

Mariusz PIECHOWSKI¹, Ryszard WYCZÓŁKOWSKI²

¹Uniwersytet WSB Merito

²Politechnika Śląska

WYKORZYSTANIE INTELIGENTNEJ AUTOMATYZACJI PROCESÓW DO WSPOMAGANIA AKWIZYCJI DANYCH W UTRZYMANIU RUCHU

Streszczenie. Zwiększające się zrozumienie dla znaczenia procesów utrzymania ruchu w przedsiębiorstwach owocuje rozwojem stosowanych strategii obsługowych. Wdrażanie koncepcji Przemysłu 4.0 przyniosło rozwiniecie i upowszechnienie się predykcyjnych strategii utrzymania ruchu. Pojawienie się filozofii Przemysłu 5.0 wzmocniło zainteresowanie znaną wcześniej preskryptywną strategią obsługową (PM). Żeby było możliwe wdrożenie tego rodzaju strategii działania analizuje się dane o stanie maszyny i czynnikach wpływających na ten stan, zarówno bieżące jak i historyczne. Zapewnienie ciągłej akwizycji danych dobrej jakości najczęściej związane jest z wdrażaniem zaawansowanych systemów pomiarowych. Udział człowieka w procesie akwizycji danych do systemów informatycznych z różnych względów powoduje pogorszenie jakości tych danych (błędy, pominięcia, pomyłki) co ma wpływ na jakość istotnych z punktu widzenia SUR analiz. Celowe jest zatem wspomaganie tego procesu tak, żeby maksymalnie odciążyć pracowników i poprawić jakość pozyskiwanych przez nich danych. W artykule przedstawiono znaną z zarządzania procesami biznesowymi koncepcję Robotic Process Automation (RPA) oraz jej połączenie ze sztuczną inteligencją (AI), dającą w efekcie inteligentną automatyzację procesów (Intelligent Process Automation, IPA) i zaproponowano adaptację i wykorzystanie tej koncepcji do wspomagania procesu akwizycji danych prowadzonej przez pracowników UR. W artykule przedstawiono także podstawowe założenia IPA w utrzymaniu ruchu koncentrujące się wokół integracji istniejących systemów informatycznych, technologii diagnostycznych, systemów monitorowania i sztucznej inteligencji z procesami wspomaganie decyzji w celu osiągnięcia spójności i efektywności działań obsługowych w czasie rzeczywistym.

USING INTELLIGENT PROCESS AUTOMATION TO SUPPORT DATA ACQUISITION IN MAINTENANCE

Summary. Growing awareness of the importance of maintenance processes in enterprises results in the development of applied maintenance strategies. Implementation of the Industry 4.0 concept resulted in the development and

popularization of predictive maintenance strategies. The emergence of the Industry 5.0 philosophy strengthened the interest in the previously known prescriptive maintenance strategy (PM). To implement this type of strategy, data on the condition of machines and factors influencing this condition, both current and historical, are analyzed. Ensuring continuous acquisition of good quality data is most often associated with the implementation of advanced measurement systems. Human participation in the process of acquiring data to IT systems causes deterioration of the quality of this data for various reasons (errors, omissions, mistakes), which affects the quality of analyses important from the point of view of SUR. It is therefore advisable to support this process in such a way as to relieve employees as much as possible and improve the quality of the data they acquire. The article presents the Robotic Process Automation (RPA) concept known from business process management and its combination with artificial intelligence (AI), resulting in intelligent process automation (IPA) and proposes the adaptation and use of this concept to support the data acquisition process conducted by maintenance workers. The article also presents the basic assumptions of IPA in maintenance, focusing on integrating existing IT systems, diagnostic technologies, monitoring systems, and artificial intelligence with decision-support processes to achieve consistency and efficiency of maintenance activities in real time.

1. Wprowadzenie

Na efektywność eksploatacyjną systemów technicznych wpływa wiele czynników, które odgrywają kluczową rolę w osiągnięciu celów strategicznych przedsiębiorstwa [7]. Jednym z nich jest utrzymanie ruchu. Zarządzanie utrzymaniem ruchu zapewnia wydajną pracę maszyn i urządzeń przez cały okres ich użytkowania, koncentruje się na minimalizacji przestojów, maksymalizacji dostępności i niezawodności oraz wydłużaniu żywotności obiektów technicznych w celu utrzymania ciągłych i wysoce wydajnych procesów produkcyjnych. Przestoje urządzeń produkcyjnych, są kosztowne i wpływają na efektywność procesów produkcyjnych, natomiast trwałość systemów technicznych bezpośrednio wpływa na rentowność operacyjną. W utrzymaniu ruchu efektywne wykorzystanie systemów technicznych podnosi jakość i powtarzalność produktów, poprawia wydajność i dostępność urządzeń produkcyjnych, zwiększa ogólną efektywność operacyjną przedsiębiorstwa oraz zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa i ergonomii na stanowiskach produkcyjnych. Jest to możliwe tylko dzięki wdrożeniu odpowiednich strategii eksploatacyjnych.

Planowanie i wdrażanie skutecznych strategii obsługowych ma kluczowe znaczenie dla wczesnego identyfikowania i rozwiązywania potencjalnych problemów. Powodzenie działań obsługowych zależy od kilku czynników: jakości i stanu technicznego urządzeń, odpowiedniego przeszkolenia personelu, prawidłowego zarządzania zasobami oraz efektywnego wykorzystania narzędzi i technologii np. do monitorowania i diagnozowania systemów technicznych. Jednym z kluczowych oczekiwań związanych z utrzymaniem ruchu jest wykorzystanie danych dotyczących stanu obiektów technicznych i przekształcenie ich w użyteczne

informacje, które ułatwią szybkie i świadome podejmowanie decyzji dotyczących działań obsługowych. Dzięki dostępności coraz większej ilości danych oraz zaawansowanych technologii analitycznych, możliwe jest stopniowe przejście od tradycyjnej koncepcji utrzymania ruchu opartej na prewencji do nowoczesnej koncepcji utrzymania ruchu opartej na proaktywnych działaniach obsługowych. Nowe podejście umożliwia stałe dostosowywanie strategii eksploatacyjnej w oparciu o rzeczywiste potrzeby i stan monitorowanych obiektów. Na przykład, w przemyśle lotniczym coraz częściej stosuje się predykcyjne metody utrzymania, które pozwalają na wczesne wykrywanie oznak zbliżających się awarii monitorowanych podzespołów lub systemów. Takie podejście skraca przestoje i umożliwia terminowe działania naprawcze, co znacząco poprawia efektywność i niezawodność operacyjną [11].

W ciągu ostatnich dziesięcioleci rola utrzymania ruchu w osiągnięciu celów strategicznych i operacyjnych ewoluowała, od prostych operacji podczas realizacji zadań w strategii Maintenance 1.0, aż po obsługę zaawansowanych systemów produkcyjnych Maintenance 5.0, znacząco przyczyniając się do osiągnięcia wciąż zmieniających się celów produkcyjnych. Wraz z rozwojem technologii i coraz większą złożonością systemów produkcyjnych wzrosło znaczenie działań utrzymania ruchu. W obecnej erze Przemysłu 5.0 utrzymanie ruchu stało się jeszcze ważniejsze, wymuszając jednak wykorzystanie zaawansowanych technologii, takich jak IoT, Big Data, sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe. Technologie te nie tylko umożliwiły realizację kluczowych celów utrzymania ruchu tj. zapobieganie awariom, ale także umożliwiły optymalizację całych procesów produkcyjnych w sposób, który wcześniej był nieosiągalny [17,20]. W rozwijającym się środowisku produkcyjnym wspieranym procesami cyfryzacji i informatyzacji nie jest problemem gromadzenie danych, ale ich analiza umożliwiająca budowanie skutecznych strategii predykcyjnych i proskrypcyjnych. Efektywność i skuteczność działań proaktywnych zależy od jakości danych na podstawie których zbudowane są modele decyzyjne oraz organizacja działań operacyjnych. Do realizacji celów utrzymania ruchu są niezbędne przede wszystkim zaawansowane systemy zarządzania informacją oraz inteligentne metody analizy danych [7].

Cyberfizyczne systemy produkcyjne (CSP), jako rozwijająca się technologia Przemysłu 4.0, a następnie 5.0, powodują zmianę paradygmatu z predykcyjnego utrzymania ruchu na preskryptywne utrzymanie ruchu i przekształcanie ich w zautomatyzowane systemy wspomaganie decyzji oparte na wiedzy. Zintegrowane podejście PM umożliwia:

- efektywne przetwarzanie dużej ilości danych z wielowymiarowych źródeł
- efektywne generowanie modeli wspomagających podejmowanie decyzji i zaleceń dotyczących poprawy i optymalizacji przyszłych działań obsługowych skorelowanych z systemami zarządzania produkcją (SZP) [1].

Kluczowe znaczenie ma zbieranie, kategoryzowanie i przetwarzanie danych pochodzących z różnych źródeł i obszarów utrzymania ruchu, takich jak działania obsługowe, parametry procesów produkcyjnych oraz stany obiektów technicznych. Jakość i precyzja rejestrowanych danych są niezbędne do prowadzenia skutecznych analiz i efektywnego zarządzania procesami utrzymania

ruchu. Odpowiednio przygotowane dane umożliwiają pozyskiwanie wiedzy, co prowadzi do tworzenia efektywnych strategii obsługowych. Aby sprostać tym wymaganiom, maszyny coraz częściej są wyposażane w automatyczne systemy nadzoru, szczególnie w zakresie pomiaru parametrów ich stanu. Kluczowe informacje dla procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej i eksploatacyjnej, takie jak dokładna lokalizacja, charakter i wielkość zdiagnozowanych niesprawności, zakres wykonanych napraw i obsług oraz stopień zużycia elementów maszyn, są zbierane przez personel techniczny realizujący zadania obsługowe. To oni najczęściej wprowadzają te informacje do systemów informatycznych. Dane te są zazwyczaj wprowadzane ręcznie, co wpływa na ich jakość, kompletność i dokładność. Te aspekty są kluczowe dla precyzyjnych analiz i efektywnego zarządzania procesami utrzymania ruchu. Automatyzacja tego procesu mogłaby znacząco poprawić jakość danych, minimalizując błędy ludzkie i zwiększając efektywność operacyjną.

2. Znaczenie danych w procesach utrzymania ruchu

Zapewnienie odpowiednich zasobów utrzymania ruchu ma podstawowe znaczenie dla pomyślnej realizacji zadań obsługowych. Odpowiednie przeszkolenie techników, dostępności części zamiennych, narzędzi do diagnostyki przyczyn awarii oraz dokładnych i aktualnych danych w miejscu realizacji zadania obsługowego umożliwia szybkie podejmowanie skutecznych decyzji, usprawniając ogólny proces działań obsługowych, minimalizując zakłócenia w produkcji. Informacje i dane niezbędne podczas realizacji działaniach obsługowych (tj.: dane historyczne, dane magazynowe, instrukcje i schematy, parametry maszyn i procesów, bazy wiedzy), odgrywają kluczową rolę w skutecznej i efektywnej realizacji tych zadań. Dokładne dane pomagają w diagnozowaniu pierwotnej przyczyny awarii i przewidywaniu potencjalnych przyszłych problemów. Precyzyjne dane gwarantują, że działania obsługowe będą nie tylko reaktywne, ale i proaktywne [7]. Szczegółowe dane pomagają również w opracowywaniu i udoskonalaniu strategii obsługowych, optymalizacji wykorzystania zasobów i zapewnianiu terminowości i skuteczności interwencji.

Zasadniczo strategia obsługowa oparta na rzetelnie opracowanych danych prowadzi do wyższej efektywności działań utrzymania ruchu. Dane o wysokiej jakości tzn.: aktualne, precyzyjne, kompletne, skategoryzowane i ustandaryzowane umożliwiają opracowanie modeli matematycznych i statystycznych oraz ich wykorzystanie we wspomagających podejmowanie decyzji systemach opartych o wiedzę. Odpowiednio przygotowane dane umożliwiają wykrywanie wzorców, trendów, wartości krytycznych (miar i wskaźników) i opracowanie repozytoriów, z których na bieżąco może korzystać personel obsługowy (technicy i operatorzy maszyn). Dzięki temu, działania obsługowe mogą być bardziej precyzyjne i mieć charakter proaktywny, co prowadzi do zwiększenia niezawodności i wydajności systemów technicznych oraz minimalizacji ryzyka awarii i przestojów produkcyjnych. Dodatkowo, wiedza pozyskiwana z analizy zgromadzonych danych ułatwia optymalizację procesów i ich szybką adaptację do zmieniających się warunków operacyjnych.

Jednak fakt że część istotnych danych wprowadzana jest do systemów informatycznych przez personel techniczny może powodować pogorszenie ich jakości. Pracownicy służb utrzymania ruchu, dokonując obsługi i napraw powinni zarejestrować i wprowadzić komplet informacji przydatnych w czasie późniejszych analiz – nie tylko dotyczących bezpośrednio naprawianego zespołu, ale również informacji powiązanych, zależnych od wielu czynników (typu maszyny, rodzaju uszkodzenia, stanu technicznego powiązanych elementów itp.). Dokonujący tej czynności pracownik powinien za każdym razem wiedzieć, jakie informacje powinien zebrać, co wobec dużej liczby rodzajów i typów obsługiwanych urządzeń może być trudne. Ponadto w większości takich sytuacji miejsce dokonywania naprawy i warunki w jakich technik pracuje nie sprzyjają jednoczesnemu notowaniu – praktyka pokazuje, że wprowadzanie danych do systemów informatycznych często następuje dopiero po realizacji zadań naprawczych lub obsługowych, co skutkuje powstaniem zasobów z danymi obciążonymi błędami, niekompletnymi, nieprecyzyjnymi lub błędnie przypisanymi. Dodatkowo brak dostępu do aktualnych i precyzyjnych danych w miejscu realizacji zadania obsługowego prowadzi do podejmowania nieskutecznych działań, które następnie są rejestrowane w systemie informatycznym, zaburzając opracowywane modele i negatywnie wpływając na działania prewencyjne i proaktywne.

Taka praktyka obniża użyteczność danych dla przyszłych analizy i zmniejsza możliwość wykorzystania ich wyników w systemach decyzyjnych. Niekompletne lub niedokładne dane mogą skutkować błędnymi diagnozami, nieskutecznymi strategiami i działaniami obsługowymi. Aby zaradzić tym problemom, konieczne jest wdrożenie procedur zapewniających bieżące i dokładne wprowadzanie danych, szkolenie personelu w zakresie znaczenia jakości danych oraz wykorzystanie technologii umożliwiających natychmiastowy dostęp do aktualnych informacji na stanowisku produkcyjnym. Poprawa tych procesów umożliwi zwiększenie efektywności działań obsługowych

Dlatego celowe jest nie tylko zapewnienie rejestracji, aktualizacji i walidacji danych w bezpośrednio w czasie trwania zadań obsługowych ale również wspomaganie działania pracownika poprzez bieżące informowanie go jakie dane i informacje powinien w danej sytuacji zebrać i jak prawidłowo wykonać wszystkie niezbędne czynności. Pozwoli to na integrację pracowników SUR z systemem informatycznym przedsiębiorstwa, co jest kluczowe z perspektywy filozofii Przemysłu 4.0, jednocześnie wpisując się w zalecenia Przemysłu 5.0. Przemysł 5.0 podkreśla potrzebę wspierania działań pracowników w miejscach, gdzie nie można w pełni zastąpić ich pracy autonomicznymi botami. Nadając priorytet powyższym aspektom, przedsiębiorstwa mogą ulepszyć swoje strategie zarządzania utrzymaniem ruchu oraz skutecznie realizować swoje cele strategiczne i operacyjne. Osobnym zagadnieniem jest techniczna realizacja takich systemów. Autorzy nie spotkali się z rozwiązaniami realizującymi takie działania na rzecz utrzymania ruchu. Jednak podobne rozwiązania, m.in. wspomagające zbieranie danych przez pracowników i rejestrowanie ich w systemach informatycznych są znane w innych obszarach wspomaganie procesów biznesowych: zarządzanie zasobami ludzkimi, finanse i księgowość, marketing i sprzedaż. Wydaje się, że wypracowane rozwiązania, w szczególności związane z automatyzacją pozyskiwania danych

z różnych źródeł, mogą być z powodzeniem wykorzystane w systemach wspomagających działanie SUR.

3. Zrobotyzowana automatyzacja procesów

Historia i ewolucja systemów informatycznych, które umożliwiają automatyzację procesów biznesowych, mają swoje korzenie w rozwoju technologii obliczeniowych. Pierwsze komputery elektroniczne, takie jak ENIAC w latach 40. XX wieku, były przełomem, który zapoczątkował rewolucję w przetwarzaniu danych. Te wczesne systemy były początkowo wykorzystywane głównie do obliczeń naukowych i wojskowych, jednak szybko zaczęto dostrzegać ich potencjał w automatyzacji zadań biznesowych. W latach 60. i 70. XX wieku, rozwój technologii informatycznych doprowadził do powstania systemów zarządzania bazami danych (DBMS), które umożliwiły przechowywanie i zarządzanie dużymi ilościami danych biznesowych.

Systemy te były kluczowe dla tworzenia zintegrowanych systemów zarządzania przedsiębiorstwem (ERP), które pojawiły się w latach 80. ERP zintegrowały różne funkcje biznesowe, takie jak finanse, produkcja i zarządzanie zasobami ludzkimi, w jeden spójny system, co znacząco usprawniło zarządzanie procesami biznesowymi. W latach 90. i na początku XXI wieku, komputery osobiste stały się powszechne w miejscach pracy, a rozwój internetu umożliwił globalną komunikację i wymianę danych. W tym okresie narzędzia Business Intelligence (BI) zaczęły być szeroko stosowane, umożliwiając analizę dużych zbiorów danych i wspieranie decyzji biznesowych. W ostatnich latach, rozwój chmury obliczeniowej i Big Data zrewolucjonizował sposób przechowywania i przetwarzania danych.

Usługi chmurowe umożliwiły firmom dostęp do zaawansowanych narzędzi analitycznych i przetwarzania danych bez konieczności inwestowania w kosztowną infrastrukturę. Równocześnie, narzędzia RPA (*ang. Robotic Process Automation*) zaczęły automatyzować powtarzalne zadania biurowe, zwiększając wydajność i redukując błędy. RPA umożliwiły znaczącą transformację w zakresie rejestracji danych, uwalniając pracowników od uciążliwego wprowadzania danych. Zmiana ta to nie tylko zmiana technologii, ale zasadnicza zmiana sposobu rejestrowania danych w systemach informatycznych [18].

Korzenie RPA sięgają wczesnych form automatyzacji stosowanych w zakładach produkcyjnych i biurowych, ale tak naprawdę nabrały one kształtu na początku XXI wieku wraz z rosnącą powszechnością zaawansowanych systemów oprogramowania. Początkowo automatyzację osiągnano za pomocą skryptów i makr, umożliwiając automatyzację powtarzalnych zadań w aplikacjach komputerowych. Jednak te wczesne metody miały ograniczoną złożoność i zakres. Wraz z ewolucją technologii oprogramowania RPA stało się bardziej wyrafinowanym i wszechstronnym narzędziem wykorzystywanym do wykonywania bardziej złożonych zadań. Po 2010 roku RPA dojrzało i bezproblemowo integrowało się z różnymi systemami i aplikacjami korporacyjnymi, torując drogę do powszechnego zastosowania w różnych obszarach przedsiębiorstwa [18].

RPA działa poprzez automatyzowanie działań, jakie podejmuje użytkownik, aby wykonać powtarzalne i rutynowe zadanie na komputerze. RPA to zasadniczo wirtualny pracownik, naśladuje działania człowieka w celu realizacji procesów biznesowych, szczególnie doskonale sprawdzając się w powtarzalnych zadaniach [18]. W przeciwieństwie do tradycyjnej automatyzacji, która często wymaga obszernego kodowania i dostosowywania, RPA wykorzystuje „boty” programowe, które wchodzą w interakcję z aplikacjami za pośrednictwem interfejsu użytkownika. Te boty mogą replikować kliknięcia myszą, naciśnięcia klawiszy i nawigować między ekranami w celu realizacji złożonych procesów edycyjnych.

4. Zrobotyzowana automatyzacja procesów i sztuczna inteligencja

Wdrażanie koncepcji Przemysłu 4.0, a następnie 5.0 przyspieszyło transformację cyfrową (*ang. Digital Transformation, DT*) w przedsiębiorstwach. DT jest obecnie kluczowym aspektem rozwoju przedsiębiorstw, mającym ogromne znaczenie we wszystkich sektorach, ponieważ zmienia relacje z klientami, dostawcami, zasobami ludzkimi oraz procesem tworzenia wartości. Digitalizacja procesów umożliwia przedsiębiorstwom osiągnięcie odpowiedniego poziomu dojrzałości cyfrowej, co z kolei pozwala na automatyzację procesów organizacyjnych i produkcyjnych. Globalne przychody z oprogramowania RPA osiągnęły 2 miliardy dolarów w 2021 roku [5]. Ten obszar zyskuje na popularności i ma coraz większe znaczenie nie tylko dla przedsiębiorstw, ale dla całej gospodarki światowej. Pandemia COVID-19 zwiększyła wykorzystanie narzędzi RPA i w 2022 roku około 90% dużych firm [19] na całym świecie przyjęło tę technologię, aby zautomatyzować krytyczne procesy biznesowe i uwolnić pracowników od ręcznego wykonywania zadań. Dzięki temu firmy mogły zwiększyć efektywność, redukując czas i koszty związane z realizacją powtarzalnych, rutynowych czynności.

Integracja zrobotyzowanej automatyzacji procesów (RPA) i sztucznej inteligencji (AI) oferuje ogromny potencjał dla przyszłości automatyzacji produkcji i zwiększenia efektywności procesów produkcyjnych [20]. RPA umożliwia inteligentnym agentom (botom) eliminowanie błędów operacyjnych i powielanie rutynowych decyzji opartych na regułach, dobrze ustrukturyzowanych i powtarzalnych, które obejmują znaczne ilości danych w systemie cyfrowym [13]. RPA należy uznać za jedną z technologii transformacji cyfrowej, która pomaga firmom w automatyzacji powtarzalnych i regularnych procesów [9,21]. Oprócz tych zalet, kompleksowe zastosowanie metod i metodologii sztucznej inteligencji zwiększa dokładność i realizację procesów RPA w zakresie ekstrakcji, rozpoznawania, klasyfikacji, prognozowania i optymalizacji procesów [16,21]. Wraz z szybkim rozwojem rozwiązań informatycznych, branże zaczynają czynić postępy w kierunku jeszcze inteligentniejszego i bardziej zaawansowanego modelu RPA, nazwanego Inteligentną Automatykacją Procesów (IPA). RPA szybko ewoluuje w kierunku IPA dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologii i możliwości wykraczających poza prostą automatyzację zadań. Transformacja w kierunku IPA jest napędzana synergią technologii sztucznej inteligencji i narzędzi automatyzacji. IPA bezproblemowo integruje automatyzację, uczenie maszynowe i sztuczną inteligencję w celu ulepszenia i usprawnienia procesów biznesowych.

IPA jest ogólnie uznawana za bardziej zaawansowaną, umożliwiającą kompleksową automatyzację [2]. Włączenie funkcji poznawczych pozwala IPA rozpoznawać wzorce w podejmowaniu decyzji, dostosowywać się do nowych danych i doskonalić się poprzez doświadczenie [3]. Włączenie automatyzacji odpowiednich procesów za pomocą IPA jest niezbędne, aby postępować w kierunku innowacyjnych zmian, takich jak rewolucja przemysłowa 5.0 (IR5.0). Jednak, aby proces przejścia z RPA na IPA był efektywny, konieczne jest zidentyfikowanie, oczyszczenie i przekształcenie odpowiednich danych, aby można je było poddać automatyzacji [4]. W ramach IPA pojawia się zwiększone zapotrzebowanie na jakość danych, któremu towarzyszy ryzyko potencjalnych luk i błędów w danych niezbędnych do budowy modeli [8]. Dodatkowym wyzwaniem jest eliminowanie lub uwzględnianie stronniczości danych treningowych [8]. Wszystkie techniki oparte na uczeniu maszynowym (ML) mogą generować błędy z powodu niskiej jakości danych, co jest bardzo istotne, ponieważ większość technik IPA opiera się na technikach ML. Niskiej jakości dane są częstym źródłem słabych modeli ML [6]. Eksploracja procesów biznesowych boryka się z nieodłącznym wyzwaniem polegającym na poleganiu na danych historycznych, a zatem nie jest w stanie uwzględnić zmian w procesach biznesowych lub środowisku [17]. Większość publikacji skupia się na technicznej stronie tych nowo powstających systemów IPA [4]. Natomiast istotą filozofii Przemysłu 5.0 jest człowiek, dlatego systemy do automatyzacji procesów biznesowych powinny wspierać, a nie zastępować użytkowników. W związku z tym należy umożliwić i wspierać proces współdziałania między ludźmi a robotami wykorzystującymi sztuczną inteligencję, aby skutecznie wdrażać systemy związane z IPA [22].

5. IPA w działaniu służb utrzymania ruchu

Inteligentna automatyzacja procesów (IPA), połączenie sztucznej inteligencji (AI) i uczenia maszynowego, może zrewolucjonizować działania utrzymania ruchu w różnych aspektach, od rejestrowania zdarzeń serwisowych po planowanie działań prewencyjnych i predykcyjnych.

5.1. Rejestrowanie zdarzeń związanych z awarią

IPA może znacząco usprawnić dokumentowanie zdarzeń serwisowych przez operatorów i techników. Dzięki zautomatyzowanym technologiom gromadzenia danych IPA może rejestrować szczegółowe opisy usterek, sporządzać listy wykorzystanych części zamiennych i rejestrować całe procedury diagnostyczne np.: w przypadku awarii maszyny IPA może automatycznie wyodrębnić odpowiednie informacje z dzienników błędów i danych z czujników, przeanalizować je i wygenerować kompleksowy raport. To nie tylko oszczędza czas, ale zapewnia spójność i dokładność prowadzenia dokumentacji, zmniejszając obciążenie operatorów związane z ręcznym wprowadzaniem danych i zwiększając wiarygodność dokumentacji obsługowej.

5.2. Zbieranie i przesyłanie parametrów pracy obiektów technicznych

IPA umożliwia gromadzenie i przesyłanie w czasie rzeczywistym parametrów technicznych obiektów niezbędnych do diagnozowania awarii. Dzięki integracji z analityką opartą na sztucznej inteligencji IPA może przetwarzać ogromne ilości danych z obiektów technicznych w celu identyfikacji kluczowych wskaźników i parametrów[14]. Dane te można następnie przesłać do systemu obsługi awarii, zapewniając wgląd w pierwotną przyczynę problemów np.: jeśli element wyposażenia wykazuje oznaki przegrzania, IPA może zebrać odczyty temperatury, przeanalizować dane historyczne w celu zidentyfikowania trendów i zasugerować potencjalne przyczyny.

To proaktywne podejście pozwala na interwencję w odpowiednim czasie i skuteczniejsze rozwiązywanie problemów. IPA może bezproblemowo gromadzić i przechowywać dane z urządzeń IoT, SCADA (*ang. Supervisory Control and Data Acquisition*), OPC UA (*ang. Open Platform Communications Unified Architecture*) np. w systemie eksperckim, promując rozwój strategii proaktywnej [15]. Dzięki ciągłemu monitorowaniu parametrów maszyny, takich jak wibracje, temperatura i ciśnienie, systemy IPA mogą wykrywać anomalie i przewidywać potencjalne awarie, zanim one wystąpią. Dane te są istotne przy tworzeniu solidnych modeli identyfikujących wzorce i trendy powiązane z określonymi rodzajami awarii. Jednocześnie informacja o możliwych przyczynach niesprawności pozwoli pracownikom UR nie tylko na sprawniejsze usunięcie awarii, ale również właściwe zebranie informacji umożliwiających weryfikację postawionych przez systemy diagnostyczne hipotez.

Dzięki temu, z biegiem czasu modele te zwiększają swoją dokładność, umożliwiając zespołowi utrzymania ruchu podejmowanie działań wyprzedzających w oparciu o wiarygodne prognozy.

5.3. Planowanie i przeprowadzanie działań proaktywnych

Wykorzystując dane zebrane z maszyn i czujników z urządzeń IoT, SCADA, OPC UA, wraz ze szczegółowymi opisami zdarzeń awaryjnych, danymi diagnostycznymi, monitorowanymi parametrami oraz rejestrami części zamiennych przechowywanymi w systemie CMMS (*ang. Computerized Maintenance Management System*), IPA może zautomatyzować planowanie działań w zakresie strategii prewencyjnej. Analizując historyczne dane dotyczące awarii i bieżący stan maszyn, IPA może zoptymalizować harmonogramy konserwacji, zapewniając, że interwencje zostaną podjęte w odpowiednim czasie. Dodatkowo może automatycznie wprowadzić te plany do systemu konserwacji zapobiegawczej, łącząc wszystkie niezbędne zasoby i personel. Zmniejsza to ryzyko awarii, zwiększa wydajność operacyjną i wspiera bardziej proaktywną strategię konserwacji.

Inteligentna automatyzacja procesów oferuje kompleksowe rozwiązania – hiperautomatyzację [12] w zakresie rejestracji zdarzeń serwisowych, diagnozowania awarii, dostępu do dokumentacji technicznej, gromadzenia i analizy danych z urządzeń i czujników oraz planowania działań prewencyjnych. Dzięki tym możliwościom IPA nie tylko zwiększa dokładność i wydajność zadań obsługowych,

ale także zapewnia znaczną poprawę efektywności operacyjnej techników i operatorów.

6. Strategie eksploatacyjne w koncepcji Przemysłu 5.0

Strategia preskryptywna (PM) swoje początki ma w założeniach Maintenance 4.0, jednak jej rozwój i doskonalenie nastąpiło podczas kolejnej rewolucji Przemysłu 5.0. Przewiduje się, że konserwacja preskryptywna (PM) będzie stanowić centralny filar Przemysłu 5.0, opierając się na postępie Przemysłu 4.0 i rozszerzając jej sferę poprzez integrację ludzkiej wiedzy i technologii adaptacyjnych. Podstawowym założeniem PM jest to, że wzajemnie powiązane systemy przemysłowe poprzez sieć inteligentnych czujników oraz danych z działań obsługowych wygenerują ogromne ilości danych, które można następnie wykorzystać, aby nie tylko przewidzieć, kiedy działania obsługowe będą potrzebne (jak w przypadku konserwacji predykcyjnej), ale także przypisać określone działania w celu znacznej redukcji nieplanowanych incydentów obsługowych. Celem jest optymalizacja działań utrzymania ruchu w celu zapewnienia maksymalnej wydajności, czasu sprawności i długowieczności sprzętu przy jednoczesnym obniżeniu kosztów i zużycia zasobów.

Oczekiwania dotyczące strategii preskryptywnej w Przemysle 5.0 obejmują również płynną interakcję między pracownikami, a inteligentnymi systemami[11]. Oczekuje się, że ta synergia usprawni procesy decyzyjne, umożliwiając dokładniejsze, zależne od kontekstu działania, które uwzględniają szerszy zestaw zmiennych niż poprzednie strategie eksploatacyjne. Ponadto przewiduje się, że PM umożliwi bardziej proaktywną organizację działań obsługowych, w której strategii eksploatacyjne są stale dostrajane na podstawie informacji zwrotnych w czasie rzeczywistym i danych historycznych. Oczekuje się, że to dynamiczne podejście doprowadzi do zwiększonej produktywności i umożliwi skupienie się nie tylko na samej technologii, ale także na tym, w jaki sposób może ona umożliwić pracownikom podejmowanie bardziej świadomych, wydajnych i skutecznych decyzji obsługowych.

Już badania przeprowadzone kilka lat temu wśród analityków i decydentów z przedsiębiorstw produkcyjnych [10], wykazały że strategie predykcyjne i preskryptywne mają być najważniejszymi obszarami zastosowań analityki przemysłowej w nadchodzących latach, przy czym 79% respondentów wskazało je jako priorytetowe. Ponadto około 60% respondentów podkreśla znaczenie opracowywania systemów wspomaganie decyzji opartych na wiedzy w celu zwiększenia wydajności i efektywności procesów przemysłowych. Wiąże się to z wykorzystaniem danych operacyjnych w celu automatyzacji decyzji obsługowych, a tym optymalizacji harmonogramów konserwacji, skrócenia przestojów i poprawy ogólnej produktywności [10]. Jednak większość systemów wspierających strategię preskryptywną opisanych w literaturze naukowej pozostaje na niższym poziomie dojrzałości technologicznej niż systemy predykcyjne. Systemy strategii preskryptywnej zostały w przeważającej mierze opracowane i przetestowane w warunkach laboratoryjnych lub przedstawione jako koncepcje teoretyczne. W związku z tym kluczowe jest rozważenie różnych aspektów tych

proponowanych rozwiązań, aby uwzględnić rozbieżności między środowiskami laboratoryjnymi i rzeczywistymi.

Przeprowadzony przegląd literatury ujawnia lukę w badaniach poświęconych skutkom różnych poziomów dojrzałości technologicznej takich systemów i koncepcji preskryptywnych [11]. Istnieje zauważalny brak badań skupiających się na przejściu rozwiązań konserwacji preskryptywnej z wdrożeń laboratoryjnych do w pełni funkcjonalnych wdrożeń w warunkach przemysłowych [11]. Zajęcie się tą luką jest niezbędne do zrozumienia praktycznych wyzwań i możliwości związanych z wdrażaniem strategii preskryptywnej w rzeczywistych środowiskach produkcyjnych. Strategia preskryptywana opiera się na danych. Dlatego należy już teraz zadbać o jakość i kompletność danych, które w przyszłości jako dane historyczne będą stanowiły podstawę systemów decyzyjnych.

7. Podsumowanie

Efektywne zarządzanie systemami technicznymi jest kluczowe dla realizacji strategicznych celów firmy, gdyż przestoje konserwacyjne i trwałość sprzętu bezpośrednio wpływają na wydajność i rentowność produkcji. Zarządzanie procesami obsługowymi zapewnia sprawne działanie maszyn, minimalizując przestoje, maksymalizując niezawodność i wydłużając żywotność sprzętu, co poprawia jakość produktów, dostępność systemu oraz wydajność operacyjną i bezpieczeństwo w zakładach produkcyjnych. Dzięki efektywnym strategiom eksploatacyjnym firmy mogą działać na najwyższym poziomie wydajności, zmniejszając ryzyko awarii i przestojów. Regularne czynności konserwacyjne identyfikują potencjalne problemy na wczesnym etapie, wydłużając żywotność sprzętu i utrzymując ciągłość procesów.

Przejście od metod tradycyjnych do procesów zautomatyzowanych, w szczególności poprzez inteligentną automatykację procesów (IPA), może zmieniać sposób gromadzenia i przetwarzania danych w utrzymaniu ruchu. IPA umożliwi automatykację powtarzalnych zadań, uwalniając techników od ręcznego wprowadzania danych i dostarcza niezbędnych informacji podczas realizacji działań obsługowych. Ewolucja w kierunku inteligentnej automatykacji procesów integruje sztuczną inteligencję i uczenie maszynowe, umożliwiając kompleksową automatykację i wsparcie funkcji kognitywnych na potrzeby rozpoznawania wzorców i uczenia się adaptacyjnego. To przejście powinno wspierać szersze cele Przemysłu 5.0 i zwiększyć efektywność operacyjną utrzymania ruchu dzięki kompleksowym rozwiązaniom hiperautomatykacji [12]: rejestrowanie zdarzeń serwisowych, diagnozowania przyczyn awarii, dostępu do dokumentacji technicznej, analizę parametrów procesu i obiektów technicznych, optymalnego wykorzystania zasobów oraz planowania działań prewencyjnych i predykcyjnych.

Odpowiednio pozyskane i przygotowane dane umożliwią skuteczne wdrożenie strategii preskryptywnej, która jest kluczowym elementem Przemysłu 5.0. Rozwój i efektywność tej strategii będzie zależała w dużej mierze od jakości danych umożliwiających wielowątkową i wielokryterialną analizę oraz opracowywanie inteligentnych modeli decyzyjnych i systemów eksperckich.

LITERATURA

1. Ansari F., Glawar R., Nemeth T.: International journal of computer integrated manufacturing 2019, Tom 32, NR 4–5, 482–503, <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1571236>.
2. Asadov R.: Intelligent Process Automation: Streamlining Operations and Enhancing Efficiency in Management. 2023. Available at SSRN 4495188. doi: 10.2139/ssrn.4495188.
3. Berruti F., Nixon G., Taglioni G., Whiteman R.: Intelligent process automation: The engine at the core of the next generation operating model. Digital McKinsey, 2017. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/intelligent-process-automation-the-engine-at-the-core-of-the-next-generation-operating-model#/>.
4. Chakraborti T., Isahagian V., Khalaf R., Khazaeni Y., Muthusamy V., Rizk Y., Unuvar M.: From Robotic Process Automation to Intelligent Process Automation. In A. Asatiani et al. (Eds.), Business Process Management: Blockchain and Robotic Process Automation Forum. BPM 2020. Lecture Notes in Business Information Processing, 393. Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-030-58779-6_15.
5. Gartner. (2021), <https://www.gartner.com/en/newsroom/pressreleases/2020-09-21-gartner-says-worldwide-robotic-process-automation-software-revenue-to-reach-nearly-2-billion-in-2021>. [Accessed: feb-2022].
6. Geiger R. S., Yu K., Yang Y., Dai M., Qiu J., Tang R., Huang J.: Garbage in, garbage out? Do machine learning application papers in social computing report where human labeled training data comes from? In Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, p. 325-336. doi: 10.1145/3351095.3372862.
7. Jasiulewicz-Kaczmarek M., Mazurkiewicz D., Wyczółkowski R.: Strategie i metody utrzymania ruchu, Polskie wydawnictwo ekonomiczne, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Warszawa 2023.
8. Kaarnijoki P.: Intelligent automation. Assessing artificial intelligence capabilities potential to complement robotic process automation. 2019. Retrieved: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/27088/Kaarnijoki.pdf>
9. Kudlak L.: Don't underestimate the power of robotic process automation. Will the Age of Ultron come to our world? 2019. Retrieved from <https://medium.com/tech4planet/dont-underestimate-the-power-of-robotic-process-automation-8ffb8262d62f>.
10. Lueth K. L., Patsioura C., Williams Z. D., Kermani Z. Z.: Industrial Analytics 2016/2017: The Current State of Data Analytics Usage in Industrial Companies. Technical Report. IoT Analytics. 2016.
11. Meissner R., Rahn A., Wicke K.: Developing prescriptive maintenance strategies in the aviation industry based on a discrete-event simulation framework for post-prognostics decision making, Reliability Engineering and

- System Safety 214. 2021. 107812, journal homepage: www.elsevier.com/locate/ress.
12. Moreiraa S., Mamede H. A., Santos A.: Process automation using RPA – a literature review. *Procedia Computer Science*, 219, 2023. 244-254. doi: 10.1016/j.procs.2023.01.287.
 13. Ng K. K., Chen C. H., Lee C. K., Jiao J. R., Yang Z. X.: A systematic literature review on intelligent automation: Aligning concepts from theory, practice, and future perspectives. *Advanced Engineering Informatics*, 47, 101246. 2021. doi: 10.1016/j.aei.2021.101246.
 14. Piechowski M., Meller. A.: Use of KPI indicators to optimize production process performance – case study, *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence, DCAI 2023: Distributed Computing and Artificial Intelligence, Special Sessions I, 20th International Conference*, p 3–12.
 15. Piechowski M., Wyczółkowski R., Paszkowski W.: The Concept of a System Supporting the Implementation of an Intelligent Lubrication Strategy Within the Company Using Advanced Information Technologies, *Advances in Manufacturing IV, Volume 3 - Quality Engineering: Digitalization, Sustainability and Industry Applications*, Springer 2024.
 16. Ribeiro J., Lima R., Eckhardt T., Paiva S.: Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 – A Literature review. *Procedia Computer Science*, 181, 51-58. 2021. doi: 10.1016/j.procs.2021.01.104.
 17. Rojek I., Jasiulewicz-Kaczmarek M., Piechowski M., Mikołajewski D.: The use of decision trees to identify the causes of failures in a medical enterprise - a case study, 6th IFAC international workshop on advanced maintenance engineering, services and technology (amest2024), maintenance and asset lifecycle management for sustainable and resilient systems, Cagliari, Italy.
 18. Samson Ayinla B., Atadoga A., Ugochukwu Ike C., Leonard Ndubuisi N., Asuzu O., Adura Adeleye R.: The role of robotic process automation (rpa) in modern accounting: a review – investigating how automation tools are transforming traditional accounting practices, *Engineering Science & Technology Journal*, Volume 5, Issue 2, February 2024.
 19. Siderska J.: The Adoption of Robotic Process Automation Technology to Ensure Business Processes during the COVID-19 Pandemic”. 2021. *Sustainability*. 2021;13:8020.
 20. Siderska J., Aunimo L., Süße T., John von Stamm, Kedziora D., Nabilah Binti Mohd Aini S.: Towards Intelligent Automation (IA): literature review on the evolution of Robotic Process Automation (RPA), its challenges, and future trends., *Engineering Management in Production and Services*, Volume 15, Issue 4, 2023.
 21. Siderska J.: Robotic Process Automation – a driver of digital transformation? *Engineering Management in Production and Services*, 12(2), p. 21-31. 2020. doi:10.2478/emj-2020-0009.
 22. Waefler T., Schmid U.: Explainability is not Enough: Requirements for Human-AI-Partnership in Complex Socio-Technical Systems. In F. Matos (Ed.),

Proceedings of the 2nd European Conference on the Impact of Artificial Intelligence and Robotics (ECIAIR 2020), p. 185-194. Lisboa, Portugal: ACPIL.16.