

Programowe rozpoznawanie anomalii pracy agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi

Ryszard Nowicki, Mark Bate

1. Wprowadzenie

W [1] i [2] omówiono komponenty systemu nadzoru stanu technicznego i ich wzajemne powiązanie. Typowa struktura systemu wspomagania oceny stanu technicznego maszyn wykorzystywana przez system UR posiada pięć warstw, a mianowicie:

1. czujniki;
2. system pomiarowy realizujący funkcję monitorowania (a także w przypadku ważniejszych maszyn funkcję zabezpieczeń);
3. system akwizycji danych przydatny służbom utrzymania ruchu (=UR) w ocenie diagnostycznej majątku;
4. system wspomagania ekspertowego oceny stanu technicznego (tu następuje automatyczny proces konwersji danych diagnostycznych w informacje użyteczne dla służb UR);
5. system wspomagania zarządzania majątkiem.

Powyższa struktura jest dedykowana ocenie stanu technicznego maszyn w zakresie ich integralności mechanicznej. Natomiast drugim ważnym elementem w ocenie stanu technicznego jest sprawność działania agregatów i w konsekwencji linii produkcyjnych. W przypadku oceny sprawności niezbędne jest monitorowanie pomiarów charakteryzujących proces i w tym celu wykorzystywane są czujniki umożliwiające pomiary procesowe (jak np. temperatury, ciśnienia, przepływy, pH itp.). Również w tym przypadku możemy (lepiej: winniśmy) realizować zadanie diagnostyki procesu, bowiem diagnostyka warunkuje możliwość optymalizacji procesu.

Z formalnego punktu widzenia monitorowanie i diagnozowanie procesu realizowane jest z pomocą struktury analogicznej, jak stosowana na rzecz oceny integralności mechanicznej w [1] i [2].

W konsekwencji tę dwuwymiarową strukturę można przedstawić jako strukturę przestrzenną, tak jak to pokazano na rys. 1, gdzie trzecim wymiarem jest sprawność termodynamiczna¹.

Systemy wspomagające predyktywne UR można podzielić na 3 kategorie [3]:

1. Systemy ekspertowe typu „czarna skrzynka”, które są najczęściej dedykowane określonej klasie maszyn. Są to rozwiązania programowe, które wymagają skonfigurowania jedynie w zakresie pewnych cech charakterystycznych dla konkretnej maszyny (np. obroty robocze, częstotliwości rezonansowe wybranych elementów, liczba łopatek, liczba zębów etc.). Systemy typu „czarna skrzynka” nie dają możliwości ich modyfikowania oraz nie mogą być rozszerzone o dodatkowe reguły ekspertowe.
2. Systemy detekcji anomalii. W tej kategorii stosowane są różne rozwiązania, które w ogólności można podzielić na dwie podgrupy:
 - Rozwiązania sprzętowe posiadające inteligencję zaprogramowaną na poziomie firmware. Przykładem takiego rozwiązania jest dedykowany agregatom napędzanym przez silniki elektryczne system AnomAlert² [4]. W tym przypadku do każdego agregatu musi być przyporządkowany pojedynczy system monitorowania anomalii.
 - Rozwiązania software’owe, w których na komputerze jest zainstalowane specjalne oprogramowanie dedykowane rozpoznawaniu anomalii. W tym przypadku pojedynczy serwer może prowadzić detekcję anomalii dla większej grupy maszyn i urządzeń. Przykładem takiego systemu jest Proficy*Smart-Signal [5, 6, 7].
3. Systemy ekspertowe modyfikowalne: ta grupa systemów może być modernizowana i rozbudowywana przez użytkownika. Zostały one wprowadzone do stosowania na początku tego wieku. Przykładem takiego rozwiązania jest patent [8] i zbudowany na jego bazie SYSTEM 1, który dodatkowo w stosunku do funkcjonalności (1)

umożliwia programowanie nowych reguł. Te nowe reguły, podobnie jak w przypadku reguł bazowych SYSTEM 1, mogą być budowane nie tylko z pomocą liczb i parametrów, ale także z pomocą funkcji.

Oznacza to, że do budowania nowych reguł mogą być wykorzystywane sygnały dynamiczne generowane przez czujniki wysokoczęstotliwościowe (drżania mechaniczne, pulsacje ciśnienia, sygnały elektryczne klasy AC), a oprogramowanie wykorzystywane na okoliczność budowania nowych reguł udostępnia szereg narzędzi umożliwiających działania na sygnałach dynamicznych.

Ww. narzędzia, wspomagające przede wszystkim predyktywną (lub silniejszą od predyktywnej, czyli proaktywną) strategię UR, możemy podzielić na rozwiązania diagnostyczne niższego i wyższego poziomu. Obszar zastosowań tych systemów został pokazany na rys. 2 i 3. Diagnostyka niższego poziomu sprowadza się do detekcji anomalii w odniesieniu do:

- integralności mechanicznej;
- sprawności termodynamicznej majątku;
- instrumentalizacji wykorzystywanej do pomiarów na rzecz obu ww. zadań.

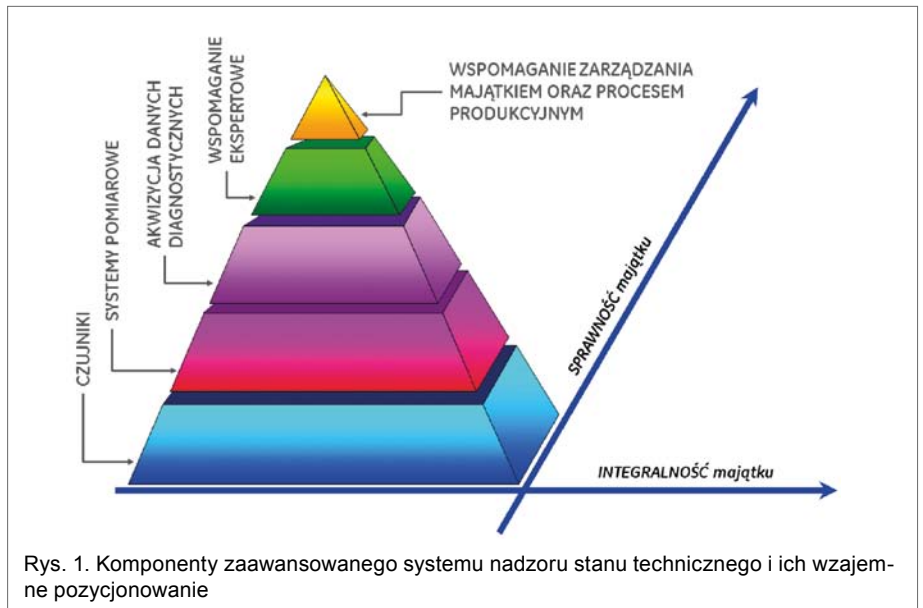
Diagnostyka wyższego poziomu umożliwia na ogół postawienie szczegółowej diagnozy. Jest ona przede wszystkim ukierunkowana na detekcję uszkodzeń (czyli integralność mechaniczną) majątku produkcyjnego, ale w niektórych przypadkach także umożliwia diagnostykę i w konsekwencji optymalizację procesu produkcyjnego, co umożliwia działania na rzecz zwiększenia sprawności termodynamicznej systemu.

Oprócz wyżej omówionego zróżnicowania celów stawianych zastosowaniom obu typów systemów, z punktu widzenia służb UR, jest jeszcze jedna cecha funkcjonalna różniąca obszary zastosowań. W diagnostyce wyższego poziomu oprócz pomiarów statycznych (lepiej:

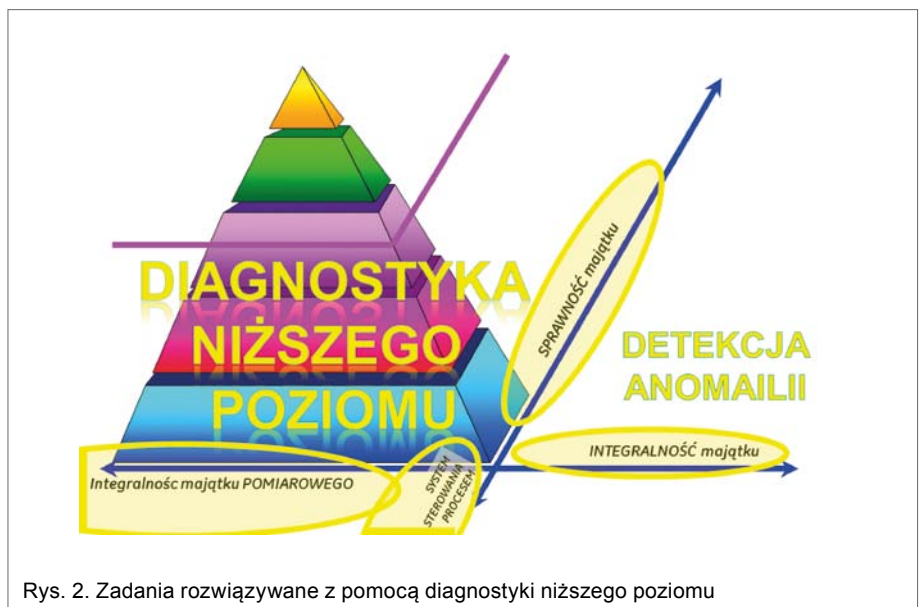
quasi-statycznych) często są wykorzystywane sygnały dynamiczne. Natomiast w przypadku diagnostyki niższego poziomu, kiedy to celem detekcji nie jest jakieś określone uszkodzenie, a jedynie stwierdzenie anomalii, dla celów analizy wykorzystywane są pierwszoplanowo statyczne dane pomiarowe dostępne w DCS-ie. W [2] pokazano niezbędne zaawansowanie systemu nadzoru stanu technicznego wymagane dla różnych strategii UR.

Różne techniki wykorzystywane na rzecz diagnostyki umożliwiają generowanie informacji o pogarszającym się stanie technicznym z różnym wyprzedzeniem w stosunku do uszkodzenia funkcjonalnego. Na rys. 4 pokazano przykład takiego oszacowania z wykorzystaniem stosowanej w UR krzywej P-F [10 i 11]. W miarę upływającego czasu następuje pogorszenie stanu technicznego majątku. Zaawansowanie pogarszania może być rozpoznawane z różnym wyprzedzeniem w stosunku do momentu uszkodzenia funkcjonalnego dzięki pomiarom różnych procesów szczątkowych. Pomiaru te realizowane są z pomocą czujników podłączonych do systemu monitorowania, który posiada możliwość współdziałania z systemem zabezpieczenia poprzez zmianę stanu wyjść przekładnikowych. Różnego typu pomiary diagnostyczne umożliwiają informację o pogarszającym się stanie technicznym z różnym czasem od pojawienia się potencjalnego uszkodzenia i z różnym wyprzedzeniem w stosunku do uszkodzenia funkcjonalnego. Uszkodzenie funkcjonalne dyskwalifikuje maszynę z punktu widzenia stawianej jej funkcji celu.

Podane na rys. 4 przedziały czasowe, mówiące, z jakim wyprzedzeniem można uzyskać informację o zbliżającym się uszkodzeniu funkcjonalnym, dzięki obserwacji różnych procesów są oszacowaniami przybliżonymi i mogą być uzależnione od obciążenia agregatu oraz staranności prowadzonych w stosunku do niego działań obsługowych. Zastosowanie systemu diagnostyki pozwala na rozpoznanie postępującej destrukcji wcześniej, niż można ją rozpoznać z pomocą systemów monitorowania i zabezpieczeń, natomiast zastosowanie systemów rozpoznawania anomalii umożliwia jeszcze wcześniejsze rozpoznanie faktu zaistnienia uszkodzenia funkcjonalnego, niż są to w stanie zrobić systemy diagnostyki. Dodatkowo możliwe jest także rozpo-



Rys. 1. Komponenty zaawansowanego systemu nadzoru stanu technicznego i ich wzajemne pozycjonowanie



Rys. 2. Zadania rozwiązywane z pomocą diagnostyki niższego poziomu



Rys. 3. Zadania rozwiązywane z pomocą diagnostyki wyższego poziomu

znanie anomalii w realizowanym przez maszynę procesie.

Można stwierdzić, że stosowanie bardziej zaawansowanych systemów nadzoru stanu technicznego umożliwi przejście od prewencyjnej do predykcyjnej strategii UR, a wdrożenie systemów detekcji anomalii umożliwi wcześniejsze rozpoznanie punktu „P”.

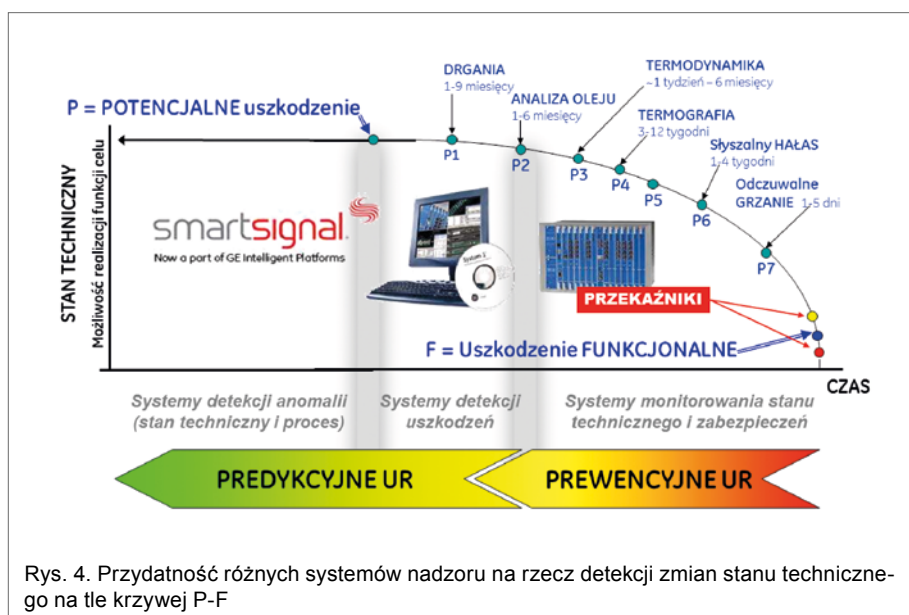
2. Mechanizm detekcji anomalii

Podobnie jak w przypadku rozwiązania sprzętowego do detekcji anomalii silników elektrycznych [4], także w przypadku rozwiązań programowych (np. Smart-Signal) pierwszą fazą działania systemu jest proces samouczenia. Natomiast to, co czyni łatwiejszym wykorzystanie systemów programowych od rozwiązań sprzętowych, to brak jakichkolwiek powiązań analogowych z obiektem poprzez układy WEJŚĆ – WYJŚĆ.

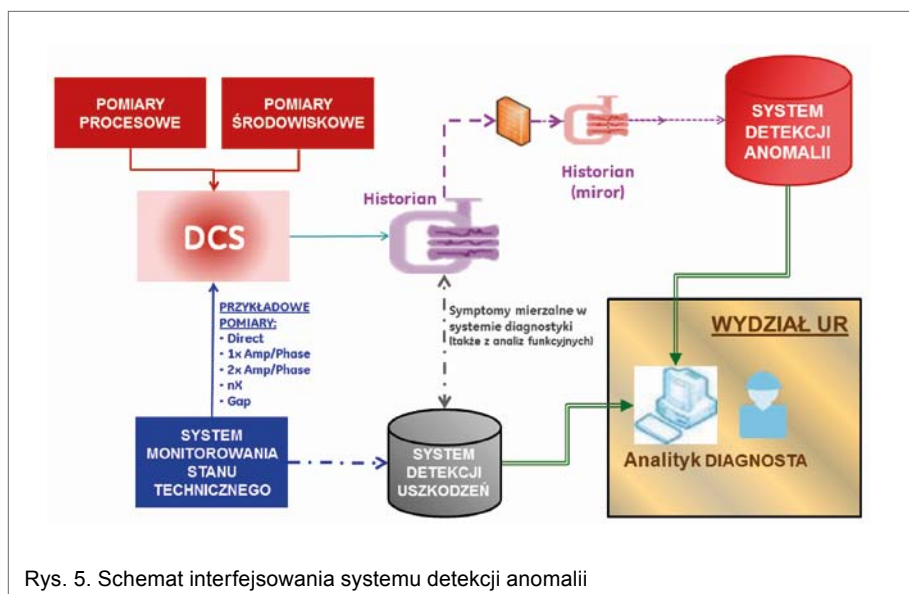
Rozwiązania programowe wykorzystują dane gromadzone w istniejących już bazach danych (najczęściej komputera dedykowanego gromadzeniu informacji historycznych).

Na rys. 5 pokazano typową strukturę rozwiązania systemowego na poziomie przedsiębiorstwa lub jego wybranej instalacji, umożliwiającą detekcji anomalii drogę komputerową. Komputer akwizycji danych historycznych „historian” pozyskuje dane tak z systemu odpowiedzialnego za sterowanie procesem (w tym dane środowiskowe i informacje o obciążeniach procesowych), jak również z systemów pracujących na rzecz UR. Komputer „historian” stanowi źródło danych dla systemu detekcji anomalii, który importuje niezbędny podzbiór danych na lustrzany komputer z wybranymi danymi historycznymi (jest on opisany na rysunku jako „historian-mirror”). Dane te podlegają analizie z pomocą specjalnego oprogramowania dedykowanego zadaniu detekcji anomalii.

Połączenie między obydwojema serwerami „historian” jest zabezpieczone zaporą sieciową, uniemożliwiającą zaburzenie poprawności działania sieci technologicznej ze strony urządzeń i oprogramowania znajdujących się na zewnątrz instalacji produkcyjnej (włączając w to specjalistyczne oprogramowanie detekcji anomalii). Oprogramowanie detekcji anomalii wykorzystuje zaawansowane procedury przetwarzania danych (często opatentowane – jak w przypadku systemu SmartSignal). Na etapie implementa-



Rys. 4. Przydatność różnych systemów nadzoru na rzecz detekcji zmian stanu technicznego na tle krzywej P-F



Rys. 5. Schemat interfejsowania systemu detekcji anomalii

cji systemu wykorzystywane są modele stosowne dla różnych maszyn i procesów, wykorzystujące wybrane zmienne z dostępnego zbioru pomiarów. W pierwszej fazie implementacji systemu detekcji anomalii generowane są wzorce (obwiednie) stanów normalnych na bazie historycznych baz danych. Następnie (już w trybie On-Line) generowane są modele bieżące w celu ich porównywania ze wzorcami.

W przypadku rozpoznania przez system detekcji anomalii lub system detekcji uszkodzeń odstępstwa od normalnego stanu technicznego lub anomalii procesowej zostaje przekazana stosowna informacja do wydziału UR i operatorów odpowiedzialnych za realizację procesu produkcyjnego.

3. Przykłady rozpoznawania anomalii

Poniżej zostanie omówionych kilka przykładów detekcji anomalii dla agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi. W każdym z prezentowanych przykładów dla monitorowania anomalii jest wykorzystywany outsourcing i monitorowanie było prowadzone z odległego centrum diagnostycznego, zwanego w skrócie A&PC³.

Dla wszystkich prezentowanych danych pokazane są dwie krzywe: granatowa – odpowiadająca bieżącym danym pomiarowym – oraz zielona – odpowiadająca oczekiwanym wartościom pomiarowym. Na rys. 6 zilustrowano proces generowania obwiedni sygnałów odpowiadających

stanowi normalnemu włączonego do nadzoru majątku produkcyjnego lub (co nie jest pokazane na rysunku) procesu. Obwiednie są generowane z pomocą opracowanego wcześniej modelu w oparciu o zbiór danych historycznych.

Można przyjąć, że obwiednia normalna została wygenerowana dla czasu t_1 (tak jak pokazano na rys. 7). Jeśli w okresie późniejszym (np. dla czasu t_2) nastąpi statystycznie znaczące odchylenie pomiarów od obwiedni normalnej, wtedy system detekcji anomalii zaalarmuje operatorów systemu. Na rysunku pokazano w ramce czerwonej symboliczny pomiar, który różni się znacząco od wygenerowanej wcześniej obwiedni normalnej i stanowi podstawę do zgłoszenia alarmu w wyniku rozpoznania anomalii.

W przypadkach, w których wartości pomiarowe zaczynają się istotnie różnić od wartości oczekiwanych, nad krzywymi pojawiają się (w górnej i/lub w dolnej części wykresu w zależności od typu rozpoznanej anomalii) symbole graficzne informujące o wystąpieniu anomalii.

3.1. Przykłady zmian stanu mechanicznego silników

Odstępstwa od poprawnego mocowania silników do konstrukcji wsporczej prowadzić mogą do poważnych wtórnych zmian stanu technicznego, jeśli nie są dostatecznie wcześnie rozpoznane. Poniżej pokazano dwa przykłady wczesnego rozpoznawania anomalii mocowania.

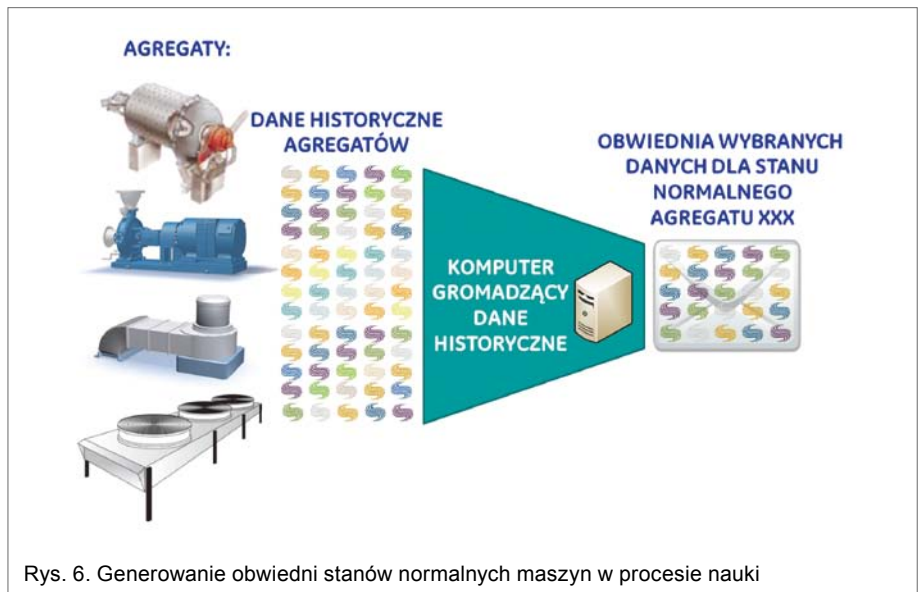
Pierwszy z omawianych przypadków dotyczy silnika pracującego w tłoczni gazu.

Co zostało zauważone przez oprogramowanie?

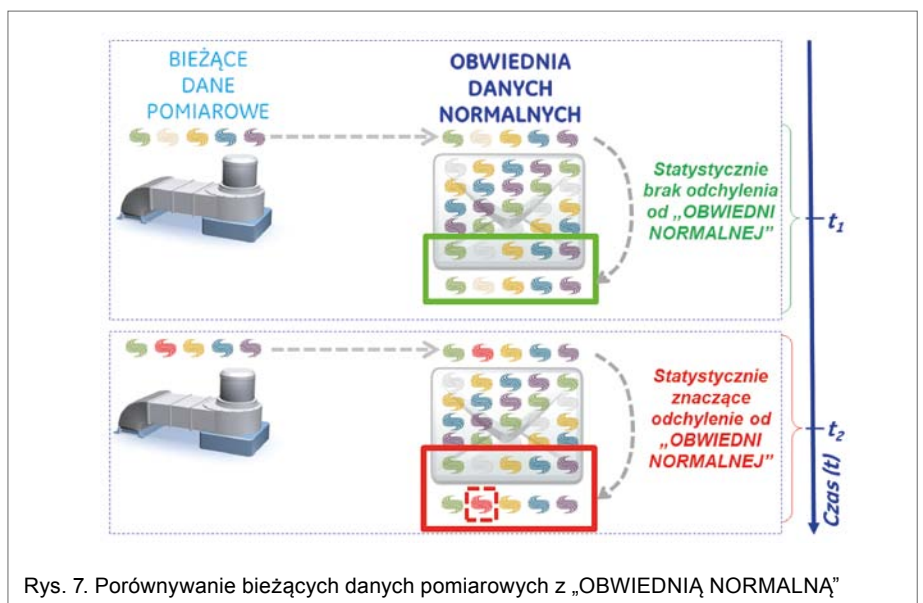
Dla jednego z silników synchronicznych, charakteryzującego się poziomem drgań na poziomie ~ 3 mm/s, stwierdzono w drugiej dekadzie czerwca pojawienie się braku skorelowania między pomiarami drgań a ich poziomem wynikającym z predykcji, a na początku lipca została dodatkowo rozpoznana zmiana trendu drgań i jednoczesny wzrost poziomów drgań do około 5 mm/s. O zaistniałej sytuacji centrum rozpoznawania anomalii powiadomiło służby utrzymania ruchu przedsiębiorstwa.

Gdzie leżała przyczyna?

W czasie przeglądu stwierdzono brak jednej ze śrub mocujących silnik do konstrukcji wsporczej. Mocowanie zostało skorygowane 10 lipca i po ponownym uruchomieniu agregatu (vide: trendy na



Rys. 6. Generowanie obwiedni stanów normalnych maszyn w procesie nauki



Rys. 7. Porównywanie bieżących danych pomiarowych z „OBWIEDNIĄ NORMALNĄ”

rys. 8) stwierdzono ponownie zgodność predykcji poziomu drgań z ich mierzonymi wartościami.

Przybliżony czas od zarejestrowania pierwszych oznak anomalii do zlikwidowania jej przyczyny był dla omawianego przykładu krótszy niż dwa tygodnie.

Kolejny przykład pochodzi z agregatu pracującego w zakładzie chemicznym.

Co zostało zauważone przez oprogramowanie?

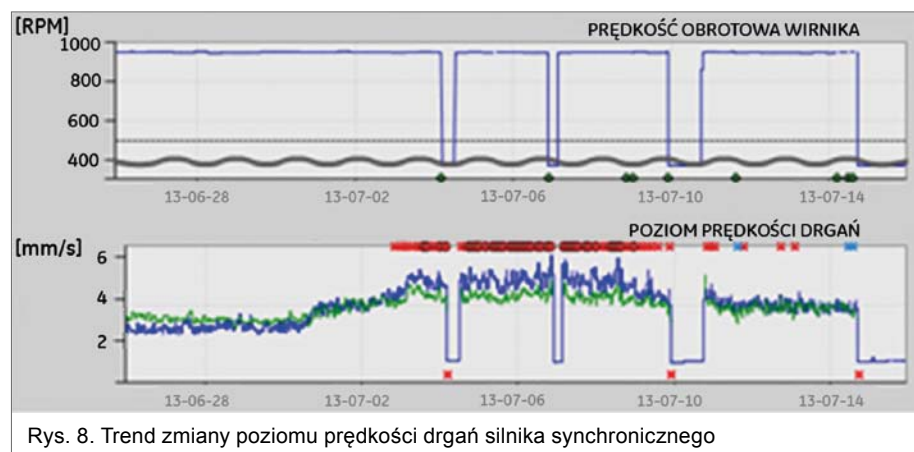
W trzeciej dekadzie czerwca SmartSignal rozpoznał wolny wzrost poziomu drgań silnika napędzającego sprężarkę tłokową. Oczekiwane wartości pomiarów winny cechować się zmiennością na poziomie $\sim 13\%$ maksymalnego dopuszczalnego poziomu drgań. Bieżące pomiary drgań (vide: rys. 9) wskazywały bar-

dzo nieznaczny wzrost powyżej poziomu oczekiwanego.

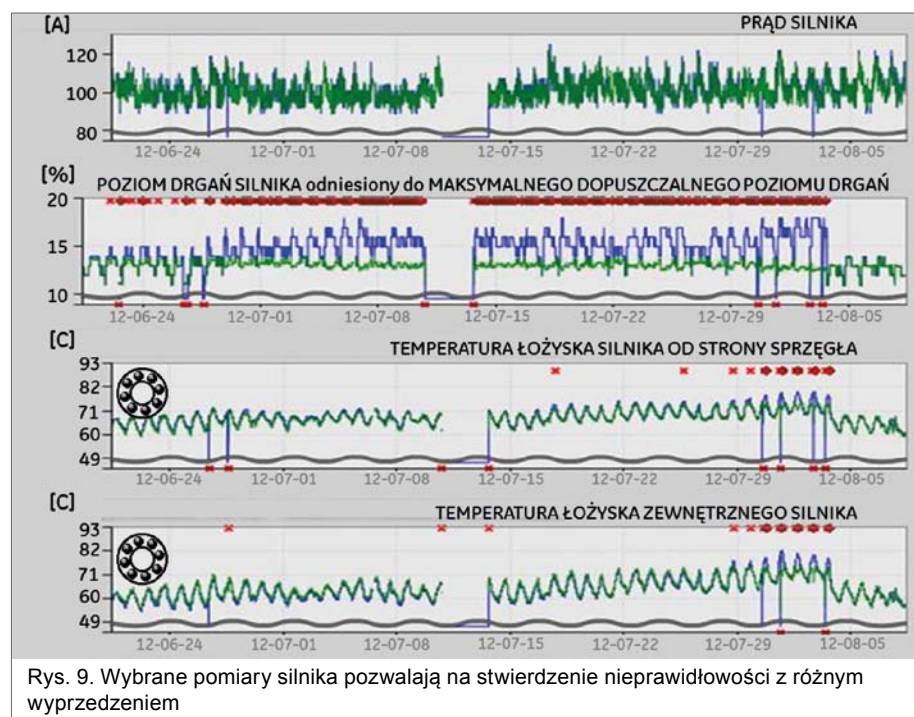
29 lipca spostrzeżono wzrost temperatury obu łożysk silnika. Użytkownik podjął decyzję o odstawieniu sprężarki i dokonaniu przeglądu agregatu.

Gdzie leżała przyczyna?

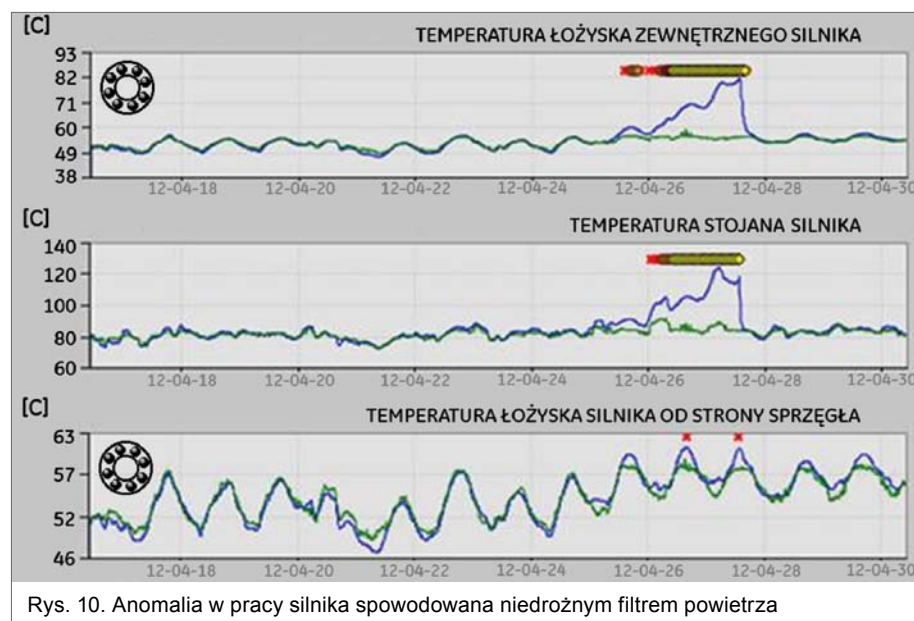
Podobnie jak w poprzednim przykładzie okazało się, że problem leży w mocowaniu agregatu do konstrukcji wsporczej, z tym że w tym przypadku w czasie przeglądu stwierdzono, że kilka śrub mocujących silnik do konstrukcji wsporczej nie posiada właściwego naciągu. Naciąg śrub został skorygowany, a w ramach postoju podjęto dodatkowo decyzję o wymianie filtra powietrza silnika. Po ponownym uruchomieniu agregatu



Rys. 8. Trend zmiany poziomu prędkości drgań silnika synchronicznego



Rys. 9. Wybrane pomiary silnika pozwalają na stwierdzenie nieprawidłowości z różnym wyprzedzeniem



Rys. 10. Anomalia w pracy silnika spowodowana niedrożnym filtrem powietrza

(vide: trendy po 4 sierpnia) widoczna jest wyraźna poprawa stanu technicznego silnika, wyrażająca się w obniżeniu poziomów drgań, obniżeniu temperatury węzłów łożyskowych. Alarmowanie generowane przez system rozpoznawania anomalii ustąpiło.

Przybliżony czas od zarejestrowania pierwszych oznak anomalii do zlikwidowania jej przyczyny wynosił dla omawianego przykładu około pięciu tygodni.

3.2. Przykłady zmian stanu termicznego silników

Odstępstwa od normalnych wartości różnych pomiarów temperatury mogą być także wczesnym symptomem poważnych wtórnych zmian stanu technicznego. Poniżej pokazano dwa przykłady wczesnego rozpoznawania anomalii temperatury.

Pierwszy z przykładów pochodzi z elektrowni ciepłej.

Co zostało zauważone przez oprogramowanie?

26 kwietnia SmartSignal zidentyfikował szybki wzrost wybranych temperatur silnika napędzającego wentylator powietrza recyrkulacyjnego. Wzrost ten dotyczył temperatury łożyska zewnętrznego oraz stojana silnika (vide: rys. 10).

W normalnym stanie technicznym temperatura łożyska zewnętrznego winna zawierać się w przedziale $\sim 50\text{--}60^\circ\text{C}$, a temperatura stojana winna wynosić $\sim 80^\circ\text{C}$, natomiast obydwa te pomiary wzrosły odpowiednio do $\sim 80^\circ\text{C}$ i $\sim 120^\circ\text{C}$. Stwierdzono również, że łożysko silnika od strony sprzęgła zaczęło się lekko przegrzewać, bowiem wartości temperatur przewyższyły o kilka stopni ($3\text{--}6^\circ\text{C}$) wartości oczekiwane. Po uzyskaniu powyższej informacji z A&PC użytkownik podjął decyzję o odstawieniu wentylatora i dokonaniu przeglądu agregatu.

Gdzie leżała przyczyna?

W czasie przeglądu stwierdzono niesprawność w systemie chłodzenia, wynikającą z niedrożności filtra powietrza. W konsekwencji dokonano wymiany filtra na nowy. W dniu 27 kwietnia A&PC powiadomił użytkownika, że stwierdzona anomalia pomiarów zniknęła, bowiem wartości wszystkich symptomów kontrolowanych w ramach modelu wróciły do poziomów oczekiwanych.

Przybliżony czas od zarejestrowania pierwszych oznak anomalii do zlikwidowania jej przyczyny nie przekroczył w tym przypadku dwóch dni.

W przypadku włączenia takiego wentylatora do systemu zabezpieczeń i braku rozpoznania anomalii mogło nastąpić jego automatyczne (a więc niekontrolowane przez operatorów) wyłączenie, rzutujące negatywnie na pracę elektrowni. Natomiast dłuższa praca agregatu w warunkach podwyższonych temperatur prowadziłyby do skrócenia okresu międzyremontowego silnika, a także mogłyby doprowadzić do uszkodzeń wtórnych.

Kolejny przypadek pochodzi z elektrowni jądrowej, natomiast przyczyna stwierdzonej anomalii mogłyby mieć miejsce praktycznie w każdym przedsiębiorstwie.

Co zostało zauważone przez oprogramowanie?

11 stycznia w jednej z elektrowni jądrowych SmartSignal rozpoznał podwyższenie temperatury dolnego łożyska silnika (vide: rys. 11) napędzającego pionową pompę kondensatu.

Węzeł łożyskowy przekroczył nieznacznie temperaturę 40°C w sytuacji, kiedy oczekiwano temperatury 35°C.

Gdzie leżała przyczyna?

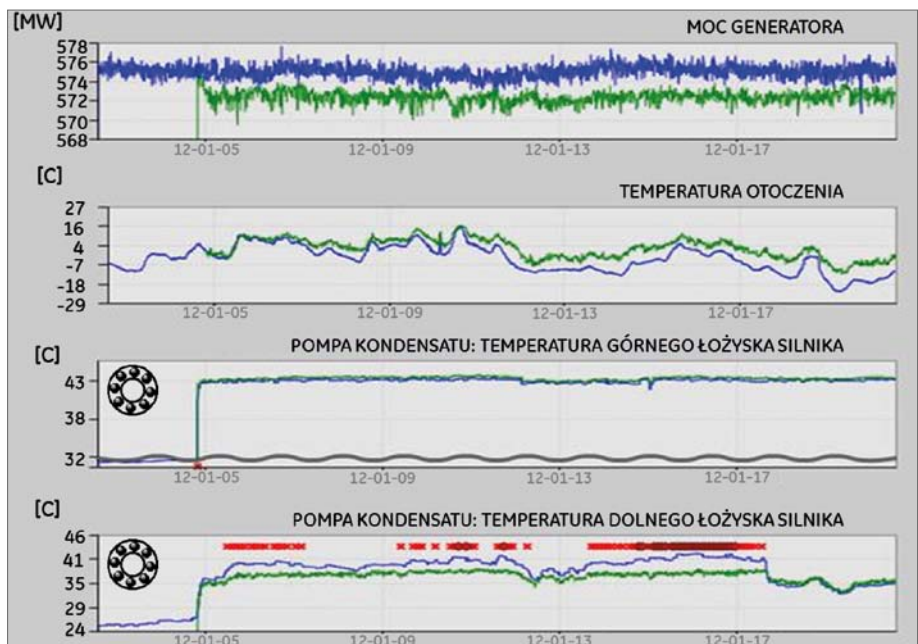
Mimo tego, że podwyższenie temperatury wciąż było poniżej nastaw alarmowych, inżynier odpowiedzialny za utrzymanie ruchu był zainteresowany rozpoznaniem przyczyny zaobserwowanej anomalii. Po udaniu się na wizję lokalną stwierdził, że wokół silnika zostało postawione rusztowanie, powodujące zaburzenie w konwekcji powietrza wokół silnika i w konsekwencji pogorszenie jego warunków chłodzenia.

Po rozpoznaniu przyczyny inżynier UR zadysponował rozebranie rusztowania.

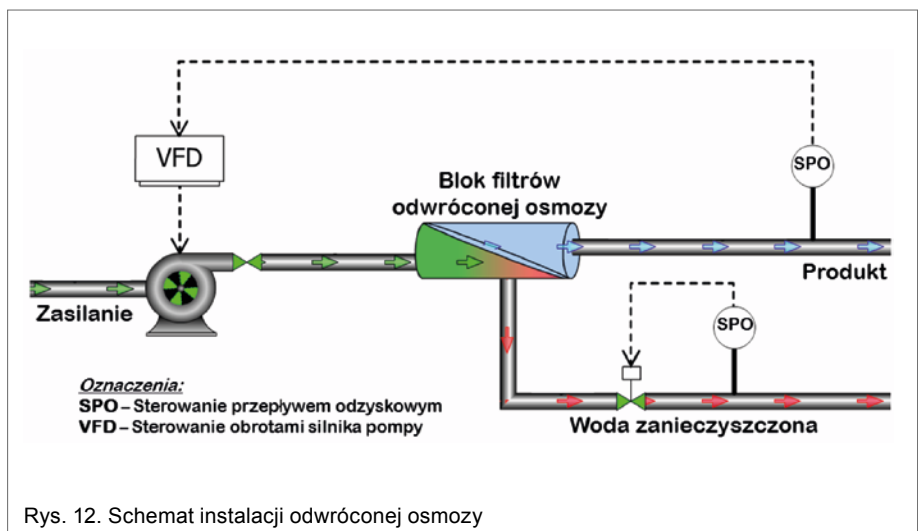
A&PC w krótkim czasie mogło potwierdzić służbom UR elektrowni, że rozpoznanie inżyniera i podjęta akcja były poprawne. Natychmiast po rozebraniu rusztowania (17 stycznia) stwierdzono ponowne zsynchronizowanie temperatur (wartości temperatury mierzonej w węzle łożyskowym z wartościami temperatury oczekiwanymi przez system rozpoznawania anomalii).

Przybliżony czas od zarejestrowania pierwszych oznak anomalii do zlikwidowania jej przyczyny nie przekroczył dla omawianego przykładu dwóch tygodni.

Brak poprawnego chłodzenia węzłów łożyskowych pompy prowadzi do skrócenia okresów międzyremontowych (np. dla silników z węzłami łożyskowymi



Rys. 11. Anomalia silnika spowodowana zakłóceniem chłodzenia konwekcyjnego



Rys. 12. Schemat instalacji odwróconej osmozy

pracującymi w temperaturach powyżej 50°C stosuje się inne smary). Natomiast podwyższenie temperatury powierzchni silnika (tu w wyniku pogorszenia warunków chłodzenia) prowadzi do konieczności obniżenia dopuszczalnej mocy wynikającej z tabliczki znamionowej silnika celem zapewnienia jego bezpiecznego użytkowania (w przypadku podwyższenia temperatury do 60°C należy liczyć się z koniecznością prewencyjnego obniżenia mocy silnika do 87% mocy nominalnej celem zapewnienia bezpiecznej eksploatacji [11]). Nieprzestrzeganie powyższych zasad mogłoby spowodować konieczność wcześniejszego awaryjnego odstawienia agregatu pompy kondensatu, bowiem zwiększenie temperatury

uzwojeń o 10°C prowadzi w przybliżeniu do skrócenia żywotności silnika o połowę [12].

3.3. Zmiana wydajności instalacji w wyniku awarii silnika małej mocy

Wydział przygotowania wody w elektrowni wykorzystuje w procesie jej oczyszczania instalację pracującą na bazie odwróconej osmozy. Na rys. 12 pokazano uproszczony schemat instalacji, na którym zaznaczono strzałkami zielonymi, niebieskimi i czerwonymi części instalacji transportujące odpowiednio wodę zasilającą, czystą (= produkt) oraz zanieczyszczoną.

W skład instalacji wchodzi pewna liczba pomp i zaworów, służących między

innymi zapewnieniu właściwych ciśnień i przepływów w różnych częściach instalacji tak, aby proces odwróconej osmozy przebiegał optymalnie.

Gdzie leżała przyczyna?

8 listopada SmartSignal zauważył wzrost ciśnienia wody zasilającej z oczekiwanej wartości 1,24 MPa do wartości ~1,31 MPa. Dodatkowo w części instalacji odwróconej osmozy z wodą zanieczyszczoną także stwierdzono wzrost ciśnienia z wartości oczekiwanej 1,03 MPa do wartości 1,17 MPa. Trendy zmian ciśnień w poszczególnych częściach instalacji odwróconej osmozy pokazano na rys. 13.

Co zostało zauważone przez oprogramowanie?

W ślad za informacją otrzymaną z A&PC stosowne służby elektrowni dokonały przeglądu instalacji odwróconej osmozy. Stwierdzono uszkodzenie silnika jednej z pomp zasilających. Uszkodzenie agregatu pompowego wpływało niekorzystnie na wydajność pracy instalacji w zakresie produkcji wody zdemineralizowanej niezbędnej dla właściwego obiegu pary.

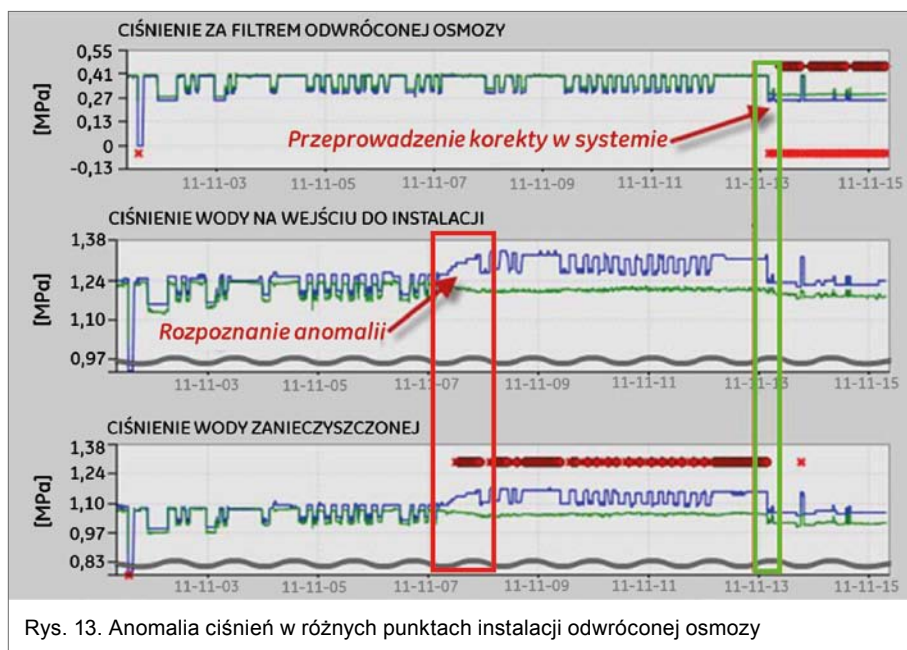
Oprogramowanie rozpoznawania anomalii umożliwiło rozpoznanie defektu niewielkiego agregatu pompowego i przeprowadzenie szybkiej (w ciągu kilku dni od pojawienia się anomalii – co widać na rys. 13) korekty pracy systemu bez wystąpienia skutków wtórnych.

Przybliżony czas od zarejestrowania pierwszych oznak anomalii do zlikwidowania jej przyczyny był dla omawianego przykładu krótszy niż jeden tydzień.

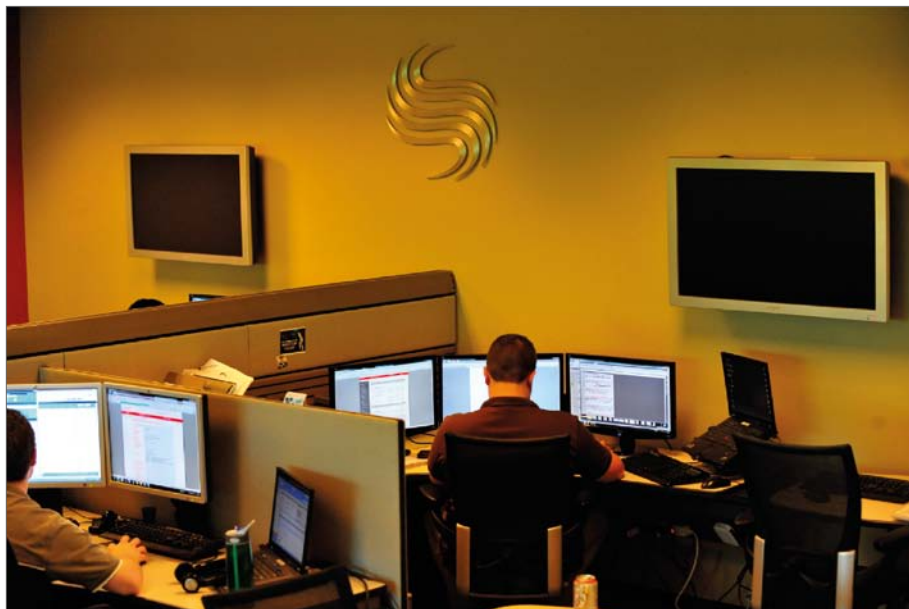
Brak w dłuższym okresie właściwej ilości wody w wymienniku ciepła mógłby doprowadzić do przyspieszonego gromadzenia się osadów, w konsekwencji zaś do niewystarczającego odprowadzania ciepła i finalnie mógłby powodować wystąpienie lokalnych przegrzań i rozszczelnień.

4. Zakończenie

Ze względu na dążenie do zwiększenia efektywności produkcji coraz większe systemy produkcyjne są obsługiwane przez coraz mniejsze zespoły ludzkie. W artykule opisano zasady implementacji programowego systemu detekcji anomalii w przedsiębiorstwie. Systemy rozpoznawania anomalii mogą znacząco przyczynić się do szybkiego rozpoznawania małych zmian w dużych systemach pomiarowych.



Rys. 13. Anomalia ciśnień w różnych punktach instalacji odwróconej osmozy



Rys. 14. Widok kilku stanowisk roboczych w A&PC, które realizuje na warunkach outsourcingu rozpoznawanie anomalii dla ~4500 maszyn

Na pięciu przykładach agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi pokazano, jak bardzo rozpoznawanie anomalii jest wrażliwym narzędziem na różnego typu zmiany stanu. Anomalie mogą dotyczyć tak stanu technicznego agregatu, jego powiązania z konstrukcją wsporczą (podobnie by było w przypadku zmian w połączeniu mechanicznym z rurociągami), procesu produkcyjnego, jak i niepożądanych zmian w środowisku, które mogą rzutować na poprawność pracy maszyn.

System detekcji anomalii umożliwia rozpoznawanie nieprawidłowości pracy systemu produkcyjnego we wczesnej fazie zaawansowania uszkodzenia, a więc dostarczają służbom UR informacje o zmianach stanu ze znaczącym wyprzedzeniem w stosunku do punktu „F” krzywej P-F, tak jak to pokazano na rys. 4. Zadanie rozpoznawania anomalii może być zlecone wydziałowi diagnostyki na poziomie przedsiębiorstwa lub koncernu. Zadanie to może być także realizowane na warunkach outsourcingu. Na rys. 14

pokazano kilka stanowisk pracujących w centrum A&PC nadzorującym ~4500 maszyn dla dużej grupy przedsiębiorstw na warunkach outsourcingu.

Przypisy

- 1 W literaturze anglojęzycznej ten trzeci wymiar opisywany jest jako Asset PERFORMANCE Management.
- 2 System AnomAlert może być także wykorzystywany w detekcji anomalii dla pracy generatorów.
- 3 A&PC = Application & Performance Center.

Literatura

- [1] NOWICKI R.: *Nadzór stanu technicznego agregatów z napędami elektrycznymi – wprowadzenie do tematyki*. „Napędy i Sterowanie” 10/2013, s. 114–125.
- [2] NOWICKI R.: *Zróżnicowanie systemów On-Line nadzoru stanu technicznego agregatów z napędami elektrycznymi*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 89/2011, s. 65–73.
- [3] NOWICKI R., PAPPAS Y.: *Intelligent Maintenance Support of Hydro Station Asset*

Management, Proceedings of International Conf. OCT 29–31, 2012, Bilbao, Spain.

- [4] SONG J., NOWICKI R., DUYAR A.: *Zastosowanie modelowania diagnostycznego dla wspomagania predykcijnego utrzymania ruchu i zwiększenia efektywności energetycznej w hucie*. Zeszyty Problemowe „Maszyny Elektryczne” 2/2013 (99), s. 233–240.
- [5] WEGERICH S.: *Condition Based Monitoring using Nonparametric Similarity Based Modeling*, Proceedings, Japanese Maintenance Society Meeting 2006.
- [6] DOAN D.: *SmartSignal* is Now Part of GE – What Does it Mean for You?* „Orbit”, Vol. 31, No 2, 2011.
- [7] LEBETER D.: *Time To Value, Keynote speech, SmartSignal**, Proceedings, Summit 2008.
- [8] US 6421571: *Industrial plant asset management system: apparatus and method*. 16 JUL 2002.
- [9] *RCM Guide For Facilities and Collateral Equipment*, NASA, September 2008.
- [10] COVINO L., HANIFAN M.: *Asset Management 101, Part I: Maintenance Strategy Overview*. „Orbit”, Vol. 29, No 1, 2009, p. 30–35.

[11] *Ambient Temperature Exceeding 104 Degrees F*, Motor & Drives, Application Note, <http://elpaso.apogee.net/md/mspuamb.asp>

[12] BETHEL N.P.: *Fault Zone Analysis: Six Part Series on Identifying Motor Defects*. IRINFO, JAN 2007, http://www.irinfo.org/articles/09_01_2007_bethel.html

*Znak towarowy GE Intelligent Platforms, Inc. SmartSignal jest znakiem towarowym SmartSignal Corporation, w całości należącej do GE Intelligent Platforms, Inc.

Ryszard Nowicki – GE POWER
CONTROLS Sp. z o.o.,
e-mail: ryszard.nowicki@ge.com
Mark Bate – GE Intelligent Platforms
e-mail: Mark.Bate@ge.com

artykuł recenzowany