

STRATEGIE EKSPLOATACJI KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH

Mariusz ŻÓLTOWSKI

Streszczenie: Istnieje potrzeba ciągłego doskonalenia metod badań eksploatacyjnych całych konstrukcji budowlanych narażonych na destrukcję. Wprowadzane do budownictwa nowe materiały i technologie oraz nowe rozwiązania konstrukcyjne, umożliwiają zwiększenie trwałości, niezawodności i jakości budowli, lecz towarzyszą im często groźne i duże obciążenia dynamiczne. Ważne jest tu wdrożenie odpowiedniej strategii utrzymania zdolności konstrukcji budowlanej, co pozwala przewidzieć wystąpienie stanu destrukcji zagrażającemu bezpieczeństwu jej użytkowania, lub może skutkować nawet katastrofą budowlaną.

W tej pracy zaproponowano i opisano możliwe do implementacji na potrzeby budownictwa strategie utrzymania zdolności konstrukcji budowlanych oraz oprogramowanie komputerowe dające możliwość monitorowania zmiany stanu degradacji konstrukcji w czasie jej eksploatacji.

Słowa kluczowe: eksploatacja budowli, proces degradacji stanu, utrzymanie zdolności, systemy informatyczne.

1. Wprowadzenie

Współczesne budowle (konstrukcje budowlane) w gospodarce są często bardzo efektywne, a jednocześnie skomplikowane i drogie. Każda katastrofa, uszkodzenie i przerwy w wykorzystaniu powodują duże straty ekonomiczne i zagrożenie bezpieczeństwa ludzi i środowiska. Dla potrzeb utrzymania zdolności budowli w procesie ich istnienia (użytkowania), zapewnienia bezpieczeństwa i ochrony środowiska ciągle doskonalą się teorię i praktykę możliwych do wykorzystania strategii eksploatacji, wspomaganych technikami informacyjnymi. **Strategia eksploatacji** sterująca racjonalnym wykorzystaniem materiałów i konstrukcji budowlanych polega na ustaleniu sposobów prowadzenia użytkowania i obsługiowania oraz relacji między nimi w świetle przyjętych kryteriów.

Rozwija się i doskonalą rzadko stosowaną strategię zapobiegawczą - wymian profilaktycznych - oraz nową strategię ubytku potencjału użytkowego dla istniejących obiektów, opracowując coraz to lepsze modele takich rozwiązań [3, 10, 14].

Kształtowanie się kosztów eksploatacji (istnienia) budowli i różnorodność działań organizacyjnych w tym obszarze różnicują możliwości stosowania znanych strategii eksploatacji. Rozwijająca się diagnostyka degradacji stanu obiektów daje podstawy do racjonalnej eksploatacji (utrzymania zdolności) w nowo tworzonych diagnostycznych systemach eksploatacji konstrukcji budowlanych [1, 10, 14].

Do głównych zadań służb utrzymania zdolności obiektów budowlanych należy:

- realizacja procesów działań (obsługiwań) profilaktycznych obiektów,
- identyfikowanie i lokalizowanie uszkodzeń elementów oraz ich usuwanie,
- identyfikacja i ograniczanie intensywności procesów zużywania się budowli,
- monitorowanie i usuwanie skutków zachodzących procesów starzenia i zużycia,
- realizacja procesów ewidencji danych o stanach konstrukcji oraz ich elementów.

Efektywne (zarówno w sensie ekonomicznym jak i technicznym) i skuteczne realizowanie procesów zapewniania zgodności przez służby utrzymania ma istotny wpływ na bezpieczeństwo i efektywność wykorzystania budowli.

Nowoczesne technologie informacyjne dostarczają wiele oryginalnych rozwiązań z obszaru pozyskiwania, przetwarzania i redundancji informacji nadzorowanych budowli, ułatwiając modelowanie przyczynowo – skutkowe, wnioskowanie o stanie, genezowanie i prognozowanie stanu [2,4, 6, 8, 11].

Literatura opisuje wiele systemów eksploatacji różnych systemów, które przenikają w obszar zastosowań do budynków i budowli. Warto przeanalizować ich funkcjonowanie i zaproponować wdrażanie najlepszych w istniejącej strukturze budowlanej. W warunkach rzeczywistych świadomy wybór strategii dokonywany jest głównie w przedsiębiorstwach, posiadających niezbędne zasoby ludzkie, finansowe i techniczne. Sprowadza się on najczęściej do przyjęcia jednego z poniższych, zmodernizowanych dla potrzeb budownictwa, modeli utrzymania zgodności lub ich kombinacji [3, 10, 14].

2. Przegląd strategii utrzymania zgodności

Utrzymanie zgodności istniejących budynków i konstrukcji budowlanych jest w przedsiębiorstwie produkcyjnym sprawą kluczową, aczkolwiek w podejściu procesowym jest na ogół klasyfikowane jako proces pomocniczy w stosunku do produkcji. Tymczasem proces ten ma lub może mieć zasadniczy wpływ na ilość i koszty produkcji, jakość produktu finalnego, bezpieczeństwo ludzi i środowiska. Dodatkowo jest to proces, którego wyniki można rozpatrywać w wymiernych wartościach - a nakładami stosunkowo łatwo zarządzać.

Działalność eksploatacyjna przebiega w obrębie logistyki eksploatacji, w ramach różnych systemów produkcyjnych rozliczne dobra i świadczących przeróżne usługi. Systemy te są na ogół złożone i wydzielenie w nich podsystemu eksploatacji budynków i budowli wcale nie jest łatwe. Teoria eksploatacji zajmuje się syntezą, analizą i badaniem systemów eksploatacji, a w szczególności zagadnieniami procesów użytkowania i obsługiwanie występujących w tych systemach, przy wykorzystaniu różnych strategii utrzymania zgodności.

- Strategia wynikająca z procedur ISO

Rosnąca konkurencja, wymagania klientów, globalizacja gospodarki wymuszają na przedsiębiorstwach konieczność wdrażania i utrzymywania systemów zarządzania jakością (SZJ). Podstawą do certyfikacji takich systemów jest na ogół norma ISO9001. Zawiera ona wymagania dla SZJ mające zastosowanie dla każdej organizacji, niezależnie od jej wielkości i rodzaju, która potrzebuje wykazać zdolność do ciągłego dostarczania wyrobów zgodnych z wymaganiami klienta i mających zastosowanie przepisów oraz dąży do zwiększenia zadowolenia klienta. Jest to standard międzynarodowy, który odnosi się do procesów decydujących o wytworzeniu produktu, jakich dostarcza swoim klientom przedsiębiorstwo.

- Outsourcing usług związanych z utrzymaniem zgodności

Outsourcing jest strategią zarządzania, która polega na oddaniu na zewnątrz (partnerowi zewnętrznemu) zadań nie związanych bezpośrednio z podstawową działalnością firmy. Dzięki temu firma może skupić swoje zasoby i środki finansowe na tych obszarach stanowiących podstawę jej działań, w których osiąga przewagę konkurencyjną. Firma zleca na zewnątrz obsługę utrzymania zgodności podległych budynków i budowli, a więc tych procesów które traktowane są jako pomocnicze w danej firmie.

- **Strategia według instrukcji obsługi, DTR i wymagań prawnych (UDT)**

Wiele przedsiębiorstw przyjmuje strategię utrzymania obiektów wynikającą z dostarczonych instrukcji utrzymania zdolności i dokumentacji techniczno ruchowych (DTR). W dokumentach tych zawarte są informacje o wymaganych terminach i zakresach przeglądów technicznych. Strategia taka ma zatem charakter planowo – zapobiegawczy, a w przypadku eksploatacji pewnej grupy obiektów (np. dźwigi, zbiorniki ciśnieniowe) dodatkowo mają zastosowanie odpowiednie przepisy Urzędu Dozoru Technicznego (UTD) dotyczące konieczności dokonywania inspekcji głównie w aspekcie bezpieczeństwa.

- **Strategie o podejściu filozoficznym (5S, Kaizen, TPM itp.)**

Podejście produktywnościowe jest podejściem do utrzymania zdolności obiektów na zasadach nowoczesnego zarządzania (programów: TPM, 5S, Kaizen ii) i polega na prewencji powstawania błędów jakościowych, katastrof, awarii lub uszkodzeń. Jest to program ciągłego doskonalenia istniejących budynków i budowli opierający się na współpracy pracowników produkcji i obsługi.

- **Strategia uszkodzeniowa (wykorzystywanie do uszkodzenia)**

Ten rodzaj strategii – niestety używany zbyt często – jest najczęściej brakiem jakiegokolwiek świadomej strategii utrzymania zdolności budowli. Istniejące budowle użytkowane są do momentu uszkodzenia (katastrofy, awarii) lub pierwszych symptomów pojawiającego się uszkodzenia, po czym następuje ich naprawa i dalsze użytkowanie.

Zastosowana strategia eksploatacji polega na ustaleniu sposobów prowadzenia użytkowania obiektów zdolnych i obsługiwanego (przywracania zdolności) oraz relacji między nimi - w świetle przyjętych kryteriów. W literaturze znane i dobrze opisane są (rys.1) następujące strategie eksploatacji różnych systemów [3,5,9,14]:



Rys.1. Możliwe strategie eksploatacji maszyn [5]

1. prewencyjne strategie eksploatacji;
2. potencjałowe strategie eksploatacji:
 - według niezawodności,
 - według efektywności ekonomicznej,
 - według ilości wykonanej pracy, albo planowo - zapobiegawcze,
 - mieszane, a więc planowo - zapobiegawcze z diagnozowaniem;
 - według stanu technicznego,
 - strategia tolerowanych uszkodzeń.

Najczęściej w oparciu o preferowaną strategię buduje się system eksploatacji przedsiębiorstwa, przy czym elementy pozostałych strategii są często uzupełnieniem wybranej. W praktyce przemysłowej występują więc najczęściej strategie eksploatacji mieszane, dostosowane do wymagań i warunków eksploatowanych obiektów. Wybór racjonalnej strategii eksploatacji dla nowoczesnie zarządzanych (ERP, MRP-II) systemów technicznych jest wielokryterialny i oparty głównie na kosztach eksploatacji [1,2,6].

3. Systemy informatyczne w badaniach degradacji stanu

Wykorzystanie narzędzi wspomagania komputerowego ułatwia zarówno bieżącą działalność przedsiębiorstwa jak procesy zarządzania produktem w poszczególnych fazach jego istnienia.

Zakres zastosowania narzędzi programistycznych i systemów informatycznych ciągle się zwiększa i dotyczy nie tylko wielkich organizacji, ale także średnich, małych i mikro przedsiębiorstw. Oczywistym staje się konieczność dostosowania stosowanych narzędzi do charakteru realizowanej działalności, specyfiki produktu i wytwórcy oraz skali jego działalności i stopnia złożoności struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa.

3.1. Techniki informatyczne istnienia obiektów

Rozwój nauki i techniki stwarza coraz to nowe zapotrzebowanie na środki wirtualne (informacyjne) umożliwiające skuteczny wgląd w przebiegi procesów eksploatacyjnych coraz bardziej skomplikowanych budynków i budowli. Poszukiwane są nieinwazyjne metody diagnostyczne do oceny stanu degradacji obywatujące się bez ingerencji w strukturę lub normalne istnienie obiektu.

Brak możliwości szybkiego (ciągłego) generowania wiarygodnej diagnozy o stanie degradacji istniejącego obiektu stanowi istotne zagrożenie dla realizowanych, procesów, bezpieczeństwa ludzi i otoczenia. Analiza istniejącej sytuacji oraz możliwości w zakresie projektowania i wytwarzania, jak i aktualnie dostępnych narzędzi stanu degradacji wskazują, że są jeszcze duże możliwości poprawy jakości oceny stanów nadzorowanych materiałów i konstrukcji budowlanych.

Mając na uwadze charakter ryzyka dotyczącego użytkowania nowoczesnych konstrukcji budowlanych powinny szybko zostać ustanowione procedury oceny zgodności obiektów z zasadniczymi wymaganiami w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa. Producent lub jego upoważniony przedstawiciel powinien także zapewnić przeprowadzenie oceny ryzyka dla nowo uruchamianych konstrukcji budowlanych. W tym celu powinien on określić, które z wymagań są zasadnicze w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa mającymi zastosowanie do obiektu i w odniesieniu do których musi on podjąć zalecane środki. Działania takie są możliwe przy szerokim użyciu technik informatycznych w badaniu zmian stanu degradacji, które są źródłem informacji eksploatacyjnej.

Początki komputerowego wspomagania techniki to lata 70, kiedy powstają pierwsze ważne firmy produkujące oprogramowanie takie jak: Intergraph oraz Unigraphics. Pionierskie firmy powstają również w latach 80, a najważniejsze z nich to Dassault Systems oraz Autodesk. W tych też latach powstają pierwsze poważne aplikacje, takie jak AutoCAD, czy systemy trójwymiarowe np. CATIA i Microstation. Okres lat 90-tych to czas, kiedy powstają systemy grafiki trójwymiarowej dla małych i średnich przedsiębiorstw. Do takich programów można zaliczyć: Mechanical Desktop, Solidworks, Solidedge oraz Inventor. Obecna dekada to próba integracji systemów CAD-CAM i CAD-

CAE przeznaczonych dla małych i średnich przedsiębiorstw. Natomiast producenci oprogramowania dla dużych przedsiębiorstw z lat 80, produkują dziś systemy obejmujące swym działaniem wszystkie etapy życia produktu.

Cechy geometryczne i materiałowe powstają na podstawie kryteriów konstrukcyjnych w procesie obliczeń. Obliczenia towarzyszące procesowi doboru cech konstrukcyjnych modelu są również wspomagane komputerowo. Ten obszar wspomagania nazywany jest CAE. Przede wszystkim można wspomagać te obliczenia, które mają charakter algorytmiczny. W aplikacjach inżynierskich istnieją moduły, inaczej kreatory, służące wymiarowaniu typowych rozwiązań i połączeń. Program Inventor daje takie możliwości, wspomagając obliczenia przy projektowaniu i tworząc geometrię modelowanego węzła konstrukcyjnego.

Ostatnio coraz powszechniej stosowane analizy dynamiczne dostępne są już bezpośrednio w programach CAD, gdzie Inventor dysponuje takim modulem, za pomocą którego możemy wykonać dla sztywnych brył i idealnych więzów analizę czasową. Jeśli jednak chcemy przeprowadzić wiarygodne analizy odpowiedzialnych konstrukcji musimy skorzystać z zaawansowanego oprogramowania MES, takiego jak LS DYNA do symulacji wybuchów i zderzeń, FLUENT do obliczeń przepływów turbulentnych, czy też ADAMS do zaawansowanej dynamiki.

Wraz ze wzrostem skali przedsięwzięcia konstrukcyjnego, komputerowe wspomaganie może dotyczyć nie tylko tworzenia konstrukcji, ale również zarządzania jej zapisem przechowywanym w dokumentach elektronicznych. Plików z danymi jest tak wiele, że tradycyjna struktura katalogów pojedynczego komputera przestaje być dobrym rozwiązaniem. Rozwiązaniem są systemy PDM oparte o rozwiązania internetowe, gdzie dokumentacja gromadzona jest w relacyjnej bazie danych, a dostarczana jest tam i stamtąd udostępniana dzięki różnym protokołom internetowym.

W systemach PDM możliwe jest zarządzanie cyklem istnienia dokumentacji: przepływem dokumentacji przez różne etapy jej powstawania: tworzenie, zatwierdzanie, wprowadzanie zmian, wersje oraz co bardzo ważne zarządzanie różnymi wariantami konstrukcji. System PDM może potraktować tworzenie dokumentacji, jako proces realizacji zadań przez pracowników, dzięki temu możliwa jest m.in. optymalizacja czasu pracy zespołu konstruktorów. Dzięki dynamicznej i kontrolowanej wymianie informacji pomiędzy konstruktorami, konstruktorami i technologami w systemach PDM można doprowadzić do nakładania się w czasie poszczególnych etapów cyklu życia wyrobu. W ten sposób można w praktyce zrealizować postulaty inżynierii współbieżnej i tym samym znakomicie skrócić czas powstawania wytworu.

Dążenie do ciągłego wzrostu efektywności działalności przedsiębiorstw przy nieustannym wzroście wymagań dotyczących jakości produktu i rosnącej złożoności procesów wytwarzania oraz wzrost liczby regulacji i wymagań formalno-prawnych sprawiają, że jednym z kluczowych elementów determinujących rozwój przedsiębiorstwa jest zdolność do skutecznego wykorzystywania technik informacyjnych, informatycznych i telekomunikacyjnych w inżynierii wirtualnej, albo w chmurze obliczeniowej [14].

3.2. Narzędzia informacyjne w budownictwie

Nowoczesne techniki informacyjne oraz wykorzystanie systemów i narzędzi informatycznych umożliwiają z jednej strony skuteczną realizację zadań stawianych służbom utrzymania, a z drugiej efektywne wykorzystanie istniejących zasobów i optymalizację kosztów ich funkcjonowania. Narzędzia informatyczne dedykowane do

wspomagania procesów realizowanych w podsystemach zapewniania zdadności nazywane są komputerowymi systemami wspomagającymi służby utrzymania ruchu, lub systemami klasy CMMS (Computerised Maintenance Management System).

Obecnie szczególnie znaczenia nabierają zintegrowane systemy informatyczne jako narzędzie racjonalizacji i optymalizacji procesów realizowanych w przedsiębiorstwach. Stąd coraz większa liczba nie tylko dużych ale także małych i średnich przedsiębiorstw decyduje się na wdrożenie systemów klasy ERP (Enterprise Resource Planning). Systemy klasy ERP (systemy Planowania Zasobów Przedsiębiorstwa) to w uproszczeniu informatyczne systemy aplikacji, które integrują procesy przedsiębiorstwa na wszystkich jego szczeblach. Przeznaczone są zarówno dla przedsiębiorstw produkcyjnych, handlowych jak i usługowych. System ERP powinien obejmować całość procesów produkcji i dystrybucji, integrować różne obszary działania przedsiębiorstwa, porządkować i przyspieszać przepływ informacji. Systemy klasy ERP nie są związane bezpośrednio ze wspomaganie służb utrzymania ruchu, mogą w ogóle nie zawierać modułów wspomaganie SUR.

Komputerowe wspomaganie szeroko rozumianego podsystemu utrzymania zdadności (służb utrzymania) w przedsiębiorstwach może być realizowane zarówno poprzez wdrażanie niezależnych programów komputerowe typu CMMS, często mogących współpracować z istniejącymi lub w przyszłości wdrażanymi systemami klasy ERP, jak i poprzez moduły (lub funkcje) bardziej złożonych systemów ERP.

Do podstawowych celów jakie mogą zostać zrealizowane poprzez wdrożenie i racjonalne użytkowanie elektronicznych systemów wspomagających utrzymania zdadności, poza celami głównymi jakim są: obniżenie kosztów przy zapewnieniu wymaganego poziomu gotowości i niezawodności eksploatowanych obiektów, należy zaliczyć:

- utworzenie kompleksowej dokumentacji dotyczącej eksploatowanych obiektów (paszportyzacja technologii, posiadane certyfikaty, atesty, itp.) i zapewnienie łatwego i szybkiego dostępu do tych danych przez uprawnione osoby,
- standaryzacja stosowanej terminologii,
- ewidencja i przetwarzanie danych dotyczących zdarzeń eksploatacyjnych (użytkowanie, uszkodzenia, itd.), w tym automatyzacja niektórych z procesów ewidencji i przetwarzania danych,
- szybka analiza danych dotyczących uszkodzeń obiektów,
- automatycznie generowanie raportów dla wybranych przedziałów czasu,
- identyfikacja kosztów w układzie rodzajowym,
- optymalizacja zarządzania materiałami eksploatacyjnymi (w tym automatyzacja procesów składania zamówień do przedsiębiorstw zewnętrznych),
- kontrola, analiza i optymalizacja tzw. zapasów,
- identyfikacja węzłów szczególnie podatnych na uszkodzenia (tzw. słabych ogniw),
- identyfikacja tzw. uszkodzeń powtarzalnych,
- zwiększenie efektywności i jakości realizowanych procesów utrzymania zdadności dzięki zwiększeniu zaangażowania pracowników, poprzez identyfikację ich działań.

Zakresy funkcji oferowanych przez dostępne na rynku systemy informatyczne są znacznie rozbudowane w stosunku do zestawionych powyżej funkcji podstawowych. Zróżnicowanie funkcji tego typu systemów z jednej strony umożliwia właściwy dobór systemu do specyfiki i potrzeb przedsiębiorstwa a z drugiej utrudnia (ze względu na brak unifikacji) analizę tych systemów i ich właściwy dobór. Jako cenną cechę niektórych spośród oferowanych tego typu systemów należy wskazać modułowość tych systemów

(współpraca pomiędzy modułami i ich integracja) i możliwość niezależnego wdrażania poszczególnych modułów w zależności od aktualnych potrzeb przedsiębiorstwa.

Programy komputerowe typu CMMS przeznaczone są do wspomagania szeroko rozumianego podsystemu utrzymania zdolności zarówno w przedsiębiorstwach produkcyjnych, usługowych jak i innych w których eksploatowane są obiekty. Umożliwiają między innymi gromadzenie informacji o uszkodzeniach obiektów i realizowanych w przedsiębiorstwie procesach eksploatacji wraz z ich szczegółowymi opisami oraz opracowanie harmonogramów przeglądów okresowych oraz ich kolejkiowanie. Stąd coraz większa liczba dostępnych na polskim rynku tego typu systemów. Istniejące rozwiązania w większości przypadków realizują podstawowe funkcje wymagane od tej kategorii oprogramowania. Jednak ich stopień złożoności, łatwość wdrożenia i stosowania, zakres oferowanych funkcji dodatkowych, podatność na ingerencje użytkownika i dostosowanie do jego specyficznych potrzeb oraz szereg innych cech znacznie utrudniają a niekiedy uniemożliwiają bezpośrednie porównanie oferowanych rozwiązań. Tym samym utrudniony jest proces doboru najlepiej dostosowanego pakietu do specyfiki przedsiębiorstwa.

Do dostępnych na polskim rynku programów komputerowej klasy CMMS należą: Agility, API PRO, CMMS SQL, Golem OEE, IBM Maximo Express, Plan9000, PREKON, S.U.R.-FBD, TETA CONSTALATION [15].

Do podstawowych zadań wspomaganych przez programy komputerowe należą:

- tworzenie dokumentacji dla potrzeb analizy bezpieczeństwa eksploatacji obiektów,
- oszacowanie miar niezawodnościowych, w tym: gotowości, niezawodności, liczby uszkodzeń systemu, itd.,
- realizacja probabilistycznej oceny ryzyka,
- analizy potencjalnych awarii w systemie,
- analiza ważności zdarzeń i niepewności,
- wyznaczanie przekrojów minimalnych systemu,
- analiza systemów przedstawionych w postaci blokowej struktury niezawodnościowej (blokowy schemat niezawodności),
- ocena bezpieczeństwa i niezawodności człowieka poprzez analizę zadań lub procesów w systemach antropotechnicznych.

Do liczących się producentów narzędzi informatycznych wspomagających realizację kompleksowych analiz związanych z szeroko rozumianą problematyką niezawodności, ryzyka oraz bezpieczeństwa złożonych systemów (zbudowanych z wielu podsystemów) w różnych fazach ich istnienia należą: **Isograph Ltd**, **Item Software**, **Relax Software Corporation**, **ReliaSoft**. Tego typu narzędzia informatyczne najczęściej składają się z podstawowych modułów dedykowanych określonej klasie zadań, z których każdy można zakupić osobno lub mogą być zintegrowane w dowolnej kombinacji. Zaawansowane pakiety programów komputerowych tego typu wspomagają i umożliwiają [4,14]:

- analizę różnych miar niezawodnościowych, która wsparta jest wykorzystaniem różnych modeli opisujących procesy utraty zdolności;
- oszacowanie niezawodności oraz analizę systemów charakteryzujących się wielowymiarową, zmienną strukturą niezawodnościową;
- realizację analiz dla różnych modeli (rozkładów) uszkodzeń systemu (m.in.: wykładniczym, normalnym, Weibulla, Rayleigha),
- budowanie wielowierzchołkowych drzew niezdatności,
- analizę drzewa niezdatności (FTA),
- analizę drzewa zdarzeń (ETA),

- analizę drzew niekoherentnych (NOT logic),
- prowadzenie różnego typu analiz FMEA/FMECA, a w tym:
 - projektowe: Design FMEA (DFMEA),
 - procesowe: Process FMEA (PFMEA),
- generowanie raportów FMEA,
- korzystanie z bibliotek elementów systemów, zdarzeń i skutków niezdatności,
- modelowanie i analizę błędów ludzkich z wykorzystaniem metodologii HF-PFMEA (Human Factors Process Failure Mode and Effect Analysis),
- eksport danych do programów zewnętrznych.

Pakiety oprogramowania **SAP** mogą być wykorzystywane zarówno w zarządzaniu finansami, zasobami ludzkimi (ang. human resources HR) jak i w zarządzaniu produkcją, procesami magazynowania i magazynami oraz procesami transportowymi. SAP w zarządzaniu cyklem produktu, inaczej **SAP PLM** składa się z następujących obszarów funkcjonalnych [6,14]:

- zarządzanie cyklem życia składników,
- zarządzanie danymi cyklu życia,
- zarządzanie programem i projektem,
- współpraca w ramach cyklu życia,
- zarządzanie jakością,
- ochrona środowiska i przepisy BHP.

System **SAP** ma różne możliwości ułatwiające kontrolę nad całym cyklem życia produktu. Dodatkowe funkcje pakietów SAP są zależne od potrzeb, specyfiki, wielkości, profilu działalności oraz stopnia złożoności struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa (organizacji). Programem wspomagającym procesem produkcji dla małych i średnich firm jest SAP Produkcja PPS One, przedstawiany jako elastyczne rozwiązania zwiększające przejrzystość i wydajność. Dzięki oszacowanym kosztom zleceń produkcyjnych i projektów, PPS One umożliwia dostęp do kluczowych danych wspomagających podejmowanie taktycznych i strategicznych decyzji.

3.3. Korzyści z informatyzacji przedsiębiorstw

Korzyści z wdrożenia różnego typu oprogramowania w przedsiębiorstwie są wieloaspektowe, wymierne i warto im nadać szczególną rolę w gospodarce wolnorynkowej, gdyż umożliwiają [3, 14]:

- zarządzanie cyklem życia produktu od wstępnego planowania do likwidacji,
- koordynację procesów w wielu dziedzinach podczas całego cyklu życia produktu,
- dostęp pracowników do prawidłowych informacji w każdym etapie cyklu życia,
- zapewnienie bezpiecznego dostępu do wiedzy o produktach i procesach w dowolnym miejscu i w dowolnym czasie,
- integrację wybranych systemów oraz powiązanie danych w PLM, umożliwiając udział najlepszych dostawców w łańcuchu wartości firmy.

Swoisty cykl "życia" obiektu pozwala na wyodrębnienie najważniejszych obszarów i zadań informatycznego wspomaganie inżynierskiego, traktowanego jako:

- wspomaganie projektowania i konstruowania systemów, związane z jednej strony z definiowaniem podstawowych założeń budowy przyszłego systemu (w oparciu m.in. o istniejące zasoby danych i wiedzy, narzędzia obliczeniowe oraz narzędzia wspomagające prowadzenie badań), z drugiej zaś z doбором cech konstrukcyjnych ich weryfikacją oraz przygotowaniem dokumentacji stanowiącej podstawę do

dalszych etapów procesu zaspokojenia potrzeb (m.in. narzędzia CAD - Computer Aided Design, czy CAMD - Computer Aided Material Design);

- wspomaganie wytwarzania systemów, związane z przygotowaniem i realizacją procesów wytwórczych zgodnie z wcześniej opracowaną dokumentacją techniczną (m. in. systemy CAM – Computer Aided Manufacturing);
- wspomaganie eksploatacji systemów (etap EP), związane z planowaniem i nadzorowaniem prawidłowego przebiegu procesów eksploatacyjnych wynikających zarówno z użytkowania, jak również prowadzenia prac obsługowo-naprawczych (m. in. systemy CMMs/EAM – Computerized Maintenance Management Systems/Enterprise Asset Management).

Rozpoznanie, którego celem jest identyfikacja i ocena wybranych sposobów i środków wspomagania zadań z obszaru utrzymania zdatności w odniesieniu do działań zarządczych wymaga zdefiniowania i jednocześnie uwzględnienia podstawowych aspektów umożliwiających rozwiązanie zagadnienia. W badaniach nad zarządzaniem utrzymaniem zdatności systemów wyodrębnione zostały główne **obszary zadaniowe**, których wspomaganie wydaje się możliwe, a są to:

- zarządzanie obiektami i infrastrukturą przedsiębiorstwa, obejmujące przede wszystkim identyfikację aspektów bezpieczeństwa i zdatności tych obiektów,
- zarządzanie zadaniami eksploatacyjnymi (użytkowymi), obejmujące czasowo-zadaniowe, organizacyjno-ekonomiczne i prawne aspekty realizowanych prac obsługowych,
- zarządzanie zasobami, obejmujące zarządzanie materiałami budowlanymi, zarządzanie personelem obsługowym, zarządzanie sprzętem specjalistycznym i aparaturą pomiarową,
- zarządzanie bezpieczeństwem, obejmujące identyfikację procedur realizacji prac z jednoczesną szczegółową rejestracją wszelkich występujących zdarzeń,
- zarządzanie kosztami utrzymania zdatności, realizowane w zakresie określania kosztów z podziałem na różne rodzaje prac oraz ich identyfikacji ze względu na poszczególne składniki procesów eksploatacji,
- dokumentowanie prac naprawczych, umożliwiające zestawianie i przedstawianie wyników realizowanych zadań.

Obecny dostęp do zaawansowanego sprzętu komputerowego, charakteryzującego się wysoką wydajnością obliczeniową, jest relatywnie łatwy. Taki sprzęt, uzbrojony w odpowiedni pakiet oprogramowania (pakiet ABAQUS), pozwala na przeprowadzenie dynamicznych analiz zaawansowanych modeli budynków i budowli uwzględniających różne charakterystyki materiału.

4. Podsumowanie

Tematyka artykułu potwierdza istnienie potrzeby ciągłego doskonalenia metod okresowych badań eksploatacyjnych całych konstrukcji budowlanych narażonych na destrukcję. Wprowadzane nowe materiały i technologie oraz nowe rozwiązania konstrukcyjne, umożliwiają zwiększenie wydajności i jakości wytworów, lecz towarzyszą im często groźne i duże obciążenia dynamiczne. Ważne jest więc wdrożenie odpowiedniej strategii utrzymania zdatności konstrukcji budowlanej, co pozwala przewidzieć wystąpienie groźnego stanu degradacji w czasie eksploatacji - zagrażającemu bezpieczeństwu jej użytkowania, lub skutkujące nawet katastrofą budowlaną.

Zaproponowane w tej pracy strategie eksploatacji obiektów budowlanych są nakierowane na utrzymanie zdatności budowli, bezpieczeństwa użytkowników oraz ochronę środowiska naturalnego. Efektywne wdrożenie wybranego wariantu eksploatacji wymaga wdrożenia jednego z dostępnych systemów informatycznych umożliwiających ciągle badanie stanu degradacji konstrukcji budowlanej w czasie jej eksploatacji. W ramach tej problematyki omówiono możliwe do implementacji na potrzeby budownictwa dostępne oprogramowanie informacyjne posiadające możliwość wspomagania konstrukcyjnego, technologicznego, a szczególnie monitorowania zmiany stanu budowli w czasie jej eksploatacji.

Literatura

1. Drelichowski L., Bojar W., Żółtowski M.: Elementy zarządzania eksploatacją maszyn. Wydawnictwa UTP, Bydgoszcz 2012.
2. Knopik L.: Metoda wyboru efektywnej strategii eksploatacji obiektów technicznych. Rozprawy 145, UTP, Bydgoszcz 2010.
3. Loska A.: Wybrane aspekty komputerowego wspomagania zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu. Monografia, Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole 2012.
4. Loska A.: Sposób prowadzenia analizy awaryjności w oparciu o metodę Root Cause Failure Analysis. Służby Utrzymania Ruchu 3(29)/2011, FORUM Poznań, str. 52-56.
5. Loska A.: Sposób wspomagania zarządzania utrzymaniem ruchu z wykorzystaniem wybranych narzędzi informatycznych. Cykl 8 artykułów w czasopiśmie Służby Utrzymania Ruchu 2008-2009, Wydawnictwo FORUM Poznań.
6. Żółtowski B., Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji. ITE, Radom 2010.
7. Żółtowski B. ii.: Projektowanie eksploatacji maszyn. UTP, Bydgoszcz 2012.
8. Żółtowski B.: Metody inżynierii wirtualnej w badaniach stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn. Wyd. UTP, Bydgoszcz 2012.
9. Żółtowski B., Cempel C. (red.): Inżynieria diagnostyki maszyn. ITE Radom, 2004.
10. Żółtowski B., Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji. ITE, Radom 2010.
11. Żółtowski B. ii.: Techniki informatyczne w badaniach stanu. UTP, Bydgoszcz 2012.
12. Żółtowski M.: Badania materiałów budowlanych w aspekcie bezpieczeństwa konstrukcji. Materiały konferencyjne. Częstochowa 2010.
13. Żółtowski M.: Analiza modalna w badaniu materiałów budowlanych. ITE - PIB, Radom 2011.
14. Żółtowski M.: Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji. ITE - PIB, Radom 2011.

Dr inż. Mariusz ŻÓŁTOWSKI
WZ UTP Bydgoszcz
e-mail: mariusz.zoltowski@utp.edu.pl