

Katarzyna MIDOR, Michał ZASADZIENI, Bartosz SZCZEŚNIAK

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

## PRZEGLĄD TECHNOLOGII WYKORZYSTYWANYCH DO REALIZACJI USŁUG TYPU E-MAINTENANCE

**Streszczenie.** W artykule została opisana analiza istniejących koncepcji i rozwiązań usług typu e-maintenance wraz z przeglądem zastosowanych w nich technologii. Opracowanie obejmuje studium literaturowe w zakresie istniejących koncepcji i rozwiązań z zakresu e-maintenance, opisanych w literaturze fachowej, a także rozwiązania i możliwości zastosowania tej koncepcji.

## OVERVIEW OF TECHNOLOGY USED FOR SERVICE E-MAINTENANCE TYPEE

**Summary.** This paper describes an analysis of existing concepts and solutions services such as e-maintenance together with an overview of technology used in them. The development includes the study of literature in the context of the existing concepts and solutions in the field of e-maintenance described in the literature, and describes the solutions and possible applications of this concept.

### 1. Wstęp

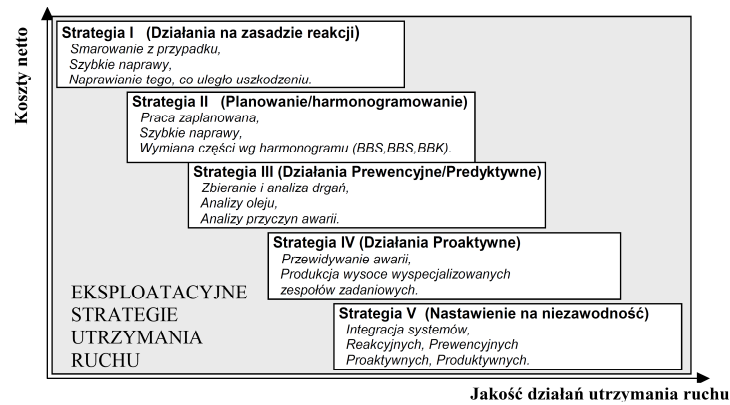
W funkcjonowaniu przedsiębiorstw, których cechą charakterystyczną jest produkcja ciągła, istotne znaczenie odgrywa poprawnie prowadzona eksploatacja obiektów technicznych [1], zapewniająca stabilną pracę maszyn i urządzeń. Osiągnięcie tego wymaga zagwarantowania niezawodności środków technicznych wykorzystywanych w procesach produkcyjnych, czyli pełnej kontroli nad sprawnością maszyn, urządzeń i narzędzi, a to z kolei wymaga umiejętności przewidywania uszkodzeń i możliwości sprawnego przywracania urządzeniom stanu akceptowalnego, przy optymalnym wykorzystaniu dostępnych zasobów.

W przedsiębiorstwach produkcyjnych widać coraz większe techniczne uzbrojenie pracy, a często koszt utrzymania maszyn i urządzeń oraz ich amortyzacja przekraczają wielokrotnie inne koszty. Prawidłowe funkcjonowanie procesu gospodarowania majątkiem trwałym, od strony zarówno technicznej, jak i ekonomicznej, stanowi zatem zadanie o bardzo dużym znaczeniu ze względu na minimalizowanie kosztów produkcji [2]. Utrzymanie maszyn i urządzeń w należytej sprawności jest rolą pracowników utrzymania ruchu.

Przedsiębiorstwa egzystują obecnie w środowisku o charakterze globalnym. Przeglądy, serwis i usuwanie awarii w przedsiębiorstwie, którego oddziały rozrzucone są w wielu, oddalonych od siebie miejscach, pociąga za sobą zwiększenie kosztów szkolenia pracowników oraz ich podróży. Nie bez znaczenia jest także fakt użytkowania w przedsiębiorstwach coraz bardziej skomplikowanych i specjalistycznych środków technicznych, których prawidłowa eksploatacja związana jest ze specjalistyczną wiedzą, w którą wyposażenie pracownika utrzymania ruchu staje się nierzadko zbyt kosztowne dla firmy. Wyjściem z sytuacji może być powierzenie obowiązków utrzymania ruchu specjalistycznym firmom zewnętrznym, czyli tzw. outsourcing, lub zastosowanie rozwiązań e-maintenance. E-maintenance to koncepcja umożliwiająca zdalny monitoring oraz diagnostykę urządzeń z wykorzystaniem nowoczesnych technologii ICT.

## **2. Utrzymanie ruchu w przedsiębiorstwie**

Utrzymanie ruchu jest terminem odnoszącym się do teorii, metod, technologii oraz technik, które są stosowane w celu zapewnienia sprawnego funkcjonowania maszyn i urządzeń. Działając w sposób niewłaściwy, zasoby te mogą stanowić poważne zagrożenie dla obsługujących je osób czy całego środowiska, a poprzez swoją nieefektywność mogą stanowić poważne zagrożenie dla kondycji finansowej całego przedsiębiorstwa. W zakresie strategii funkcjonowania utrzymania ruchu można wyróżnić kilka głównych koncepcji (strategii) utrzymywania w sprawności środków technicznych, które rozwijały się na przestrzeni ubiegłego wieku – rys. 1.



Rys. 1. Strategie eksploatacyjne [3]

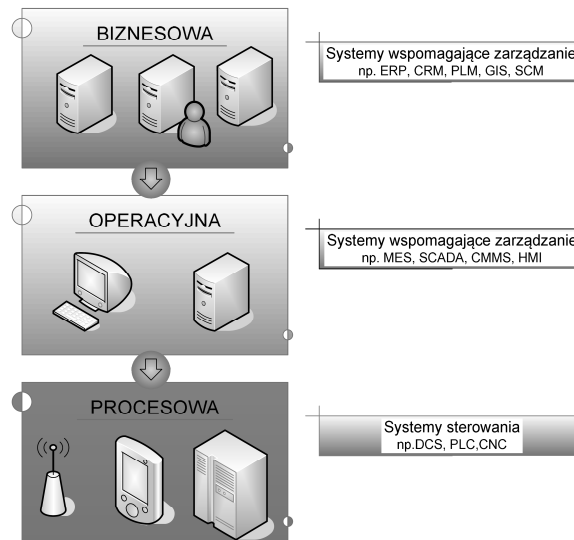
Fig. 1. Operational strategies [3]

Reaktywne utrzymanie ruchu polega na podejmowaniu działań po zaistnieniu problemów. Koncepcja ta jest raczej rozwiązaniem historycznym i obecnie nie powinna być już stosowana. W ramach prewencyjnego utrzymania ruchu dąży się natomiast do zapobiegania awariom poprzez stosowanie planowanych w określonych odstępach czasu działań konserwacyjnych oraz remontów. Planowanie działań opiera się tutaj na przyjętych algorytmach i określonych pracach oraz związanych z nimi przestojach maszyn, które mają miejsce niezależnie od tego, czy faktycznie są one potrzebne czy nie. Rozwiązanie tego problemu próbuje znaleźć ostatnia z wymienionych koncepcji.

W ramach proaktywnego utrzymania ruchu dąży się do przewidywania możliwości wystąpienia zakłóceń w procesie produkcyjnym na podstawie bieżących obserwacji wybranych parametrów opisujących stan wykorzystywanych maszyn i urządzeń. Zgodnie z tą koncepcją, działania są podejmowane w momencie, gdy faktycznie są one konieczne. W tym celu stosowane są inspekcje zapobiegawcze, przeglądy. Stosowane są rozwiązania pozwalające na okresowe lub ciągle monitorowanie określonych parametrów pracy poszczególnych zasobów. Tworzone są także modele pozwalające na prognozowanie niebezpieczeństwa wystąpienia awarii na podstawie zaobserwowanych zjawisk [4].

Ostatnią i najnowszą strategią jest nastawienie na niezawodność, która integruje ze sobą wszystkie wyżej wymienione koncepcje w ramach jednego systemu. W szczególności w ramach ostatniej z wymienionych koncepcji, pomiędzy uczestnikami procesu produkcyjnego, procesu utrzymania ruchu oraz elementami stosowanego wyposażenia wymieniana jest bardzo duża ilość informacji. Sprawne funkcjonowanie wymienionych procesów może wymagać integracji wielu występujących w nich danych oraz zapewnienia do nich swobodnego dostępu dla wszystkich zainteresowanych. Obecnie wiele przedsiębiorstw przemysłowych decyduje się na zmiany w sposobie funkcjonowania służb utrzymania ruchu,

które wynikają z istniejących w tym zakresie koncepcji, np. TPM, RCM czy CBM (Condition Based Maintenance, czyli utrzymanie ruchu według stanu technicznego, z wykorzystaniem narzędzi diagnostycznych) oraz oferowanych licznych narzędzi wspomagających, np. CMMS [5], a także z konieczności osiągnięcia i utrzymania założonego poziomu jakości eksploatacji systemów technicznych [6]. Umieszczenie systemów klasy CMMS wśród innych systemów wspomagających zarządzanie przedstawione zostało na rys. 2.



Rys. 2. Struktura systemów wspomagających zarządzanie [2]

Fig. 2. The structure of management support systems [2]

Dynamiczny rozwój sieci teleinformatycznych pod koniec XX w. oraz konieczność redukcji kosztów produkcji spowodowały powstanie innowacyjnego sposobu outsourcingu utrzymania ruchu, a mianowicie e-maintenance, czyli zdalnego utrzymania w należytej sprawności środków technicznych [7].

### 3. E-Maintenance

E-maintenance stanowi koncepcję łączącą dwa bardzo istotne trendy występujące we współczesnej gospodarce. Jednym z nich jest wzrost znaczenia utrzymania ruchu jako kluczowej technologii pozwalającej na zapewnienie prawidłowego, efektywnego i bezpiecznego funkcjonowania maszyn w przemyśle oraz transporcie. Drugim jest bardzo szybki rozwój technologii komunikacyjnych oraz informacyjnych [8]. W szczególności rozwój w zakresie dwóch głównych gałęzi technologii ICT przyczynił się do rozwoju e-maintenance:

- zminiaturyzowanie czujników rozszerzających możliwości zdobywania i odczytywania danych,
- rozwój technologii komunikacyjnych, włączając w to sieci bezprzewodowe, sprawił, że Internet stał się istotną platformą do realizacji procesów biznesowych.

Samo pojęcie „e-maintenance” jest terminem bardzo młodym i raczej dość szeroko pojmowanym. Jego definicja rozciąga się od podejścia o charakterze technicznym, według którego jest to „sieć integrująca i synchronizująca różne aplikacje z zakresu utrzymania ruchu oraz niezawodności w celu zbierania oraz dostarczania informacji na temat zasobów we właściwe miejsce o właściwym czasie” [9], po podejście o charakterze techniczno-społecznym, według którego jest to „koncepcja zarządzania utrzymaniem ruchu w której poszczególne działania są realizowane z wykorzystaniem aktualnych danych dotyczących zasobów, uzyskiwanych na bieżąco za pośrednictwem Internetu” [10]. W literaturze przedmiotu można spotkać się następującymi definicjami [8]:

- „E-maintenance to zdolność do monitorowania zasobów hali produkcyjnej, połączenia z systemami produkcyjnymi oraz systemami utrzymania ruchu, zbierania opinii ze zdalnych stron klientów oraz integrowania wymienionych elementów w przedsiębiorstwie w obrębie aplikacji wysokiego poziomu.”
- „E-maintenance to system przetwarzania, który umożliwia osiągnięcie operacjom procesu wytwarzania wydajności o niemal zerowym czasie postoju oraz umożliwia ich zsynchronizowanie z systemami biznesowymi za pomocą szerokiego spektrum technologii sieciowych.”

Według Holmberga i innych [8], e-maintenance zasadniczo powinno być systemem pozwalającym na uzyskanie w odniesieniu do zarządzanych zasobów odpowiedzi na następujące pytania:

1. Co? – Które zasoby wymagają działań związanych z utrzymaniem.
2. Kiedy? – Kiedy działania związane z utrzymaniem są potrzebne.
3. Kto? – Jakie zasoby ludzkie mają być zaangażowane w proces.
4. Jak? – Instrukcje obsługi, narzędzia.

Ilustracją tej koncepcji może być schemat działania systemu *Watchdog Agent*, który jest elementem Intelligent Maintenance Systems (IMS), rozwijanym przez Uniwersytety Michigan i Cincinnati [11] (rys. 3).

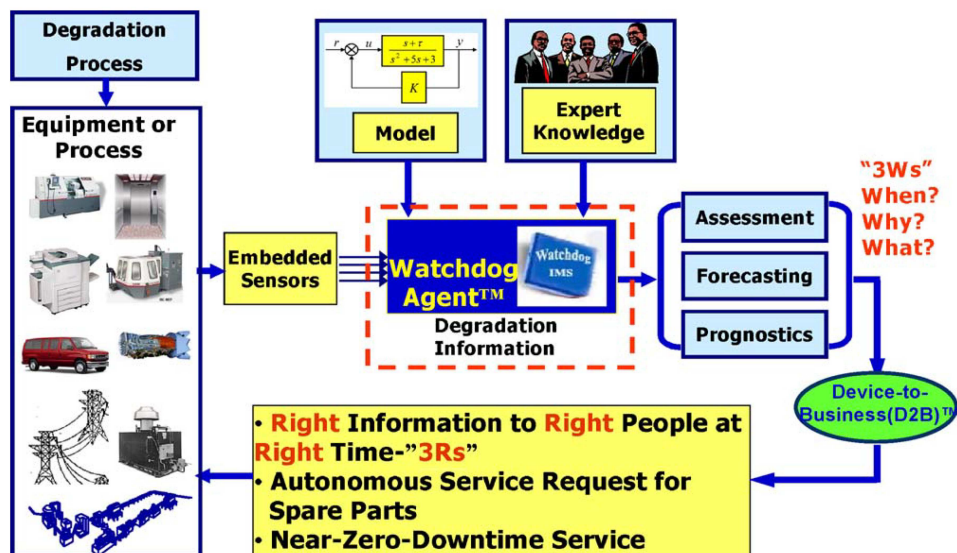
Rys. 3. Schemat systemu typu *intelligent maintenance* [12]

Fig. 3. Schema type system intelligent maintenance [12]

Wyposażenie produkcyjne lub proces poddawane są ciągłej degradacji. Czujniki wysyłają informację o parametrach maszyn lub procesu do centrum decyzyjnego, które dzięki wbudowanym modelom i algorytmom oraz wiedzy ekspertów, podejmuje decyzje wg schematu 3W – *When?* (kiedy monitorowane środki techniczne zaczną zawodzić?), *Why?* (co jest przyczyną degradacji mierzonego parametru?) i *What?* (co jest najbardziej krytycznym elementem wymagającym naprawy?). Dzięki temu do procesu lub urządzenia dostarczone są informacje i materiały zgodnie z zasadą 3R, czyli właściwa informacja do właściwych ludzi, we właściwym czasie, skutkujące zamówieniem we właściwym czasie części zamiennych oraz ograniczeniem do minimum czasów przestoju.

Systemy tego typu, pomimo tego, że umożliwiają, nie ograniczają się jedynie do integrowania działań, które mogłyby być realizowane w tradycyjnych rozwiązaniach stosowanych w zakresie utrzymania ruchu. Pojawiające się nowe możliwości, pozwalają na opracowywanie i realizację nowych rodzajów działań, które bez błyskawicznego dostępu do olbrzymich ilości danych, nie byłyby możliwe. W ramach realizacji koncepcji e-maintenance realizowane są [8]:

- te same procesy, które są realizowane w ramach maintenance,
- realizowane są procesy, które są e-rozwinięciem procesów realizowanych w ramach maintenance CMMS → e-CMMS,
- całkowicie nowe procesy.

Integracja realizowana w ramach e-maintenance może obejmować dane i procesy w ramach pojedynczego przedsiębiorstwa, może również wychodzić poza jego granice, tworząc

powiązania pomiędzy firmami produkującymi maszyny i urządzenia oraz firmami, które je wykorzystują w ramach realizowanego procesu produkcyjnego. Jedną z proponowanych definicji [13] mówi, że e-maintenance to rozwijająca się koncepcja utrzymania ruchu, w której zasoby mogą być monitorowane i zarządzane poprzez Internet. Główna koncepcja e-maintenance zakłada, że jest to system pozwalający na [14]:

- monitorowanie zasobów hali produkcyjnej,
- połączenie z systemami produkcyjnymi oraz systemami utrzymania ruchu,
- gromadzenie danych, opinii, informacji zwrotnych od klientów,
- integrację wymienionych elementów w ramach aplikacji wysokiego poziomu.

Gromadzenie parametrów pracy maszyn i urządzeń jest realizowane przez ich producentów. Dane takie są następnie udostępniane poszczególnym klientom. Działania te są realizowane w ramach opieki serwisowej i jako takie mają charakter usługi. Usługa taka może być określana jako e-maintenance.

#### **4. Technologie stosowane w E-maintenance**

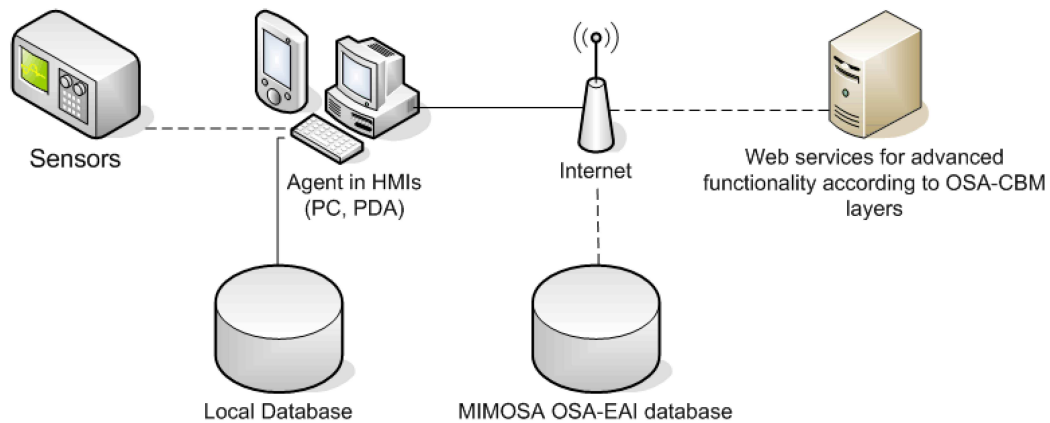
W ramach e-maintenance stosowane są różnego rodzaju technologie ICT. Mogą one zostać podzielone ze względu na funkcjonalność:

- technologie wykorzystywane do zbierania danych [15]:
  - 1) nowe systemy czujników,
  - 2) miniaturowe nośniki danych,
  - 3) urządzenia przenośne PDA, EDA;
- technologie służące do przetwarzania danych:
  - 1) serwery bazodanowe,
  - 2) systemy eksperckie;
- technologie służące do dostarczania/przesyłania danych [16]:
  - 1) komputerowe sieci Ethernet i Wireless (Wi-Fi),
  - 2) łącza satelitarne,
  - 3) szyfrowanie danych,
  - 4) technologia Bluetooth;
- technologie służące do zdalnej diagnostyki i obsługi [17,18]:
  1. augmented Reality,
  2. teleimersja,

3. VR – virtual reality,
4. interaktywne instrukcje obsługi,
5. RFID.

Wiele rozwiązań możliwych do zastosowania w ramach e-maintenance zostało opracowanych w ramach różnorodnych aplikacji praktycznych, czego przykładem może być program DYNAMITE [13], realizowany przez 16 ośrodków naukowo-technicznych w Europie.

Ideę integracji poszczególnych komponentów w ramach systemu prezentuje rys. 4.



Rys. 4. Architektura komunikacyjna wykorzystana w programie [13]

Fig. 4. Communication architecture used in the program [13]

Wśród tych rozwiązań można wymienić:

- nową platformę, wspomagającą monitorowanie wibracji, oraz powiązane z nim prognozowanie oraz diagnozowanie,
- bazujące na technologii MEMS czujniki, pozwalające na mierzenie wibracji, ciśnienia oraz temperatury,
- czujniki pozwalające na zbieranie danych na temat wibracji oraz przesyłanie ich do PDA za pomocą USB,
- system bezprzewodowych czujników, obejmujący czujniki pracujące zgodnie z protokołami ZigBee oraz elementy łączące ZigBee z WiFi,
- zastosowanie 5 różnych czujników, pozwalających na ciągłe monitorowanie oleju smarującego (większość oparta na metodach optycznych) – były testowane w laboratoriach Martechnic, w fabrykach Volvo i w Fiata,
- możliwość zastosowania RFID (PDA z czytnikiem RFID) do identyfikowania maszyn (Smart Tags) (identyfikacja urządzeń i ich części, możliwość pobrania z bazy danych odpowiednich wartości granicznych dla monitorowanych parametrów zidentyfikowanego urządzenia, podczas monitorowania ich stanu),



- zastosowanie modelu pozwalającego na prognozowanie usterek na podstawie wartości mierzonych parametrów,
- zastosowanie odpowiednich usług internetowych, które umożliwią wykorzystywanie urządzeń typu PDA jako przenośnego interfejsu użytkownika,
- stworzenie wspólnej bazy danych, zapewniającej integrację danych pochodzących z wielu różnych modułów systemu,
- stworzenie architektury oraz składników oprogramowania udostępniających usługi sieciowe, pozwalające na integrację różnych rodzajów oprogramowania oraz aktorów występujących w pracach utrzymania ruchu, w ramach których realizowane są główne zadania – moduły prognozujące moduły diagnozujące – DynaWeb.

## 5. Podsumowanie

E-maintenance to rozwijająca się koncepcja utrzymania ruchu, w której zasoby mogą być monitorowane i zarządzane poprzez Internet. Stwarza to, szczególnie w warunkach coraz powszechniejszej dostępności do sieci internetowych, ogromne możliwości poprawy efektywności obsługi maszyn. Systemy typu e-maintenance umożliwiają integrację podsystemów diagnostycznych, decyzyjnych, eksperckich, planistycznych informacyjnych i zarządczych. Niewątpliwie jest to potężne narzędzie wspomagające proces zarządzania, jednak realizacja tej koncepcji wymaga skomplikowanej i rozbudowanej struktury informacyjno-informatycznej. Koncepcja e-maintenance charakteryzuje się elastycznością zastosowań, ponieważ może być realizowana zarówno w ramach jednego przedsiębiorstwa mającego służbę utrzymania ruchu, jak i w ramach współpracy producentów oraz serwisu z użytkownikami maszyn i urządzeń. Integracja realizowana w ramach e-maintenance może obejmować dane i procesy w ramach pojedynczego przedsiębiorstwa, może również wychodzić poza jego granice, tworząc powiązania pomiędzy firmami produkującymi maszyny i urządzenia oraz firmami, które je wykorzystują w ramach realizowanego procesu produkcyjnego. W chwili obecnej e-maintenance jest koncepcją, która jest w pełni realizowana na przykład w sektorze maszyn budowlanych, ale z pewnością w najbliższym czasie zostanie wykorzystywana także w innych sektorach i na szeroką skalę.

**Bibliografia**

1. Madera D.: Koncepcja analizy złożonych procesów remontowych. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*, 2008.
2. Rybińska M., Sekieta M.: Komputerowe wspomaganie zarządzania utrzymaniem ruchu, [w:] Knosala R. (red.): *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, t. 2. Wyd. PTZP, Opole 2009.
3. Słowiński B.: Wprowadzenie do nauki o technice. (e-book) <http://www.broneks.net/category/ebook/wprowadzenie-do-techniki/>
4. Legutko S.: Trendy rozwoju utrzymania ruchu urządzeń i maszyn. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2009.
5. Computerised Maintenance Management System – komputerowe wspomaganie zarządzaniem utrzymaniem ruchu.
6. Loska A.: Koncepcja wykorzystania scenariuszy w modelowaniu procesów produkcyjnych. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*, 2005.
7. Crespo-Marquez A., Iung B.: A review of e-maintenance capabilities and challenges. *Journal on Systemics, Cybernetics and Informatics*, 2008.
8. Holmberg K., Adgar A., Arnaiz A., Jantunen E., Mascolo J., Mekid S.: *E-maintenance*. Springer Verlag, London 2010.
9. Baldwin, R.C.: Enabling an e-Maintenance infrastructure. *Maintenance Technology*, 2001, 12. <http://www.mt-online.com>
10. iSCADA: Implementing eMaintenance. [http://www.devicesworld.net/iscada\\_applications\\_maintenance.html](http://www.devicesworld.net/iscada_applications_maintenance.html)
11. Casotto N., Djurdjanovic D., Mayor R., Lee J., Ni J.: Multisensor process performance assessment through the use of autoregressive modelling and feature maps. *Transactions of SME/NAMRI*, 2003.
12. Lee J., Ni J., Djurdjanovic D., Qiu H., Liao H.: Intelligent prognostics tools and e-maintenance. *Computers in Industry*, 2006.
13. Jantunen E., Gilabert E., Emmanoulidis C., Adgar A.: E-maintenance, a means to high overall efficiency. *Proceedings of the 4th World Congress on Engineering Asset Management*, Athens 2009.
14. Crespo-Marquez A., Iung B., Levrat E.: On the Concept of e-Maintenance. *Information and Communication Technologies Applied to Maintenance. Review and Current Research. Proceedings*, Orlando 2007.

15. Garcia, E., Guyennet, H., Lapayre J-C., Zerhouni N.: A new industrial cooperative tele-maintenance platform. *Computers & Industrial Engineering*, 2004.
16. Hung, M., Chen, K., Ho R., Cheng F.: Development of an e-Diagnostics/Maintenance framework for semiconductor factories with security considerations. *Advanced Engineering Informatics*, 2003.
17. Benbelkacem S., Zenati-Henda N., Belhocine M., Maleka S.: Augmented Reality System for E-maintenance Application. *Intelligent Systems and Automation: 2nd Mediterranean Conference on Intelligent Systems and Automation (CISA'09)*, Zarzis (Tunisia), 23-25 March 2009.
18. Rozmus M., Winkler T., Michalak D., Jaszczak Ł.: *Oparte na wiedzy metody wspomagania procesów w górnictwie, t. 2*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2011.

## **Abstract**

The article presents the idea, concepts, solutions and technologies of the e-maintenance services possible to use in modern companies. Nowadays the idea of e-maintenance is successfully implemented in machinery sector, but certainly it soon will be wide adopted in many other branches and sectors.