

Zróźnicowanie systemów online monitorowania stanu technicznego agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi AC

Ryszard Nowicki, Ahmet Duyar

1. Wprowadzenie

Nadzór stanu technicznego silników elektrycznych jest realizowany w zróźnicowany sposób w zależności od krytyczności maszyn, które te silniki napędzają, i w konsekwencji od zaplanowanej dla maszyn strategii utrzymania ruchu (UR) [1, 2]. Zazwyczaj bardziej zaawansowana strategia jest stosowana dla agregatów wyższej ważności (co na ogół jest skorelowane z mocą napędów). Dla maszyn dużej i średniej ważności zalecane jest co najmniej monitorowanie węzłów łożyskowych w zakresie pomiarów drgań i temperatur oraz monitorowanie temperatur uzwojeń, zgodnie z wymaganiami standardu API 670 [3, 4]. Standard ten zaleca włączenie ww. pomiarów do zintegrowanego systemu monitorowania i zabezpieczeń.

W przypadku silników pracujących na średnim napięciu stosowane są również często zabezpieczenia elektryczne. Bardziej zaawansowane systemy zabezpieczeń posiadają także możliwość podłączenia czujników temperatur: przede wszystkim otoczenia, ale także uzwojeń, węzłów łożyskowych oraz oleju w systemie smarowania. Wymienione pomiary temperatury mogą być podłączane do systemu zabezpieczeń elektrycznych w przypadkach, w których nie jest stosowany nadzór zgodny ze standardem API 670. W przypadku nadzoru zgodnego z API 670, który uwzględnia także pomiary temperatur węzłów łożyskowych oraz wymaga równoległego włączenia takich pomiarów do systemu zabezpieczeń elektrycznych, sygnały z sensorów temperatury węzłów łożyskowych winny zostać powielone.

Dla agregatów średniej ważności, a więc takich, które niekoniecznie wymagają włączenia do systemu zabezpieczeń,

a także takich agregatów, które nie umożliwiają łatwej instalacji czujników w ich wszystkich węzłach łożyskowych, jednak wciąż celowe jest dla nich monitorowanie stanu technicznego, preferencją użytkownika może być wykorzystanie sprzętowego systemu detekcji anomalii [5, 6, 7]. Atrakcyjność monitorowania anomalii wynika ze sposobu instalowania sensorów sygnałów dynamicznych: są one instalowane w szafach sterowniczych, z których prowadzone jest zasilanie do silników, a pomiary ograniczają się do dynamicznych pomiarów napięć i prądów. Taki montaż minimalizuje także pewne problemy aplikacyjne dla maszyn pracujących w strefach Ex.

Rozwiązania takie bywają efektywnie stosowane np. dla agregatów pomp zatapialnych, pomp pionowych (tu w przypadku monitorowania drgań mechanicznych pewne problemy instalacyjne mogą dotyczyć utwierdzenia czujników drgań w dolnym węźle łożyskowym pompy), a także w przypadku agregatów wykorzystywanych w strefach zagrożenia wybuchowego (np. w kopalniach z zagrożeniem metanowym).

Celem artykułu jest omówienie nowych możliwości rozwiązania systemowego, które umożliwiają lepszą kontrolę stanu technicznego agregatów wyposażonych w zaawansowane zabezpieczenia elektryczne.

2. Utrzymanie ruchu warunkowane stanem technicznym

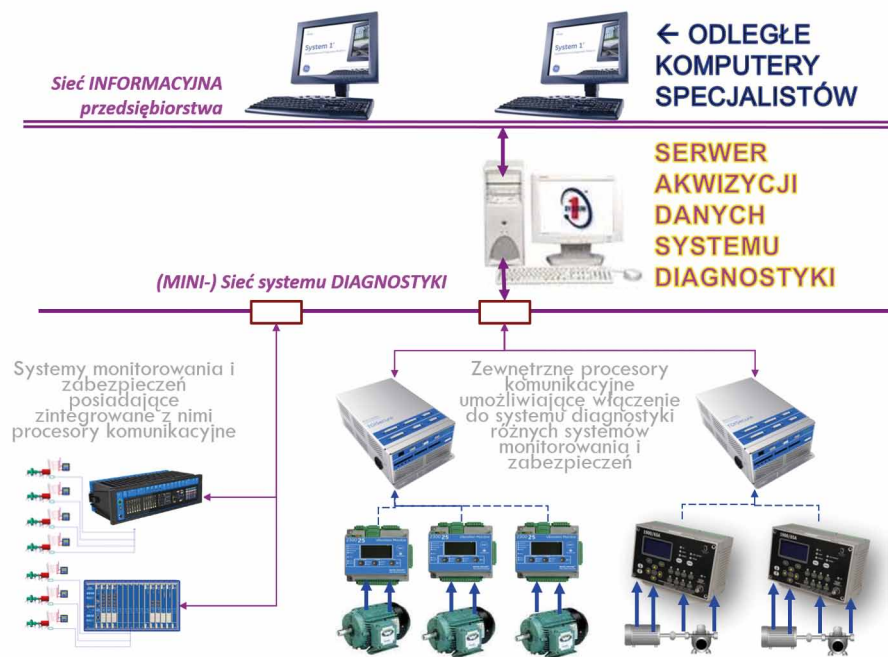
Dla predykcyjnego (lub jeszcze bardziej zaawansowanego) utrzymania ruchu niezbędne jest zastosowanie jakiegoś systemu diagnostyki [1]. W tym celu mogą być wykorzystywane:

Streszczenie: Od wielu lat monitorowanie i diagnostyka wirnikowych maszyn elektrycznych są realizowane z pomocą analizy napięć i prądów. Podejście takie umożliwia rozpoznawanie nieprawidłowości w zasilaniu silników AC, niesprawności ich obwodów elektrycznych, a także rozpoznawanie pogorszenia mechanicznego stanu technicznego wszystkich części agregatu. W przypadku napędów większych mocy stosowane są powszechnie przekaźniki zabezpieczające, natomiast dla agregatów z napędami o niższej mocy mogą być wykorzystywane monitory anomalii. Nadzór większej grupy agregatów wymaga wdrożenia systemu umożliwiającego predykcyjne utrzymanie ruchu. W artykule pokazano przykłady kilku rozwiązań systemowych, jakie mogą być wykorzystywane na tę okoliczność.

A. Systemy diagnostyki kompatybilne sprzętowo i programowo z systemami monitorowania i zabezpieczeń. Przykładem mogą być systemy SYSTEM 3500 oraz ORBIT 60, które posiadają wewnętrzne procesory komunikacyjne (w SYSTEM 3500 jest to TDI, natomiast w systemie ORBIT 60 jest to CMM¹), umożliwiające konwersję i transmisję danych dynamicznych (+ oczywiście sprzętowo realizowanych pomiarów statycznych) do serwera akwizycji danych (=SAD) systemu diagnostyki, na którym zainstalowane jest oprogramowanie SYSTEM 1 EVO. Rozwiązanie takie pokazano z lewej strony rys. 1.

B. W przypadku, w którym wykorzystywane są systemy monitorowania i zabezpieczeń nieposiadające wewnętrznych procesorów komunikacyjnych, w większości przypadków możliwe jest ich podłączenie do systemu diagnostyki z pomocą zewnętrznych procesorów komunikacyjnych, które umożliwiają akwizycję i analizę sygnałów w zakresie podobnym do tych, które wymieniono w punkcie „A”. Przykład takiego rozwiązania, które wykorzystuje zewnętrzne procesory komunikacyjne TDISecure [8] umożliwiające transmisję sygnałów do systemu diagnostyki SYSTEM 1, pokazano w prawej części rys. 1.

Systemy diagnostyki² wymienione w punktach (A) i (B) pracują z sygnałami analogowymi, a do serwera z procesorów komunikacyjnych przekazywane są już przebiegi czasowe w postaci cyfrowej. Gromadzenie danych, dalsze przetwarzanie



Rys. 1. Rozwiązanie systemowe kompatybilne sprzętowo i programowo, wspomagające zaawansowane UR

reklama

reklama

sygnałów oraz wizualizacja, są realizowane na serwerze systemu diagnostyki. Serwer ten winien również realizować akwizycję zmiennych procesowych i środowiskowych, co wymaga jego interfejsowania z DCS.

C. Systemy diagnostyki, posiadające możliwość akwizycji funkcji będących wynikiem przetworzenia sygnałów dynamicznych. Funkcją taką jest np. analiza widmowa. Zadaniem systemu diagnostyki jest w tym przypadku konwersja danych (tu charakterystycznych składowych widma) w informacje użyteczne dla służb UR, mówiące np. o (i) jakości zasilania, (ii) stanie technicznym obwodów elektrycznych silnika, (iii) stanie technicznym napędzanej przez silnik maszyny etc.

W lewej dolnej części rys. 2 pokazano panele systemu e-MCM służące do monitorowania anomalii pracy agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi. System e-MCM jest najnowszą wersją systemu detekcji anomalii firmy ARTESIS (natomiast w tej części rysunku mogłyby się również znaleźć inne wyroby klasy e-MCM, jak np. system AnomAlert) i posiada te wszystkie funkcjonalności, które dla systemu AnomAlert zostały opisane w [5, 6, 7]. Systemy te wykonują m.in. analizę widmową. Dane z sensorów są gromadzone i przetwarzane przez specjalizowane monitory, które w dalszej kolejności są podłączone do jednego (w przypadku małej aplikacji) lub różnych (w przypadku aplikacji rozbudowanej w dużym przedsiębiorstwie) SAD-ów³.

Jako rozwiązanie systemowe, możliwość akwizycji danych z systemów zabezpieczeń elektrycznych została pierwotnie wykorzystana i wdrożona w systemie diagnostyki SYSTEM 1 dla zabezpieczeń silników klasy MULTILIN. Specjalny RuelPak, tzn. oprogramowanie o funkcjonalności ekspertowej, dokonuje konwersji wyekstrahowanych danych statycznych na informacje użyteczne dla służb utrzymania ruchu. SYSTEM 1, jako system wielofunkcyjny, umożliwia również zarządzanie danymi statycznymi dostępnymi z systemów e-MCM, AnomAlert i podobnych. Jego możliwości ograniczają się jednak jedynie do prezentacji danych statycznych



Rys. 2. Rozwiązanie systemowe umożliwiające wnioskowanie o stanie technicznym, bazujące na analizach widmowych prądów/napięć

dedykowanych anomalii dotyczącym (i) zasilania agregatu, (ii) stanu elektrycznego oraz (iii) stanu mechanicznego agregatu.

Jak wynika z powyższego opisu, interfejsowanie systemów klasy e-MCM z SYSTEM 1 jest zrealizowane w ograniczonym zakresie, bowiem nie daje możliwości prezentacji (i wykorzystania) generowanych przez te systemy analiz widmowych.

Alternatywnie prezentacja danych z monitorów klasy e-MCM jest możliwa w systemie monofunkcyjnym, jakim jest specjalizowane oprogramowanie firmy ARTESIS dedykowane tym monitorom: ARTESIS MCM-SCADA. W tym przypadku do pojedynczego SAD-a ARTESIS można podłączyć do kilkuset monitorów klasy e-MCM.

MCM-SCADA oprócz prezentacji danych statycznych (tak jak to jest dostępne z pomocą SYSTEM 1) umożliwia także prezentację analiz widmowych w zakresie widma normalnego, widma granicznego (widma te są wypracowywane w fazie samouczenia się urządzenia monitorującego – przykład takich widm pokazano w [7]) oraz widma bieżącego. Możliwość oglądania wymienionych widm daje szybki pogląd tak na stan techniczny agregatu, jak i realizowanego procesu, a w przypadku sygnalizowania jakiejś anomalii umożliwia specjalistom

bardziej krytyczne spojrzenie na dane źródłowe stanowiące podstawę sformułowanej oceny o przyczynach odpowiedzialnych za wystąpienie anomalii.

W dolnej prawej części rys. 2 pokazano grupę zabezpieczeń silników elektrycznych (na przykładzie produktów z serii General Electric MULTILIN), które umożliwiają gromadzenie dynamicznych przebiegów czasowych sygnałów elektrycznych. Dotychczas nie było dostępne rozwiązanie systemowe umożliwiające dla tego typu monitorów/zabezpieczeń gromadzenie danych, a dodatkowo ich inteligentne przetwarzanie oraz prezentację podobną do tej, jaką umożliwia MCM-ARTESIS.

Podjęto zatem zadanie opracowania takiego rozwiązania systemowego, które umożliwiłoby, w ramach przemysłowej sieci zakładowej [10], prowadzenie bardziej zaawansowanego nadzoru ważnych agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi, które są wyposażone w zabezpieczenia elektryczne udostępniające akwizycję sygnałów dynamicznych w postaci cyfrowej. Opracowany został system i-MCM, który opisano w kolejnym punkcie.

3. Rozwiązanie systemowe i-MCM

Punktem wyjścia do budowy systemu było doświadczenie zgromadzone przy wdrażaniu wcześniejszych wersji

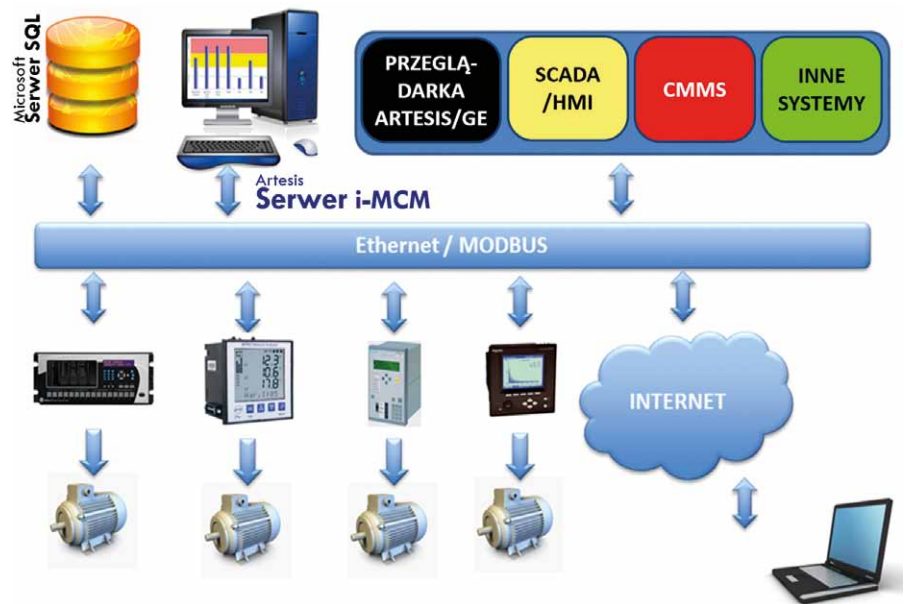
sprzętowego systemu detekcji anomalii e-MCM. Funkcjonalność tych systemów zapewnia m.in. akwizycję danych dynamicznych, ich pierwotny *post processing* prowadzący się do wykonywania analizy widmowej, proces samokształcenia na okoliczność wygenerowania widm: normalnego oraz granicznego, a także wtórny *post processing*, w ramach którego, w oparciu o widmo bieżące, generowana jest nie tylko ocena w kategoriach stan normalny *versus* nienormalny, ale także w przypadku rozpoznania anomalii, w oparciu o inteligentne algorytmy wnioskowania, ma miejsce ocena najbardziej prawdopodobnych przyczyn jej wystąpienia.

Dodanie funkcjonalności umożliwiających realizowanie utrzymania ruchu bazującego na zmianie stanu technicznego jest możliwe na poziomie oprogramowania systemowego, np. z poziomu SAD-a dedykowanego temu zadaniu.

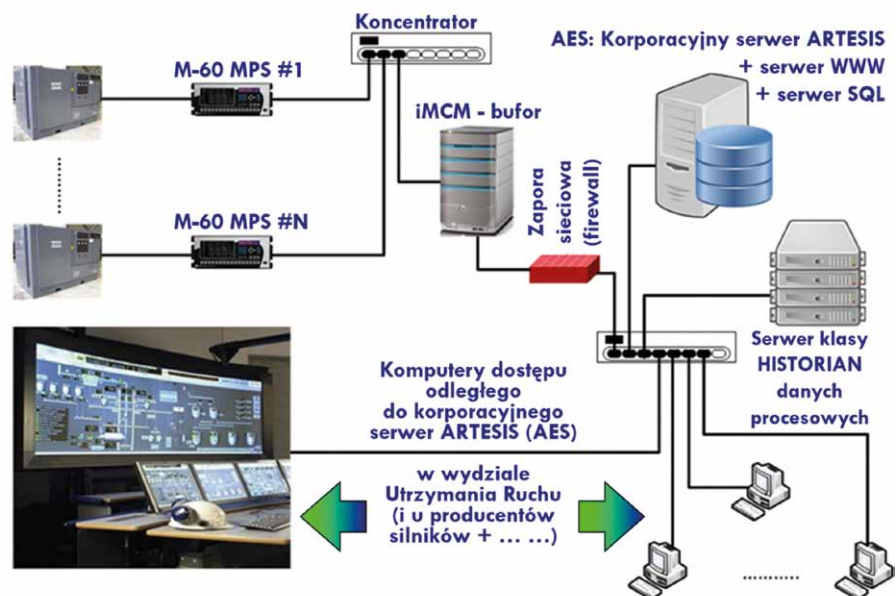
Wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniu rynkowemu, firma ARTESIS opracowała specjalizowany system i-MCM, który umożliwia akwizycję danych z dużej grupy monitorów i zabezpieczeń klasy MULTILIN, dedykowanych zarówno silnikom elektrycznym (m.in. M60 MPS, 469 MPS, 369 MPS, 339 MPS), jak i generatorom (w tym m.in. G60 GPS). Wszystkie wymienione systemy zabezpieczeń posiadają możliwość gromadzenia danych dynamicznych dla prowadzonych pomiarów elektrycznych i posiadają wyjście sprzętowe umożliwiające link sieciowy do SAD. Na rys. 3 pokazano strukturę systemu, który może być zaimplementowany na bazie istniejącej już infrastruktury sieci przemysłowej.

Do systemu i-MCM mogą być oczywiście podłączone także wyroby innych producentów o podobnym przeznaczeniu do produktów MULTILIN, które posiadają wyjście cyfrowe umożliwiające eksport danych dynamicznych, tzn. wyjście cyfrowe o właściwościach podobnych do buforu ww. produktów MULTILIN.

Serwer i-MCM zajmuje się gromadzeniem danych dynamicznych i poprzez zabezpieczenie sieciowe komunikuje się z serwerem ARTESIS (=AES – pokazano go na rys. 4), który jest bezpośrednio odpowiedzialny za proces oceny stanu technicznego. AES dodatkowo



Rys. 3. Struktura systemu akwizycji symptomów stanu technicznego z systemów zabezpieczenia silników



Rys. 4. Struktura systemu uruchomionego w testowej rafinerii

gromadzi również wybrane dane z serwera procesowych danych historycznych, co umożliwia zwiększenie poprawności wnioskowania o stanie technicznym w przypadkach, w których symptomy stanu technicznego są znacząco skorelowane ze zmiennymi procesowymi.

4. Testowe wdrożenie systemu

Testowe wdrożenie systemu iMCM/AES zrealizowano w roku 2014 w Rafinerii Kirikkale w Turcji [10], w której

napędy ważnych agregatów są zasilane 3-fazowo i nadzorowane z pomocą zabezpieczeń elektrycznych M60 MPS. Celem wdrożenia było z jednej strony zwiększenie produktywności oraz efektywności finansowej działania rafinerii, z drugiej natomiast zweryfikowanie poprawności i skuteczności działania opracowanego systemu.

Nim przystąpiono do implementacji, postawione zostały ze strony rafinerii dodatkowe wymagania:

- implementacja zostanie dokonana w sposób niezaburzający ciągłości produkcji;
- skonfigurowanie wykorzystywanych już w procesie produkcyjnym systemów SCADA/DCS nie zostanie naruszone;
- wprowadzenie dodatkowych elementów systemowych nie spowoduje negatywnego oddziaływania na wcześniej już pracujące w sieci systemy;
- zapewnione zostanie pełne bezpieczeństwo cybernetyczne.

Strukturę wdrażanego systemu pokazano na rys. 4. Dane gromadzone z MPS-ów są przesyłane do serwera iMCM z wykorzystaniem istniejącej sieci przemysłowej (wykorzystywanej także na okoliczność realizacji różnych innych zadań). Serwer i-MCM komunikuje się poprzez zaporę sieciową z AES. Na AES zaimplementowane jest oprogramowanie wykorzystujące inteligentne procedury wnioskowania o stanie technicznym, podobne do tych, jakie są wykorzystywane w sprzętowych systemach rozpoznawania anomalii klasy e-MCM.

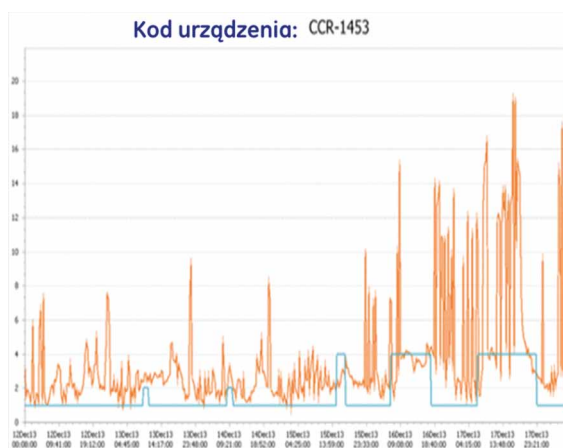
5. Przykłady wnioskowania

Wnioskowanie o stanie technicznym może być prowadzone w oparciu o różne analizy. Tu zostaną pokazane dwa przykłady, w których wykorzystano: (i) analizę trendu oraz (ii) analizę widmową.

Na rys. 5 pokazano trend miary zmiany stanu technicznego sprężarki śrubowej. Wzrost wartości bieżących dla osi Y (krzywa brązowa) świadczy o powiększającym się odstępstwie bieżącego stanu technicznego w stosunku do stanu uznawanego za normalny i pokazanego na rysunku w kolorze niebieskim (ta krzywa podlega również niewielkim zmianom, co jest wynikiem jej uzależnienia od bieżących obciążeń procesowych). Te coraz większe wartości wskazań dla osi Y mówią o powiększającej się nienormalności stanu technicznego.

Podjęto decyzję o odstawieniu agregatu i dokonaniu jego przeglądu. Stwierdzono uszkodzenie łożyska silnika oraz zanieczyszczenie uzwojeń stojana rozbrzygami spalonego smaru łożyskowego – rys. 6.

W tym konkretnym przypadku koszty przeprowadzonych działań służb UR



Rys. 5. Indykacja zmiany stanu technicznego sprężarki śrubowej na bazie trendu „miary diagnostycznej”



Rys. 6. Uszkodzone łożysko silnika oraz zanieczyszczone uzwojenia stojana

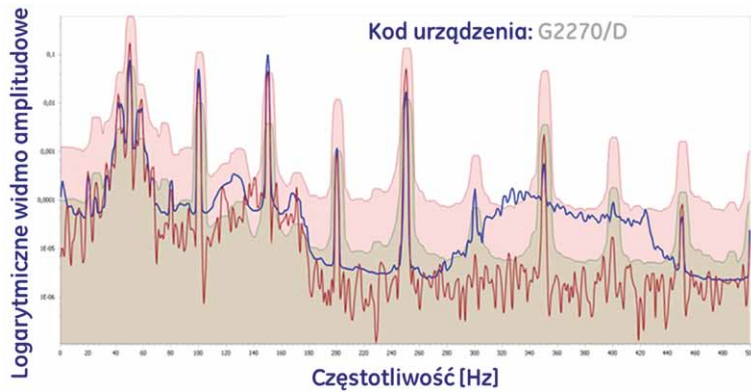
(naprawa silnika oraz przeprowadzonej przy okazji prewencyjnej wymiany łożysk sprężarki) wyniosły ~26 000 USD. Natomiast oszacowanie hipotetycznych kosztów, które mogły zostać poniesione w konsekwencji niespodziewanej awarii i w konsekwencji stosowania reakcyjnego UR (dla najbardziej niekorzystnego scenariusza) dawało kwotę 365 000 USD, a więc kilkunastokrotnie wyższą od poniesionych kosztów.

W kolejnym przykładzie zaprezentowano dane dotyczące agregatu pompowego pracującego w obwodzie wody chłodzącej chłodni. W związku z tym, że w przykładzie tym będzie wykorzystywana analiza widmowa obrazująca kilka widm, najpierw zostanie opisane, jak się ją uzyskuje i jak w oparciu o nią prowadzi się wnioskowanie.

W początkowej fazie pracy systemy klasy e-MCM (czyli systemy sprzętowego generowania anomalii) generują charakterystyki odpowiadające stanowi normalnemu (z założenia monitorowane w tej fazie pracy systemu

urządzenia znajdują się w dobrym stanie technicznym). Podobnie działa system i-MCM (tzn. systemy programowego generowania anomalii), który jeśli jest podłączony do ww. systemu zabezpieczeń MULTILIN, w początkowej fazie działania winien wygenerować charakterystyki odpowiadające stanowi normalnemu. Na rys. 7 pokazano przykładową typową analizę, na której znajduje się kilka krzywych przedstawiających widma. Są to:

- krzywa ograniczająca pole szarobrazowe – obrazuje ono statystycznie wyznaczone widmo odpowiadające normalnemu stanowi technicznemu agregatu;
- krzywa ograniczająca pole bladolorżowe – obrazuje ono statystycznie wyznaczone widmo odpowiadające granicznie akceptowalnemu stanowi technicznemu agregatu; przekroczenie tej krzywej jest równoznaczne z pojawieniem się alarmu zalecającego odstawienie agregatu i przekazaniem go do naprawy;



Rys. 7. Indykacja zmiany stanu technicznego pompy na bazie analizy widmowej



Rys. 8. Zanieczyszczenia filtra na ssaniu pompy

- krzywa brązowa – pokazuje przykładową bieżącą analizę widmową odpowiadającą normalnemu/dobremu stanowi technicznemu;
- krzywa granatowa – pokazuje przykładową bieżącą analizę widmową, na podstawie której wygenerowany został alarm, bowiem nieznacznie została przekroczona charakterystyka granicznie akceptowalnego stanu technicznemu.

W tym przypadku system i-MCM wygenerował alarm w konsekwencji turbulizacji przepływu medium, co w analizie widmowej (rys. 7, który prezentuje analizę widmową wykonaną w paśmie do 500 Hz) jest widoczne jako podniesienie poziomu drgań dla składowych widma w paśmie 320–440 Hz.

W opisywanym przypadku zostało fragmentarycznie i nieznacznie przekroczone widmo graniczne akceptowalnego stanu technicznego przez krzywą granatową (co ma miejsce dla częstotliwości ~330 Hz). Po zatrzymaniu pompy stwierdzono zanieczyszczenia filtra po stronie ssania, co zostało pokazane na rys. 8. Zanieczyszczenia przyczyniły się do zwiększenia oporów po stronie ssania, co spowodowało zmniejszone ciśnienie na ssaniu pompy i w konsekwencji pojawienie się kawitacji na jej wirniku [11].

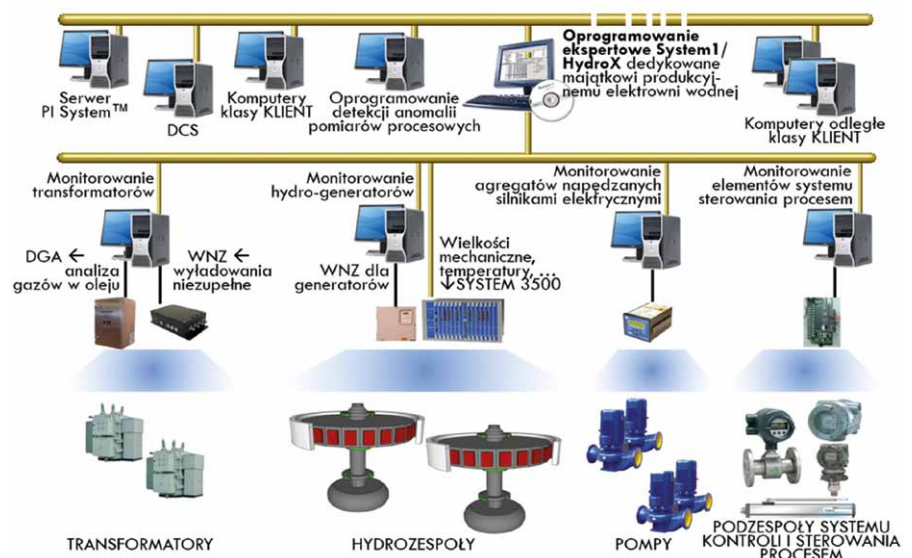
Usunięcie przyczyny mniejszej drożności filtra spowodowało poprawę w działaniu pompy, a obraz omawianego symptomu stanu technicznego (pokazany na rys. 7 z pomocą krzywej brązowej) znalazł się prawie w pełnym zakresie częstotliwości w polu szarobrazowym, tzn. w polu normalnego stanu technicznego agregatu pompowego.

6. Kompleksowe rozwiązania

Kompleksowość systemu wykorzystywanego przez służby utrzymania ruchu może być zróżnicowana. W tym celu mogą być stosowane rozwiązania systemowe, które wykorzystywane są do oceny działania bardzo zróżnicowanego majątku produkcyjnego i wykorzystujące dane z bardzo zróżnicowanych pomiarów lub też takie, które są nastawione bądź to na specyficzny majątek produkcyjny, bądź też na specyficzny rodzaj środków technicznych wykorzystywanych w celu nadzoru. I tak np. producenci systemów zabezpieczeń silników oraz systemów identyfikujących nienormalność pracy agregatów, na które składają się maszyny napędzane silnikami elektrycznymi, dążą do podniesienia atrakcyjności systemów oferowanych

na rzecz wspomagania służb utrzymania ruchu w zakresie możliwie wczesnego rozpoznawania pogarszania się stanu technicznego. Poniżej omówiono trzy takie rozwiązania systemowe, ograniczając się do systemów i produktów wymienianych wcześniej w artykule.

Firma BENTLY NEVADA oferuje dla kompleksowego nadzoru stanu technicznego systemu diagnostyki SYSTEM 1 EVO, który umożliwia akwizycję, wizualizację i zaawansowane przetwarzanie wszelkich pomiarów wspomagających kontrolę zmian stanu technicznego. Na rys. 9 pokazano przykład wdrożenia tego systemu⁴ w elektrowni wodnej. Do systemu, poza typowymi pomiarami wielkości mechanicznych i temperatur, zostały w tym przypadku włączone także różne inne pomiary z tzw. elektrycznego



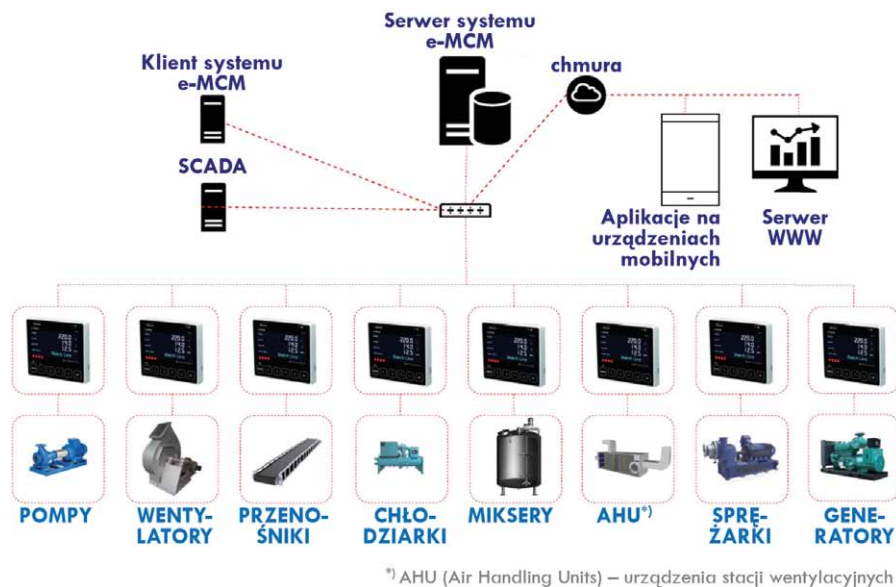
Rys. 9. Przykładowe zastosowanie SYSTEM 1 w systemowej elektrowni wodnej

majątku produkcyjnego. I tak były to m.in. pomiary wyłączeń niezapełnionych dla transformatorów oraz generatorów, a także pomiary elektryczne z silników elektrycznych o mocy do kilkudziesięciu kW napędzających różne pompy – w tym także pompy układu olejowego łożysk hydrozespołów (o mocy ~300 MW). Mimo że pompy te były podwójnie rezerwowane, to ze względu na ich ważność zdecydowano się na rozszerzenie ich już istniejącego monitoringu drganiowego i temperaturowego o dodatkowy monitoring elektryczny z wykorzystaniem monitorów detekcji anomalii AnomAlert.

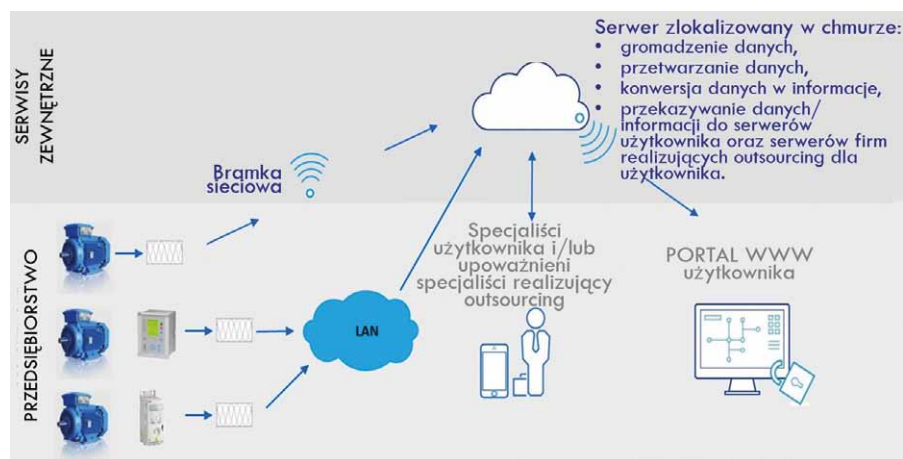
Wszystkie pomiary wykorzystywane przez służby utrzymania ruchu były gromadzone przez SYSTEM1, tzn. w systemie tym były dostępne również pomiary realizowane przez monitory AnomAlert.

Firma ARTESIS dla swojego ostatniego produktu, jakim jest e-MCM, daje możliwość podłączenia wielu e-MCM-ów do oprogramowania wspomagającego wnioskowanie o stanie technicznym agregatu, które jest dedykowane temu produktowi. Stosowanie takiego rozwiązania systemowego staje się szczególnie atrakcyjne w przypadku, w którym użytkownik jest zainteresowany predykcyjnym utrzymaniem ruchu, natomiast do tej pory nie wdrożył bardziej zaawansowanego systemu diagnostyki. Strukturę takiego rozwiązania pokazano na rys. 10, na którym również wymieniono typowe maszyny, które są napędzane silnikami elektrycznymi i są włączane do takiego nadzoru umożliwiającego realizowanie utrzymania ruchu na bazie dobrej informacji o zmianach stanu technicznego. Zauważmy, że dla szeregu wymienionych tu rodzajów maszyn nie jest na ogół wykorzystywane monitorowanie stanu technicznego z pomocą drgań mechanicznych. Samodzielne zastosowanie e-MCM umożliwia śledzenie zmian stanu technicznego dotyczącego zarówno obwodów elektrycznych, jak i podzespołów mechanicznych.

Firma General Electric oferuje produkty MULTILIN do zabezpieczeń pracy różnego majątku elektrycznego, w tym również silników elektrycznych. Systemy zabezpieczeń elektrycznych nie



Rys. 10. Możliwość objęcia systemowym nadzorem agregatów nadzorowanych z pomocą systemów detekcji anomalii e-MCM



Rys. 11. Wykorzystanie chmury dla zwiększenia efektywności działania służb utrzymania ruchu

były w przeszłości typowo stosowane do wspomagania nadzoru stanu technicznego, bowiem nie posiadały zaszytych w sobie procedur inteligentnego wnioskowania o stanie technicznym ani tym bardziej procedur samouczenia się. Natomiast w przypadku systemu zabezpieczeń MULTILIN 869⁵ (a więc systemu umożliwiającego dodatkowo pracę na rzecz predykcyjnego/proaktywnego utrzymania ruchu) jego producent umożliwia zastosowanie firmowego oprogramowania EnerVista. Podobnie jak w przypadku rozwiązania systemowego pokazanego na rys. 10, możliwe jest nadzorowanie wielu maszyn

wyposażonych w zabezpieczenie MULTILIN 869 z pomocą jednego serwera. Oprogramowanie EnerVista umożliwia wgląd nie tylko w dane bieżące, ale również w dane historyczne zgromadzone w urządzeniu.

7. Zakończenie

Internet przemysłowy posiada wznoszące znaczenie także dla UR dzięki mnogości pomiarów, które coraz łatwiej można transmitować do chmury, w niej przetwarzać i wykorzystywać pozyskiwane tą drogą informacje dla obniżenia kosztów UR [12]. W ramach internetu przemysłowego istnieje łatwa możliwość

zainstalowania specjalizowanego i inteligentnego oprogramowania systemowego, umożliwiającego na bazie dynamicznych przebiegów czasowych wielkości elektrycznych rozpoznawanie anomalii pracy różnych agregatów tak, jak to zostało pokazane na trzech przykładach powyżej.

Dla każdego z tych przykładów można wyobrazić sobie różne scenariusze wdrożenia systemu, poczynając od rozwiązania lokalnego, tzn. takiego, które wykorzystuje jedynie serwery i infrastrukturę sieciową zlokalizowaną w przedsiębiorstwie, a kończąc na takim, które wykorzystuje możliwości PRZEMYSŁU 4.0, w tym m.in. chmury, tak jak to zostało zaprezentowane przez firmę ARTESIS na rys. 11.

Chmura przejmuje na siebie różne funkcjonalności (tak jak to zostało wymienione na rys. 11 w jego prawej górnej części) i może zwrotnie przekazywać dane i informacje czy to bezpośrednio do właściciela majątku produkcyjnego, czy też do współpracujących z nim na bazie outsourcingu partnerów.

Producenci takich systemów wspólnie najczęściej dbają o zapewnienie bezpieczeństwa cybernetycznego wykorzystywanej w przedsiębiorstwie sieci przemysłowej.

Zauważmy, że takie kompleksowe rozwiązania buduje się najefektywniej dla pewnych znormalizowanych lub zstandardyzowanych rozwiązań. Podobnie jak w przypadku nadzoru drgań mechanicznych, ich włączenie do tzw. systemu diagnostyki jest technicznie i funkcjonalnie najefektywniejsze wtedy, kiedy interfejsowaniu z nim podlegają systemy monitorowania i zabezpieczeń w jednym standardzie (np. SYSTEM 3500, ORBIT 60), podobnie jak dla systemów wykorzystujących dynamiczne analizy prądów i napięć ich włączenie do jednego systemu jest najefektywniejsze wtedy, kiedy są to systemy jednego typu. W przypadku, w którym zróżnicowanie podłączanych do serwera urządzeń wzrasta, a tym bardziej wtedy, gdy wrasta również liczność zbioru producentów tych systemów, ich połączenie w jeden system staje się bardziej skomplikowane (i tym samym droższe), a jakość (mierzona funkcjonalnością diagnostyczną) na ogół się pogarsza.

Na koniec zauważmy jeszcze, że takie systemowe rozwiązanie jest proekologiczne, bowiem dzięki realizowanym pomiarom posiada doskonałe możliwości w zakresie bieżącej automatycznej kontroli sprawności termodynamicznej maszyn i urządzeń. Realizuje ono automatycznie informowanie służb UR w przypadku obniżenia się sprawności bieżącej poniżej dolnej granicznie dopuszczalnej sprawności termodynamicznej agregatu. Ze względu na fakt, że regresja sprawności na ogół nie jest odpowiednio wcześniej rozpoznawana przez obsługę zautomatyzowanie tego procesu przyczynia się tym samym do lepszego wykorzystania energii elektrycznej.


Przypisy

1. TDI = Transient Data Interface, CMM = Condition Monitoring Module.
2. Pod pojęciem „system diagnostyki” rozumie się serwer systemu diagnostyki wraz z oprogramowaniem, procesory komunikacyjne oraz sieć łączącą systemy monitorowania i zabezpieczeń z wymienionymi komponentami.
3. SAD = Serwer Akwizycji Danych Diagnostycznych.
4. SYSTEM 1 stanowi poprzednią generację SYSTEM 1 EVO.
5. W połowie 2017 roku firma General Electric wprowadziła w tym typie urządzenia firmware z opcjonalnym modułem diagnostyki ESA (*Electrical Signature Analysis*, czyli analiza podpisu na bazie pomiarów elektrycznych), z językiem polskim w menu urządzenia oraz oprogramowaniu narzędziowym. MULTILIN 869 z opcją EAS prowadzi diagnostykę w sposób ciągły, w trakcie pracy silnika, i nie wykorzystuje żadnej dodatkowej aparatury poza tą, która jest typowo używana przez przekładniki zabezpieczeniowe. Szczegółowe informacje o danych gromadzonych przez ten przekładnik i mogących wspomagać służby utrzymania ruchu opisano w [9].

Literatura

- [1] NOWICKI R.: *Zróżnicowanie systemów online nadzoru stanu technicznego agregatów z napędami elektrycznymi*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 89/2011.

- [2] NOWICKI R.: *Nadzór stanu technicznego agregatów z napędami elektrycznymi – wprowadzenie do tematyki*. „Napędy i Sterowanie” 10/2013.
- [3] NOWICKI R.: *Klasyczne metody nadzoru stanu technicznego agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi*. „Napędy i Sterowanie” 11/2013.
- [4] API STD 670, Machinery Protection Systems, 5th edition, NOV 2014.
- [5] HATCH CH.T., KUZKAYA C.: *AnomAlert Motor Anomaly Detector – Under the Hood*. „ORBIT” Vol. 32, 2012, No. 2.
- [6] SONG J., NOWICKI R., DUYAR A.: *Zastosowanie modelowania diagnostycznego dla wspomagania predykcyjnego utrzymania ruchu i zwiększenia efektywności energetycznej w hucie*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 2(99)/2013.
- [7] SONG J., NOWICKI R., DUYAR A.: *Sprzętowe rozpoznawanie anomalii pracy agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi*. „Napędy i Sterowanie” 1/2014.
- [8] TAYLOR J.K.: *Announcing the TDISecure Communication Processor*. „ORBIT” Vol. 33, 2013, No. 4.
- [9] JUSZCZYK, A.: *Diagnostyka silników wykorzystująca wielkości pomiarowe aparatury zabezpieczeniowej*. „Wiadomości Elektrotechniczne” 11(85)/2017.
- [10] BILGIN E., OZDEMIR H., CIVELEK Y., ÖNEL I., DUYAR A.: *Use of Industrial Big Data for “No Unplanned Downtime” at Tupras Refinery (...)*, Austorque Machines 2014, Sydney, Australia.
- [11] NOWICKI R.: *(Niczym krewetki...) Nowe możliwości w zakresie nadzoru pomp*. „Pompy. Pompownie” 2/2017.
- [12] *Industrial Internet 101*. „ORBIT” Vol. 33, 2013 No. 4.

 dr inż. Ryszard Nowicki
e-mail: Ryszard.Nowicki@vp.pl
niezależny ekspert, NOVITECH+;
prof. dr. Ahmet Duyar
e-mail: Ahmet.Duyar@artesis.com
ARTESIS TECHNOLOGY SYSTEMS AS