

Systemy nadzoru: prerekwizyty wymagane na rzecz różnych strategii UR¹

Ryszard Nowicki

1. Wprowadzenie

Człowiek przedstawia różne znaczenie dla społeczeństwa. W sposób oczywisty oczekiwanie tego ostatniego jest inne w stosunku do dzieci, abiturientów, absolwentów, a także osób, które opuściły już rynek pracy. Nieco podobnie jest z systemami nadzoru. Kierowane w stosunku do nich oczekiwania były różne w kolejnych ćwierćwieczach minionego wieku. Szeroko rozumiany postęp powoduje, że także te systemy ciągle się rozwijają, a możliwości prezentowane przez nie ćwierć wieku temu różnią się zdecydowanie od dostępnych współcześnie.

Przystępując do budowy (lub także do oceny aktualnie używanego) systemu nadzoru, niewątpliwie trzeba znać szkielet jego klasycznej konstrukcji oraz posiadać dobrą świadomość dzisiejszych możliwości, bowiem świadomość ta warunkuje optymalne zaprojektowanie systemu dla użytkowanego w przedsiębiorstwie majątku produkcyjnego. Stąd też temat prezentowany jest w dwóch częściach. W związku z faktem, że wiele przedsiębiorstw (z perspektywy systemów nadzoru wspomagających utrzymanie ruchu [UR]) wciąż tkwi głęboko w epoce Przemysłu 3.0, Przemysłu 2.0, a nawet wcześniej, to w części pierwszej scharakteryzowane zostaną klasyczne prerekwizyty wykorzystywane na wymienioną okoliczność. Natomiast w części drugiej zostaną omówione te, które wynikają z możliwości stosowania technik towarzyszących pojawieniu się Przemysłu 4.0.

2. Wprowadzenie do systemów nadzoru

UR to działania i procesy realizowane w ramach ogólnie pojętej produkcji, mające na celu: (I) zapewnienie dostępności infrastruktury technicznej zakładu (maszyny, urządzenia, instalacje itp.) oraz (II) zagwarantowanie jej prawidłowej eksploatacji. Współcześnie UR obejmuje także inne, znacznie szersze aspekty niż tylko środki produkcji i ich pracę.

Każde przedsiębiorstwo winno posiadać jakąś strategię UR, która typowo jest tym bardziej złożona, im przedsiębiorstwo jest większe. Stosowana strategia wpływa na całość działań prowadzonych w obszarze UR infrastruktury technicznej, które są podporządkowane osiągnięciu założonych celów przedsiębiorstwa. Cele mogą podlegać zróżnicowanej priorytetyzacji, jak np. wzrost niezawodności, obniżenie kosztów zużycia energii, poprawa dostępności itp. W ujęciu długofalowym: strategia UR infrastruktury technicznej jest planem definiującym cele, które winny zostać osiągnięte z pomocą służących temu zasobów.

Majątek produkcyjny każdego przedsiębiorstwa winien być sklasyfikowany ze względu na jego krytyczność dla realizacji misji przedsiębiorstwa i w konsekwencji wykorzystywane



Rys. 1. Zróżnicowanie konstrukcyjne majątku produkcyjnego i jego wpływ na tempo zmiany stanu technicznego

winny być zróżnicowane typy UR na okoliczność poszczególnych elementów infrastruktury technicznej.

W konsekwencji każde większe przedsiębiorstwo winno posiadać listy klasyfikacji majątku produkcyjnego z punktu widzenia jego krytyczności dla procesu produkcyjnego, mieć przyporządkowany typ UR dla każdej pozycji listy majątku, a także winno dysponować dokumentacją określającą wymagane metody i techniki nadzoru stanu dla poszczególnych klas krytyczności majątku². Brak dokumentów charakteryzujących wymagania rozwiązań powoduje, że w szeregu przypadków dochodzi do posługiwania się dokumentami generowanymi spontanicznie, które często znacznie odbiegają od najlepszych praktyk inżynierskich, nawet w przypadkach, kiedy są zlecone do przygotowania i opracowane przez biuro projektowe [1].

W zależności od prędkości rozwoju stanu awaryjnego grożącego naruszeniem integralności mechanicznej majątku produkcyjnego wymagana jest odpowiednia szybkość działania systemu nadzoru. Na rys. 1 wymieniono jedną z cech konstrukcyjnych maszyn wirnikowych, czyli rodzaj wykorzystywanych łożysk, która istotnie przyczynia się do prędkości rozwoju awarii. W konsekwencji wymagane są inne właściwości systemów nadzorujących maszyny łożyskowane tocznie, a inne dla tych, które są łożyskowane ślizgowo, co bezpośrednio przekłada się na koszt systemu nadzorującego. W wielu przypadkach dla maszyn pomocniczych mogą być zastosowane systemy skaningowe (czy to klasyczne przewodowe, czy też współcześnie promowane bezprzewodowe), których implementacja jest tańsza niż systemów online'owych obligatoryjnie wymaganych dla maszyn krytycznych łożyskowanych ślizgowo.

W szeregu przypadków wystarczająca jest klasyfikacja w trzech klasach krytyczności: (i) majątek krytyczny, majątek semi-krytyczny (charakteryzowany czasami w piśmiennictwie skrótem BOP³) oraz niekrytyczny.

Strategia UR jest typowo opracowywana z horyzontem czasowym 2–5 lat. Winna ona zawsze bazować na założeniach

biznesowych związanych ze świadczeniem usług przez infrastrukturę krytyczną, na wpływie warunków otoczenia na działanie różnych przedsiębiorstw, właściwych dla branży, no i w sposób oczywisty winna uwzględniać nowo pojawiające się możliwości techniczne i systemowe.

W latach 70. minionego wieku jako narzędzia wspomagające organizację działów UR pojawiły się rozwiązania informatyczne. Współcześnie ich zastosowanie jest bardzo popularne. Mniejsze firmy wykorzystują w tym celu arkusze kalkulacyjne Excel albo proste darmowe programy komputerowe. Większe przedsiębiorstwa, które posiadają lepiej wydzieloną i zorganizowaną jednostkę służb UR (=SUR), decydują się na narzędzia w pełni profesjonalne, czyli jakiś system klasy CMMS⁴, będący rozwiązaniem dedykowanym dla większych wydziałów UR.

Na efektywność strategii UR wpływają różne czynniki. Na rys. 2 pokazano trzy z nich, które wydają się być dominującymi. Są to:

- zaawansowanie samej strategii, o którym najczęściej decyduje krytyczność środków produkcji; może ono być mierzone w różnicowaniu technik wykorzystywanych w ocenie stanu technicznego (np. pomiary drgań, analizy oleju, termografia, emisja akustyczna, analizy sygnałów elektrycznych z układów zasilania), a także w stopniu zaawansowania ich wdrożenia (np. metody obchodowe, systemy on-line'owe skaningowe, systemy on-line'owe pracujące w reżimie współfazowego gromadzenia danych, systemy umożliwiające gromadzenie danych w warunkach pracy ustalonej maszyny lub także dodatkowo w tzw. warunkach transjentowych);
- zaawansowanie wykorzystywanych środków technicznych, które pozostaje w dodatnim skorelowaniu z wymaganiami do ich nabycia nakładami;
- poziom wiedzy oraz posiadane umiejętności specjalistów SUR, bowiem na nic zaawansowane systemy, jeśli wykorzystywane są przez niewystarczająco do tego przygotowaną kadrę; kadra SUR winna w każdym przypadku posiadać wiedzę szerszą niż potrzebna do efektywnego wykorzystania posiadanych narzędzi, bowiem tylko wtedy możliwe jest stymulowanie przez nią postępu; tak więc wdrażaniu nowych narzędzi winien towarzyszyć proces wystarczająco intensywnego szkolenia, który w możliwie krótkim czasie doprowadzi do osiągnięcia poziomu umiejętności wymaganego do ich efektywnego wykorzystywania.

Wszystkie elementy są ważne, natomiast pewnie najczęściej zależy od ostatniego z wymienionych czynników, który jest także warunkowany dbałością przedsiębiorstwa o rozwój



Rys. 2. Czynniki wpływające na efektywność strategii UR

merytoryczny kadry. Bowiem dobrze jest pamiętać stare przysłowie: „Daj chłopu zegarek, to go kłonicą nakręci albo wskazówkami będzie w zębach dłubał”.

Systemy nadzoru nie są stosowane wyłącznie z myślą o integralności majątku produkcyjnego. W szeregu sytuacji monitorowanie stanu technicznego jest niezbędne również dla bezpieczeństwa procesowego, a w niektórych sytuacjach także ze względu na bezpieczeństwo ludzi i środowiska. Najlepiej świadczą o tym awarie, do których doszło w różnych branżach (kopalnie, energetyka, O&G, ...) w przeszłości i które pociągnęły za sobą tragiczne skutki [2].

3. Klasyczne prerekwizyty systemu UR

W każdym przedsiębiorstwie produkcyjnym możemy wyróżnić różne komponenty systemu kontroli i sterowania procesu produkcyjnego. Poza pomiarami ukierunkowanymi na proces, system ten w wielu przypadkach jest także odpowiedzialny za prowadzenie pomiarów zorientowanych na środowisko, bowiem od tych pomiarów może także zależeć wynik finansowy działania przedsiębiorstwa. I tak np. od temperatury otoczenia może zależeć sprawność (termodynamiczna) procesu produkcyjnego, a stopień emisji może wpływać na poziom płaconych przez przedsiębiorstwo kar.

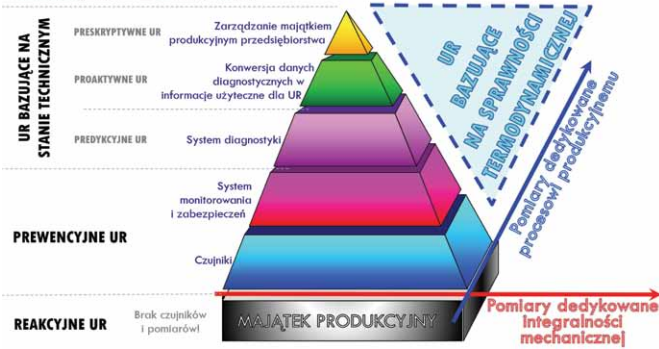
W przypadku pomiarów procesowych i środowiskowych prawie w każdym przypadku mamy do czynienia z sensorami, które generują sygnały quasi-stacyczne (tzn. wolnozmiennie). W związku z tym ich gromadzenie odbywa się współcześnie typowo z krokiem czasowym od 100 ms do kilku – kilkunastu sekund.

Nieco inaczej sytuacja przedstawia się z pomiarami realizowanymi na rzecz monitorowania integralności mechanicznej. W tym przypadku również krok czasowy pomiarów może być podobny do ww. (a ponadto w najbardziej zaawansowanych systemach wymagana jest dodatkowo akwizycja sygnałów ze stałym krokiem ΔRPM w stanach zmiennych prędkości obrotowych wirnika), ale ze względu na fakt, że w celu oceny integralności wykorzystywane są zarówno czujniki generujące sygnały quasi-stacyczne, jak i dynamiczne (o zróżnicowanej, w tym także wysokiej częstotliwości pracy), obowiązują inne reguły akwizycji sygnałów. Inne, tzn. takie, które również pozwalają generować, bezpośrednio lub po prowadzonym postprocesingu, symptomy funkcyjne (np. widma 2- i 3-wymiarowe, analizy orbity płaskie lub przestrzenne, analizy prezentujące kształt wirnika oraz stojana i wiele innych).

Na rys. 3 pokazano komponenty systemu, który jest pomocny w nadzorze stanu technicznego. Są to pomiary dedykowane bezpośrednio monitorowaniu integralności mechanicznej środków produkcji oraz dodatkowo mogą być też pomiary realizowane przez system sterowania produkcją. W zależności od zaawansowania wdrożonego systemu możliwe jest realizowanie różnej formy UR.

W tabelach scharakteryzowano kierunki rozwoju na przestrzeni minionych kilkudziesięciu lat komponentów systemu nadzoru integralności mechanicznej wyróżnionych na rys. 3. Wyprecyzowane w ramach grupy produktów stanowią klasyczne prerekwizyty systemów nadzoru. Tak więc w tabeli 1 wymieniono czujniki, które współcześnie bywają

DOSTĘPNE FORMY UR:



Rys. 3. Systemy współuczestniczące w nadzorze stanu technicznego i warunkujące realizację różnych form UR



Rys. 4. Miejsca pozyskiwania danych i wspomaganie UR z pomocą systemów rozpoznawania anomalii

wykorzystywane w systemach nadzoru, w tabeli 2 podstawowe cechy systemów monitorowania i zabezpieczeń, w tabeli 3 zróżnicowanie systemów diagnostyki realizujących pierwszoplanowo akwizycję danych diagnostycznych i w końcu w tabeli 4 systemy diagnostyczne wspomagające inteligentną konwersję danych w informacje użyteczne dla SUR oraz służb nadzorujących proces produkcji.

Kilkanaście lat temu, a więc wciąż jeszcze w dobie Przemysłu 3.0, do wspomaganie systemów nadzoru zaczęto wprowadzać systemy detekcji anomalii. Systemy te wykorzystują wszelkiego typu pomiary realizowane zarówno na kierunku

kontroli procesu (tzn. pozyskiwane z systemów DCS i PLC), jak i realizowane przez mniej lub bardziej kompletnie wdrożone systemy nadzoru integralności. Na rys. 4 pokazano pozycjonowanie tych systemów na tle elementów systemu typowo przeznaczonego do nadzoru stanu technicznego jaki pokazano na rys. 3.

W tej klasie systemów wyróżnia się rozwiązania programowe [3] i sprzętowe [4, 5], które mogą wykorzystywać jako dane wejściowe m.in. wszelkie pomiary realizowane przez systemy pokazane na rys. 3. Detekcja anomalii może być ukierunkowana zarówno na proces, jak i na stan techniczny majątku

Tabela 1. Czujniki

<p>Rozwój zaawansowania systemów nadzoru wiąże się ze zwiększeniem zróżnicowania czujników łączących majątek produkcyjny z systemami monitorowania. Współcześnie wykorzystuje się:</p> <ul style="list-style-type: none"> • czujniki drgań mechanicznych różnej natury oraz różnego przeznaczenia: <ul style="list-style-type: none"> • czujniki sejsmiczne: <ul style="list-style-type: none"> • czujniki piezoelektryczne (wykorzystywane w celu generowania sygnału przyspieszeń lub prędkości drgań) • czujniki indukcyjne • czujniki optyczne • czasami czujniki tensometryczne, • bezkontaktowe czujniki drgań względnych (najczęściej wiroprowadowe, a czasami także indukcyjne i pojemnościowe), • czujniki drgań skrętnych wirnika; • czujniki temperatury: <ul style="list-style-type: none"> • termoporne, • termopary, • termistory, • optyczne, • radarowe; • czujniki sygnałów elektrycznych (monitorujących sygnały AC w szerokim paśmie częstotliwości): <ul style="list-style-type: none"> • napięcia, • prądu; • czujniki ciśnienia pulsacji medium (pracujące w szerokim paśmie częstotliwości i umożliwiające na ogół także pomiar ciśnienia średniego); • czujniki położenia i kształtu (wykorzystywane do takich pomiarów, jak m.in.: szczelina powietrzna w wirnikowych maszynach elektrycznych, szczelina między wirnikiem turbiny wodnej a komorą, w której wirnik 	<p>pracuje, wydłużenia korpusów turbin ciepłych zarówno poosiowe, jak i poprzeczne, wydłużenia względne między wirnikiem a korpusem, położenia wirnika w łożysku oporowym oraz w łożyskach poprzecznych, deformacji statycznej wirników turbin, czyli tzw. ekscentryczności, odległości końcówek łopatek od korpusu):</p> <ul style="list-style-type: none"> • kontaktowe (np. LVDT), • bezkontaktowe (np. wiroprowadowe); <ul style="list-style-type: none"> • układy umożliwiające pomiar wyładowań niezupełnych (wykorzystywane w wirnikowych maszynach elektrycznych do oceny stanu izolacji); • czujniki sygnałów akustycznych: <ul style="list-style-type: none"> • mikrofony, • ultradźwiękowe, • emisji akustycznej; • czujniki strumienia elektromagnetycznego (instalowane między stojanem a wirnikiem, umożliwiające m.in. ocenę zwarcia międzyzwojowych wirników generatorów); • czujniki mierzące jakość oleju oraz zawartych w nim produktów zużycia; • czujniki prędkości obrotów wirnika: <ul style="list-style-type: none"> • magnetyczne (pasywne i aktywne); • wiroprowadowe. <p>O ile w dalekiej przeszłości wszystkie czujniki były podłączane do systemu monitorowania w sposób przewodowy, o tyle w minionej dekadzie coraz więcej czujników pracuje bezprzewodowo. W tym ostatnim przypadku, o ile pierwsze czujniki bezprzewodowe wspomagały ocenę w oparciu o punktowe estymaty sygnałów, o tyle współcześnie coraz częściej czujniki bezprzewodowe wspomagają transmisję sygnałów dynamicznych, umożliwiając wykonywanie analiz widmowych i innych.</p>
---	--

Tabela 2. Systemy monitorowania i zabezpieczeń

W każdym przypadku czujniki jak opisane w tabeli 1 muszą być podłączone do jakiegoś systemu (lepiej: do systemu umożliwiającego monitorowanie stanu technicznego). Może to być system dedykowany nadzorowi integralności mechanicznej*). W przypadku pomiarów procesowych będzie to oczywiście DSC/PLC. Realizowany przez oba systemy monitoring może służyć celowi zabezpieczenia stanu technicznego. Jeśli ta funkcjonalność jest wykorzystywana, to wypracowywane są sygnały binarne, które są przekazywane do systemu klasy ESD**).

O ile w przypadku sygnałów podłączonych do DCS-u są one zawsze realizowane zgodnie z zasadą „jeden czujnik – jeden pomiar”, o tyle w przypadku pomiarów dedykowanych integralności mechanicznej, w szczególności wtedy, kiedy czujnik generuje jakiś sygnał dynamiczny, najczęściej dla każdego takiego sygnału wykonywanych jest wiele pomiarów i mogą w tym celu być wykorzystywane różne estymaty sygnału. Typowym przykładem są tutaj pomiary drgań względnych realizowanych z pomocą czujników wiropędowych, które w minimalnym przypadku prowadzą do pomiaru jakiejś estymacji sygnału dynamicznego dla składowej Vac (najczęściej jest to estymata: *peak-to-peak*) oraz odległości, w jakiej się znajduje drgające ciało od czujnika (jest to pomiar składowej Vdc, zwany w żargonie diagnostyki GAP-em). Zauważmy, że w wielu przypadkach systemy monitorowania generują szereg pomiarów wektorowych. Powoduje to, że liczba pomiarów dla pojedynczego sygnału jest zbliżona do dziesięciu, a w niektórych przekracza nawet dwadzieścia.

Obserwowany na przestrzeni minionych lat rozwój systemów monitorowania i zabezpieczeń przede wszystkim skupiał się na polepszeniu metod ich interfejsowania z DCS (współcześnie jest to możliwe nie tylko jednokierunkowo od systemu monitorowania do DCS, ale dwukierunkowo

analogowo, cyfrowo, a także binarnie celem sygnalizowania różnych stanów oraz realizowana różnych funkcjonalności, z pomocą sygnałów analogowych) oraz na umożliwieniu podłączenia czujników, które wcześniej w systemach monitorowania nie były wykorzystywane.

Systemy monitorowania umożliwiają realizację zróżnicowanej filtracji sygnałów. Jest to nie tylko filtracja mająca na celu wyselekcjonowanie określonych składowych częstotliwościowych (także w celach zaporowych), ale także filtracja mająca na celu wyselekcjonowanie dla oceny określonych fragmentów sygnału czasowego (tzn. oceniane są sygnały dynamiczne gromadzone dla określonej konfiguracji wzajemnej elementów maszyny).

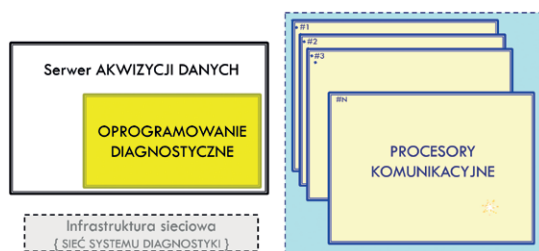
Inne elementy konstrukcyjne systemu monitorowania, które winny być rozpatrywane w procesie doboru systemu do jakiejś aplikacji, to: (I) możliwość wyjść przekaźnikowych i ich liczba, dostępna logika wyjść przekaźnikowych, (II) możliwość prowadzenia autodiagnostyki, (III) potrzeba redundancji sygnałów z czujników, możliwość interfejsowania z DCS i jego standard, rodzaj zasilania systemu, możliwość interfejsowania z systemem diagnostyki, rodzaj procesorów komunikacyjnych wykorzystywanych przez system diagnostyki (zewnętrzne względem systemu monitorowania, zintegrowane z tym systemem, poprzez połączenie sieciowe online).

* Użyte w tym zwrocie słowo „mechanika” nie powinno być mylące, bowiem tak samo jak odnosi się do takich elementów mechanicznych, jak np. łożyska, sprzęgła czy rurociągi, to również pokrywa swoim znaczeniem elementy układów elektrycznych, np. w zakresie: poprawność izolacji obwodów elektrycznych, stan końcówek uzwojeń stojana generatora etc.

** ESD – Emergency Shutdown Device.

Tabela 3. Systemy akwizycji danych diagnostycznych

Na rysunku pokazano typowe komponenty systemu diagnostyki. Są to (I) serwer systemu diagnostyki, na którym zaimplementowane jest (II) oprogramowanie diagnostyczne, (III) procesory komunikacyjne, które umożliwiają powiązanie kaset systemu monitorowania z serwerem, (IV) infrastruktura sieciowa, która umożliwia powiązanie poszczególnych komponentów systemu między sobą, ale także powiązanie serwera z innymi systemami (w tym m.in. z DCS).



Komponenty współczesnego systemu diagnostyki

Zróżnicowanie systemów diagnostyki sprowadza się do:

- stopnia uniwersalności systemu ze względu na rodzaj majątku produkcyjnego, który może być do niego podłączony: są systemy, które umożliwiają podłączenie jedynie ograniczonych klas maszyn [np. tylko sprężarki tłokowej] oraz bardziej uniwersalne, które są przygotowane do wypracowywania analiz diagnostycznych dedykowanych bardzo zróżnicowanym maszynom;

- sposobu pozyskiwania danych; mogą być one pozyskiwane z:

- z przenośnych zbieraczy danych,
- z przewodowych i/lub bezprzewodowych systemów skanujących,
- z tzw. systemów online'owych w sposób symultaniczny lub quasi-symultaniczny; w tym ostatnim przypadku wyróżnia się systemy słabsze, które umożliwiają akwizycję jedynie w warunkach stanów ustalonych, bądź także w tzw. warunkach transjentowych, tzn. w fazie rozruchu i wybiegu;

- DCS-u co jest bardzo ważne z następujących względów;

- pierwszy z nich jest merytoryczny: szereg symptomów stanu technicznego jest uzależnionych od tzw. zmiennych procesowych, a w niektórych przypadkach także środowiskowych; zmienne te są gromadzone przez DCS i winny być udostępnione dla systemu diagnostyki;
- drugi jest formalny: system diagnostyki winien pracować w tym samym czasie, jaki ma miejsce w systemie sterowania produkcją, a więc DCS musi synchronizować czas w systemie nadzoru;
- czasami zdarza się, że z jakichś względów (najczęściej jest to błąd projektowy) bezpośrednio do DCS-u zostały podłączone czujniki, które nie służą kontroli procesu, a są bezpośrednio odpowiedzialne za nadzór stanu technicznego; tak więc pomiary sygnałów z tych czujników winny być przekazane do systemu nadzoru stanu technicznego;

- sposób zorganizowania bazy danych;

- zaawansowanie post-processingu gromadzonych danych, co jest szczególnie ważne dla sygnałów dynamicznych.

Tabela 4. Konwersja danych diagnostycznych w informacje użyteczne dla służb UR

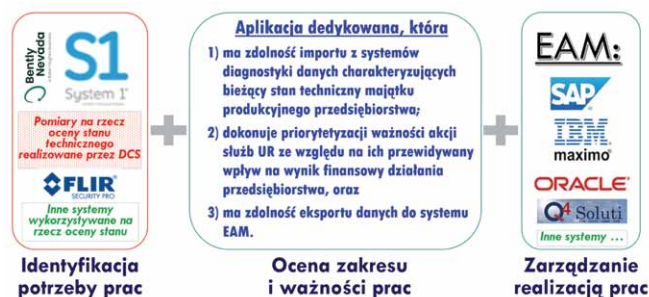
<p>Najstarsze rozwiązania systemów wspomagających UR, opracowane w latach 80., nie posiadały tych wszystkich elementów, które pokazano na rys. 3. Składały się one jedynie z trzech elementów opisanych w poprzednich tabelach. W tych pierwotnych systemach za konwersję danych w informacje użyteczne dla SUR odpowiadali specjaliści, którzy w różnych przedsiębiorstwach dysponowali bardzo zróżnicowaną wiedzą. Z tego względu producenci systemów diagnostyki zaczęli wykorzystywać narzędzia sztucznej inteligencji i wprowadzać wszędzie tam, gdzie to było możliwe, elementy oprogramowania o charakterze ekspertowym, które miały na celu automatyzację ww. konwersji.</p> <p>Takie systemy ekspertowe były zorientowane na:</p> <ul style="list-style-type: none"> • rozpoznawanie i informowanie o typowych uszkodzeniach, takich jak np.: <ul style="list-style-type: none"> • węzły łożyskowe toczne, • nieprawidłowości pracy łożysk ślizgowych, • nieosiowości, • ... • ocenę stanu technicznego określonego majątku produkcyjnego, takiego jak np.: 	<ul style="list-style-type: none"> • turbiny, • generatory, • silniki elektryczne, • pompy, • sprężarki, • dmuchawy, • wentylatory, • transformatory, • ... <p>Niektóre produkty cechowały się funkcjonalnością szkieletowych systemów ekspertowych, a więc umożliwiały generowanie reguł ekspertowych przez użytkownika, a także modyfikowanie reguł już istniejących w systemie.</p> <p>W niektórych korporacjach wykorzystywane są także inteligentne aplikacje dedykowane (tzn. takie, które wykorzystują sztuczną inteligencję) w formie jak przedstawiona na rys. 5, co oznacza, że ich celem jest nie tylko konwersja danych w informacje, ale także dodatkowo określanie priorytetyzacji ważności zadań SUR.</p>
--	---

produkcyjnego. Może ona także brać pod uwagę inne problemy ruchowe, jak np. poprawność zasilania napędów elektrycznych.

Systemy detekcji anomalii wspomagają zasadniczo prewencyjne UR, choć w szeregu przypadków polepszają również możliwości jego bardziej zaawansowanych form. To, co je zasadniczo różni od systemów monitorowania i zabezpieczenia – to brak ostatniej z wymienionych funkcjonalności: anomalia nie jest przyczyną, która może doprowadzić do automatycznego odstawienia jakiegoś agregatu, a tym bardziej zatrzymania linii produkcyjnej.

Ciągłość pracy przedsiębiorstwa jest współcześnie wspomagana przez jakąś mniej lub bardziej zaawansowaną formę systemu ERP⁵, którego podsystemem jest system EAM⁶, czyli system bezpośrednio wykorzystywany w celu zarządzania stanem majątku produkcyjnego. W związku z tym celowe jest interfejsowanie systemów odpowiedzialnych za oceny stanu technicznego majątku z systemem EAM/ERP. Ze względu jednak na fakt, że z jednej strony na rynku ma miejsce nie tylko duże zróżnicowanie systemów klasy EAM (z prawej strony rys. 5 wymieniono często wykorzystywane na tę okoliczność systemy), ale także ich jakościowo zróżnicowane wdrożenie, a z drugiej strony również jest wykorzystywanych dużo różnych systemów wspomagających ocenę stanu technicznego (pokazane z lewej strony rys. 5) i także w tym przypadku nie bez znaczenia jest poprawność i zaawansowanie ich wdrożenia, trudno jest wykorzystywać jakieś standardowe narzędzia w celu interfejsowania. Interfejsowanie jest zatem realizowane z pomocą aplikacji dedykowanych. Te aplikacje, wychodząc w kierunku potrzeb preskryptywnego UR, mają za zadanie ocenę ważności zadań podejmowanych przez SUR [6], w związku z tym proponują ich kolejowanie, biorąc także pod uwagę dostępne zasoby personalne i środki przedsiębiorstwa.

Osiągnięcie zaawansowania i wykorzystania, jak pokazano na rys. 3 i rys. 4, było możliwe dzięki zachodzącemu równolegle

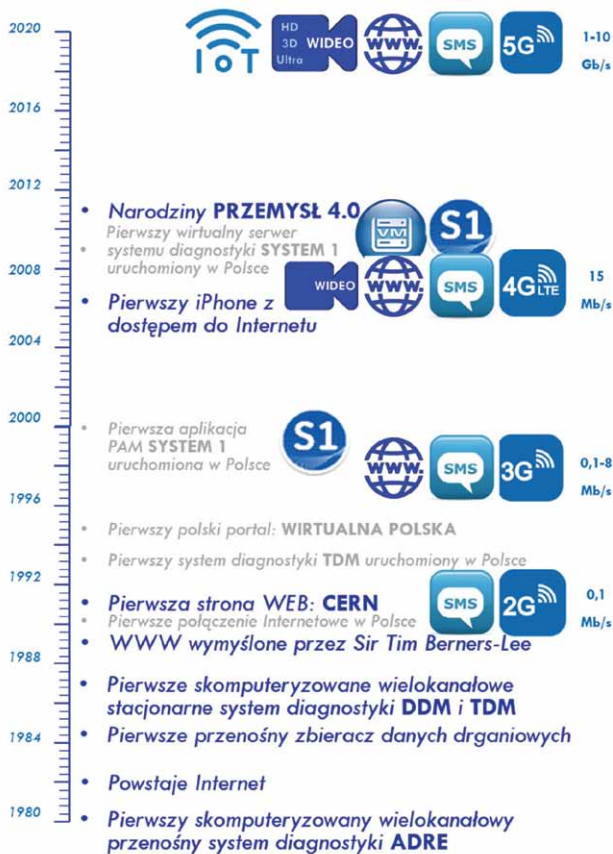


Rys. 5. Powiązanie systemów wspomagających ocenę stanu technicznego z systemami EAM

rozwojowi technik pomiarowych, systemów komputerowych, systemów łączności. Na rys. 6 pokazano wybrane fakty historyczne z minionych 40 lat, które prezentują ważne elementy tego rozwoju oraz informują, kiedy wybrane systemy zostały zastosowane po raz pierwszy w kraju, a także charakteryzują wybrane osiągnięcia na kierunku rozwoju techniki, które już wpłynęły i co do których przewiduje się, że będą znacząco wpływać na kształt i rozwój systemów nadzoru w ciągu najbliższej dekady.

Podstawowe znaczenie ma tutaj upowszechnienie się i zwiększenie technicznych możliwości łączności bezprzewodowej.

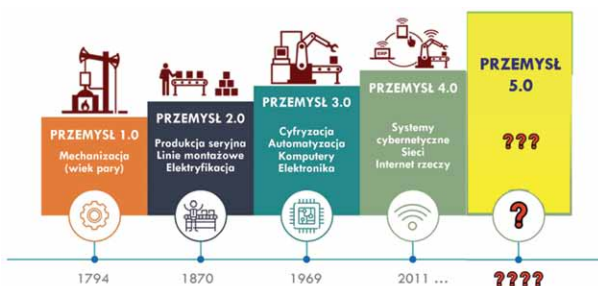
Z prawej strony rys. 6 pokazuje etapy rozwoju telefonii komórkowej. Jest to ważny element także w zakresie pojawiania się nowych możliwości doskonalenia systemów wspomagania UR. Pojawienie się technologii 5G umożliwia bowiem wdrażanie prywatnych sieci komórkowych, które na okoliczność pojedynczego przedsiębiorstwa nie tylko zapewniają łączność między pracownikami, ale także współuczestniczą w gromadzeniu danych o procesie i stanie technicznym oraz mogą być wykorzystywane do sterowania produkcją.



Rys. 6. Wybrane fakty historyczne dotyczące systemów nadzoru oraz wpływające na kierunki jego rozwoju

4. Nowe prerekwizyty systemu UR

Na rys. 7 pokazano historię rewolucji przemysłowych. Z punktu widzenia systemów nadzoru stanu można dodać, że to w latach 30. minionego wieku zaczęto wykorzystywać czujniki wybranych wielkości fizycznych (temperatura, drgania [7]) do wspomagania oceny stanu technicznego, oraz zauważyć, że na przełomie lat 50/60 zaczęto masowo wdrażać systemy monitorowania i zabezpieczeń wykorzystujące pomiary symptomatyczne dla stanu technicznego środków produkcji. Przełom lat 80/90 zapoczątkował rozszerzanie nadzorowanego majątku produkcyjnego (i procesów) o kolejne czujniki (jak wymienione w tabeli 1), co doprowadziło do polepszenia procesu identyfikacji szeregu uszkodzeń i anomalii, których jednoznaczne rozpoznanie nie było możliwe przy ograniczeniu się li tylko do pomiarów drgań i temperatury.



Rys. 7. Rewolucje przemysłowe



Rys. 8. Obszary wpływu Przemysłu 4.0 na UR 4.0

Od dekady żyjemy w dobie Przemysłu 4.0 [8] i obserwujemy wdrażanie nowych narzędzi, które przyczyniają się do bardziej efektywnego działania SUR. Na rys. 8 pokazano najważniejsze elementy Przemysłu 4.0, a w kolejnych punktach omówiono ich znaczenie dla UR 4.0.

5. Big Data (wielkie zbiory)

Wielkie zbiory charakteryzują się:

- objętością: gdy jakiś pomiar realizujemy systematycznie z krokiem 1 MINUTA i zapisujemy w bazie danych, to w ciągu roku zgromadzimy ponad pół miliona odczytów; jeśli w przedsiębiorstwie podobne pomiary realizowane będą dla 1000 czujników, to w rocznej bazie danych będziemy posiadać ponad pół miliarda danych; w przypadku sygnałów dynamicznych systemy pomiarowe dokonują typowo kilku estymacji liczbowych; w konsekwencji budując taką bazę z krokiem czasowym, jak ww., rozrasta się ona do kilku miliardów pomiarów w ciągu jednego roku; a przecież estymatory liczbowe to tylko część danych, bowiem równolegle generowane mogą być estymaty funkcyjne, jak np. różnego typu widma, analizy orbity i wiele innych;
- prędkością, z jaką są gromadzone: różne systemy cechują się różną prędkością akwizycji danych; i tak np. wykorzystywane w sterowaniu produkcji systemy automatyki gromadzą dane typowo z jakimś krokiem uzależnionym od ważności pomiaru, mieszczącym się typowo w przedziale 100 ms – 10 s; ale już w przypadku systemów diagnostyki stanu technicznego przebiegi czasowe sygnałów dynamicznych (drgania mechaniczne, pulsacje ciśnienia medium, sygnały elektryczne, ...) są próbkowane typowo z częstotliwością 2–50 kHz; takie próbkowanie prowadzi do konieczności organizowania baz danych o pojemności zdecydowanie większej niż by to wynikało z przykładu podanego w punkcie 1;
- ilością informacji, która się w nich (potencjalnie) zawiera: w przeszłości nie było możliwości (zarówno technicznych, jak i personalnych), aby realizować zaawansowaną ekstrakcję informacji z takich baz; w konsekwencji wiele systemów przechowywało zgromadzone dane przez jakiś ograniczony czas (np. 2 tygodnie), a potem były one nadpisywane (czyli sukcesywnie „gubione”) lub w najlepszej sytuacji prowadzona była ich kompresja, co i tak prowadziło do utraty pewnych informacji.

Oprócz takich rutynowo gromadzonych i narastających baz danych, jak opisane powyżej, w przemyśle prowadzi się badania okazjonalne, które także owocują gromadzeniem dużych zbiorów. Na rys. 9 pokazano wielkości baz danych uzyskiwane w przypadku wybranych jednostkowych działań rutynowych w obszarze O&G. Zawierają się one w przedziale od 1 GB do 10 TB.

Wielkie zbiory mogą dotyczyć jakiegoś jednego tematu (np. pomiarów na kierunku integralności mechanicznej) lub specyficznej grupy tematycznej (dane świadczące o stanie technicznym maszyn wyprodukowanych przez jednego producenta). Ich wzrost następuje z potęgującą się prędkością. Ma to miejsce z jednej strony ze względu na postęp techniki umożliwiający wzrost częstotliwości akwizycji oraz wzrost dopuszczalnej maksymalnej objętości pojedynczej bazy danych, z drugiej natomiast wynika ze wzrastających potrzeb i wymagań służb produkcji i SUR. Systematycznie podlegają również zmianie proporcje zróżnicowania gromadzonych baz danych, o czym w następnym punkcie.

6. Zróżnicowanie danych

Wraz z postępem czasu wzrasta nie tylko liczba danych gromadzonych w wielkich zbiorach, ale także ich zróżnicowanie. Na rys. 10 pokazano zróżnicowanie typów gromadzonych w przemyśle danych, czyli także tych danych, które są wykorzystywane na rzecz wspomaganie UR.

Poniżej przeprowadzono krótką charakterystykę wyróżnionych na rysunku kategorii danych.

Dane strukturalne (ustrukturyzowane)

Są zgodne z jakimś predefiniowanym modelem danych i dlatego są łatwe do analizy. Na ogół posiadają format tabelaryczny z określonymi relacjami między różnymi wierszami i kolumnami. Można wyróżnić różne modele danych, jak np.: sposób ich przechowywania, metody przetwarzania, sposób uzyskiwania dostępu etc.

Takie ustrukturyzowane dane są bardzo wdzięczne w przypadku tworzenia koncernowych baz danych, bowiem bardzo łatwej agregacji mogą podlegać dane pochodzące z różnych lokalizacji.

Dane nieustrukturyzowane

W tym przypadku nie można mówić o jakimś określonym modelu danych. W konsekwencji nie są one zorganizowane we wstępnie zdefiniowany sposób. Często zawierają dużo tekstu, czasem także: daty, liczby i fakty. Typowe dane to pliki audio, graficzne, wideo, a także bazy danych niewykorzystujące języka SQL⁷. Dla tej klasy danych wykorzystywane jest dedykowane oprogramowanie narzędziowe (np. do przechowywania dokumentów MongoDB, do określania relacji między węzłami Apache Giraph).

Między ww. klasami danych znajduje się kolejna kategoria danych, którą są

Dane częściowo ustrukturyzowane

Jest to taka forma danych ustrukturyzowanych, która nie jest zgodna z formalną strukturą modeli danych związanych



Rys. 9. Przykłady rozmiarów baz danych z obszaru O&G



Rys. 10. Zróżnicowanie danych wykorzystywanych w systemach nadzoru

z relacyjnymi bazami danych lub innymi formami tabel danych. Zawiera ona znaczniki oddzielające elementy semantyczne oraz wymuszające hierarchie rekordów i pól w ramach danych. W konsekwencji możemy mówić o samoopisującej się strukturze danych.

Typowe dane przynależące do tej kategorii to pliki w formacie:

- XML⁸ ← język znaczników, który definiuje zestaw reguł kodowania dokumentów w formacie czytelnym zarówno dla człowieka, jak i dla komputera,
- JSON⁹ ← liczby dziesiętne (ułamki, e,..) ciągi (zera lub więcej znaków typu UNICODE), BOOLEAN (prawda/fałsz), macierze, ...
- dane z czujników
-

Metadane (czyli dane o danych)

Czwartą i ostatnią kategorią danych są metadane. Z technicznego punktu widzenia nie jest to odrębna struktura danych. Mimo tego jest to jeden z najważniejszych elementów analizy Big Data i rozwiązań Big Data. Metadane zawierają dodatkowe informacje o określonym zestawie danych. Te dodatkowe informacje mogą podlegać różnej kodyfikacji, np. w odniesieniu do danych fotograficznych może to być informacja, gdzie i kiedy zdjęcia zostały zrobione.

Zróżnicowane bazy danych mogą być współcześnie przechowywane w chmurze, co pokazano na rys. 11. Natomiast w tabeli 5 pokazano przykładowe zestawienie różnych danych, które mogą być wykorzystywane na rzecz lepszego UR jakiegoś majątku produkcyjnego. W przykładzie tym wymieniono dane, które mogą być gromadzone dla sprężarki.

7. „Wymiary” baz danych

Pojęcia „wymiar” użyto tu w charakterze opisowo-jakościowym, a nie w liczbowym. Duże bazy danych mogą być gromadzone:



Rys. 11. Zróżnicowane funkcjonalności systemu diagnostyki, które mogą być realizowane na poziomie chmury

- na poziomie pojedynczego przedsiębiorstwa (np. w celu PAM¹⁰);
- na poziomie grupy przedsiębiorstw wchodzących w skład jednej struktury organizacyjnej – tzn. na poziomie koncernu (np. w celu EAM¹¹);
- dla celów leżących poza (ponad) przedsiębiorstwem – np. producent maszyn gromadzi dane dla wyprodukowanych przez siebie maszyn, które pracują w różnych krajach świata.

Zróżnicowanie grupowania danych w bazie będzie wynikiem oczekiwań korzyści z analizy, jak np.:

- polepszenie procesu produkcyjnego (wydajność, jakość, ...);
- polepszenie UR majątku produkcyjnego (minimalizacja kosztów, skrócenie przestoju, ...);
- minimalizacja emisji.

8. Drogi prowadzące do Przemysłu 4.0

Wszystkie wyspecyfikowane na rys. 6 fakty zaistniałe w czasie poprzedzającym pojawienie się Przemysłu 4.0 są związane

Tabela 5. Przykład dużego zbioru wspomagającego utrzymanie ruchu sprężarki

Celem zapewnienia lepszego UR sprężarki mogą być gromadzone następujące dane:

- DANE USTRUKTURYZOWANE:
 - parametry procesowe: ciśnienie, wydatek, temperatura, ...
 - parametry środowiskowe: temperatura, ciśnienie, wilgotność, ...
 - pomiary stanu technicznego: drgania, temperatury węzłów łożyskowych, ...
- TEKSTY: instrukcja obsługi, uruchamiania, demontażu, ...
- OBRAZY: dokumentacja mechaniczna, podłączenie pomiarów, ...
- WIDEO: wizualizacja drgań, instrukcje obsługowe, ...
- AUDIO: generowane przez maszynę dźwięki
 - w różnych stanach pracy,
 - w różnych stanach technicznych, ...
- XML: program zautomatyzowanego uruchamiania do ..., ...
- JSON: ciąg 0-1 informujący o pracy układu chłodzenia, ...
- z CZUJNIKÓW: sygnał zza przetwornika analogowo-cyfrowego (przetwornik A/D) ..., ...
- METADANE: przedsiębiorstwo / wydział / PIN, CZAS, ...

z cyfryzacją. Na rys. 8 pokazano, że konsekwencją pojawienia się pojęcia PRZEMYSŁ 4.0 jest pojawienie się pojęcia UR 4.0. Szereg elementów systemu nadzoru stanu technicznego wykorzystywanych na poziomie systemu diagnostyki, które w przeszłości były zawsze instalowane w przedsiębiorstwie, aktualnie coraz częściej i w coraz szerszym zakresie bywają uruchamiane poza jego fizycznymi granicami – docelowo w tzw. chmurze. Na rys. 11 pokazano elementy systemu diagnostyki, które mogą być przeniesione do chmury, a poniżej dokonano omówienia wybranych elementów rozwiązania systemowego, które mogą być i coraz częściej są realizowane w chmurze.

Intensyfikacja gromadzenia danych

Od wielu lat nadzór majątku produkcyjnego jest realizowany z pomocą technik obchodowych oraz z pomocą systemów klasy online. Obniżające się koszty środków technicznych w porównaniu z systematycznie wzrastającymi kosztami osobowymi powodują wzrost udziału systemów nadzoru online w nadzorze stanu. Nie bez znaczenia dla tej tendencji są dwie przyczyny:

- częstotliwość gromadzenia danych o stanie z pomocą technik online jest wielokrotnie wyższa od częstotliwości danych gromadzonych z pomocą metod obchodowych;
- w przypadku metod online'owych zdecydowanie łatwiej jest prowadzić analizy korelacyjne z danymi procesowymi oraz środowiskowymi, które mogą wpływać na realizowane pomiary symptomatyczne dla stanu technicznego, bowiem w przypadku wykorzystywania technik obchodowych rejestracja wartości wybranych zmiennych procesowych w chwili wykonywania pomiarów symptomatycznych często bywa problematyczna; w konsekwencji w wielu sytuacjach odnotowaniu zmiany wartości pomiaru symptomatycznego towarzyszy niepewność przyczyny, bowiem zmiana ta może być konsekwencją uzależnienia symptomu np. od którejś ze zmiennych procesowych.

Intensyfikacja stosowania technik bezprzewodowych

Techniki bezprzewodowe są wykorzystywane zarówno dla gromadzenia danych o procesie, jak również o symptomach stanu technicznego. W tym celu można stosować rozwiązania techniczne, które wykorzystują dla obu obszarów te same techniki transmisji bezprzewodowej, aby w końcu dostarczyć dane do serwerów akwizycji, wykorzystując w końcowej fazie już przewodową sieć sterowania procesem (Ethernet przewodowy). Część wspólna to punkty dostępu i repeatery w standardzie IEEE 802.11. oraz ISA 100.11a. W tym celu mogą być również wykorzystywane środki techniczne bazujące na sieci Wi-Fi (np. dla stacji mobilnych, kamer ochrony, wybranych przyrządów podręcznych). Wymieniony standard ISA 100.11a oraz Wi-Fi są wykorzystywane na kierunku bezprzewodowej oceny integralności mechanicznej przez systemy online. Także w przypadku niektórych zbieraczy danych nowej generacji jest wykorzystywana łączność Wi-Fi oraz dodatkowo BLUETOOTH USB.

Polepszenie transmisji danych przez zastosowanie nowych technik

Na rys. 6 pokazano, że pierwsze wielokanałowe, pracujące w reżimie online skomputeryzowane systemy diagnostyki (DDM/TDM) stworzono w USA w latach 80., a w Polsce pojawiły się ich pierwsze aplikacje już na początku lat 90. Systemy nadzoru dla transmisji danych wykorzystywały w minionym wieku kablowe połączenia sieciowe. Współcześnie w tym celu wykorzystywane są coraz częściej sieci bezprzewodowe, który to proces wydatnie się zdynamizuje po wprowadzeniu prywatnych przemysłowych sieci 5G. Umożliwiają one podłączenie i szybką transmisję danych dla bardzo dużej liczby urządzeń. Szacuje się, że na powierzchni 1 km² sieć taka może nawiązać łączność nawet z milionem urządzeń¹².

Intensyfikacja rozwoju sieci 5G prowadzić winna również do poprawy prędkości transmisji danych. Przewiduje się, że w niedługim czasie prędkość ta winna kształtować się realnie na poziomie 1 Gb/s, co jednak jest warunkowane możliwością korzystania z częstotliwości transmisji w paśmie 3,4–3,8 GHz. W przyszłości zastosowanie pasma w częstotliwości 26 GHz spowoduje kolejny jakościowy krok do przodu i prędkość transmisji może osiągnąć nawet 1 Tb/s¹³.

Dane pozyskiwane z pomocą technologii 5G mogą być przesyłane bezpośrednio do chmury, co pokazano na rys. 11.

W [9] omówiono raport opracowany przez firmę ERICSON. Porusza on m.in. kwestię monitorowania stanu zasobów dla maszyn samokontrolujących się: „ERICSON rozpoznał, że producenci posiadający majątek produkcyjny podłączony do prywatnych sieci 5G zmniejszyli zapotrzebowanie na części zamienne o 10%. Łatwo zrozumieć, dlaczego tak się stało: maszyny mogą się samokontrolować i zgłaszać rozpoznawane odstępstwa od stanu normalnego we wczesnym stadium zaawansowania problemu, tzn. wtedy, gdy jeszcze nie jest on poważny. Badanie ERICSONA wykazało bardzo duży zwrot nakładów inwestycyjnych na samomonitorowanie się środków produkcji, a także na znaczne skrócenie czasu przestoju, obniżenie kosztów materiałowych i bardziej efektywne wykorzystanie zasobów ludzkich”.

Stosowanie lepszych serwerów diagnostyki

W tabeli 3 wśród pokazanych elementów systemu diagnostyki znalazł się m.in. serwer systemu diagnostyki. Na tę okoliczność wykorzystywane są coraz to silniejsze maszyny. O ile w przeszłości rozwiązaniem preferowanym było wykorzystywanie indywidualnego serwera systemu diagnostyki w każdym przedsiębiorstwie, a nawet dla każdej jego instalacji – o tyle współcześnie, w konsekwencji postępującego usieciowienia oraz dzięki wzrostowi jego niezawodności, należy bezwzględnie dążyć do stosowania serwerów wirtualnych. Takie rozwiązanie prowadzi przede wszystkim do zdecydowanego zwiększenia niezawodności działania systemu diagnostyki po stronie sprzętowej, skraca zdecydowanie przerwy w akwizycji danych spowodowane przyczynami sprzętowymi, ułatwia realizację wdrażania nowszych wersji oprogramowania tak merytorycznego (system diagnostyki), jak i operacyjnego (system komputerowy), zwiększa bezpieczeństwo cybernetyczne, zwiększa bezpieczeństwo ochrony danych (porządkuje archiwizację i buforowanie danych).

W dalszej przyszłości można się spodziewać, że serwery wirtualne aktualnie wykorzystywane na poziomie przedsiębiorstwa¹⁴ zostaną zastąpione przez serwery wirtualne pracujące na poziomie chmury, co pokazano na rys. 11. Na serwerach tych jest instalowane podstawowe oprogramowanie diagnostyczne, które jest odpowiedzialne za gromadzenie danych stosownie do wykorzystywanych procesorów komunikacyjnych i reżimu działania majątku produkcyjnego, a także odpowiadające skonfigurowaniu systemu. Oprogramowanie to jest także odpowiedzialne za postprocessing (na rys. 11 ten element systemu symbolizuje chmura opisana jako „S/W diag. D/A”). Mimo tego, że w [10] podano, iż „27% ankietowanych

przedsiębiorstw za pomocą chmury poszerza swoje zasoby IT, a także wykorzystuje chmurę do *backupu* i realizacji polityki *disaster recovery*”, to nie mają jeszcze miejsca w Polsce przypadki rutynowego wykorzystania chmury mającej na celu wsparcie SUR w zakresie polepszenia nadzoru majątku produkcyjnego przedsiębiorstwa poprzez wykorzystanie na tym poziomie systemów diagnostyki.

Wykorzystywanie metod sztucznej inteligencji (AI¹⁵)

Tak jak pokazano to na rys. 3, na system nadzoru składają się między innymi systemy diagnostyki, które są odpowiedzialne za gromadzenie i postprocessing diagnostyczny danych oraz oprogramowanie (czasami w tym celu stosowane są również rozwiązania sprzętowe) odpowiedzialne za konwersję danych w informacje użyteczne dla SUR.

Drugie z wymienionych zadań jest realizowane najczęściej przez oprogramowanie posiadające charakter ekspercki. Może ono być dedykowane dla określonego typu majątku produkcyjnego lub zorientowane na wstępnie zdefiniowany zbiór uszkodzeń tego majątku. Może także być wdrażane jako tzw. oprogramowanie szkieletowe, które następnie zostanie przez użytkownika wypełnione wiedzą czy to na bazie zgromadzonych danych czy też dzięki inteligencji posiadanej przez pracowników przedsiębiorstwa dokonującego wdrożenia.

Oprogramowanie, charakteryzujące się sztuczną inteligencją i umożliwiające konwersję danych w informacje użyteczne dla SUR, może być również zaimplementowane na poziomie chmury, co zostało pokazane na rys. 11 w chmurce reprezentującej oprogramowanie diagnostyczne i opisanej „S/W Diag. AI”. Na poziomie chmury może także pracować oprogramowanie umożliwiające realizację „uczenia maszynowego”, co także pokazano na tym rysunku w chmurce opisanej „NAUCZANIE MASZYNOWE”. Oprogramowanie takie jest bardzo użyteczne do prowadzenia analiz dla ustrukturalizowanych baz danych. Natomiast należy się spodziewać, że wcześniej czy później zostanie opracowane także efektywnie działające oprogramowanie, które umożliwi ekstrakcję

informacji użytecznych dla SUR z baz nieustrukturalizowanych.

Inne korzyści z wykorzystywania chmury

Wykorzystywanie chmury pozwala uzyskać również szereg innych korzyści, jak np. unikania problemów z unowocześnianiem systemu operacyjnego oraz z zachowaniem na właściwym poziomie bezpieczeństwa cybernetycznego, pozwala wykorzystywać *outsourcing* na okoliczność prowadzenia wspomaganie diagnostycznego przedsiębiorstwa w zakresie konwersji danych w informacje w przypadku problemów, które nie mogą być rozwiązane w sposób automatyczny z pomocą wykorzystania oprogramowania sztucznej inteligencji.

9. Korzyści

Wykorzystywanie nowych możliwości stwarzanych przez techniki i metody, które pojawiły się wraz z wkroczeniem w epokę Przemysłu 4.0, prowadzi do możliwości zoptymalizowania systemu wykorzystywanego w przedsiębiorstwie do wspomaganie nadzoru stanu technicznego. Współcześnie jest to możliwe przez wejście w alians outsourcingowy na poziomie: IaaS¹⁶, PaaS¹⁷ lub SaaS¹⁸. Przy podejmowaniu decyzji o wykorzystywaniu któregoś z wymienionych serwisów dobrze jest mieć wypracowany pogląd odnośnie jego jakości. Potencjalni partnerzy mogą oferować serwis różny jakościowo, a także różne z usługą związane zagrożenia. W [11] wyspecyfikowano światowych graczy w obszarze dostarczania IaaS i dokonano oceny. Brak pewności, czy liderzy tej listy są faktycznie najlepszymi partnerami w zakresie IaaS dla PAM/EAM. Podobne wątpliwości można mieć co do efektywności współpracy z nimi w ramach PaaS dla EAM.

Rozważając możliwości z serii „as a Service” i podane zakresy odpowiedzialności, nie należy ograniczać się tylko do trzech wymienionych przykładów oraz należy przyjrzeć się dokładnie, co te serwisy tak naprawdę oferują. W obszarze działania IoT można się bowiem spotkać z popularyzowaniem się innych serwisów, jak np. NSaaS¹⁹.

Podstawowa korzyść z wykorzystywania bardziej zaawansowanych form UR

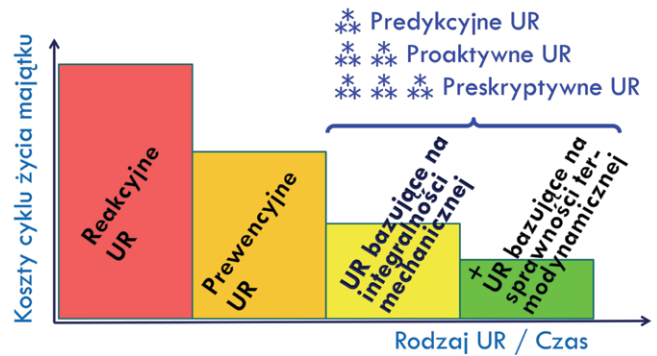
sprowadza się do obniżenia kosztów cyklu używania majątku produkcyjnego, co zostało zilustrowane na rys. 12. W szeregu publikacji można znaleźć oszacowania ilościowe oszczędności i zysków na różnych kierunkach działania przedsiębiorstwa. Zauważmy jednak, że oszacowania ilościowe są bardzo uzależnione od użytkowanego parku maszynowego oraz jakości wdrożenia, a więc od umiejętności, jakimi dysponują specjaliści firmy wdrażającej w zakresie wykorzystywania systemu dla maszyn o zróżnicowanej krytyczności oraz ich osobistego zaangażowania się w ten proces.

Optymalna forma serwisu outsourcingowego jest uzależniona od obiektywnej krytyczności²⁰ majątku produkcyjnego, jego liczby oraz wielkości przedsiębiorstwa. Także w przypadku korzystania z jakiejś formy współcześnie dostępnych serwisów na jej jakość wpływają nie tylko walory programowo-techniczne wykorzystywanego rozwiązania, ale także wiedza specjalistów wykorzystujących to rozwiązanie oraz ich rzeczywiste doświadczenie i faktyczne umiejętności na okoliczność prowadzenia diagnostyki majątku produkcyjnego. Doświadczenie pokazuje, że o ile w przypadku niewielkich przedsiębiorstw *outsourcing* na tę okoliczność może być efektywny z pomocą stosowania dowolnego z wymienionych serwisów, o tyle rozwiązanie typu SaaS jest wykorzystywane tym rzadziej, im przedsiębiorstwo jest większe.

10. Inne prerekwizyty

Jako prerekwizyty mogą być również postrzegane standardy. Dobrze jest być świadomym ich ewolucji. Przykładem bycia na czasie może być ewolucja standardów ISO dedykowanych drganiowym technikom nadzoru stanu technicznego. W przeszłości prezentowały one niezależne podejście dla nadzoru drganiowego wykorzystującego sejsmiczne czujniki drgań oraz te, w których były wykorzystywane drgania wirnika. W tym drugim przypadku pomiary bezkontaktowe są bezwzględnie preferowane dla niewielkich maszyn, które mają ślizgowe węzły łożyskowe zintegrowane z korpusem. Natomiast nowy standard ISO formułuje również wytyczne w zakresie sposobu instalacji czujników dla maszyn dużych mocy, w których są także wykorzystywane niezależne stojaki łożyskowe. Dla nich winny być realizowane równoległe oba rodzaje wymienionych pomiarów drgań. Jak dotąd w żadnej krajowej inwestycji nie zostało uwzględnione żądanie wdrożenia systemu nadzoru zgodnie z obowiązującymi już od dobrych kilku lat tymi najnowszymi standardami ISO. Przykład takiej inwestycji, zrealizowanej z nieaktualnym już podejściem, opisano w [12], natomiast po jej zakończeniu zostało wybudowanych kilka kolejnych bloków energetycznych oraz kilka kolejnych jest w trakcie budowy, dla których autorzy SIWZ-ów nawet nie zająknęli się na okoliczność zaleceń wynikających z najnowszych standardów ISO.

Wymienione standardy ISO nie są jedynymi nieprzeznaczanymi w krajowej rzeczywistości. Równie często dochodzi do ignorowania

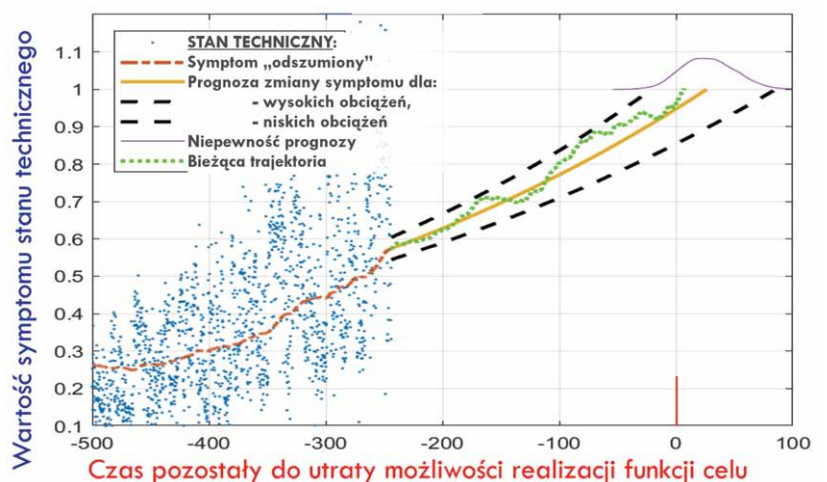


Rys. 12. Wpływ wykorzystywanego rodzaju UR na koszt cyklu życia majątku

standardu API 670 nie tylko w zakresie nadzoru drganiowego, ale również w zakresie formułowania wymagań na okoliczność nadzoru temperaturowego łożysk.

11. Zakończenie

Przejsie od UTRZYMANIA RUCHU 3.0 do UR 4.0 pociąga też za sobą zmianę znaczenia pewnych słów. I tak np. w internecie można znaleźć sporą liczbę publikacji, w których pojęcia „predycyjne UR”, „CBM” czy „prognostyczne UR” są traktowane jako synonimy. Natomiast prezentując nieco bardziej zaawansowaną wiedzę, świadomość ewolucji narzędzi wspomagających UR oraz wrażliwość techniczną, niekoniecznie należy się z takim podejściem zgadzać. Wszyscy czytelnicy pierwszy raz w życiu zetknęli się ze słowem „prognoza” w odniesieniu do pogody. Była to informacja mówiąca, jak będzie się ona następnego dnia zmieniać „rano – w południe – wieczorem” lub też jak się będzie zmieniać w kolejnych dniach tygodnia. Tak więc na „prognostyczne UR” należy patrzeć jak na ocenę bieżącego stanu technicznego środka produkcji oraz na przewidywaną zmianę tego stanu wraz z przyporządkowaniem przyszłych zmian do osi czasu (eksploatacyjnego), co zostało przykładowo pokazane na rys. 13. Pokazany na rysunku wykres prognozy na osi pionowej prezentuje zmianę symptomu stanu technicznego – wzrost wartości tegoż symptomu do wartości „1”



Rys. 13. Prognoza zmiany stanu technicznego środka produkcji

jest równoznaczny z utratą możliwości realizacji funkcji celu przez maszynę. Natomiast oś pozioma estymuje czas (mierzony np. w godzinach), co do którego spodziewamy się, że środek produkcji będzie w stanie jeszcze realizować zadaną mu funkcję celu.

W odróżnieniu od prognostycznego UR, na predykcyjne UR należy patrzeć współcześnie jak na ocenę i przewidywanie kierunku zmiany stanu technicznego bez wiązania tej zmiany z osią czasu. I tak np. możliwe jest następujące wnioskowanie: duże drgania czopa w łożysku ślizgowym powodują osłabienie przylegania stopu łożyskowego, to doprowadzi do jego wykruszeń, materiał z wykruszeń chwilowo przyciera o czop i łożysko, co skutkuje rozkalibrowaniem połączenia tej pary i prowadzi do nieosiowości połączenia wirników. Progresa wymienionych zdarzeń powoduje przyspieszenie pogarszania stanu dynamicznego i koniec końców doprowadzi do odstawienia maszyny.

12. Postscriptum

Różne rodzaje UR, wynikające także ze zróżnicowanych kryteriów podejścia do UR, zostały opisane w standardzie terminologicznym [13], a dla niektórych z nich pokazano w tym standardzie również relacje w uzależnieniach wzajemnych tych różnych rodzajów. Polska wersja tego standardu nosi tytuł „Obsługiwanie – terminologia dotycząca obsługiwanego, PN-EN 13306:2018-01”. W słownikach angielsko-polskich łatwo znaleźć tłumaczenie słowa *maintenance* jako utrzymanie. Trochę trudniej natomiast w słownikach polsko-angielskich znaleźć tłumaczenie obsługiwanego jako *maintenance*.

Przypisy

1. KOMISJA CYFROWEGO MODELOWANIA EKSPLOATACJI (CME) wystąpiła z inicjatywą przygotowania wykładu pod takim właśnie tytułem. Wykład miał miejsce w dniu 18 grudnia 2020 roku, a niniejszy artykuł prezentuje przedstawione tam treści.
2. Mimo tego, że wiele przedsiębiorstw wykorzystuje zaawansowane systemy monitorowania i zabezpieczeń, a także diagnostyki, to niestety w tej kwestii

sytuacja w kraju przedstawia się dramatycznie. Na palcach jednej ręki można policzyć przedsiębiorstwa, które wygenerowały dokumenty definiujące wymogi dla systemów nadzoru maszyn różnej krytyczności, a już przynajmniej od przedsiębiorstw o strukturze koncernowej można by było oczekiwać nie tylko posiadania takich dokumentów, ale także dbałości o przestrzeganie jakichś preferencji w zakresie standaryzacji wykorzystywanej w tym celu infrastruktury technicznej. Na tak negatywną ocenę rzeczywistości wpływa również fakt, że dość często publikowane są dokumenty przetargowe, w których wymagania adresowane na okoliczność systemu nadzoru pozostają w dysonansie nie tylko z najlepszą praktyką inżynierską, ale także z przestrzeganymi na świecie standardami.

3. BOP – *Balance of Plant*.
4. CMMS – *Computerized Maintenance Management System*.
5. ERP – *Enterprise Resource Planning*, czyli Zintegrowany System Planowania Zasobów Przedsiębiorstwa/Koncernu.
6. EAM – *Enterprise Asset Management*, czyli System Zarządzania Majątkiem Przedsiębiorstwa/Koncernu, którego zadaniem jest wspomaganie obsługi technicznej.
7. SQL – *Structured Query Language*; SQL jest najbardziej znanym i rozpowszechnionym strukturalnym językiem zapytań, służącym do tworzenia, modyfikacji oraz zarządzania bazami danych.
8. XML – *Extensible Markup Language*.
9. JSON – *JavaScript Object Notation*.
10. PAM – *Plant Asset Management*, czyli Zarządzanie Majątkiem Przedsiębiorstwa.
11. EAM – *Enterprise Asset Management*, czyli Zarządzanie Majątkiem Koncernu/Grupy.
12. Dla przykładu: jednym z największych krajowych przedsiębiorstw, posiadającym ponad 30-letnią tradycję w intensywnym i zaawansowanym wykorzystywaniu systemów monitorowania stanu technicznego, jest ORLEN w Płocku. Powierzchnia tego przedsiębiorstwa rozpościera się na obszarze blisko 12 km², co stwarza hipotetyczną możliwość podłączenia do 12 000 000 urządzeń w ramach sieci 5G, które mogłyby być wykorzystywane w celu usprawnienia sterowania produkcją,

reklama

reklama

poprawy systemu nadzoru stanu technicznego itd. O ogromie tych hipotetycznych możliwości niech świadczy fakt, że w ORLEN-ie do systemów monitorowania i zabezpieczeń integralności mechanicznej jest aktualnie podłączonych w trybie online ponad 3000 czujników sygnałów dynamicznych.


13. Podane z prawej strony rys. 6 dane mówiące o prędkościach transmisji dla różnych systemów 2G...5G są prędkościami hipotetycznymi. Na aktualnym, tzn. wciąż początkowym etapie rozwoju sieci 5G w Polsce praktycznie uzyskiwane prędkości są znacznie niższe. Z danych zebranych przez Speedtest w trzecim kwartale roku 2020 wynika, że Polska ma najwolniejszą sieć 5G w grupie 11 krajów Unii Europejskiej, które poddano analizie. I tak np. mediana prędkości pobierania danych z wykorzystaniem technologii 5G najlepsza była w Hiszpanii, gdzie przekraczała 400 Mb/s i najniższa w Polsce, gdzie nie osiągała nawet 80 Mb/s. Krajowi operatorzy robią, co mogą, wykorzystując aktualnie dostępne częstotliwości 2100 MHz i 2600 MHz – natomiast za dużo na nich zrobić nie można.
14. Tak jak zaznaczono to na rys. 6, pierwszy serwer wirtualny wykorzystywany do pracy systemu diagnostyki został uruchomiony w Polsce w połowie pierwszej dekady tego wieku. Aktualnie serwery wirtualne są w kraju wykorzystywane przez kilka przedsiębiorstw z obszaru energetyka oraz O&G.
15. AI – *Artificial Intelligence*.
16. IaaS – *Infrastructure as a Service*, co tłumaczy się jako infrastruktura dostarczana jako usługa. W ramach tej usługi zasoby obliczeniowe, takie jak sprzęt komputerowy, sieciowy, urządzenia pamięci masowej oraz oprogramowanie, są hostowane w chmurze. Dostawca usługi jest właścicielem oraz operatorem zarówno sprzętu, jak i oprogramowania, a także właścicielem (lub dzierżawcą) centrum danych.
17. PaaS – *Platform as a Service*, co tłumaczy się jako platforma dostarczana jako usługa. W ramach usługi, która umożliwia użytkownikom końcowym tworzenie, integrację, migrację, wdrażanie, zabezpieczenie i zarządzanie aplikacjami mobilnymi i internetowymi. Usługi te obejmują rozwiązania dla analityków, użytkowników końcowych i administratorów IT.
18. SaaS – *Software as a Service*, co tłumaczy się jako oprogramowanie dostarczane w formie usługi. Proces dystrybucji i sprzedaży oprogramowania jest realizowany wirtualnie, tzn. bez udziału fizycznego nośnika w postaci np. płyty z programem i bez konieczności instalowania programu na własnym serwerze. W przypadku SaaS, czasami wykorzystuje się współcześnie także coraz bardziej popularne pojęcie XaaS – *Everything as a Service*.
19. NSaaS – *Network Security as a Service*, co tłumaczy się jako zapewnienie bezpieczeństwa sieciowego dostarczanego jako usługa. Zgodnie z najważniejszymi strategicznymi trendami technologicznymi widzianymi przez firmę Gartner w roku 2021, cyberbezpieczeństwo winno zapewniać elastyczność potrzebną do reagowania na przyspieszenie biznesu cyfrowego. Sieci w praktyce nie mają granic fizycznych. W związku z tym cyberbezpieczeństwo winno być rozpatrywane od poziomu konkretnej osoby, takiej jak indywidualny pracownik w organizacji, lub od poziomu urządzenia wykorzystywanego przez IoT; w przypadku takiego podejścia infrastruktura bezpieczeństwa może budować granice wokół

punktów dostępu składających się na większy system. W podejściu alternatywnym definiuje się granicę cyberbezpieczeństwa wokół centralnego punktu systemu, a następnie rozszerza się ją w taki sposób, aby obejmowała wszystkich ludzi pracujących na rzecz tego systemu i wszystkie wykorzystywane przez niego urządzenia; podejście takie pozwala na zarządzanie siecią na kierunku utrzymania bezpieczeństwa na zróżnicowanym poziomie dostępu do różnych części sieci.

20. Nie w każdym przypadku majątek produkcyjny uważany przez przedsiębiorstwo za krytyczny jest faktycznie majątkiem krytycznym z punktu widzenia jego wpływu na uzyskiwany wynik finansowy.

Literatura

- [1] NOWICKI R.: *Czarny humor UR – Odcinek 16: PSEUDOPROJEKTY SA. Cz. 1 – O&G. „Służby Utrzymania Ruchu”* 1/2021.
- [2] NOWICKI R.: *Czarny humor UR – Odcinek 8: Kraj jeden, ale światy dwa. „Służby Utrzymania Ruchu”* 2/2019.
- [3] NOWICKI R., BATE M.: *Programowe rozpoznawanie anomalii pracy agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi. „Napędy i Sterowanie”* 12/2013.
- [4] NOWICKI R., DUYAR A.: *Zróżnicowanie systemów online monitorowania stanu technicznego agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi AC. „Napędy i Sterowanie”* 5/2020.
- [5] SONG J., NOWICKI R., DUYAR A.: *Sprzętowe rozpoznawanie anomalii pracy agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi. „Napędy i Sterowanie”* 1/2014.
- [6] NOWICKI R.: *Preskryptywne utrzymanie ruchu. „Chemia Przemysłowa”* 4/2020.
- [7] RATHBONE T.C.: *Vibration Tolerances, Power Plant Engineering*, November 1939.
- [8] NOWICKI R.: *Utrzymanie ruchu, a Przemysł 4.0. „Napędy i Sterowanie”* 9/2020.
- [9] VIGLIAROLO R.: *Industry 4.0: 5 ways in which private 5G will drive the next manufacturing revolution, Internet of Things* 19-11-2020.
- [10] STECH G.: *Chmura obliczeniowa w Polsce – badanie „Computerworlda”*. www.Computerworld.pl, 2020-04-06.
- [11] *Magic Quadrant for Cloud Infrastructure as a Service*, Worldwide, Gartner, May 2018.
- [12] NOWICKI R.: *Czarny humor UR – Odcinek 4: PRAWIE – czyni znaczącą różnicę... także w nadzorze maszyn wirnikowych. „Służby Utrzymania Ruchu”* 1/2018.
- [13] Maintenance – Maintenance terminology, EN 13306.

 dr inż. Ryszard Nowicki, e-mail: Ryszard.Nowicki@vp.pl
niezależny ekspert, NOVITECH+;