenie kosztów utrzymania ruchu i zwiększenie efektywności działań

Zwiększenie bezpieczeństwa pracowników

Zastosowanie systemów automatyzacji i robotyzacji pozwala na zastąpienie prac niebezpiecznych dla ludzi, co prowadzi do zmniejszenia ryzyka wypadków przy pracy. Dodatkowo, wykorzystanie systemów monitorowania i analizy danych pozwala na wczesne wykrycie zagrożeń, co zwiększa bezpieczeństwo pracowników. Wprowadzenie technologii Przemysłu 4.0 może przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa pracowników w zakładach przemysłowych. W technologii Przemysłu 4.0 można wykorzystać różnego rodzaju czujniki, w tym sensory odległości, czujniki ruchu, sensory temperatury, czujniki chemiczne i wiele innych, aby monitorować warunki pracy pracowników i zwiększyć ich bezpieczeństwo. Przykładowo, czujniki te mogą monitorować warunki pracy w określonych obszarach, takich jak obszary niebezpieczne, obszary o ograniczonej widoczności itp. i przekazywać informacje na temat zagrożeń pracownikom. W technologii Przemysłu 4.0 można zautomatyzować wiele procesów w zakładach przemysłowych, co może pomóc w zmniejszeniu ilości ręcznej pracy i związanych z nią zagrożeń. Na przykład, roboty mogą być wykorzystywane do wykonywania niebezpiecznych lub powtarzających się czynności, takich jak przemieszczanie ciężkich ładunków. Mogą obsługiwać maszyny w miejscach, gdzie obecność załogi jest wykluczona lub niedostępnych dla ludzi (np. manipulowanie materiałami toksycznymi). Przemysł 4.0 może umożliwić szkolenie pracowników w bezpiecznych i kontrolowanych warunkach, co może pomóc w uniknięciu niebezpiecznych sytuacji. Wirtualna rzeczywistość (VR) może być wykorzystana do szkolenia pracowników w różnych scenariuszach, takich jak awaryjne sytuacje lub niebezpieczne warunki. Analiza danych i narzędzia predykcyjne mogą pomóc w wykrywaniu niebezpiecznych sytuacji przed ich wystąpieniem, co może przyczynić się do zapobiegania wypadkom. Przykładowo, systemy monitorujące maszyny i urządzenia w czasie rzeczywistym mogą wykryć, że maszyna jest w złym stanie i wymaga natychmiastowej naprawy, zanim doprowadzi to do wypadku. Wprowadzenie technologii Przemysłu 4.0 może zatem przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa pracowników w zakładach przemysłowych, co jest jednym z wielu korzyści wynikających z tej rewolucji przemysłowej.

Optymalizacja procesów logistycznych

Zastosowanie systemów automatyzacji i robotyzacji w procesach magazynowania i dystrybucji pozwala na szybsze i bardziej efektywne przetwarzanie towarów, co prowadzi do zwiększenia wydajności i redukcji kosztów. Wraz z rozwojem technologii i wprowadzeniem koncepcji Przemysłu 4.0, optymalizacja procesów logistycznych stała się kluczowym elementem w działalności przedsiębiorstw przemysłowych. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań, takich jak Internet Rzeczy (IoT), sztuczna inteligencja (AI) czy blockchain, możliwe stało się zautomatyzowanie wielu procesów, zmniejszenie kosztów oraz skrócenie czasu realizacji zamówień. Jednym z podstawowych elementów optymalizacji procesów logistycznych jest zastosowanie systemów zarządzania magazynami (WMS). Dzięki temu możliwe jest zarządzanie zapasami materiałowymi i wyrobami

gotowymi, co pozwala na uniknięcie nadmiernych zapasów i kosztów z nimi związanych. WMS umożliwia także monitorowanie stanów magazynowych w czasie rzeczywistym oraz automatyczne generowanie zamówień u dostawców. Kolejnym kluczowym elementem optymalizacji procesów logistycznych jest zastosowanie systemów monitorowania i śledzenia przesyłek (TMS). TMS umożliwia pełną kontrolę nad transportem, począwszy od momentu załadunku, przez magazynowanie i transport, aż do momentu dostarczenia przesyłki do klienta. Dzięki temu możliwe jest śledzenie statusu każdej przesyłki w czasie rzeczywistym oraz szybka reakcja na wszelkie zmiany. Kolejnym ważnym elementem optymalizacji procesów logistycznych jest zastosowanie systemów automatycznego przetwarzania zamówień (OMS). OMS umożliwia automatyczne przetwarzanie zamówień klientów, co pozwala na szybszą realizację zamówień oraz zmniejszenie kosztów związanych z obsługą zamówień. Optymalizacja procesów logistycznych w Przemysle 4.0 opiera się także na zastosowaniu sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. Dzięki temu możliwe jest prognozowanie zapotrzebowania na produkty oraz optymalizacja tras transportu, co pozwala na zmniejszenie kosztów i czasu realizacji zamówień. Wreszcie, w ramach optymalizacji procesów logistycznych w Przemysle 4.0 coraz większą rolę odgrywają także rozwiązania z zakresu blockchain. Technologia ta umożliwia przyspieszenie procesów płatniczych, zwłaszcza w przypadku transakcji międzynarodowych, a także zwiększenie bezpieczeństwa i transparentności w procesach logistycznych. Podsumowując, optymalizacja procesów logistycznych w Przemysle 4.0 opiera się na zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań technologicznych. Wymierne efekty Przemysłu 4.0 obejmują wiele dziedzin, a przedsiębiorstwa, które wykorzystują te technologie, mogą zwiększyć swoją konkurencyjność na rynku poprzez zwiększenie wydajności i efektywności, redukcję kosztów oraz poprawę jakości i bezpieczeństwa.

PODSUMOWANIE

Biorąc pod uwagę idee Przemysłu 4.0, należy zauważyć, że ten koncept pozwala na zwiększenie wydajności produkcji, poprawę bezpieczeństwa pracowników, skrócenie czasu przestoju maszyn oraz redukcję kosztów utrzymania ruchu. Jednocześnie jednak, z uwagi na dynamiczny rozwój technologii i postępującą automatyzację, Przemysł 4.0 staje się już wkrótce Przemysłem 5.0, który będzie jeszcze bardziej zautomatyzowany, zintegrowany i elastyczny. W Przemysle 5.0 kluczową rolę odegrać będą technologie takie jak Internet Rzeczy (IoT), sztuczna inteligencja, robotyka i blockchain. Przemysł 5.0 będzie składał się z zintegrowanych systemów, w których cały proces produkcyjny będzie monitorowany i sterowany przez zaawansowane systemy informatyczne, co pozwoli na jeszcze większą efektywność produkcji. Wprowadzenie przemysłu 5.0 wymagać będzie jednak jeszcze większych nakładów inwestycyjnych, a także odpowiedniego przeszkolenia pracowników, którzy będą obsługiwać te nowoczesne urządzenia. Jednocześnie jednak, perspektywa Przemysłu 5.0 daje

ogromne możliwości dla rozwoju przedsiębiorstw przemysłowych, które wdrażając nowe technologie, będą mogły konkurować na rynku globalnym.

LITERATURA

- [1] N. Dey, J. Chaki, and R. Kumar, *Sensors for Health Monitoring*. Elsevier Science & Technology, 2019.
- [2] O. P., "Integration of Advanced Monitoring in Manufacturing Systems," *J. Mach. Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 55–68, 2015.
- [3] T. Korbiel *et al.*, "Recognition of the 24-hour Noise Exposure of a Human," *Arch. Acoust.*, vol. 42, no. 4, pp. 601–607, Nov. 2017.
- [4] S. N. Willich, K. Wegscheider, M. Stallmann, and T. Keil, "Noise burden and the risk of myocardial infarction," *Eur. Heart J.*, vol. 27, no. 3, pp. 276–282, Feb. 2006.
- [5] H. G. Feichtinger and T. Strohmer, *Gabor Analysis and Algorithms: Theory and Applications*. Birkhäuser Boston, 1998.
- [6] W. Batko and T. Korbiel, "Badania zbrojenia szybowego w oparciu o globalny współczynnik tłumienia," *Diagnostyka*, vol. nr 1(41), pp. 27–38, 2007.
- [7] G. Augustyn *et al.*, "Positioning temperature sensors in confined spaces subject to various exogenous impacts c i v i l e n g i n e e r i n g e n v i r o n m e n t."
- [8] S. Czerwiński, "Ocena efektów ekonomicznych kompleksów ścianowych - Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie, Politechnika Śląska - Tom z. 59 (2011) - BazTech - Yadda," *Zesz. Nauk. Organ. i Zarządzanie Politech. Śląska*, vol. 59, pp. 219–233, 2011.
- [9] T. Korbiel, W. Biały, and S. Czerwiński, "Ocena stanu technicznego maszyn górniczych w oparciu o kryterium rozkładu Weibulla," *Syst. Wspomagania w Inżynierii Prod.*, vol. z. 1 (13), 2016.
- [10] R. Zimroz, W. Bartelmus, T. Barszcz, J. U.-M. systems and, and undefined 2014, "Diagnostics of bearings in presence of strong operating conditions non-stationarity—A procedure of load-dependent features processing with application to wind," *Elsevier*.
- [11] T. Barszcz, A. J.-M. S. and S. Processing, and undefined 2011, "A novel method for the optimal band selection for vibration signal demodulation and comparison with the Kurtogram," *Elsevier*.
- [12] R. Burdzik, M. Ciesla, and A. Śładkowski, "Cargo Loading and Unloading Efficiency Analysis in Multimodal Transport," *Promet - Traffic&Transportation*, vol. 26, no. 4, pp. 323–331, Aug. 2014.
- [13] T. B.- Diagnostyka and undefined 2009, "Application of diagnostic algorithms for wind turbines," *yadda.icm.edu.pl*.
- [14] K. Popiołek and P. Pawlik, "Diagnosing the technical condition of planetary gearbox using the artificial neural network based on analysis of non-stationary signals," *Diagnostyka*, vol. Vol. 17, No. 2, 2016.
- [15] P. Pawlik *et al.*, "Vibroacoustic study of powertrains operated in changing conditions by means of order tracking analysis," *Ekspluat. i Niezawodn. - Maint. Reliab.*, vol. 18, no. 4, pp. 606–612, Sep. 2016.
- [16] P. Pennacchi, A. Vania, and S. Chatterton, "Nonlinear effects caused by coupling misalignment in rotors equipped with journal bearings," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 30, pp. 306–322, Jul. 2012.
- [17] T. Korbiel and J. Blaut, "Evaluating the effectiveness of mechanical transmission based on the assessment of energy dissipation," *Diagnostyka*, vol. 15, no. 4, 2014.
- [18] W. Cholewa, J. Korbicz, W. Moczulski, and A. Timofiejczuk, *Methods of Signal Analysis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [19] G. Peruń, B. Łazarz, and T. Korbiel, "Diagnostyka wibroakustyczna urządzeń," *Mag. Autostrady*, vol. 4, pp. 30–33, 2015.
- [20] T. Korbiel, W. Batko, R. Barański, P. Pawlik, and J. Blaut, "Zarz{\k{a}}dzanie

- ryzykiem poprzez predykcję ekspozycji na hałas w warunkach okrętowych,” *Logistyka*, 2014.
- [21] P. Fiszer, Z. (1934). Kałkowski, J. (1942). Strzałka, Małopolska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa (Kraków), Małopolska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa (Kraków), and Kraków (Polska). Sąd Apelacyjny., *Metodologia opracowywania opinii i ekspertyz w budownictwie dla potrzeb postępowań sądowych: materiały z seminariów*. Małopolska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa, 2018.
- [22] J. Ołdakowski and E. Ołdakowska, “Ewaluacja kosztów jednostkowych efektów zewnętrznych transportu, wykorzystywanych w analizach kosztów i korzyści,” *Mater. Bud.*, vol. 1, no. 9, pp. 105–107, Sep. 2022.
- [23] T. Korbiel, M. Pawlus, and K. Gawronski, “Process of Design and Implementation of a Digital Transport Pallet,” in *8Th Carpathian Logistics Congress (Clc 2018)*, 2019, pp. 191-196.
- [24] A. Davies, *Handbook of Condition Monitoring: Techniques and Methodology*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [25] J. Dybała, “Vibrodiagnostics of gearboxes using NBV-based classifier: A pattern recognition approach,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 38, no. 1, pp. 5-22, Jul. 2013.
- [26] H. Bevrani, M. (Electrical engineer) Watanabe, and Y. Mitani, *Power system monitoring and control*. John Wiley & Sons, 2014.
- [27] J. C. Jauregui, *Parameter identification and monitoring of mechanical systems under nonlinear vibration*. Elsevier, 2014.
- [28] I. A. M. Rehab, “The Optimization of Vibration Data Analysis for the Detection and Diagnosis of Incipient Faults in Roller Bearings,” 2016.
- [29] P. Borghesani, P. Pennacchi, R. B. Randall, N. Sawalhi, and R. Ricci, “Application of cepstrum pre-whitening for the diagnosis of bearing faults under variable speed conditions,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 36, no. 2, pp. 370-384, Apr. 2013.
- [30] Waldemar Dołęga, “Standardy i protokoły komunikacyjne systemów sterowania i nadzoru w stacjach elektroenergetycznych,” *Napędy i Sterow.*, vol. 9, pp. 140-147, 2015.
- [31] B. Ochab and H. Kaliś, “Optymalizacja kosztów energii elektrycznej w Zakładach Górniczo-Hutniczych ‘Bolesław’ S.A. w Bukownie,” *Przegląd Górniczy*, vol. 61, no. 1, 2005.
- [32] P. Deuszkiewicz, J. Pankiewicz, J. Dziurdź, and M. Zawisza, “Modeling of Powertrain System Dynamic Behavior with Torsional Vibration Damper,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 1036, pp. 586-591, Oct. 2014.
- [33] A. Lavatelli, E. Zappa, A. Cigada, and F. Canali, “Monitoring of environmental and sound-induced vibrations on artistic stained glasses,” in *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*, 2020, pp. 399-407.
- [34] S. Barteldes, J. Schiffner, and U. Seuthe, “Development of a condition monitoring system using visual information and statistical data by application of analogue acoustic and magnetic sensors.”
- [35] B. Yakimovich, A. Korshunov, and S. Vladislav, “Increasing of the Efficiency of Flexible Manufacturing System,” *Procedia Eng.*, vol. 149, pp. 581-585, Jan. 2016.
- [36] T. Korbiel, M. Ryzak, D. Przech, K. Lamorski, and A. Bieganowski, “A System for Recording the Dynamics of the Water Drop’s Impact on a Surface,” *Meas. Control*, vol. 48, no. 5, pp. 149-156, Jun. 2015.
- [37] M. Maciusowicz and G. Psuj, “Use of Time-Dependent Multispectral Representation of Magnetic Barkhausen Noise Signals for the Needs of Non-Destructive Evaluation of Steel Materials,” *Sensors*, vol. 19, no. 6, p. 1443, Mar. 2019.
- [38] A. Arnaud and G. Costa, “Ultra low-cost sensors using RFID standards for data collection, for IoT systems in food production and logistics,” *2020 IEEE 11th Lat. Am. Symp. Circuits Syst. LASCAS 2020*, Feb. 2020.
- [39] J. Wan *et al.*, “Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of

- Industry 4.0," *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 20, pp. 7373-7380, Oct. 2016.
- [40] J. Korbicz and J. M. Kościelny, Eds., *Modeling, Diagnostics and Process Control*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.

Maintenance and Operation of Machines in Industry 4.0

Abstract: The article discusses many aspects of Industry 4.0. In the introduction, the definition of Industry 4.0 was quoted, followed by topics related to maintenance engineering and machine operation, machine diagnosis using AI, the use of AI to maintain industrial plant operation, sensor systems, cloud measurement data processing, redistribution of critical information and system integration. The measurable effects of Industry 4.0 were also analyzed, such as improving production efficiency, reducing machine downtime, reducing maintenance costs, increasing employee safety and optimizing logistics processes. All these elements show how many benefits Industry 4.0 brings to industrial enterprises. However, this is a process that requires a lot of work and investment in new technologies, as well as appropriate training of employees who will operate these modern devices.

Keywords: Maintenance, machine operation, Industry 4.0

Tomasz Korbiel

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland
e-mail: korbiel@agh.edu.pl

Stefan Czerwiński

e-mail; wychcki@o2.pl

Jan Kania

Politechnika Śląska, Poland
e-mail; jan.andrzej.kania@gmail.com