

dr hab. inż. Bożena Gajdzik, prof. PŚ
 E-mail: bozena.gajdzik@polsl.pl; nr ORCID: 0000-0002-0408-1691
 Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii

Predyktywne i inteligentne utrzymanie urządzeń w Przemysle 4.0

— maszyny wzmocnione o dane.

Historia zmian w UR na przykładzie krajowego sektora stalowego

*Predicative and intelligent maintenance in Industry 4.0
 — machines enhanced with data. The history of changes
 in maintenance in Polish steel industry*

Od kilku już lat wzrasta zainteresowanie Przemysłem 4.0 (Industry 4.0 — I 4.0), który rozwija się na poziomie czwartej rewolucji przemysłowej. Zmiany następują we wszystkich obszarach funkcjonowania przedsiębiorstw oraz w ich otoczeniu. Są to bardzo dynamiczne zmiany o wieloaspektowym charakterze, dlatego rewolucyjne. Przekształceniom ulega wiele systemów gospodarczych i społecznych. Zmiany mają miejsce w systemach produkcji (cyberfizyczne rozwiązania), konsumpcji, transporcie i dostawach. Nowe technologie rozbudowane o możliwości cyfrowe znacznie zwiększają wartość produktów. Wykorzystywanie możliwości cyfrowych w połączeniu z rozbudowanymi technologiami prowadzi do nowych modeli biznesowych. Zmiany dokonujące się w czwartej rewolucji przemysłowej są również zmianami w obszarze utrzymania ruchu (UR). Maszyny wyposażone w czujniki i monitorowane za pomocą algorytmów tworzą nowe możliwości dla produktywności urządzeń. W Przemysle 4.0 proces konserwacji urządzeń jest proaktywny i polega (ogólnie ujmując) na tym, że to urządzenia informują użytkowników o ich działaniach oraz o sytuacjach przekraczających dopuszczalne (normalne) ramy ich użytkowania. Urządzenia są nawet w stanie poinstruować ekipę remontową (naprawczą), co ma robić, aby urządzenie uzyskało poprzednią sprawność. W niniejszej publikacji przedstawiono ogólne ramy zmian w zakresie UR w Przemysle 4.0 wraz z przykładem zmian w krajowym sektorze stalowym. Część teoretyczna pracy powstała na podstawie studium literatury, a część praktyczna jest formą typu *case study* o charakterze historycznym i ukazuje zmiany w UR w sektorze stalowym w kraju.

Słowa kluczowe:

przemysł 4.0, predyktywne UR, inteligentne UR, przemysł stalowy

For several years, Industry 4.0 (I 4.0) has been developing at the level of the fourth industrial revolution. Changes take place in all areas of business operations and in their environment. These are very dynamic and revolutionary changes. Many economic and social systems are transformed. Changes take place in production systems (cyber physical solutions), in consumption, transport and deliveries. New technologies expanded with digital capabilities significantly increase the value of products. The use of digital capabilities combined with new technologies leads to new business models. The changes taking place in the fourth industrial revolution are also changes in the area of maintenance. Machines equipped with sensors and monitored by algorithms create new possibilities for productivity. In Industry 4.0, the maintenance process is proactive and consists (generally speaking) that the machines inform users about their activities and about situations exceeding the acceptable (normal) use frames. The machines are even able to instruct the repair (repair) team what to do to ensure that the machine achieves its previous efficiency. This publication presents a general framework for changes in maintenance in Industry 4.0 with an example of changes in the domestic (Polish) steel sector. The theoretical part of the work (paper) was based on a study of literature, and the practical part is a case study with historical character because shows changes in maintenance in the steel sector in Poland.

Key words:

industry 4.0, predictive maintenance, intelligent maintenance, steel industry

Wprowadzenie

Historyczne etapy wytwarzania, od produkcji rzemieślniczej po produkcję zrobotyzowaną, następowały dotychczas ewolucyjnie, przez udoskonalenie narzędzi i metod. Przemysł 4.0 charakteryzuje się ogromnym zakresem zmian dokonujących się w różnych obszarach funkcjonowania gospodarek i społeczeństw. Istotą Przemysłu 4.0 jest integracja inteligentnych maszyn w systemach produkcyjnych, mających na celu zwiększanie wydajności wytwarzania wyrobów. Przemysł 4.0 tworzą cyberfizyczne systemy produkcji (Cyber-Physical Production Systems — CPPS) z maszynami wzmocnionymi o dane, co zmienia dotychczasowy obraz utrzymania ruchu (UR).

W ciągu ostatnich kilku lat wiele przedsiębiorstw podejmowało działania na rzecz poprawy wydajności funkcjonowania parku maszynowego, eliminując straty z tytułu niewłaściwej organizacji pracy maszyn i urządzeń (niepożądane przestoje) i podejmując działania prewencyjne (zapobieganie awariom urządzeń). Przedsiębiorstwa przeszły drogę od tradycyjnego utrzymania ruchu, polegającego na wykonywaniu remontów urządzeń w celu przywrócenia im sprawności, poprzez Total Productive Maintenance (TPM), czyli kompleksowe działania w zakresie podniesienia wydajności pracy urządzeń i prewencyjne zarządzanie utrzymaniem ruchu. W Przemysle 4.0 operatorzy mają „słuchać tego, co podpowiadają maszyny” i pomagać im sprawnie funkcjonować. W perspektywach rozwoju Przemysłu 4.0 przewiduje się nawet samoreperowanie się urządzeń (Schwab, 2018, s. 77; Rüßmann i in., 2015).

Tworzenie inteligentnego parku maszynowego wymaga czasu i nakładów finansowych. Dotychczasowe urządzenia na liniach produkcyjnych trzeba zastąpić nowymi i radykalnie zreorganizować przebieg produkcji. W Przemysle 4.0 odchodzi się od liniowej struktury produkcji sterowanej procesowo na rzecz struktury rozproszonej i monitorowanej modułowo. Jednym z modułów wsparcia produkcji jest UR, które dzięki danym i ich analizie zmieni się z konserwacji urządzeń w proaktywne (predykcyjne i inteligentne) sterowanie parkiem maszynowym. W module UR na poziomie I 4.0 nie chodzi o znajdowanie konkretnych wad urządzeń, lecz o wykorzystywanie punktów odniesienia (na podstawie informacji z czujników urządzeń) do uzyskiwania maksymalnej ich użyteczności (z udziałem lub bez udziału użytkownika urządzeń) (Susto i in., 2015, s. 812–820). Tworzenie nowych ram dla UR w Przemysle 4.0 zostało już zainicjowane między innymi w przemyśle samochodowym, energetyce, lotnictwie.

Niniejszy artykuł jest próbą pokazania etapów zmian związanych z przejściem od tradycyjnego etapu konserwacji urządzeń — „gasząc pożary” (Breakdown Maintenance), poprzez automatyzację i robo-

tyzację produkcji przemysłowej, charakteryzującej się liniową strukturą wytwarzania z działami autonomicznego (operacyjnego) UR (Autonomus Maintenance — AM) i profesjonalnymi służbami UR (Professional Maintenance — PM), do etapu predykcyjnego i inteligentnego UR (Predictive/dynamic/Maintenance — PdM with Smart Maintenance) na poziomie I 4.0 z modułowymi rozwiązaniami.

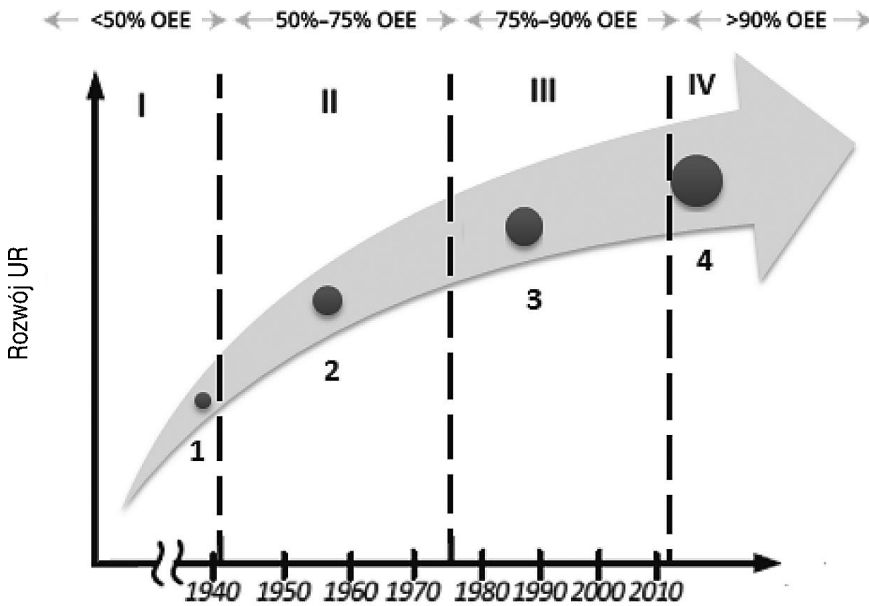
Historia UR

Na przestrzeni lat wraz z rozwojem metod organizacji i zarządzania przedsiębiorstwami zmieniały się metody konserwacji maszyn. Były to zmiany o charakterze ewolucyjnym — od reagowania służb remontowych na zaistniałe awarie urządzeń, przez planowanie prac remontowych, gromadzenie informacji z urządzeń, aż po zmiany rewolucyjne, jakimi będą działania naprawcze samych urządzeń (tryb samonaprawiania/samoreperowania). W I 4.0 powstanie nowa jakość parku maszynowego, określanego jako inteligentny (Intelligent Machine). Wraz z rozwojem UR realizowane były w przedsiębiorstwach następujące strategie: strategia pracy do uszkodzenia (Run to Failure — RTF); strategia według niezawodności (Reliability Centered Maintenance — RCM); strategia planowo-zapobiegawcza w utrzymaniu ruchu maszyn (Planned and Prevention Strategy) (Legutko, 2009, s. 8–16; Velmurugan, Dhingra, 2015, s. 1622–1661); strategia zarządzania oparta na warunkach pracy urządzeń (Condition Based Management — CBM); kompleksowa strategia podnoszenia produktywności urządzeń (Total Productive Maintenance — TPM) z poziomami: autonomicznym (Autonomous Maintenance) i profesjonalnym (Professional Maintenance), czyli poziomami: operatorów urządzeń i wyspecjalizowanych służb UR w przedsiębiorstwie lub poza nim (outsourcing UR) (Elliot, Hill, 1999); nowa strategia predykcyjna (Predictive Strategy) w I 4.0. Poszczególne strategie pojawiały się na etapie reakcyjnej konserwacji urządzeń, prewencyjnego i predykcyjnego UR.

Poszczególne strategie UR można przedstawić na osi czasu. W drugiej połowie ubiegłego wieku i w latach wcześniejszych realizowane były strategie reaktywnego i prewencyjnego UR. Rozwój strategii prewencyjnych UR przypada na koniec ubiegłego wieku. Cechowały je między innymi: monitorowanie stanu technicznego urządzeń i poziomu ich wydajności, udział operatorów urządzeń w dbałości o nie, przeglądy stanu urządzeń i inspekcje zapobiegawcze, planowanie inwestycji technologicznych. Pojawiały się również nowe narzędzia dbałości o miejsce pracy, np. 5S. Według S. Nakajimy (1988) utrzymanie ruchu maszyn i urządzeń to zapewnienie im właściwej

Rysunek 1

Cztery okresy rozwoju UR (I–IV) i cztery sposoby UR (1–4)



Legenda: I), 1) — reaktywne utrzymanie ruchu; II), 2) — prewencyjne utrzymanie ruchu; III), 3) — prognostyczne (proaktywne) utrzymanie ruchu, IV (4) — predykcyjne i inteligentne UR

Źródło: oprac. na podst. Legutko, 2009, s. 8–16; Werner, 1998, Jasiulewicz-Kaczmarek, 2005, s. 127–134; Piersiala, Trzcieliński, 2005, s. 114–126; Wang 2016, s. 260–268; Patel, 2018.

„kondycji zdrowotnej”. Wraz z czwartą rewolucją przemysłową i popularyzacją koncepcji Przemysłu 4.0 (XXI wiek) cykl rozwoju UR wydłuża się o predykcyjne działania. Cyberfizyczne systemy produkcji (Cyber Physical Production Systems — CPPS), Internet Rzeczy (Internet of Things — IoT), Internet Usług (Internet of Services — IoS) (Hermann, Pentek, Otto, 2015), ogromne zbiory danych (Big Data and Data Mining — DM) (Wang, 2013, s. 62–74) pozwalają na utworzenie nowej jakości UR określanej jako inteligentna (Intelligent Predictive Maintenance — IpdM lub Smart Predictive Maintenance). Do trzech faz trendów rozwoju UR (Legutko, 2009) można dodać fazę czwartą (IV), charakterystyczną dla I 4.0 (rys. 1).

Przedstawiona na rys. 1 faza IV i sposób 4, czyli predykcyjne i inteligentne UR, wchłania dotychczasowe strategie UR i systemy zarządzania urządzeniami (Preventative Maintenance — PM, Condition Based Monitoring — CBM, Efficiency Centered Maintenance — ECM, Risk Based Maintenance — RBM, Total Productive Maintenance — TPM, Computerized Maintenance Management System — CMMS, Reliability Centered Maintenance — RCM, Outsourcing Maintenance, Strategic Maintenance Management — SMM) (Garg, Deshmukh, 2006; Cheshworth, 2018), eliminując koncepcję reaktywnego UR, która sporadycznie pojawia się w odniesieniu do parku maszynowego o małym znaczeniu dla przed-

siębiorstwa, oraz wprowadzając nowe algorytmy funkcjonowania urządzeń w kierunku ich samouczenia i samoreperowania (Garg, 2006, s. 205; Cheshworth, 2018). Rozwój UR ma przyczynić się do poprawy wydajności parku maszynowego. Uwzględniając zmiany na poziomie wskaźnika Całkowitej Efektywności Wyposażenia (Overall Equipment Effectiveness — OEE), będącego iloczynem trzech składowych: dostępności, wydajności i jakości — Smart UR ma zwiększyć jego wartość (rys. 1).

Utrzymanie ruchu w Przemysle 4.0

Przemysł 4.0 to termin obejmujący szeroką gamę zmian w technologii wytwarzania. Urządzenia wyposażone są w czujniki sieciowe, które tworzą Internet Rzeczy, a w szczególności Przemysłowy Internet Rzeczy (Gubbi i in., 2017). Przedsiębiorstwa mają dostęp do dużych zbiorów danych i zaawansowanych analiz. Przemysł 4.0 stworzył nowe warunki do predykcyjnej konserwacji (Predictive Maintenance, stosowane skróty: PM, PdM lub DPM — Dynamic Predictive Maintenance). W przestrzeni produkcyjnej technologia IoT jest kluczowym czynnikiem umożliwiającym konserwację predykcyjną. Dzięki zastosowaniu czujników IoT ożywają inteligentne fabryki z połączonymi maszynami, które mogą komunikować

się ze sobą i z ludźmi, a przede wszystkim podejmować działania zapobiegawcze (z minimalnym udziałem operatorów), aż po samonaprawcze. Nowoczesna zaawansowana technologia może wykrywać zmiany i usterki urządzeń, których operator nie jest w stanie zauważyć (Almada-Lobo, 2016). Zamiast rozwiązywać problem po jego zakończeniu, konserwacja predykcja powiadomi system z wyprzedzeniem. W Przemysle 4.0 użytkownicy maszyn (operatorzy) korzystają z Przemysłowego Internetu Rzeczy (IIoT), aby zarządzać maszynami (SMM). To podejście polega na nadzorowaniu pracy urządzeń i śledzeniu procesu monitorowania poszczególnych ich parametrów (MP Intelligence). Systemy MP umożliwiają podjęcie czynności prewencyjnych w fazie pogorszenia się parametrów pracy maszyn lub procesów, w celu zapobiegania groźnym w skutkach awariom i związanych z nimi przestojom. Śledzenie pracy maszyn jest możliwe dzięki czujnikom i sensorom, które dostarczają danych o pracy urządzeń. K. Schwab (2018, s. 77) określa ten etap zmian jako maszyny wyposażone w dane. Dane uzyskiwane z urządzeń tworzą bazę do dynamicznego i predykcijnego utrzymania ruchu, które opiera się na modelowaniu i symulacji. Działania te zapewniają odpowiednią optymalizację prewencyjnego programu utrzymania ruchu i dostosowanie do wymaganych wskaźników (Lee, Kao, Yang, 2014, s. 3–8). Układy cyberfizyczne stosowane w konserwacji urządzeń łączą dane z technologii operacyjnych (OT) z możliwościami komunikowania się dzięki technologii IT. Po połączeniu zasobów w sieć (IIoT) można wyświetlić integralność wszystkich zasobów w jednym zarządzanym pulpicie nawigacyjnym. IIoT generuje o wiele więcej punktów danych niż pojedyncze komputery. Łącząc dane sieciowe OT, specjaliści ds. konserwacji mogą znaleźć wzorce między awariami maszyny i użyć platformy uczenia maszynowego, która może zoptymalizować lub ulepszyć algorytmy ich funkcjonowania. Stosując IIoT, operatorzy są informowani o stanie i osiąganych parametrach wydajności urządzeń w czasie rzeczywistym (Gubbi i in. 2013). Ciągły dostęp do danych umożliwia im przewidywanie awarii maszyn. Jednocześnie dzięki wbudowanym modułom technicznym urządzenia są w stanie samodzielnie dokonywać optymalizacji parametrów, wydłużając tym samym ich czas eksploatacji i poprawiają efektywność pracy i zużycia zasobów, np. energii jako źródła zasilania. W Smart UR realizowana jest automatyzacja niektórych zadań związanych z konserwacją urządzeń. SPdM wykorzystuje technologie przetwarzania danych kognitywnych, co oznacza, że jeśli wykryty zostanie wrodzony błąd w zasobach, inteligentna konserwacja predykcja uruchomi zlecenie konserwacji, a nawet sprawdzi zapas części zamiennych potrzebny do zastąpienia wadliwego komponentu nowym (Wang, 2016, s. 260–268). Jeśli odpowiednia część nie istnieje, SPdM może utworzyć zgłoszenie

zapotrzebowania na nowym element. Rola operatora urządzenia będzie ograniczała się wówczas do zatwierdzenia zamówienia. SPdM (lub SPM) (Durmus, 2019):

- monitoruje sieć zasobów połączonych za pośrednictwem Internetu przedmiotów (IoT),
- automatyzuje niektóre zadania konserwacyjne,
- integruje system pracy urządzeń z innymi systemami zarządzania, np. z systemem zamówienia.

Do podstawowych narzędzi wykorzystywanych w Smart UR należą:

- monitorowanie wydajności pracy urządzeń oraz jej parametrów,
- testy nieinwazyjne,
- obserwacja wzrokowa, wautomatyczne monitorowanie stanów,
- informatyczne systemy wspomagające.

Struktura inteligentnych systemów przewidywania konserwacji obejmuje podsystemy (Wang, 2016, s. 260–268):

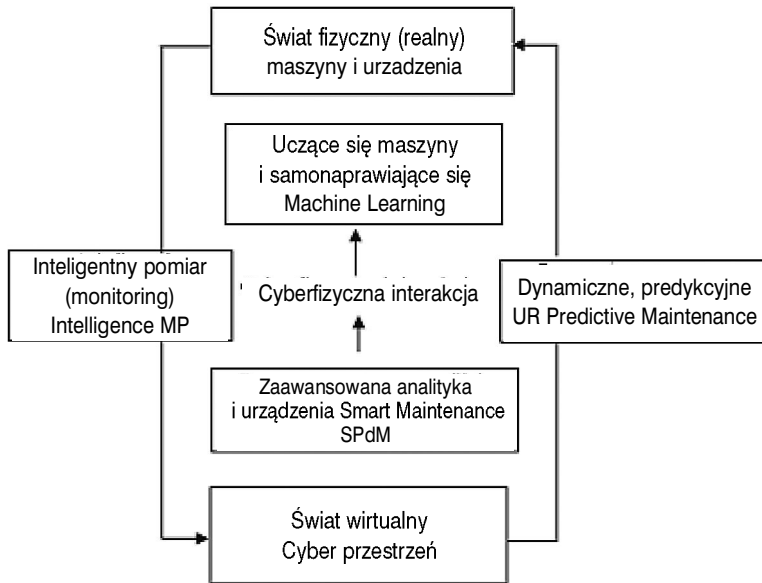
- konserwacji predykcja opartej na statystyce (Statistical-based predictive maintenance lub Statistical Based Maintenance — SBM),
- konserwacji predykcja opartej na warunkach pracy urządzeń (Condition-based predictive Maintenance or Condition-based Maintenance — CBM).

Statystyczna konserwacja predykcja korzysta z danych empirycznych urządzeń/awarii, a jej rezultatem są modele przewidywania awarii. Natomiast podsystem konserwacji warunkowej gromadzi dane uzyskiwane w sposób ciągły lub okresowy o warunkach pracy urządzeń i służy do podejmowania decyzji konserwacyjnych. Połączone podsystemy automatycznie sprawdzają i pobierają wzorce usunięcia usterki za pośrednictwem systemów Data Mining i IIoT oraz IoS (Wang, Wang, 2012; Wang, 2013). W publikacji *The Future of Maintenance*, przygotowanej przez Infosys (Patel, 2018), pojawia się sugestia, że podejście bazujące na danych pozwoli przemieścić utrzymanie ruchu na wyższy poziom i że niedługo oferowanie konserwacji przez IoS jako usługi stanie się normą. To podejście pozwoli na monitorowanie i zdalne naprawianie maszyn, a nawet potencjalnie na ich samoreperowanie się. Części zamiennne do urządzeń są między innymi drukowane przez drukarki 3D na miejscu (na żądanie systemu UR). Na rys. 2 przedstawiono schemat systemu konserwacji urządzeń na poziomie I 4.0.

Nowoczesne UR jest zintegrowaną formą dotychczasowych strategii i systemów wspomagających stosowanych w konserwacji urządzeń. Aby zautomatyzować określone zadania, platforma konserwacji predykcja powinna zostać włączona do systemu CMMS, ERP lub Manufacturing Execution System (MES). Stosowane systemy informatyczno-komputerowe w przedsiębiorstwach już dostarczają dużej liczby danych z maszyn tworzących linie i gniazda pro-

Rysunek 2

Rozwinięta forma UR na poziomie I. 4.0

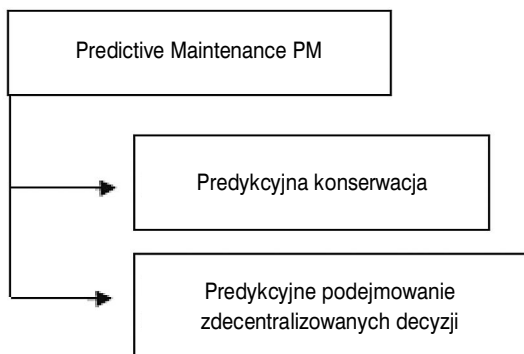


Źródło: oprac. własne na podstawie Patel, 2018; Wang, 2016.

dukcyjne. Te dane mogą być używane w czasie rzeczywistym i następnie zarchiwizowane. Eksploracja danych i różne metody zastosowane do ich analizy umożliwiają zbudowanie podstaw do predykcyjnego UR. Komputery typu tablet i poręczne wyświetlacze mogą zapewnić operatorom urządzeń natychmiastowy dostęp do krytycznych informacji podczas ich pracy (Chesworth, 2018; Wang, 2016, s. 260–268). W systemach UR integrowane są informacje otrzymywane z przedsiębiorstwa, np. z harmonogramów produkcji z informacjami zewnętrznymi, np. stan części zamienianych u dostawców. Szeroki zbiór informacji tworzy nowy zasób w postaci platformy Maintenance. Dwoma kluczowymi podsystemami predykcyjnego UR są (rys. 3) (Chesworth, 2018; Wang, 2016, s. 260–268):

Rysunek 3

Składowe PM w I.4.0



Źródło: oprac. na podstawie Chesworth, 2018; Wang, 2016.

- 1) predykcyjna pomoc techniczna — konserwacja predykcyjna,
- 2) zdecentralizowane podejmowanie decyzji — predykcyjne decyzje.

Konserwacja predykcyjna poprawia wsparcie techniczne, wychytując błędy, których nie widzą ludzie. Nie tylko eliminuje to przestoje maszyny, ale zwiększa bezpieczeństwo wszystkich osób korzystających z urządzenia. Natomiast predykcyjne decyzje konserwacyjne opierają się wyłącznie na danych, opracowanych algorytmach i modelach. Decyzje takie zmniejszają ryzyko błędu ludzkiego (ryzyko decyzyjne) (Lee i in., 2015).

W systemie PM rola operatora urządzeń zostaje ograniczona do niezbędnego minimum. W tabeli 1 zestawiono dwa pola systemu PM: maszyny i ludzie, wskazując podstawowy zakres ich działań.

Doskonalenie UR w krajowym sektorze stalowym

Za studium przypadku posłużył krajowy przemysł hutniczy, który po transformacji systemu gospodarczego przystąpił do radykalnych zmian w organizacji produkcji i zarządzaniu przedsiębiorstwami. Doświadczenie wypracowane przez różne przedsiębiorstwa hutnicze pozwoliło autorce na zbudowanie cyklu rozwoju UR w sektorze stalowym (rys. 4).

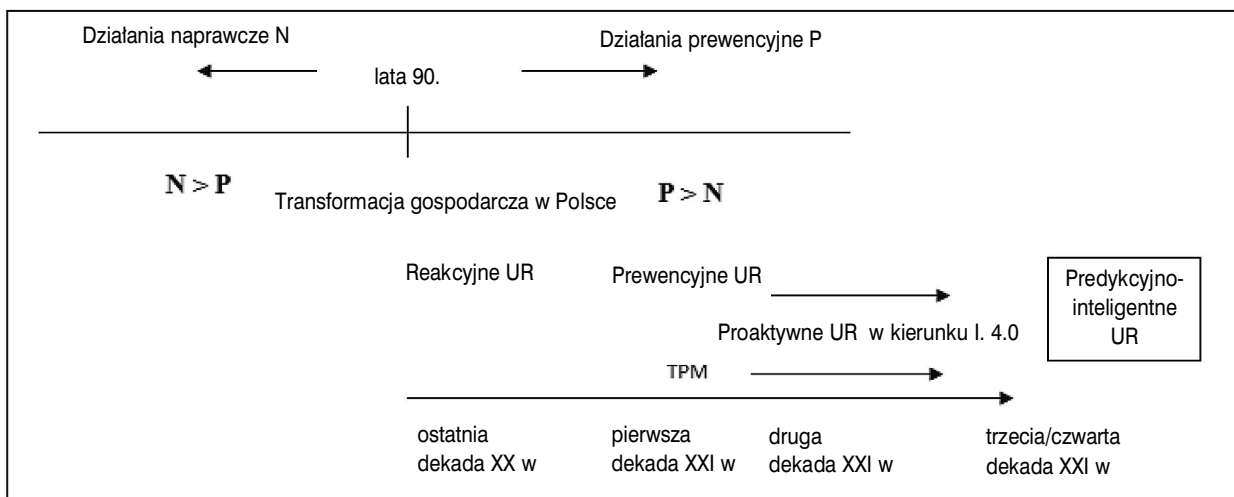
Faza I utrzymania ruchu (określana jako reakcyjna) była podstawowa w konserwacji urządzeń pod koniec ubiegłego wieku. Maszyny naprawiano sto-

Tabela 1
PM w układzie pól: Maszyna–Człowiek

Urządzenia — Smart and Predictive Maintenance	Operator — User of Maintenance
<ul style="list-style-type: none"> ■ pomiar i monitoring stanu urządzeń ■ kontrola parametrów pracy urządzeń ■ digitalizacja UR ■ optymalizacja pracy urządzeń ■ kontrola jakości pracy urządzeń ■ konfiguracja pracy urządzeń ■ modelowanie pracy urządzeń ■ optymalizowanie zasobów, z których korzystają urządzenia ■ wykrywanie nieprawidłowości pracy urządzeń ■ przewidywanie awarii urządzeń ■ zapobieganie nieprawidłowościom w pracy urządzeń 	<ul style="list-style-type: none"> ■ działania z obszaru UR, które nie są realizowane przez urządzenia ■ obserwacja pracy urządzeń ■ kontrola parametrów pracy urządzeń i stosowanych algorytmów oraz modeli ■ analityka danych i ich wykorzystanie do budowania nowych algorytmów pracy urządzeń i modeli predykcyjnych awarii ■ potwierdzanie realizacji zleceń naprawczych (samoreperacyjnych urządzeń)

Źródło: oprac. własne na podstawie Lee, Kao, Yang, 2014, s. 3–8.

Rysunek 4
Rozwój UR w krajowym sektorze stalowym po transformacji systemu gospodarczego



Źródło: oprac. własne.

sunkowo często ze względu na ich wysoką awaryjność. Remonty kluczowych urządzeń wymagały wyłączenia procesu produkcyjnego. Przedsiębiorstwa hutnicze w pierwszych latach po transformacji systemu gospodarczego (lata 90.) borykały się z wieloma problemami UR: brakowało części zamiennych, huty były zadłużone i brakowało środków na naprawy i konserwację sprzętu, a wiele urządzeń miało wysoki wskaźnik amortyzacji (Gajdzik, 2014b, s. 27–32, Gajdzik, 2014c, s. 28–30). W okresie restrukturyzacji sektora w Polsce (w latach 90. ubiegłego wieku i późniejszych), reakcyjne UR było kontynuowane. Korzystnym działaniem dla krajowego sektora stalowego był outsourcing UR. Wydziały remontowe i służby utrzymania ruchu znajdowały się w spółkach zależnych lub

niezależnych. Proces outsourcingu UR spowodował, że liczba usług UR została dostosowana do potrzeb rynku zleceńobiorców usług (Foltys, 2007). Wraz z outsourcingiem w strukturach wewnętrznych hut spadła liczba wydziałów remontowych, a na halach pojawiły się służby utrzymania ruchu. Struktura UR to komórki organizacyjne utrzymania ruchu na wydziałach produkcyjnych i zespół (zespoły) kierujący pracami służb UR na poziomie strategicznym przedsiębiorstw (Gajdzik, 2014a, s. 269–272).

Dośkonale funkcjonowanie służb UR wkroczyło do przedsiębiorstw hutniczych wraz z przejmowaniem największych hut w kraju przez zagraniczne grupy kapitałowe (pierwsza dekada obecnego wieku). Rozpoczęło się ekonomicznie uzasadnione pla-

nowanie UR. Nowi właściciele hut dokonywali rzetelnej inwentaryzacji maszyn i oceny ich stanu faktycznego. W tym okresie znacznie wzrosły wydatki hut na inwestycje technologiczne (Gajdzik, 2012). Planowanie UR realizowane jest na poziomach strategicznym i operacyjnym w sposób zintegrowany. Pierwsza dekada XXI w. to etap porządkowania planowania prac UR i wypracowywania nowych form zarządzania UR (w tym także porządkowania miejsc pracy, oznaczania powierzchni hali — strefy poruszania się pracowników) (Gajdzik, 2015b, s. 62–64). Pracownicy uczą się nowych metod organizacji pracy i dbałości o miejsce pracy, np. metody 5S.

W drugą dekadę obecnego wieku największe przedsiębiorstwa hutnicze wkraczają z programami pilotażowymi w poszczególnych filarach standardów produkcji klasy światowej (World Class Manufacturing — WCM). W ramach WCM realizowany w przedsiębiorstwach jest filar Total Productive Maintenance (TPM), który obejmuje autonomiczne UR (AUR) i profesjonalne UR (PUR) (Gajdzik, 2014a, s. 269–272). Istotą Autonomicznego Utrzymania Ruchu jest włączenie pracowników technologicznych w system ciągłego utrzymania ruchu i odciążenia działu utrzymania ruchu w wykonywaniu prostych czynności, które po krótkim przeszkoleniu mogliby wykonywać operatorzy urządzeń. Poziom PUR zajmuje się prewencją i działaniami specjalistycznymi w zakresie zapobiegania awariom urządzeń we współpracy z firmami zewnętrznymi. UR jest zintegrowane z działem planowania rozwoju technologii w zakresie realizacji strategii wczesnego zarządzania zakupami (Early Equipment Management). Występuje współpraca pomiędzy służbami technologicznymi i służbami utrzymania ruchu w zakresie zwiększenia niezawodności urządzeń. W tym celu park maszynowy jest klasyfikowany w następujący sposób (Kruczek, Zebrucki, 2012, s. 787–797):

- AA — najbardziej krytyczne (około 7% wszystkich urządzeń),
- A — krytyczne (około 25% wszystkich urządzeń),
- B — niekrytyczne (około 60% wszystkich urządzeń),
- C — nieistotne, pomocnicze (około 8% wszystkich urządzeń).

Bibliografia

- Almada-Lobo, F. (2016). The Industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16–21.
- Chesworth, D. (2018). *Industry 4.0 Techniques as a Maintenance Strategy (A Review Paper)*. https://www.researchgate.net/publication/322369285_Industry_40_Techniques_as_a_Maintenance_Strategy_A_Review_Paper (16.07.2019).
- Durmus, M. (2019). *Smart predictive maintenance: the key to Industry 4.0*. <https://www.aisoma.de/smart-predictive-maintenance-the-key-to-industry-4-0/> (12.01.2019).
- Elliot, B. R., Hill, G. (1999). Total Productive Maintenance. Is it time to move on? *Logistics Solutions*, 1(3), 25–28.
- Foltys, J. (2007). *Wieloaspektowy model outsourcingu na przykładzie sektora hutnictwa żelaza i stali*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- Gajdzik, B. (2012). *Przedsiębiorstwo hutnicze po restrukturyzacji. Dynamika zmian w krajowym sektorze hutniczym w latach 1992–2010*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.

Techniką wykorzystywaną w UR są niebieskie i czerwone etykiety. Każda etykieta kategoryzowana jest ze względu na typ anomalii i może być związana z: mechaniką, elektryką, energetyką danego urządzenia oraz może być ściśle związana z aspektem bezpieczeństwa. W przedsiębiorstwach występuje koordynacja prac związanych z UR w wymienionych przedmiotowych obszarach występowania anomalii i służb ich usuwania. Zintegrowany system UR ma zwiększyć przepustowość, wydajność, jakość i bezpieczeństwo obiektu. Jednocześnie ma zmniejszyć koszty konserwacji i zapasów części zamiennych.

W trzecią dekadę obecnego wieku przedsiębiorstwa wchodzą z inicjatywą przystąpienia do I 4.0. Poziom automatyzacji w przedsiębiorstwach hutniczych odpowiada trzeciej rewolucji przemysłowej. Inwestycje w najnowszą technologię przemysłową są ciągle realizowane, a na urządzeniach montowane są czujniki monitoringu parametrów pracy całych ciągów technologicznych. Natomiast na poziomie systemów zarządzania podejmowane są działania w kierunku utworzenia predykcyjnego UR. Porządkowane są dane generowane przez poszczególne urządzenia, aby można je było wykorzystać do predykcyjnej konserwacji. Podstawy (załączki) systemów predykcyjno-inteligentnych w zakresie UR planowane są (prognozowane) na 2030 rok i lata następne.

Podsumowanie

Wraz z popularyzacją I 4.0 wzrasta ranga predykcyjnej i inteligentnej konserwacji, której istotą jest komunikacja między maszynami (M2M) i sztuczna inteligencja, podejmująca decyzje oparte na danych przy minimalnej interwencji człowieka. Konserwacja predykcyjno-inteligentna pozwala na: prognozowanie awarii i zapobieganie im, pełne wykorzystanie części zamiennych, automatyczne wytwarzanie części zamiennych techniką addytywną (druk 3D), poprawę OEE, wyeliminowanie nieplanowanych przestojów, poprawę wydajności i bezpieczeństwa pracy (ograniczenie pracy dla ludzi w warunkach trudnych), uczenie się maszyn, a w perspektywie także ich samoreperowanie się.

- Gajdzik, B. (2014a). Autonomous and professional maintenance in metallurgical enterprises as activities within Total Productive Maintenance. *Metalurgia*, 53(2), 269–272.
- Gajdzik, B. (2014b). Dbałość pracowników o pełną produktywność maszyn i urządzeń — TPM w przedsiębiorstwie produkcyjnym. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (1), 27–32.
- Gajdzik, B. (2014c). Organizacja działań w ramach TPM w przedsiębiorstwach produkcyjnych. *Logistyka*, (3), 28–30.
- Gajdzik, B. (2015a). Reorganizacja służb utrzymania ruchu w przedsiębiorstwach hutniczych w Polsce. *Hutnik — Wiadomości Hutnicze*, 82(2), 176–182.
- Gajdzik, B. (2015b). Służby utrzymania ruchu w krajowych hutach dawniej i dziś. *Logistyka*, (1), 62–64.
- Garg, A., Deshmukh, S. G. (2006). Maintenance management: literature review and directions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 205–210.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
- Hermann, M., Pentek, T., Otto, B. (2015). *Design principles for industry 4.0 scenarios: A literature review*. Dortmund: Technical University of Dortmund.
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M. (2005). Współczesne koncepcje utrzymania ruchu infrastruktury technologicznej przedsiębiorstwa. W: M. Fertsch, S. Trzcieliński (red.). *Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi* (127–134). Poznań: Instytut Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.
- Kruczek, M., Żebrucki, Z. (2012). Doskonalenie procesów utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie branży hutniczej. *Logistyka*, (2), 787–797.
- Lee, J., Ardakani, H. D., Yang, S., Bagheri, B. (2015). Industrial Big Data Analytics and Cyber-physical Systems for Future Maintenance & Service Innovation. *Procedia CIRP*, (38), 3–7.
- Lee, J., Kao, H. -A., Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, (16), 3–8.
- Legutko, S. (2009). Trendy rozwoju utrzymania ruchu maszyn i urządzeń. *Eksploatacja i Niezawodność*, (2), 8–16.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM*. Portland: Productivity Press.
- Patel, M. (2018). *The Future of Maintenance. White paper*. Bengaluru: Infosys. <https://www.infosys.com/industries/aerospace-defense/white-papers/Documents/enabled-predictive-maintenance.pdf> (16.07.2019).
- Piersiala, S., Trzcieliński, S. (2005). *Systemy utrzymania ruchu. W: Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi* (114–126). Poznań: Instytut Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Boston Consulting. http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf (16.07.2019).
- Schwab, K. (2018). *Czwarta rewolucja przemysłowa*. Warszawa: Studio Emka.
- Susto, G. A., Pampuri, S., Schirru, A., McIoone, S. (2015). Machine learning for predictive maintenance: A multiple classifier approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(3), 812–820.
- Velmurugan, R. S., Dhingra, T. (2015). Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: A conceptual framework. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(12), 1622–1661.
- Wang, K. S. (2016). Intelligent Predictive Maintenance (IPdM) system — Industry 4.0 scenario. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, (113), 260–268.
- Wang, K. S. (2013). Towards zero-defect manufacturing (ZDM) — A data mining approach. *Advances in Manufacturing*, (1), 62–74.
- Wang, K. S., Wang, Y. (2012). Towards a next generation of manufacturing: Zero-Defect Manufacturing (ZDM) using data mining approaches. W: J. J. Rodriguez-Andina (red.). *Data mining for Zero-Defect Manufacturing*, New York: Tapir Academic Press.
- Werner, G. W. (1998). *Praktyczny poradnik konserwacji maszyn i urządzeń*. Warszawa: Wydawnictwo Alfa-Weka.

Księgarnia internetowa Polskiego Wydawnictwa Ekonomicznego
zaprasza na zakupy **z rabatem 15%**

www.pwe.com.pl

