



Komputerowo wspomagane projektowanie procesów

Aktualne zagadnienia badawcze

redakcja

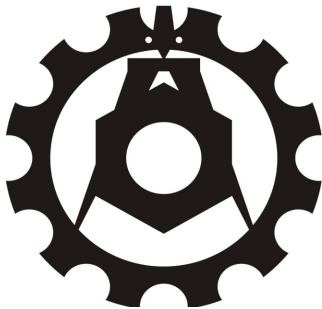
Antoni Świć

Arkadiusz Gola

MONOGRAFIE

Komputerowo wspomagane
projektowanie procesów
Aktualne zagadnienia badawcze

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 LUBLIN

Komputerowo wspomagane projektowanie procesów Aktualne zagadnienia badawcze

redakcja
Antoni Świć
Arkadiusz Gola



Politechnika Lubelska
Lublin 2017

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Bogdan Palczewski,

dr hab. inż. Marian Marek Janczarek, prof. Politechniki Lubelskiej

Redakcja techniczna: Łukasz Sobaszek

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2017

ISBN: 978-83-7947-265-9

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatorp.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 50 egz.

SPIS TREŚCI

Jan DUDA

ZINTEGROWANE PROJEKTOWANIE PROCESÓW I SYSTEMÓW
WYTWARZANIA..... 7

Marek KĘSY

OSZACOWANIE PARAMETRÓW KONTAKTU ORAZ RESURSU
PRZEKŁADNI WALCOWEJ Z UWZGLĘDNIENIEM KOREKCJI
UZĘBIENIA 20

Iwona ŁAPUŃKA, Iwona PISZ, Piotr WITTBRODT

ZASTOSOWANIE METODY GERT DO PLANOWANIA ZLECEŃ
PRODUKCYJNYCH W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI 32

Alfred PASZEK

OPRACOWANIE PRZYBLIŻONEJ REPREZENTACJI WIEDZY
DLA BUDOWY SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA WIEDZĄ
PRODUKCYJNĄ 44

Aleksander NIEOCZYM, Arkadiusz GOLA

WYKORZYSTANIE WSPÓLCZYNNIKA OEE DO ANALIZY
FUNKCJONOWANIA LINII PRODUKCYJNYCH..... 55

Jakub PIZOŃ, Jerzy LIPSKI, Tomasz CIEPLAK

KONCEPCJA MODELU WYCENY WARTOŚCI STRUMIENIA
DANYCH PRODUKCYJNYCH..... 68

Przemysław PLECKA, Krzysztof BZDYRA, Zbigniew BANASZAK

METODA PRZEDWDROŻENIOWEGO WYMIAROWANIA ZMIAN
OPROGRAMOWANIA SYSTEMÓW KLASY ERP 81

Jerzy STAMIROWSKI

INTEGRACJA INFORMACYJNA W OBSZARZE PROJEKTOWANIA
I TECHNICZNEGO PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI 92

Ewelina KOSICKA, Arkadiusz GOLA

PROBLEMATYKA PROJEKTOWANIA INTELIGENTNEGO SYSTEMU
PREDYKCYJNO-DECYZYJNEGO DLA POTRZEB SŁUŻB
UTRZYMANIA RUCHU 111

Daniel GAŚKA, Marta FIJEWSKA, Małgorzata GÓŹDŹ

ELEKTRONICZNY REKORD PACJENTA – ŚCIEŻKĄ CYFRYZACJI
SŁUŻBY ZDROWIA 121

Jan DUDA*

ZINTEGROWANE PROJEKTOWANIE PROCESÓW I SYSTEMÓW WYTWARZANIA

Streszczenie

Konkurencja sprawia że firmy produkcyjne działają pod ciągłą presją szybszego uruchamiania produkcji nowych wyrobów. Istotnym czynnikiem wzmacniającym konkurencyjność jest zastosowanie systemów MPM wspomagających projektowanie procesów i systemów wytwarzania, elementów aplikacji PLM do zarządzania rozwojem wyrobów. W pracy przedstawiono charakterystykę systemów MPM oraz zrealizowany w środowisku systemu Delmia proces współbieżnego rozwoju wyrobu procesu i systemu montażu.

1. WSTĘP

Firmy produkcyjne funkcjonujące w konkurencyjnym otoczeniu znajdują się pod ciągłą presją nie tylko projektowania nowych produktów szybciej, ale także do uruchomienia produkcji przy minimalnym „time-to-market”, przewidywalnych kosztach i wymaganej jakości. Usprawnienie procesów inżyniersko biznesowych obejmujące techniczno-organizacyjne przygotowanie produkcji jest niezbędne dla osiągnięcia wymaganego poziomu kosztów, czasu i celów w zakresie jakości produkowanych wyrobów. Działania te wspomagane są systemami MPM (ang. Manufacturing Process Management) wspomagających projektowanie procesów i systemów wytwarzania [4,5,6]. Systemy MPM są istotnym aplikacją PLM (ang. Product Lifecycle Management) wspomagających rozwój wyrobów. Środowisko PLM tworzy zestaw aplikacji wspomagających rozwój wyrobu, w którego skład wchodzi:

* Politechnika Krakowska, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji,
1-864 Kraków, al. Jana Pawła II 37, duda@mech.pk.edu.pl

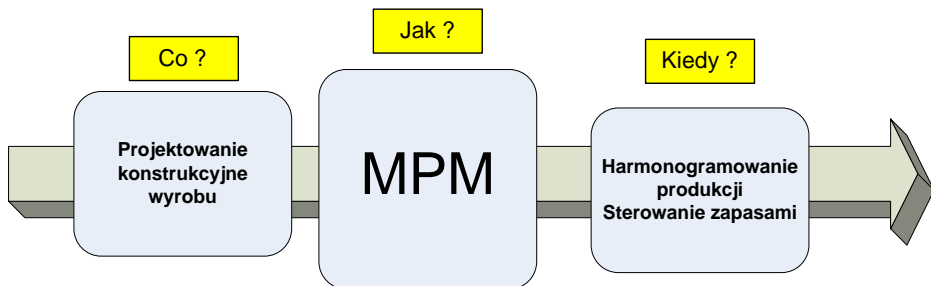
- zarządzanie wyrobem i portfelem zamówień – (PPM ang. Product and Portfolio Management),
- projektowania wyrobów i procesów wytwarzania – (CAx ang. Product Design),
- zarządzania procesem wytwarzania (MPM ang. Manufacturing Process Management),
- zarządzanie danymi wyrobu (PDM ang. Product Data Management).

2. ZASTOSOWANIE SYSTEMÓW MPM W CYKLU ŻYCIA WYROBU

2.1. Funkcje systemów MPM

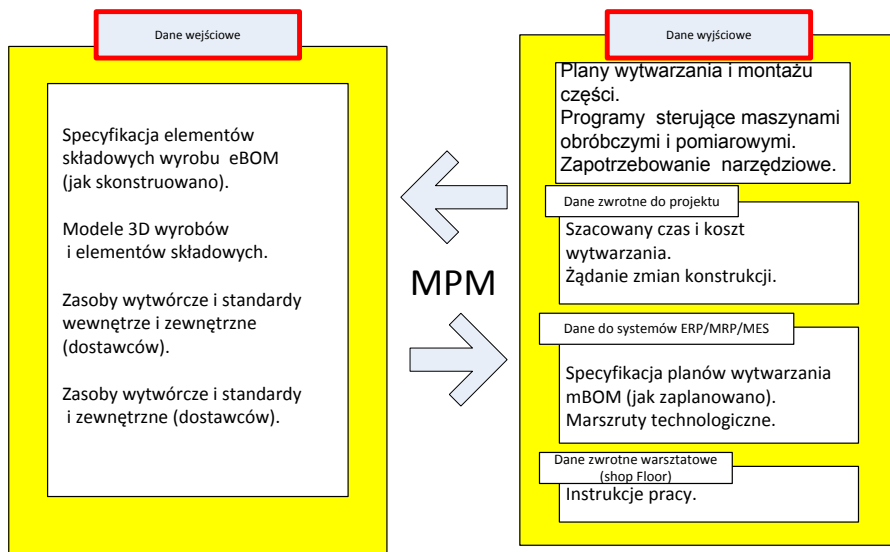
Procesy projektowe realizowane w fazie konstrukcyjnego przygotowania produkcji zorientowane są na uzyskanie odpowiedzi na pytanie „co?” ma być wytwarzane. Systemy MPM wspomagają uzyskanie odpowiedzi na pytanie „jak?” wyrób ma być produkowany. Odpowiedź na pytanie „kiedy?” otrzymuje się w wyniku harmonogramowania produkcji i sterowania zapasami (rys. 1).

System MPM na podstawie cyfrowej definicji wyrobu otrzymanej z wcześniejszych faz rozwojowych wyrobów, „rozważa” możliwości i zdolności wewnętrznych i zewnętrznych dostawców dostarczając planów produkcyjnych wymaganych do wytworzenia produktu.



Rys. 1. Funkcja systemów MPM

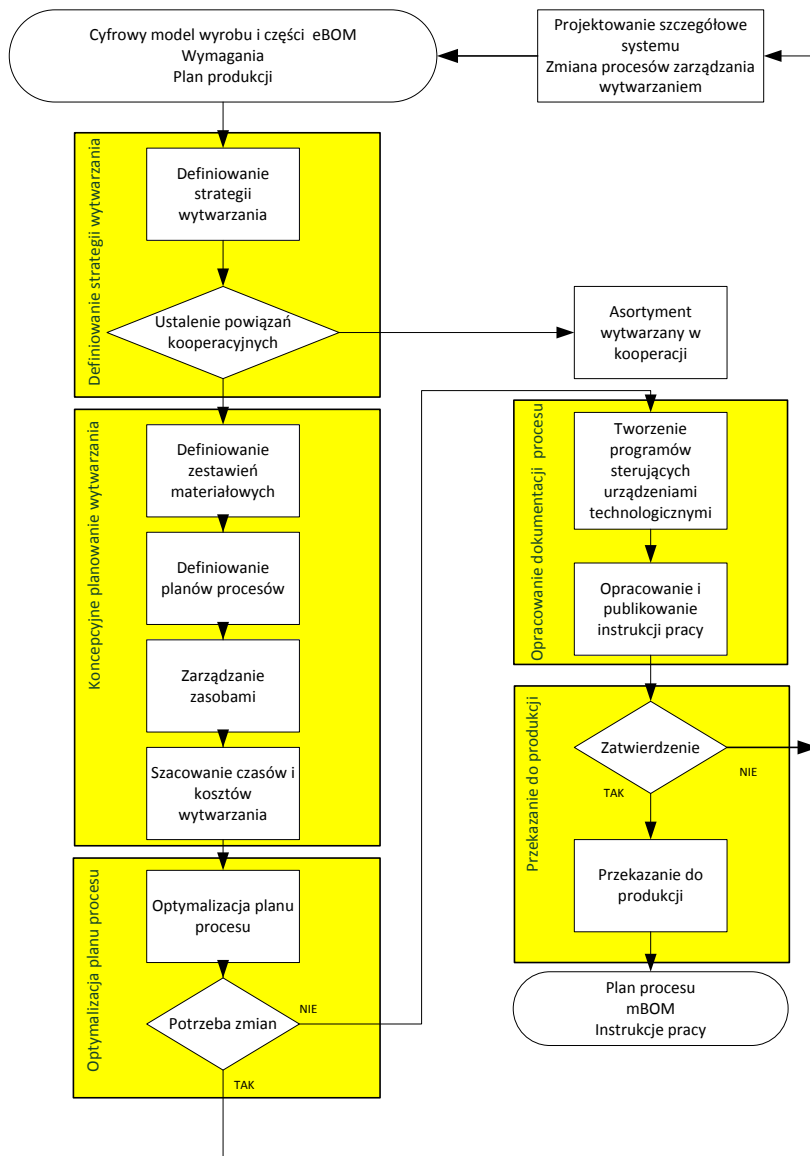
MPM zakłada również sprzężenie zwrotne z produkcji do etapów przygotowania produkcji na podstawie wstępnych wersji procesów wytwarzania (dane zwrotne do projektu konstrukcyjno-technologicznego). System MPM komunikuje się z systemami ERP/MRP/MES, dostarczając marszrut technologicznych, jak również zestawień materiałów (mBOM) oraz instrukcji pracy, w tym dokumentów pomocniczych wymaganych przez operatorów produkcji do wytwarzania wyrobów (dane warsztatowe) – rys. 2.



Rys. 2. Proces definiowania i zarządzania procesami produkcyjnymi używane do wytwarzania części, montażu wyrobów i przeprowadzenia kontroli

2.2. Przebieg procesów projektowych w systemach MPM

Ogólny przebieg procesów projektowych realizowane w systemach MPM przedstawiono na rys. 3. W pierwszym kroku projektowym definiowana jest strategia wytwarzania przez analizę wymagań projektowych i zdolności wytwórczych. Identyfikowani są partnerzy i czynniki wpływające na najdłuższy czas realizacji zlecenia produkcyjnego. W kolejnym kroku następuje współbieżne tworzenie przez konstruktorów i technologów specyfikacji listy materiałowej mBOM (ang. manufacturing Bill-of-Material), planów procesów oraz niezbędnych zasobów; urządzeń, oprzyrządowania, ludzi do realizacji planowanej wielkości produkcji. Przyjęte założenia pozwalają na oszacowanie czasów i kosztów wytwarzania. Funkcjonalność cyfrowego środowiska projektowania systemu MPM umożliwia tworzenie szeregu alternatywnych procesów w jednym zakładzie, alternatyw procesów pomiędzy różnymi zakładami, które są tworzone przez różne opcje zakupu komponentów. Stosowane są optymalizacyjne metody balansowania linii, specjalne rodzaje symulacji przebiegu pracy, analiz ergonomicznych, symulacji dyskretnych czy też przepływów przez system wytwórczy. W przypadku braku uzyskania zadowalających rozwiązań następuje korekta założeń i ponowne tworzenie rozwiązania. W przypadku uzyskania rozwiązania zadowalającego następuje szczegółowe opracowanie dokumentacji procesu wytwórczego, opracowanie programów sterujących urządzeniami technologicznymi oraz instrukcji pracy dla operatorów.



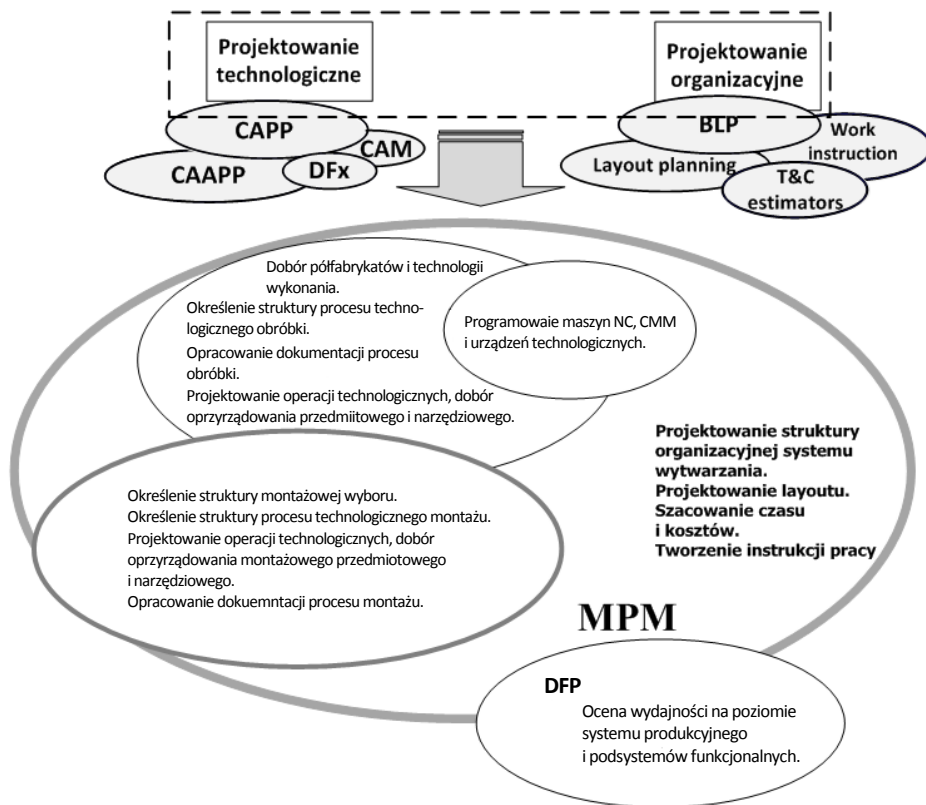
Rys. 3. Przebieg procesów projektowych w systemach MPM (opracowanie własne na podstawie (Parametric Technology Corporation, 2009))

Po zatwierdzeniu dokumentacja przekazywana jest na produkcję, często za pośrednictwem systemu ERP/MES, gdzie następuje realizacja serii próbnej, a następnie wytwarzanie wyrobów zgodnie z zaprojektowanym procesem wytwórczym i opracowanym harmonogramem.

Systemy MPM pełnią integracyjną rolę w obszarze konstrukcyjno-technologiczno-organizacyjnego przygotowania produkcji. System MPM tworzy zestaw aplikacji działających na relacyjnych repozytoriach danych o produktach, procesach i zasobach PPR (ang. Product Process Resources), które odwołując się do przechowywanych danych umożliwiają prowadzenie analiz i tworzenie raportów, będących podstawą doskonalenia systemu wytwórczego.

2.3. Integracyjna rola systemów MPM

Zakres zadań technologiczno-organizacyjnego przygotowania produkcji realizowany przez systemy MPM przedstawiono na rys. 4.



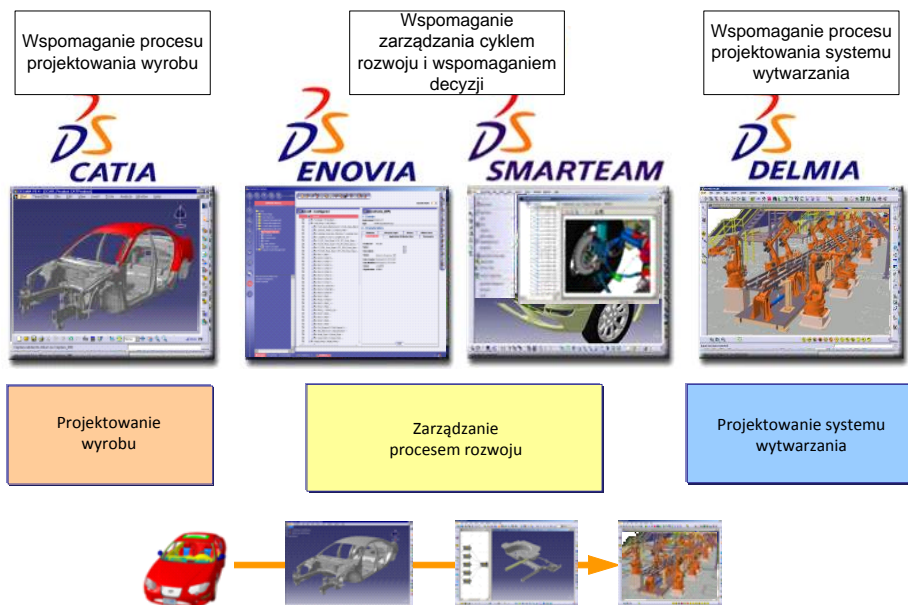
Rys. 4. Zakres zadań technologiczno-organizacyjnego przygotowania produkcji realizowany przez systemy MPM

Projektowanie zorientowane na produkcję DFP (ang. Design for Production) odnosi się do metod oceniających produkcyjną wydajność systemu produkcyjnego w funkcji zmiennych konstrukcyjnych wyrobu. W literaturze fachowej spotyka się także określenia (ang. design for existing environment, design for time-to-market, design for localization, design for speed, design for schedulability, design for manufacturing system performance). Analizę DFP prowadzi zespół rozwoju wyrobu, rozważając zmianę projektu konstrukcyjnego i technologicznego wyrobu, w celu uniknięcia problemów na etapie realizacji produkcji i poprawy rentowności. DFP może także stwarzać sugestie do doskonalenia systemu wytwórczego. Przykłady analiz DFP na poziomie linii produkcyjnych, zakładów produkcyjnych oraz w obszarze zarządzania łańcuchami dostaw przedstawia praca [4].

3. PRZYKŁAD REALIZACJI ROZWOJU WYROBU W SYSTEMIE MPM

3.1. Charakterystyka aplikacji

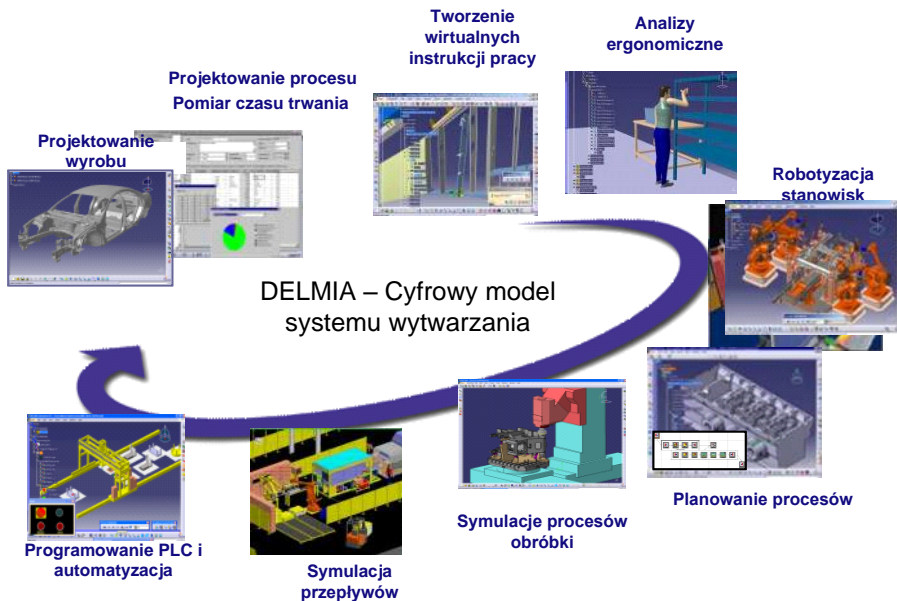
Współbieżny rozwój wyrobu zrealizowano z wykorzystaniem pakietu aplikacji PLM firmy Dassault [9]. W jego skład wchodzi (rys. 5):



Rys. 5. Aplikacje pakietu PLM firmy Dassault (źródło: materiały reklamowe firmy Dassault Systèmes)

- system CAD/CAM CATIA – do wspomagania projektowania wyrobów, procesów technologicznych, i zasobów,
- systemy PDM SMARTEAM i ENOVIA – do zarządzania procesem rozwojowym,
- system MPM DELMIA do projektowania procesów i systemów wytwarzania.

Weryfikację zaproponowanej koncepcji przeprowadzono z wykorzystaniem wdrożonych w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji pakietów CAD/CAM CATIA i MPM DELMIA, w zakresie zintegrowanego projektowania procesu i systemu montażu wyrobów. Funkcjonalność aplikacji DELMIA przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Możliwości realizacji funkcji projektowych w aplikacji DELMIA
(źródło: materiały reklamowe firmy Dassault Systèmes)

Pełną integrację realizowanych procesów w środowisku PLM uzyskuje się przez bazowanie na wspólnym modelu danych PPR (ang. Product, Process Resources) o wyrobie, o procesie, i o wymaganych zasobach.

Zakres testów obejmował:

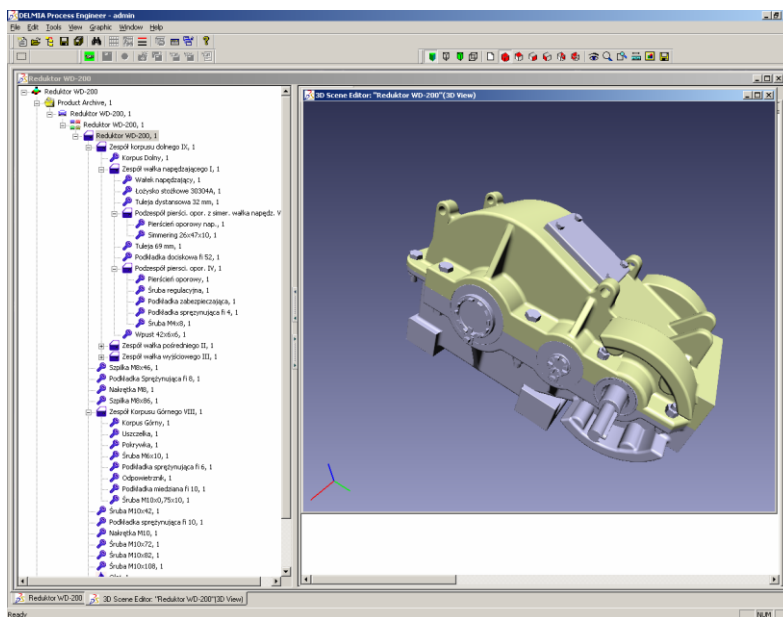
- tworzenie cyfrowego modelu wyrobu,
- opracowanie dokumentacji montażowej,
- opracowanie koncepcji procesu – zdefiniowanie biblioteki procesu i systemu technologicznego montażu – wykonanie modeli cyfrowych systemu montażowego,
- tworzenie symulacji procesu – analiza ergonomiczna stanowisk.

3.2. Realizacja procedury projektowej w środowisku cyfrowego modelowania

Podstawą opracowania planu montażu jest tworzony w części CAD systemu CATIA cyfrowy model wyrobu. Działanie technologa projektanta obejmuje:

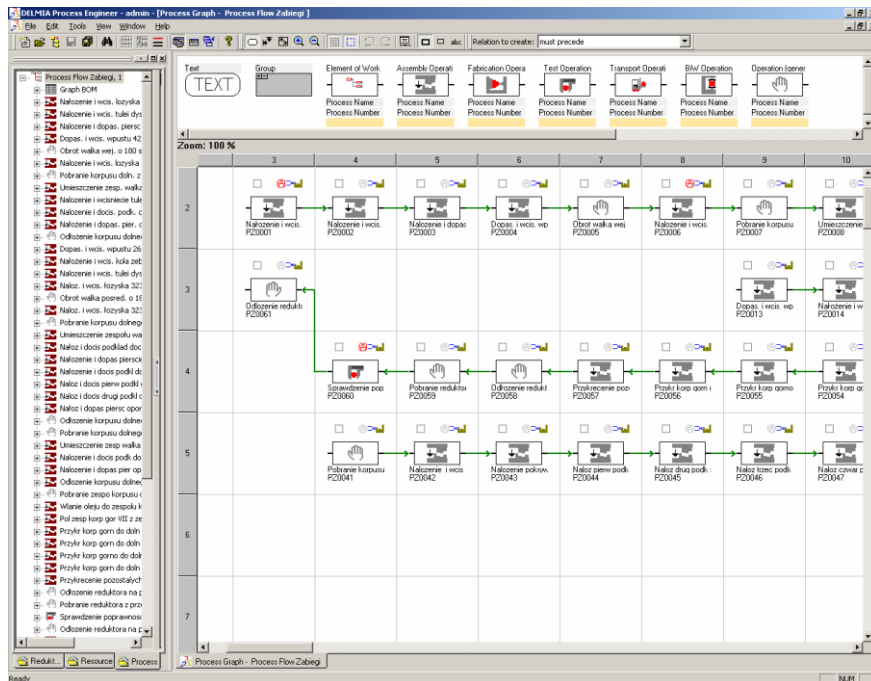
- opracowanie struktury montażowej wyrobu e-BOM – wydzielenie jednostek montażowych (zespołów, podzespołów części),
- opracowanie graficznego planu montażu, obejmującego określenie części bazowych dla wyodrębnionych jednostek montażowych oraz metod i kolejności zhierarchizowanego łączenia jednostek montażowych zapewniającej uzyskanie złożonych cech konstrukcyjnych wyrobu,
- wykonanie, na podstawie opracowanego planu montażu, złożenia podzespołów, zespołów i wyrobu w module Assembly Design z modeli cyfrowych części wykonanych w module Part Design.

Strukturę montażową wyrobu wykonaną w systemie CATIA i odwzorowaną w systemie DELMIA zaprezentowano na rys. 7. Rodzaj wprowadzonych do systemu elementów struktury (produkt, wariant produktu, złożenie części, część zakupiona, półprodukt, materiał pomocniczy) oznaczony jest ikoną.



Rys. 7. Struktura montażowa wyrobu odwzorowana w formie cyfrowej

Rezultaty powyższych działań są niezbędne do przeprowadzenia analizy technologiczności wyrobu ze względu na montaż i iteracyjnego kształtowania postaci konstrukcyjnej spełniającej wymagania montażu. Uzyskana w kolejnych iteracjach postać konstrukcyjna wyrobu i odpowiadający jej graficzny plan montażu stanowią podstawę do zdefiniowania grafu następstwa zadań montażowych (rys. 8), który ujmuje zbiór dopuszczalnych wariantów kolejności wykonania złożenia wyrobu. Ikony w grafie reprezentują działania montażowe.

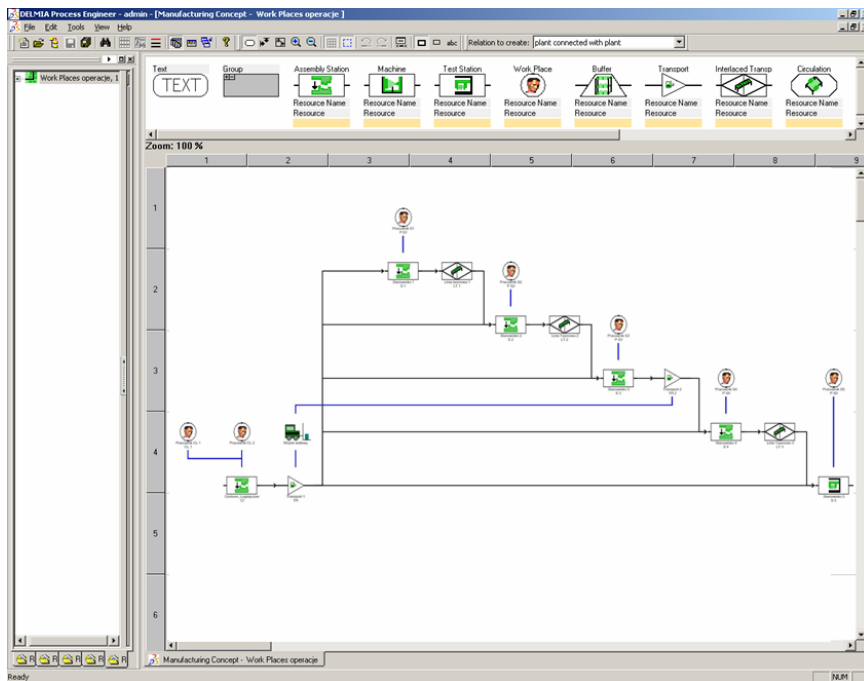


Rys. 8. Graf następstwa realizacji zadań montażowych

Na etapie koncepcyjnego projektowania organizacyjnego następuje określenie ilości i rodzaju podsystemów funkcjonalnych oraz asortymentu wyrobów montowanych w jednostce. Dane te są podstawą do przeprowadzenia wstępnych rozwiązań organizacyjnych w obrębie wyodrębnionych podsystemów.

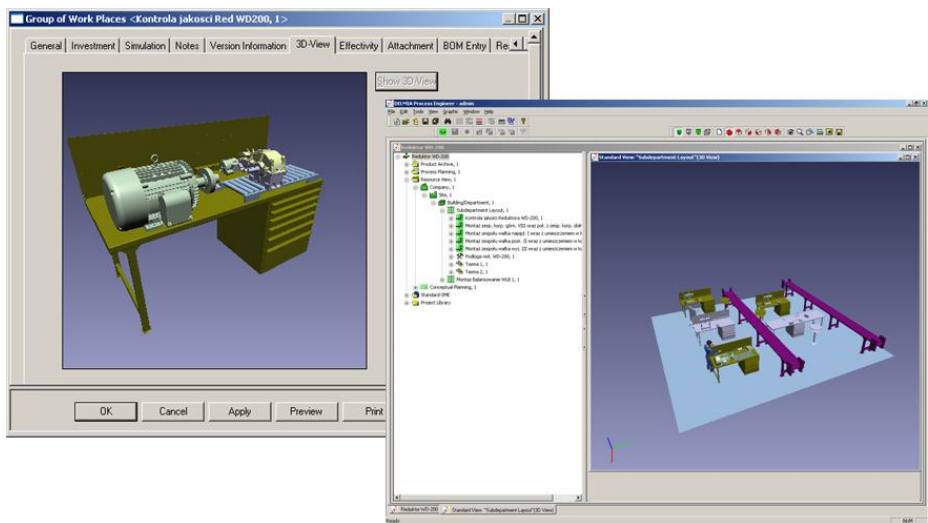
Dalsze postępowanie zależy od przyjętej odmiany organizacji produkcji w wydzielonej jednostce produkcyjnej podsystemu montażu. Poniżej przedstawiony zostanie przebieg postępowania, prowadzący do opracowania koncepcji linii montażowej dla montażu wyrobu reduktora montowanego w linii montażowej. Dla produkcji potokowej, której charakterystyczną cechą jej rytmiczność, a miarą takt, wyznacza się średni takt roboczy linii potokowej, jaki powinien zostać osiągnięty z zaprojektowanego systemu oraz minimalną konieczną liczbą stanowisk montażowych niezbędną dla osiągnięcia założonej

wielkości produkcji. Strukturę produkcyjną – fragment koncepcji systemu montażowego zilustrowano na rys. 9. Elementy systemu (firma, wydział, gniazdo produkcyjne) przedstawiane są za pomocą ikon.



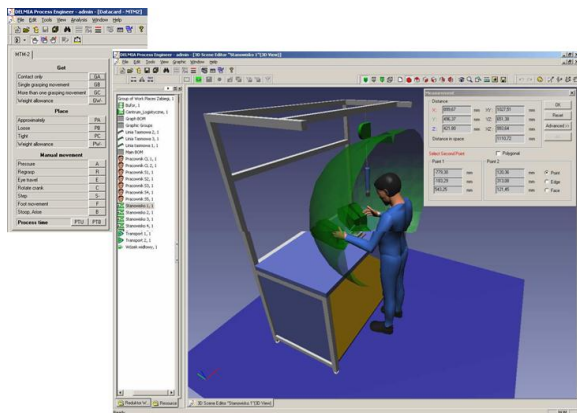
Rys. 9. Fragment koncepcji systemu montażowego odwzorowany w systemie MPM Delmia

Przyjęty typ i forma organizacyjna montażu oraz graficzny plan montażu wyrobu ujmujący kolejność złożenia wyrobu zweryfikowaną w module *DMU Fitting* systemu CATIA jest podstawą szczegółowego opracowania procesu technologicznego montażu – dokumentacji technologicznej (kart technologicznych i instrukcyjnych montażu). W tym celu następuje określenie operacji, zabiegów i czynności montażowych, dobór wyposażenia montażowego, projektowanie stanowisk montażowych oraz przyjęcie koncepcji i dobór względnie zaprojektowanie komponentów systemu transportowego. Efektem powyższych działań są modele cyfrowe systemu montażu oraz obsługujących stanowiska pracowników. Niezbędne do przeprowadzenia szczegółowych obliczeń organizacyjnych dane, np. do obliczenia czasu trwania czynności montażowych, pozyskuje się z utworzonych modeli cyfrowych komponentów systemu. Czasy trwania czynności w procesie montażu zostały wyznaczone z zastosowaniem metod ruchów elementarnych. Efektem realizowanego procesu jest cyfrowy model systemu montażu i stanowisk pracy (rys. 10).



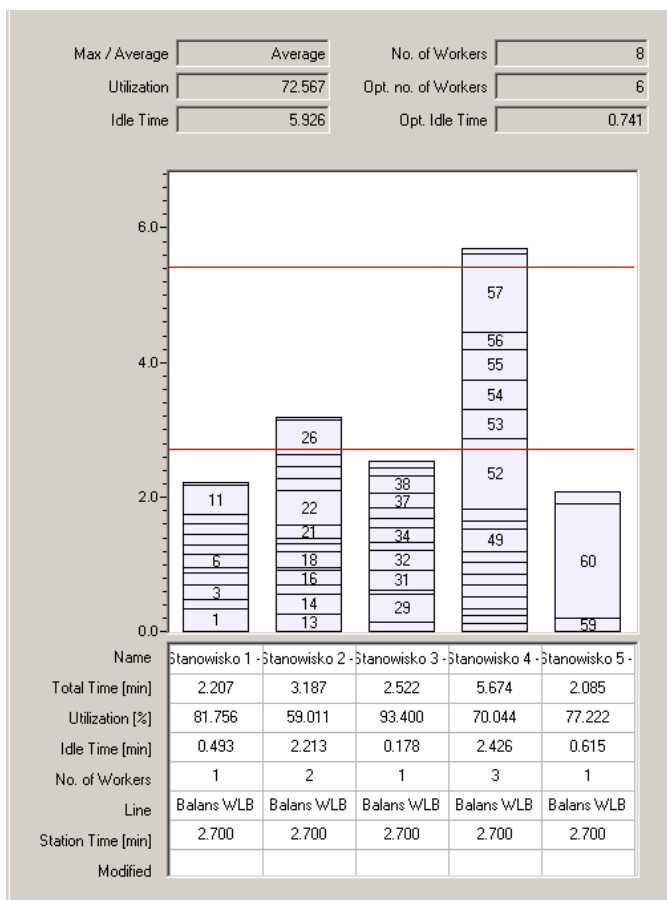
Rys. 10. Model cyfrowy systemu montażowego

Przyjęta struktura procesu technologicznego montażu i wyznaczony czas trwania czynności montażowych, tworzących operacje, są podstawą do przeprowadzenia synchronizacji w zakresie wyodrębnionego podsystemu montażu. Dane niezbędne do obliczeń szczegółowych organizacji produkcji oraz kalkulacji czasu trwania działań montażowych, metodami ruchów elementarnych, są pobierane z cyfrowego modelu systemu (rys. 11).



Rys. 11. Kalkulacja czasów działań montażowych

Dla rozpatrywanych form organizacyjnych, np. (linii montażowej) działania projektowe obejmują balansowanie linii (rys. 12) i wyznaczenie wskaźników efektywności gładkości oraz czasu linii.



Rys. 12. Balansowanie linii montażowej w systemie DELMIA

Dla wybranych form organizacyjnych (gniazd montażowych) realizowane działania szczegółowego projektowania organizacyjnego dotyczyły przeprowadzenia analizy ergonomiczności projektowanych stanowisk montażowych z wykorzystaniem zaimplementowanych w module *Human Activity Analysis* systemu CATIA metod.

Efektem szczegółowego projektowania organizacyjnego jest symulacyjny model cyfrowy systemu wytwarzania, wiążący modele cyfrowe komponentów systemu z procesem montażu, ujętym w bibliotece i harmonogramie procesu. W kolejnych testach przeprowadzanych na modelu symulacyjnym następuje badanie i doskonalenie projektowanego systemu.

4. PODSUMOWANIE

Określony poziom integracji informatycznej osiągnięto dzięki funkcjonalności aplikacji PLM (CATIA, DELMIA) operujących na wspólnym modelu danych PPR. Zwiększenie poziomu integracji umożliwia obecnie platforma 3D experience [9] oraz zastosowanie systemów wspomagających projektowanie wariantowych procesów technologicznych obróbki i montażu. Taki kierunek rozwoju aplikacji PLM-owych powinien w przyszłości pozwalać na twórcze kształtowanie kolejnych wersji wyrobów, procesów oraz systemów wytwarzania, a także ich weryfikację i ocenę, stymulując kierunki rozwoju stosownie do zmieniających się w czasie warunków rynkowych.

LITERATURA

- [1] DUDA J.: *Projektowanie techniczne technologii wytwarzania produktu*. [w:] Lis A., Wirkus M. (red.): *Planowanie nowych produktów Aspekty strategiczne, techniczne i marketingowe*. CeDeWu, Warszawa 2015.
- [2] DUDA J.: *Zarządzanie rozwojem wyrobów w ujęciu systemowym* : Wydaw. PK, Kraków 2016.
- [3] GECEVSKA V., BUCHMEISTER B., ANISIC Z., LALIC B.: *Product Lifecycle Management with Knowledge Management as Strategic approach for Innovative Enterprise Environment. Annals of Faculty Engineering Hundedoara, VIII, 2010.*
- [4] HERRMANN J.: *Design for Production: Concepts and Applications*, 2004, (<http://www.isr.umd.edu/Labs/CIM/projects/dfp/r3memcon.pdf>)
- [5] MATUSZEK J., KUPCZYK D., *Projektowanie procesów i systemów produkcyjnych z wykorzystaniem technologii komputerowej wirtualizacji*
- [6] <http://www.ptc.com/product-lifecycle-management/manufacturing-process-management>
- [7] <http://www.arenasolutions.com>
- [8] http://www.fastreact.com/en/vision/vision_introduction?capterra_PLM=capterra
- [9] <https://www.3ds.com/products-services>
- [10] <https://www.3ds.com/about-3ds/3dexperience-platform/>

Marek KEŚY*

MONITOROWANIE I OPTIMALIZACJA PRODUKCJI PRZY ZASTOSOWANIU SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH KLASY MES

Streszczenie

Przedstawiono podstawowe zagadnienia dotyczące eksploatacji maszyn i urządzeń produkcyjnych. Problematykę efektywności ich wykorzystania powiązano z koniecznością monitorowania i automatycznego zbierania danych produkcyjnych za pomocą systemów informatycznych klasy MES (Manufacturing Executing System) oraz doskonaleniem procesu produkcji prowadzonym według zasad budowy wskaźnika OEE (Overall Equipment Effectivness).

1. WSTĘP

Rozwój technologii, maszyn i urządzeń technicznych oraz metod i technik wspomagających produkcję, wywołują procesy ciągłych zmian zachodzących w systemach wytwarzania. Pośrednich przyczyn ich rozwoju należy upatrywać w dynamicznych zmianach, przyjmującej wymiar globalny, wolnorynkowej gospodarki. Globalizacja gospodarki wywiera zasadniczy wpływ na jakość wytwarzanych wyrobów, techniczny poziom produkcji oraz stosowane maszyny i urządzenia wytwórcze. Zjawisko globalizacji sprzyja względnej równowadze poziomu popytu i podaży na rynkach wytwarzanych produktów, powodując tym samym, że przedsiębiorstwa produkcyjne funkcjonując w warunkach coraz ostrzejszej konkurencji, są zmuszone do poszukiwania nowych dróg zwiększania wydajności produkcji i obniżania jej kosztów.

* Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki,
al. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa

Przedstawione uwarunkowania wskazują, że w procesie produkcji kluczowe znaczenie przypisać należy użytkowym środkom produkcji, których wspólnie akceptowalne własności użytkowe znacząco odbiegają od standardów ery przemysłowej. Istotnym jest fakt, iż o efektywności współczesnych środków produkcji decyduje nie tylko potencjał wytwórczy, ale sposób ich gospodarczego wykorzystania, wskazując problem racjonalności podejmowanych decyzji na wszystkich poziomach zarządzania.

2. ZDOLNOŚĆ PRODUKCYJNA

Zdolność produkcyjna – to miara możliwości wytworzenia w określonym czasie maksymalnej liczby wyrobów odpowiadających obowiązującym normom jakościowym, przy optymalnym wykorzystaniu czynników produkcji i zastosowaniu przyjętych metod wytwarzania [11]. Zdolność produkcyjna ustalana jest na podstawie optymalnych norm technicznych i ekonomicznych, wyznaczających realne do uzyskania maksymalne wykorzystanie maszyn i urządzeń oraz powierzchni produkcyjnej, przy uwzględnieniu najlepszych warunków prowadzenia procesu produkcji [15]. Obiektywny charakter przyjmowanych za postawę obliczeń czynników, nie wyklucza ich zmienności w czasie. Dlatego zdolności produkcyjnej nie należy traktować w kategoriach raz na zawsze ustalonych i niezmiennych. Przeciwnie, badana w dłuższych przedziałach czasu wykazuje tendencje wzrostowe wraz z udoskonalaniem metod wytwarzania, ulepszaniem konstrukcji narzędzi i oprzyrządowania technicznego, modernizacją lub wymianą parku maszynowego itp., a zatem ulega zmianie na skutek ilościowych i jakościowych zmian zachodzących w systemie produkcji.

Przyjmuje się powszechnie, że system produkcji funkcjonuje w dwustopniowym otoczeniu. Realizacja zadań oraz efekty gospodarcze są ściśle uzależnione od sposobu funkcjonowania jednostki gospodarczej (otoczenie systemowe 1-go stopnia) oraz od tzw. makrootoczenia (otoczenie systemowe 2-go stopnia), [3]. Ryzyko i niepewność gospodarcza sprawiają, że w działalności jednostek gospodarczych pojawiają się zdarzenia, o różnorodnym charakterze i formie oddziaływania, uniemożliwiające pełne wykorzystanie zdolności produkcyjnej. Przyczyny niepełnego wykorzystania zdolności produkcyjnej można dzielić według różnych kryteriów, najważniejszy jednak wydaje się podział według możliwości wpływu jednostki gospodarczej na ich kształtowanie. Powyższe kryterium pozwala wyodrębnić grupy czynników zależnych (wewnętrznych) oraz niezależnych (zewnętrznych) od jednostki gospodarczej.

Podstawowymi czynnikami wewnętrznymi determinującymi zdolność produkcyjną są: będące w dyspozycji jednostki gospodarczej czynniki produkcji, kultura organizacyjna a także sposób organizacji i zarządzania procesami produkcji. Z technicznego punktu widzenia zdolność produkcyjna, w dużym stopniu zautomatyzowanych systemów, rozpatrywana jest głównie w kategoriach potencjału wytwórczego będących w dyspozycji maszyn i urządzeń.

O stopniu wykorzystania zdolności produkcyjnej decydować mogą również czynniki zewnętrzne. Podstawowym czynnikiem zewnętrznym są prawa i zasady ekonomii, będące mechanizmem normującym wzajemne relacje gospodarcze między, reprezentującymi stronę podażową podmiotami gospodarczymi oferującymi wyprodukowane wyroby, a kształtującymi popyt ich nabywcami.

2.1. Maszyny i urządzenia w procesie produkcji

Podstawowym składnikiem potencjału wytwórczego jednostki gospodarczej są maszyny i urządzenia techniczne, które w zasadniczy sposób decydują o jej możliwościach produkcyjnych. Maszyny i urządzenia zaangażowane są w procesie gospodarczym w dłuższym okresie czasu. Stąd też istotnym zagadnieniem wydaje się nie tylko odpowiednie zarządzanie ich potencjałem produkcyjnym, ale również posiadanie kompletnej i rzetelnej informacji w zakresie poziomu wykorzystania, kosztów eksploatacji, stopnia zużycia, wartości księgowej itp. Zasadniczym źródłem tych informacji są liczby względne, czyli różnego rodzaju wskaźniki przedstawiające poszczególne aspekty gospodarczego wykorzystania.

Analizę wykorzystania maszyn i urządzeń przedstawia się za pomocą zestawu wskaźników ujętych w logicznym ciągu, we wzajemnych związkach i relacjach. Wskaźniki charakteryzują różnego rodzaju zjawiska stanowiące techniczną, organizacyjną i ekonomiczną treść ich wykorzystania. W analizach strategicznych podstawą badań są najczęściej wskaźniki ekonomiczne, które w sposób ogólny charakteryzują efektywność maszyn i urządzeń. W miarę potrzeby wykorzystuje się również wskaźniki techniczno-ekonomiczne lub techniczne. W analizach prowadzonych na poziomie operacyjnym (hali produkcyjnej), ważne miejsce zajmuje sposób wykorzystania maszyn i urządzeń biorących bezpośredni udział w procesach wytwarzania. Od ich sprawności technicznej, stopnia uruchomienia i poziomu wykorzystania uzależnione są wyniki produkcyjne. W analizach technicznych szczególnie użyteczną wydaje się analiza ich eksploatacji pod względem intensywnego i ekstensywnego wykorzystania [2] oraz jakości wytwórczej.

2.2. Efektywność pracy systemu produkcji

W zakresie oceny efektywności pracy systemów produkcji wykorzystać można szereg pojęć, wskaźników oraz zależności. Ich zastosowanie oraz praktyczna użyteczność określona jest dostępnym zakresem danych, charakterem realizowanych procesów, potrzebami informacyjnymi odbiorców.

Pierwszym historycznie stosowanym miernikiem oceny efektywności systemu produkcji była wydajność, rozumiana jako ilość produktu wytworzona w danych warunkach techniczno-organizacyjnych w określonym czasie. Jest cechą techniczną obiektu biorącego udział w procesie produkcji (pracownik, urządzenie techniczne, system produkcji), abstrahującą od efektów gospodarczych.

W obecnych realiach produkcyjnych (automatyzacja procesów, malejący udział pracy ludzkiej, zmienne proporcje między czasem przygotowania produkcji a procesem wytwarzania), ocena pracy za pomocą wydajności staje się często irracjonalna. Stąd też do oceny efektywności współczesnych systemów produkcji przyjmuje się inne wskaźniki, jak np.: stopień wykorzystania zdolności produkcyjnej lub produktywność. Miernikami osiągnięć systemów produkcji mogą być również takie wskaźniki jak: jakość wytwarzanych wyrobów, poziom zgodności z narzuconymi standardami lub normami, stopa zwrotu z inwestycji.

W warunkach gospodarki rynkowej powszechnie stosowanym miernikiem efektywności gospodarczej jest wskaźnik produktywności (całkowitej lub częściowej). Produktywność systemu produkcji rozpatrywana w ujęciu technicznym stanowi iloraz ilości produkcji wytworzonej w rozpatrywanym okresie do ilości wykorzystywanych lub zużytych zasobów, prezentując wielkość produkcji uzyskaną z jednostki wszystkich zasobów produkcyjnych (produktywność całkowita) lub wybranego czynnika produkcji (produktywność częściowa). Produktywność można wykorzystać m.in. w zakresie: porównania wyników działalności w czasie, z innymi organizacjami o podobnym profilu działalności lub jako efekt wprowadzanych w systemie zmian technicznych i organizacyjnych [8]. Użyteczność produktywności widoczna jest głównie w przypadku analiz i porównań prowadzonych na poziomie strategicznym lub taktycznym. Dla analiz prowadzonych na poziomie hali produkcyjnej bardziej właściwe wydają się wskaźniki, które powiązane są z realiami procesowymi i prezentują stan diagnozowanego systemu w łatwej do interpretacji i analizy formie. Powyższe wymagania wydaje się wypełniać wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia OEE (Overall Equipment Effectivness).

Zauważyć należy, że różne mierniki opisujące efektywność systemów produkcji mogą dawać często odmienne wyniki. Z tego też względu w prowadzonych analizach należy stosować takie mierniki osiągnięć, aby w możliwie obiektywny sposób pokazać skuteczność funkcjonowania systemów produkcji. Pod żadnym pozorem nie wolno stosować miar, które są łatwe do obliczenia albo dobierać je w taki sposób, aby pokazywały wyłącznie pozytywne aspekty działalności [15]. Dodatkową trudnością wydaje się metodyka i sposób pozyskiwania danych stanowiących podstawę ich wyznaczenia oraz dostosowanie poziomu agregacji danych do poziomu decyzyjnego użytkowników.

3. SYSTEMY INFORMATYCZNE KLASY MES

Dla osób zarządzających procesami produkcji, funkcjonalną podstawą ich działalności jest wiedza techniczna i ekonomiczna (warunkująca zrozumienie zdarzeń i współzależności procesowych), umiejętności i predyspozycje kierownicze oraz dane i informacje dotyczące wyznaczonych zadań, stopnia ich realizacji oraz planów lub prognoz produkcyjnych. W zakresie bieżącej kontroli,

oceny oraz wprowadzanych korekt, bardzo ważna jest możliwość bieżącego monitorowania sposobu realizacji zadań produkcyjnych. Równie istotnym czynnikiem jest możliwość współdzielenia danych i informacji o procesie z innymi osobami decyzyjnymi.

W tradycyjnym podejściu do zarządzania produkcją, źródłem danych produkcyjnych jest m. in. dokumentacja technologiczna, karty pracy, zlecenia produkcyjne lub dokumentacja księgową (np. z zakresu obrotu materiałowego). Cennym źródłem informacji o procesie produkcji mogą być również pracownicy (np. operatorzy maszyn). Przedstawiona metodyka zbierania danych ogranicza jednak ich wiarygodność i użyteczność decyzyjną, co wynika z małej dokładności i spójności danych oraz z możliwości dostosowania ich zawartości dla własnych potrzeb lub subiektywnego podejścia do zagadnienia procesowego. Ponadto tworzone zestawienia i raporty powstają w sposób nieregularny i są zazwyczaj opóźnione w stosunku do sytuacji decyzyjnej [12].

W przypadku przedsiębiorstw produkcyjnych kluczowe dla trafności podejmowanych decyzji jest ciągle monitorowanie procesu produkcji. Rozwiązaniem powyższego problemu wydaje się automatyczna rejestracja danych produkcyjnych oraz możliwość generowania raportów i zestawień w wybranym obszarze analitycznym przy wykorzystaniu rozwiązań informatycznych. Przedstawione wymagania spełnia funkcjonalność systemów informatycznych klasy MES (Manufacturing Executing System), [6,13].

Punktem wyjścia dla charakterystyki systemów MES może być ich definicja opracowana przez organizację MESA International (Manufacturing Enterprise Solution Association), według której „system MES ma na celu dostarczenie informacji, która pozwala na optymalizację operacji produkcyjnych – począwszy od procesu zamówienia, aż do etapu dostarczenia produktów gotowych”. MESA International zalicza systemy MES do grupy systemów wspomagających zarządzanie produkcją. Ponadto MESA International wyszczególnia dla systemów MES 11 obszarów funkcjonalnych, które obejmują [1]:

- monitorowanie procesu produkcji i wspomagania obsługi operatorskiej w zakresie działań operacyjnych oraz w sytuacjach kryzysowych,
- zarządzanie wydajnością procesów wytwórczych,
- śledzenie produkcji i jej genealogii,
- zarządzanie jakością wytwórczą,
- gromadzenie i akwizycję danych produkcyjnych,
- zarządzanie obiegiem dokumentacyjnym,
- alokację zasobów,
- zarządzanie zasobami ludzkimi,
- zarządzanie ruchem w zakresie prac konserwacyjnych lub remontowych,
- optymalizację planów produkcyjnych (harmonogramowanie),
- rozdział zadań produkcyjnych.

Wyszczególniony obszar funkcjonalny systemów MES czyni go nadmiarowym w stosunku do rzeczywistych potrzeb przedsiębiorstw. Stąd też ich wyróżnikiem jest modułowość aplikacyjna, pozwalająca na dostosowanie ich funkcjonalności w stosunku do zgłaszanych potrzeb ewidencyjnych oraz możliwości finansowych przedsiębiorstw. Ponadto systemy MES stanowią łącznik informacyjny pomiędzy systemami technicznymi a obszarem biznesowym, powinny wykazywać podatność komunikacyjną z maszynami i urządzeniami wytwórczymi, jak również zapewniać współpracę z, obsługującymi proces zarządzania, systemami informatycznymi klasy ERP [12].

Dużą zaletą procesową systemów MES jest dokładność rejestracyjna. Możliwość rejestracji zdarzeń z dokładnością sekundową powoduje, że rejestrowane są zdarzenia często niezauważalne, tj.: mikroprzestoje, chwilowe spadki prędkości, drobne błędy obsługi, spóźnione dostawy surowcowe itp.. Straty te, w odróżnieniu od wielogodzinnych awarii są łatwe do ukrycia oraz trudne do dokładnego pomiaru. Jak wykazuje praktyka, ich skumulowane wartości stanowią mogą istotne pozycje strat produkcyjnych, co stanowi jedynie potwierdzenie tezy, iż największe straty są sumą tych najmniejszych. Przykładowo, maszyna pracująca w trybie produkcji ciągłej, która traci pozornie nieistotną minutę na godzinę pracy, generuje straty czasowe w ilości 12 godzin, w wymiarze miesiąca roboczego [9].

Dzięki systemom MES można uzyskać sygnał zwrotny o stopniu realizacji produkcji i reagować na nieprawidłowości pojawiające się w czasie procesu produkcyjnego. Pozyskane w ten sposób dane produkcyjne pozwalają na wyznaczenie i analizę tzw. kluczowych wskaźników wydajności (KPI – Key Performance Indicator) i uzyskanie informacji na temat stopnia wykorzystania zdolności produkcyjnych. Kluczowym wskaźnikiem opisującym efektywność maszyn i urządzeń jest wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia OEE [6,12].

4. WSKAŹNIK CAŁKOWITEJ EFEKTYWNOŚCI WYPOSAŻENIA OEE

W praktyce przedsiębiorstw produkcyjnych coraz większy nacisk kładzie się na efektywność produkcji i możliwie jak najlepsze wykorzystanie parku maszynowego. Problemem może być sposób ilościowego wyrażenia efektywności pracy oraz porównanie z przyjętym poziomem odniesienia. Próba odpowiedzi na przedstawiony problem jest konstrukcja wskaźnika OEE, która oparta jest na prostej analizie czasów decydujących o efektywności procesowej maszyn i urządzeń technicznych.

Wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia OEE jest podstawowym miernikiem wykorzystywanym w celu oceny efektywności pracy maszyn i urządzeń. W szczególności wskaźnik ten umożliwia określenie stopnia wykorzystania maszyn w zakładach produkcyjnych. Budowa wskaźnika OEE obejmuje 3 składowe charakteryzujące proces produkcji, (rys. 1):

- dostępność procesową maszyn i urządzeń,
- stopień procesowego wykorzystania, oraz
- jakość wytwórczą.

OEE jest wskaźnikiem, który odgrywa istotną rolę w doskonaleniu procesu produkcyjnego. Jest on metodą pomiaru i wizualizacji tego jak efektywnie wykorzystywane są zasoby produkcyjne. W dużym uproszczeniu można stwierdzić, że OEE pokazuje jaką część pracy maszyny wykonały w stosunku do maksymalnej wartości. OEE zwraca się w stronę procesu, tzn. bierze pod uwagę nie tylko czas dostępności maszyn, ale również wydajność i jakość. Jego istota polega na porównaniu wykorzystania maszyny do wykorzystania idealnego, które zachodzi wówczas, gdy produkcja i jej przygotowanie prowadzone są zgodnie z planem. Obliczenie wskaźnika OEE umożliwia definiowanie działań doskonalących w zakresie realizowanych procesów produkcyjnych, pozwalając jednocześnie na pomiar efektów ich wdrożenia [7].

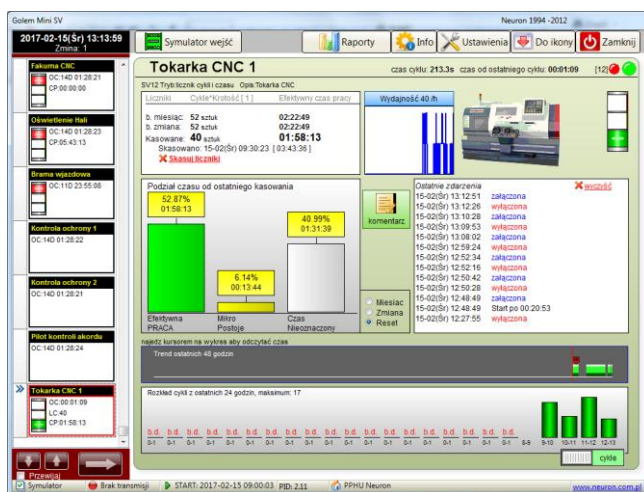
Całkowity czas produkcji (tzw. czas zamówiony)			
Czas operacyjny			Planowane postoje
Dostępność		Awarie	S T R A T Y
Wykorzystanie	Straty wydajności		
Jakość	Braki		

Rys. 1. Zasada wyznaczania wskaźnika OEE (na podst. [10, 14])

OEE jest bodajże najlepszym wskaźnikiem oceny stopnia wykorzystania parku maszynowego w systemach produkcji ciągłej [4], czego potwierdzeniem jest powszechne jego stosowanie w dużych przedsiębiorstwach, o wysokim stopniu rozwoju technicznego, wytwarzających w typie produkcji masowej lub wielkoseryjnej. Uniwersalizm aplikacyjny OEE powoduje, że może być również narzędziem oceny dla pojedynczych maszyn i urządzeń pracujących w typie produkcji seryjnej [7,9]. Kalkulacja wskaźnika OEE (i jego parametrów składowych) realizowana jest w celu oceny stopnia wykorzystania posiadanego parku maszynowego (funkcja informacyjna) oraz diagnozy czynników wpływających na niepełne (nieefektywne) jego wykorzystanie (funkcja diagnostyczna) [7].

5. SYSTEMY MES W ZARZĄDZANIU PRODUKCJĄ – STUDIUM PRZYPADKU

W praktyce produkcyjnej systemy MES postrzegane są w węższym wymiarze procesowym, w stosunku do obszaru funkcjonalnego zdefiniowanego przez MESA International. Powszechnie kojarzone są monitorowaniem procesu, automatyczną rejestracją danych produkcyjnych, możliwością generowania zestawień i raportów w wybranym kontekście problemowym. Połączone bezpośrednio z systemami sterowania maszyn, gromadzą i przetwarzają dane, które stanowią podstawę uzyskania dokładnych i aktualnych informacji m.in. o stanie monitorowanego obiektu wytwórczego, efektach jego pracy, statusie zlecenia produkcyjnego itd.. Przykładem systemu wypełniającego zadania rejestracyjne i analityczne jest m.in. oprogramowanie Golem OEE [9].



Rys. 2. System klasy MES – Golem Mini SV (nadzór pasywny)

Golem OEE zaliczyć można do systemów klasy MES, czyli systemów zbierających dane produkcyjne z maszyn w czasie rzeczywistym, które stanowią podstawę dla wielowymiarowych analiz, w dowolnie wybranym kontekście problemowym. Rejestracja danych produkcyjnych prowadzona być może w zakresie konfiguracji nadzoru pasywnego lub aktywnego. W przypadku nadzoru pasywnego Golem OEE jest swego rodzaju systemem obserwacyjnym, rejestrującym sygnały maszynowe bez powiązania ze statusem maszyny, rodzajem zlecenia produkcyjnego czy osobą operatora (rys. 2). W przypadku nadzoru aktywnego w proces monitorowania produkcji włączony zostaje obsługujący, definiując status maszyny oraz rodzaj realizowanego zlecenia, przez co tworzone raporty o stanie maszyn i historii jej pracy, stają się bardziej użyteczne m.in. w zakresie procedur planowania i kontroli.

Standardową funkcją systemu jest wizualizacja informacji dotyczących postępów produkcyjnych (ilość docelowa, aktualny stan produkcji, procent realizacji i szacowany czas realizacji zlecenia) oraz graficzna prezentacja sposobu wykorzystania maszyn w czasie. Ocena ilościową efektywności wytwórczej zapewniają automatycznie wyliczane wskaźniki (np. wydajność procesu, wskaźnik OEE) oraz zestaw raportów i zestawień.

Uniwersalizm aplikacyjny związany jest z możliwością monitorowania maszyn o różnej charakterystyce wytwórczej (np. prasy, wtryskarki, obrabiarki skrawające) i różnorodnym stopniu złożoności technicznej (np. możliwość monitorowania pracy prostych „dwustanowych” urządzeń lub czynności manualnych). Ponadto Golem OEE współpracować może z systemem sygnalizacyjnym Andon oraz systemem monitoringu przemysłowego. Możliwy jest także pomiar poziomu zużycia energii elektrycznej eksploatowanych maszyn i urządzeń. Użyteczność aplikacyjna oprogramowania wynika również z jego modułowej budowy, jak również z możliwości współpracy z systemami informatycznymi klasy ERP.

Poniżej przedstawiono przykład analityczny obrazujący wyniki produkcyjne uzyskane dla monitorowanego systemu wytwórczego – tokarki CNC, w zakresie jej dobowego wykorzystania, w rozbiciu na 3 zmiany robocze. Dane produkcyjne stanowiące podstawę obliczeń oraz uzyskane wyniki składowych wskaźnika OEE, przedstawia tabela 1. Zaprezentowane w tabeli 1 dane stanowiły również podstawę obliczeń prowadzonych w programie raportującym Karty OEE SPC.

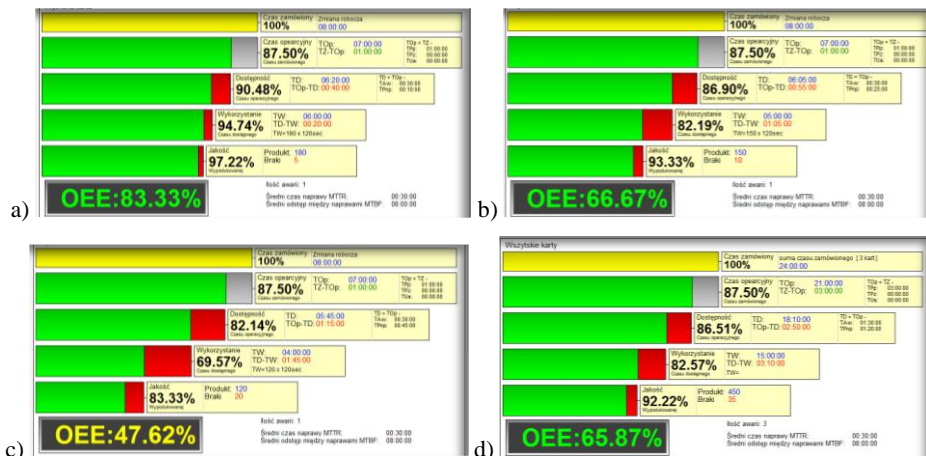
Tab. 1. Wyznaczenie wskaźnika OEE dla przyjętych zmian roboczych

Wyszczególnienie	Z – 1	Z – 2	Z – 3
Całkowity czas produkcji [min]	480	480	480
Planowane przestoje	60	60	60
Planowany czas produkcji	420	420	420
Nieplanowane przestoje [min]	40	55	75
– awarie	30	30	30
– nieobecność operatora	10	20	30
– inne	0	5	15
Czas operacyjny [min]	380	365	345
Dostępność – składowa OEE [%]	90,48	86,90	82,14
Produkcja na zmianę [szt.]	180	150	120
Wydajność nominalna [szt./h]	30	30	30
Czas operacyjny netto [min]	360	300	240
Wydajność – składnik OEE [%]	94,74	82,19	69,57
Braki produkcyjne [szt.]	5	10	20
Jakość – składnik OEE [%]	97,22	93,33	83,33
Wskaźnik OEE [%]	83,33	66,67	47,62
Wskaźnik OEE – średnia dobowa [%]	65,87		

Program Karty OEE SPC, jest programem pozwalającym na zbieranie danych produkcyjnych charakteryzujących pracę analizowanego systemu produkcji. Funkcjonowanie programu oparte jest na podstawie danych źródłowych zbieranych metodą „ręczną” przez operatorów maszyn lub rejestrowane w sposób automatyczny. Wprowadzone dane (rys. 3 – przykład ilustrujący) stanowią podstawę dla wyznaczenia wskaźnika OEE wraz z zestawieniami stanowiącymi podstawę analityczną jego obliczenia, (rys. 4). Ponadto program wyznacza zestawienia szczegółowe dotyczące np. przyczyn przerw w pracy, powodów powstawania braków produkcyjnych oraz wystawianych przez operatorów ocen jakości obsługi stanowiska produkcyjnego. Prezentacja zestawień i raportów może dotyczyć różnego horyzontu czasowego, tzn. zmiany i dnia roboczego, tygodnia, miesiąca lub roku.

Klasyfikacja postojów (OEE)	Klasyfikacja braków	Subiektywna ocena	Lista kontrolna	Opis karty
* Przyczyna postoju	Klasyfikacja	Minut		
Przerwa - kodeks pracy	POSTÓJ PLANOWANY	20	CALC	Ilość wykonana <input type="text" value="180"/> Ilość awarii <input type="text" value="1"/> Ilość przezbrojeń <input type="text" value="0"/>
Przejęcie / zdanie maszyny	POSTÓJ PLANOWANY	20	CALC	
Przeгляд konserwacyjny	POSTÓJ PLANOWANY	5	CALC	
Postój planowany	POSTÓJ PLANOWANY	10	CALC	
Inne	POSTÓJ PLANOWANY	5	CALC	
Awaria maszyny	AWARIA	30	CALC	
Awaria inna	AWARIA	0	CALC	
Nieobecność operatora	POSTÓJ NIEPLANOWANY	10	CALC	
Inne	POSTÓJ NIEPLANOWANY	0	CALC	
Suma czasów przyczyn : 100 min. czas pracy: 360 min. suma:460 z 480 min. czas niouzaczony: 20				

Rys. 3. Dane źródłowe charakteryzujące czasowe wykorzystanie analizowanego systemu produkcji – zmiana 1



Rys. 4. Zestawienie wskaźników OEE dla poszczególnych zmian roboczych (a, b, c) oraz wartości średniej dobowej (d)

Zaprezentowane dane produkcyjne oraz wyznaczone wartości wskaźnika OEE (tabela 1 oraz rys. 4), wskazują na systematyczne zmniejszenie efektywności wytwórczej w zależności od zmiany roboczej. Największą efektywność produkcyjną wykazuje system pracujący na 1-szej zmianie, a wyliczona wartość OEE zbliżona jest do tzw. poziomu światowego (OEE = 85% [17]). Efektywność uzyskana na 2-giej zmianie oscyluje wokół średniej przedsiębiorstw produkcyjnych (OEE = 60% [17]). Z kolei efektywność 3-ciej zmiany roboczej wskazuje konieczność natychmiastowej procedury wyjaśniającej i reakcji zarządzających procesem.

6. PODSUMOWANIE

Gromadzone w systemie MES dane pozwalają na uzyskanie informacji o stopniu realizacji produkcji, dzięki czemu pozwalają podejmować właściwe decyzje oraz reagować możliwie szybko na pojawiające się nieprawidłowości.

Współczesne pojęcie wizualizacji procesów produkcji jest coraz powszechniej rozumiane jako dostarczenie nie tylko bieżącej informacji o stanie monitorowanego obiektu, ale jako złożony system zbierania, gromadzenia i przetwarzania danych, stanowiący podstawę do wielowymiarowych zestawień i raportów, w dowolnie wybranym kontekście analitycznym (np. linia, maszyna, produkt, zlecenie, zmiana robocza, pracownik) lub czasowym (zmiana robocza, dzień, tydzień, miesiąc, rok).

Rejestracja przez system MES danych produkcyjnych umożliwia także automatyczne wyliczanie kluczowych wskaźników efektywności produkcji, dając możliwość ilościowej analizy stopnia wykorzystania zdolności produkcyjnej.

Kluczowym wskaźnikiem wyznaczanym przez systemy MES, na podstawie danych pochodzących wprost z produkcji, jest wskaźnik OEE. Prostota jego budowy czyni go szczególnie użytecznym w zakresie analizy i diagnozy efektywności procesu produkcji.

Zaprezentowany przykład analityczny wskazuje na pewną często spotykaną prawidłowość – kontrola działań procesowych samoczynnie wywołuje (obserwowane często w praktyce przemysłowej) zjawiska, powodujące wzrost wydajności wytwórczej i poprawę jakości wytwarzanych wyrobów oraz rygorystyczne regulaminu pracy i zasad BHP. Brak lub ograniczony zakres kontroli powoduje zazwyczaj zjawiska przeciwne. Stąd też zastosowanie systemów MES powinno przyczynić się do uzyskania większej efektywności procesowej, niezależnie od pory dnia roboczego czy intensywności procedur kontrolnych prowadzonych w formie tradycyjnej.

LITERATURA

- [1] BANASZAK Z., KŁOS S., MLECZKO J.: *Zintegrowane systemy zarządzania*. PWE, Warszawa 2011.
- [2] BEDNARSKI L. et al.: *Analiza ekonomiczna przedsiębiorstwa*. Wyd. AE im. O. Langego, Wrocław 1998.
- [3] DURLIK I.: *Inżynieria zarządzania*. AW Placet, Gdańsk 1993.
- [4] GOLA A., KOSICKA E., DANIEWSKI K., MAZURKIEWICZ D.: *Analiza błędów przy ocenie wskaźnika OEE na przykładzie linii rozlewu butelkowego*. Konferencja: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Artykuły IZIP 2016, t. 2, część XI – Zarządzanie utrzymaniem ruchu (www.ptzp.org.pl).
- [5] HAJKUŚ J., RODAK A.: Raport z badania “Systemy raportowania wskaźnika OEE”, Kraków 2013 (www.astor.com.pl).
- [6] JAROSZEWSKI K.: *Systemy MES a optymalizacja produkcji*. Pomiar – Automatyka – Robotyka nr 5, 2014.
- [7] LIPIAK J., EJSMONT K.: *Problematyka obliczania wskaźnika OEE dla maszyn fleksograficznych – studium przypadku*. Konferencja: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Artykuły IZIP 2016, T.2, część XI – Zarządzanie utrzymaniem ruchu (www.ptzp.org.pl).
- [8] LIS S. (red.): *Vademecum produktywności*. AW Placet, Warszawa 1999.
- [9] MAZUREK W.: *GolemOEE SuperVisor* (www.neuron.com.pl).
- [10] MAZUREK W.: *Wskaźnik OEE – teoria i praktyka* (www.neuron.com.pl).
- [11] PASTERNAK K.: *Zarys zarządzania produkcją*. PWN, Warszawa 2005.
- [12] Raport MSI Polska.: *Jak produkować lepiej i taniej*. 2010 (www.msipolska.pl).
- [13] RODAK A.: *System monitorowania produkcji Wonderware MES*. Pomiar – Automatyka – Robotyka nr 5, 2014.
- [14] SZEWCZAK K.: *Zarządzanie eksploatacją środków trwałych w przedsiębiorstwie*. Difin, Warszawa 2008.
- [15] WATERS D.: *Zarządzanie operacyjne*. PWN, Warszawa 2001.
- [16] Proficy Plant Applications. Oprogramowanie klasy MES umożliwiające monitorowanie i optymalizację produkcji. VIX Automation (www.vix.com.pl).
- [17] Automatyczne OEE, SPC, KPI – istotne także dla twojej produkcji. VIX Automation (www.vix.com.pl).

NETOGRAFIA

- [18] www.astor.com.pl
- [19] www.msipolska.pl
- [20] www.neuron.com.pl
- [21] www.ptzp.org.pl
- [22] www.vix.com.pl

WYKORZYSTANE OPROGRAMOWANIE – firma PPHU „Neuron” Wojciech Mazurek

Golem Mini SV
Golem OEE OEM
Karty OEE SPC

Iwona ŁAPUŃKA*, Iwona PISZ**, Piotr WITTBRODT***

ZASTOSOWANIE METODY GERT DO PLANOWANIA ZLECEŃ PRODUKCYJNYCH W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI

Streszczenie

W artykule rozważany jest problem planowania zleceń produkcyjnych w warunkach niepewności. Przedstawiona analiza obejmuje zakres planowania ograniczony do produkcji jednostkowej lub małoseryjnej, głównie na zlecenie warunkujące uwzględnienie zmiennych wymagań klientów, a także złożoność i długoterminowość realizacji procesu produkcyjnego wraz z jego technicznym przygotowaniem. Do harmonogramowania zadań zastosowano zmodyfikowaną metodę planowania sieciowego GERT uwzględniającą koncepcję słabych zależności. Sposób rozwiązania problemu zilustrowano przykładem obliczeniowym.

1. WSTĘP

Wyzwania jakie obecnie stoją przed większością przedsiębiorstw produkcyjnych są wynikiem przyjmowanej na rynku strategii dywersyfikacji, która prowadzi do powiększania oferowanego asortymentu przy jednoczesnym zróżnicowaniu wielkości zamówień. Obecnie, z uwagi na specyficzne wymagania klientów, większość produkcji realizowana jest w trybie MTO (ang. *make to order*), a tylko część asortymentu, obejmująca głównie wyroby standardowe szybkrotujące produkowana jest na magazyn MTS (ang. *make to stock*). W przypadku wieloasortymentowej i różnorodnej produkcji, charakteryzującej

* Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Katedra Zarządzania Projektami, 45-370 Opole, ul. Ozimska 75, tel. +48 77 449 88 50, i.lapunka@po.opole.pl

** Uniwersytet Opolski, Wydział Ekonomiczny, Zakład Logistyki i Marketingu, 45-058 Opole, ul. Ozimska 46a, tel. +48 77 401 68 98, ipisz@uni.opole.pl

*** Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji, 45-370 Opole, ul. Ozimska 75, tel. +48 77 449 88 49, p.wittbrodt@po.opole.pl

się nieregularnymi zamówieniami nie tylko na wyroby standardowe, ale również unikatowe, wytwarzane w produkcji jednostkowej, przepływ materiałów przez proces produkcyjny zorganizowany jest w formy niepotokowe. Elastyczne kompleksy operacji uwarunkowane logicznie w czasie i w przestrzeni, o zmiennej strukturze przystosowanej do charakterystyki ilościowo-jakościowej wytwarzanych wyrobów odpowiadają procesom dyskretnym, w których dominują nieciągłe przepływy energii i materiałów. Produkcja dyskretna to obecnie przeważający rodzaj produkcji w Polsce. Dedykowana m.in. branży meblarskiej, motoryzacyjnej i elektronicznej wymaga przygotowania skomplikowanej dokumentacji inżynierskiej oraz programów sterujących urządzeniami produkcyjnymi oraz złożonego planowania produkcji. Największym problemem w zarządzaniu wieloasortymentową produkcją w ramach przeważnie bardzo ograniczonych zasobów jest wysoka zmienność warunków zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych.

W ramach klasyfikacji przemysłowych procesów wytwórczych ze względu na ciągłość oraz przebieg w czasie, oprócz produkcji dyskretniej i ciągłej, coraz częściej wyróżnia się produkcję projektową, która w szczególności dotyczy przedsiębiorstw przemysłu lotniczego i obronnego, przedsiębiorstw projektujących produkty na zamówienie oraz korzystających z metody kontrolowania produkcji Seiban (pozwala kompleksowo zarządzać strukturą powiązanych zleceń produkcyjnych i zamówień zakupu, umożliwia całościowe planowanie i monitorowanie realizacji produkcji pod zamówienie klienta w zakresie terminowości, kosztów i dostępności materiałów oraz komponentów). Różnorodność czynników mających wpływ na poszczególne zasoby systemu produkcyjnego oraz dynamika otoczenia powodują liczne odchylenia od planu, co wymusza konieczność właściwego sterowania produkcją w celu uzyskania założonych wcześniej rezultatów. Produkcja na zamówienie charakteryzuje się generowaniem zlecenia produkcyjnego po przyjęciu zamówienia od klienta, co znacząco utrudnia sterowanie produkcją, rozumiane jako zespół działań zmierzających do uzyskania przez system produkcyjny i przedsiębiorstwo oczekiwanych efektów [1].

Do wprowadzenia do praktyki funkcjonowania przedsiębiorstw produkcyjnych rozwiązań opartych o paradygmaty zarządzania projektami w znacznej mierze przyczynił się rozwój inżynierii współbieżnej CE (ang. *concurrent engineering*). Strategie projektowania współbieżnego ewoluujące w stronę strategii projektowania CEE (ang. *concurrent engineering environment*), uwzględniającego przenikanie się działań o charakterze biznesowym z działaniami inżynierskimi, są szeroko stosowane w procesach rozwoju wyrobów. Zintegrowane, współbieżne projektowanie wyrobu, procesu wytwarzania oraz procesów pomocniczych zgodnie z podejściem projektowym jest w ostatnich latach coraz częściej wykorzystywanym sposobem osiągania celów zarówno

operacyjnych, jak i strategicznych oraz ogólnego usprawniania działalności organizacji. Szeregowo-równoległe i równoległe wykonywanie zadań rozwojowych (np. w procesie *new product development*) stanowi o istocie tego podejścia i odróżnia je od tradycyjnego podejścia sekwencyjnego (szeregowego). Dzięki temu już w początkowym okresie projektowania wyrobu rozstrzyga się o jakości, kosztach i zaspokojeniu oczekiwań klienta, we wszystkich fazach cyklu życia wyrobu. Projekty takie realizowane są na podstawie początkowo niepełnych danych, poczynając od przygotowania oferty i jej wyceny, poprzez opracowanie budżetu i harmonogramu realizacji, a skończywszy na nadzorze nad realizacją i rozliczeniem kontraktu. Powtarzalność zamówień jest niewielka lub wręcz żadna. Proces realizacji zamówienia w tego typu środowisku wymaga szczególnego wsparcia w zakresie zarządzania wiedzą. Podejście to wymaga zespołowej pracy specjalistów reprezentujących różne służby organizacyjne przedsiębiorstwa. Na każdym etapie członkowie zespołu projektowego biorą aktywny udział w rozwiązywaniu problemów i podejmowaniu decyzji.

W artykule rozważany jest problem planowania zleceń produkcyjnych w warunkach niepewności. Przedstawiona analiza obejmuje zakres planowania ograniczony do produkcji jednostkowej lub małoseryjnej, głównie na zlecenie warunkujące uwzględnienie zmiennych wymagań klientów, a także złożoność i długoterminowość realizacji procesu produkcyjnego wraz z jego technicznym przygotowaniem. Przyjęte w artykule określenie „projekt produkcyjny” lub „zlecenie typu projekt” rozumiane jest jako niepowtarzalny (realizowany jednorazowo) złożony proces produkcyjny zawarty w skończonym przedziale czasu – z wyróżnionym początkiem i końcem, realizowany zespołowo (wielopodmiotowo) w sposób względnie niezależny od powtarzalnej działalności przedsiębiorstwa (jednak w ramach określonego systemu produkcyjnego) za pomocą specjalnych metod oraz technik zarządzania projektami. Do harmonogramowania zadań zastosowano zmodyfikowaną metodę planowania sieciowego GERT uwzględniającą koncepcję słabych zależności [2,3,4]. Sposób rozwiązania problemu zilustrowano przykładem obliczeniowym.

2. PLANOWANIE ZLECEŃ PRODUKCYJNYCH W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI

Większość zleceń otrzymywanych przez przedsiębiorstwa stanowią indywidualne i jednorazowe procesy produkcyjne, które wymagają szczegółowej analizy, organizacji, jak również doboru właściwych metod zarządzania. Dlatego też traktowane są często jako projekty produkcyjne, zgodnie z klasyczną definicją PMI sformułowaną w PMBOK Guide [5]. Według [6] projekt oznacza sekwencję niepowtarzalnych, złożonych i związanych ze sobą zadań o różnym charakterze, mających wspólny cel, przeznaczonych do wykonania

w określonym terminie, przy założonym budżecie, zgodnie z przyjętymi wymaganiami. Celem realizacji każdego projektu jest osiągnięcie oczekiwanych rezultatów (parametrów), zmierzając jednocześnie w kierunku zaspokojenia potrzeby klienta – zleceniodawcy.

Znaczenie tak pojętych form realizacji procesów produkcyjnych w pracy dynamicznych organizacji i konieczność stosowania szczególnych metod zarządzania akcentuje się współcześnie pojęciem „zarządzanie przez projekty”. Obecnie wymogi efektywnego zarządzania projektami koncentrują się wokół: (1) wysokiego poziomu komunikowania się, (2) elastyczności i szybkiego reagowania, (3) szybkiego podejmowania decyzji, (4) rozwiązywania nieustrukturyzowanych problemów, (5) efektywnego planowania i sterowania w warunkach niepewności, (6) ustalenia najważniejszych etapów w realizacji projektu (cele cząstkowe). W przypadku przedsiębiorstw produkcyjnych oznacza to dosyć często wypracowanie zupełnie nowego podejścia, polegającego na stosowaniu metod typowych dla zarządzania projektami w organizacjach o przewadze działań operacyjnych i powtarzalnych. Produkcja dyskretna, rozumiana jako produkcja wyróżniających się jednostek wyrobów na zlecenie klienta i zgodnie z jego specyfikacją wymagań, utożsamiana jest coraz częściej z terminem „zlecenie typu projekt” (ang. *project driven order*) [7]. Zmiana sposobu prowadzenia biznesu, wyróżnianie w systemie produkcyjnym zadań o charakterze rutynowym oraz zadań o charakterze unikalnym, tzw. projektów jest obecnie koniecznością.

Podstawowym źródłem niepewności w planowaniu zleceń produkcyjnych są zakłócenia. Ich występowanie w rzeczywistych systemach produkcyjnych przyczynia się często do konieczności wprowadzania zmian w planowanym uszeregowaniu, stąd zwane są czynnikami reharmonogramowania (ang. *rescheduling factors*). Zasadniczym problemem sterowania jest zatem szybkość i adekwatność reakcji w odpowiedzi na zaistniałe zakłócenia. Przyjmuje się, iż podejmowanie działań proaktywnych, zamiast reaktywnych w znaczący sposób zwiększa wydajność procesów. Reaktywne zarządzanie prowadzi do wyeliminowania lub podtrzymania odchylenia (wynikającego ze zdarzeń historycznych) i podejmowane działania stanowią zazwyczaj spóźnioną reakcję na zaszłe zmiany. Natomiast w systemie proaktywnym rozważa się potencjalne przyczyny oraz przewidywane rezultaty działań, niemniej jednak współczesne systemy produkcyjne w ograniczony sposób poddają się projektowaniu przyszłości. Przewidywanie potencjalnych problemów – w celu ich uniknięcia, lub poszukiwanie nowych możliwości działania – w celu ich realizacji, zmierzają w kierunku właściwej identyfikacji szans i zagrożeń. W nowej rzeczywistości przedsiębiorstw coraz częściej pojawiają się kwestie adaptacyjnego, dynamicznego oraz inteligentnego sterowania produkcją.

3. STOCHASTYCZNE HARMONOGRAMOWANIE ZLECEŃ PRODUKCYJNYCH

„Projektowe metody” harmonogramowania zleceń produkcyjnych bazują zwykle na modelach sieciowych, w których zakłada się pewien porządek realizacji poszczególnych zadań/operacji. Relacje kolejnościowe, za pomocą których modelowane są zależności technologiczne i organizacyjne między zadaniami, określane są w fazie budowy modelu i wynikają z technologii i ograniczeń w zakresie wykonywanych prac oraz ustaleń dotyczących alokacji zasobów. Zakłada się ich niezmienny charakter, który definiuje się przy pomocy sieci typu DAN (ang. *Deterministic Analysis Network*) o strukturze logicznej zdeterminowanej.

Złożone problemy harmonogramowania zleceń produkcyjnych w warunkach niepewności generują zazwyczaj potrzebę stosowania struktury logicznej stochastycznej, tj. sieci typu GAN (ang. *Generalized Analysis Network*). Pozwala to na wielowariantowe ustalanie zależności między zdarzeniami oraz dobieranie w toku realizacji zlecenia innych sposobów wykonania niż pierwotnie zakładano. Wielowariantowość sieci stała się możliwa do przedstawienia dzięki wprowadzeniu przez H. Eisnera (1962) [8], a później dopracowana przez S.E. Elmaghraby (1964) [9] nowego typu zdarzenia, które dotychczas, ze względu na alternatywny charakter rozwiązań, wymagały oddzielnego planowania. W technice GAN zdarzenie składa się z dwóch części: strony wejścia i strony wyjścia. Oprócz korzyści w postaci alternatywnych wejść zdarzeń omawiana technika pozwala uporządkować prawdopodobieństwa realizacji czynności i określić parametry, które charakteryzują bliżej te czynności, np. czasy trwania. Zaletą techniki GAN jest także uwzględnienie powtórzeń i sprzężeń zwrotnych w sieci [10].

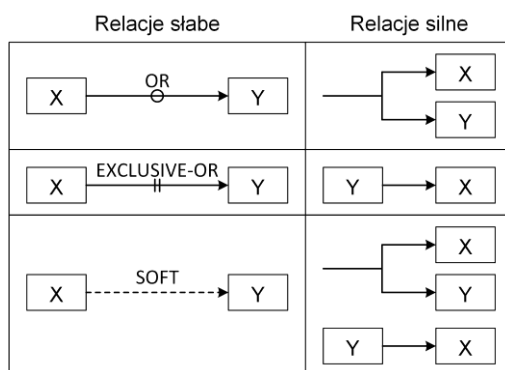
Jedną z metod sieciowych opartych na stochastycznej strukturze logicznej jest metoda GERT (ang. *Graphical Evaluation and Review Technique*) [11]. Wykorzystano w niej elementy sieci GAN oraz reguły algebry grafów [9,12]. Uwzględnione w tych sieciach czynności alternatywne opisują przedsięwzięcia o stochastycznym (losowym) charakterze, podczas realizacji których występują różnorodne zakłócenia. Doświadczenia wynikające ze stosowania metod sieciowych wskazują, że bardziej efektywne jest wprowadzenie do sieci opisującej planowany projekt wszystkich prawdopodobnych czynności alternatywnych przed rozpoczęciem realizacji projektu (podejście proaktywne), aniżeli zmiana sieci czynności w trakcie jego realizacji zgodnie z podejściem reaktywnym. Omawiana technika może mieć zastosowanie w przypadku wszystkich złożonych projektów, szczególnie w skomplikowanych sytuacjach decyzyjnych. Przykładem mogą być prace rozwojowe czy projektowe, w których trudno jest przewidzieć rezultat każdej podjętej decyzji w sposób jednoznaczny.

Dotyczy to również stochastycznego harmonogramowania zleceń produkcyjnych realizowanych w warunkach niepewności ze zidentyfikowanymi uprzednio czynnikami zakłóceń.

W 1992 roku A.H.E. El-Sersy [4] zdefiniował trzy typy zależności słabych do modelowania relacji kolejnościowych wykorzystywanych do reprezentacji następstw w sieciach typu GAN:

- relacja OR (lub) – oznacza, że dwie czynności połączone relacją OR mogą być wykonywane jedna po drugiej, tzn. po zakończeniu poprzedniej czynności; druga dopuszczalna możliwość to równoległe wykonanie obydwu czynności, relację OR oznacza się okręgiem na łuku,
- relacja EXCLUSIVE-OR (albo) – oznacza, że dopuszczalna jest odwrotna kolejność czynności należących do tego typu relacji, relację EXCLUSIVE-OR oznacza się dwoma pionowymi liniami na łuku,
- relacja SOFT (zupełnie słaba) – dopuszcza trzy typy wykonania danych czynności, tj. jedna po drugiej, jedna po drugiej ale w odwrotnej kolejności lub równoległe, relację SOFT oznacza się przerywaną linią na łuku.

Rysunek 1 przedstawia wyróżnione typy relacji kolejnościowych.



Rys. 1. Rodzaje słabych i silnych relacji kolejnościowych [3]

4. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Rozważany problem dotyczy poszukiwania wariantów o minimalnym czasie wykonania zlecenia produkcyjnego opisanego stochastyczną strukturą logiczną. Uwarunkowania realizacyjne zlecenia produkcyjnego można przedstawić za pomocą sieci w konwencji jednopunktowej, zgodnie z modelem matematycznym zaproponowanym w pracy [13]. Relacje kolejnościowe pomiędzy zadaniami produkcyjnymi są modelowane za pomocą unigrafu $G=\langle V, E \rangle$ skierowanego, spójnego i acyklicznego, z jednym wierzchołkiem początkowym i jednym końcowym, w którym $V=\{1, 2, K, n\}$ jest zbiorem zadań produkcyjnych

(określanym mianem czynności w sieci), $E \subset V \times V$ dwuargumentową relacją opisującą zależności kolejnościowe pomiędzy zadaniami. W zbiorze E wyróżnia się dwa rozłączne podzbiory zależności: H – zawierający tradycyjne relacje (silne) i odpowiadające im krawędzie grafu, oraz S – relacje słabe ($H \cup S = E$, $H \cap S = \emptyset$). Dla każdego zadania $j \in V$ określony jest zbiór M_j wariantów technologiczno-organizacyjnych wykonania. Każdy wariant $m \in M_j$ charakteryzują następujące parametry: $t_{j,m} \in N$ – czas wykonania zadania j oraz $k_{j,m} \in R^+$ – koszt wykonania zadania j .

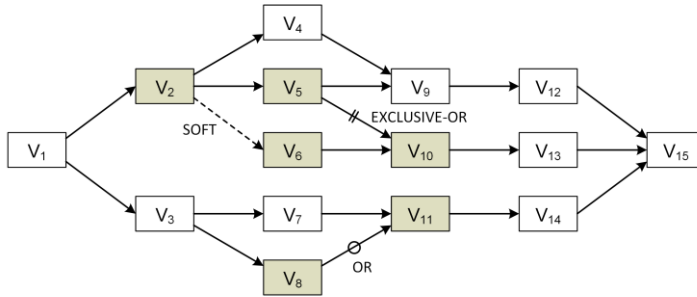
Za pomocą zmiennej binarnej $x_{j,m} \in \{0, 1\}$ modelowane są decyzje o skierowaniu danego wariantu do realizacji. Przyjmuje ona wartość 1, gdy zadanie j będzie realizowane sposobem m , wartość 0 – w przeciwnym przypadku.

Zmienna $y_{i,j} \in \{0, 1\}$, określona dla $\forall (i, j) \in S$, została wprowadzona w celu odzwierciedlenia rzeczywistego charakteru relacji pomiędzy zadaniami w zleceniu produkcyjnym. Przyjmuje ona wartość 0, gdy zależność (i, j) nie uległa osłabieniu i do wykonania zadania j można przystąpić dopiero po zakończeniu realizacji zadania i . Jeżeli zmienna ta przyjmuje wartość 1, oznacza to wystąpienie relacji słabych typu: OR, EXCLUSIVE-OR, SOFT. Osłabienie tych zależności wymaga zazwyczaj wykonania dodatkowych zadań, przeważnie zwiększających koszt realizacji zlecenia i wydłużających czas wykonania zadań. Istotne jest zatem określenie: $k^{(k,l)}$ – kosztu dodatkowych zadań oraz $d_i^{(k,l)}$ – czasu wykonania dodatkowych zadań w procesie, spowodowanych osłabieniem zależności $(k, l) \in S$.

W przykładzie obliczeniowym zastosowano model matematyczny przedstawiony w pracy [13].

5. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Dane zlecenie produkcyjne dotyczy uruchomienia produkcji nowego wyrobu. Składa się z piętnastu zadań wyodrębnionych w formie powiązanych ze sobą procesów. Do reprezentacji graficznej rozważanego zlecenia przyjęto reprezentację wierzchołkową AON (ang. *activity-on-node*). Diagram sieciowy przedstawiono na rysunku 2. Czynności reprezentowane są za pomocą wierzchołków grafu, a relacje kolejnościowe (relacje następstwa) za pomocą łuków. Przyjęto, że czasy trwania czynności są znane i reprezentowane przez pojedynczą wartość w umownych jednostkach czasu (ujc).



Nr zadania	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉	V ₁₀	V ₁₁	V ₁₂	V ₁₃	V ₁₄	V ₁₅
Czas trwania	3	2	3	1	5	6	4	2	8	4	3	7	5	8	3

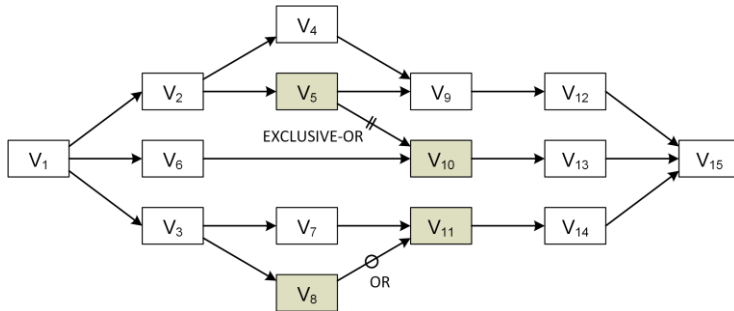
Rys. 2. Diagram sieciowy zlecenia produkcyjnego z relacjami silnymi i słabymi

Wstępna analiza zlecenia wskazuje, że kolejność wykonywania niektórych czynności jest ściśle ustalona, podczas gdy inne cechują się zmiennym charakterem relacji kolejnościowych. Relacje te mają charakter silny lub słaby. Przykładem relacji silnej jest zależność technologiczna między czynnościami: $V_1 < V_2$, $V_2 < V_4$, $V_4 < V_9$, $V_2 < V_5$, $V_5 < V_9$, $V_9 < V_{12}$, $V_{12} < V_{15}$, $V_6 < V_{10}$, $V_{10} < V_{13}$, $V_{13} < V_{15}$, $V_1 < V_3$, $V_3 < V_7$, $V_7 < V_{11}$, $V_3 < V_8$, $V_{11} < V_{14}$, $V_{14} < V_{15}$. Oznacza to, że kolejność realizacji poszczególnych czynności jest ściśle określona i nie może być zmieniona. Relacje słabe dopuszczają inny sposób realizacji czynności należących do tych relacji.

W przykładzie obliczeniowym przyjęto relacje kolejnościowe silne oraz trzy typy relacji słabych opracowanych przez A.H.E. El-Sersy [4]. Wprowadzenie trzech relacji słabych typu: OR, EXCLUSIVE-OR, SOFT prowadzi do powstania dwunastu dopuszczalnych wariantów realizacji rozważanego zlecenia produkcyjnego. Relacja OR i EXCLUSIVE-OR generuje odpowiednio po jednej alternatywie, natomiast relacja SOFT – dwie alternatywy. Czynność V_8 może być wykonana przed czynnością V_{11} lub równoległe z czynnością V_{11} (relacja OR). Relacja EXCLUSIVE-OR między czynnością $V_5 < V_{10}$ oznacza, że czynność V_5 może być wykonana w ustalonej kolejności, tj. przed zakończeniem czynności V_{10} albo w odwrotnej kolejności, tj. czynność V_{10} wykonana bezpośrednio przed czynnością V_5 . Połączenie czynności V_2 i V_6 relacją SOFT oznacza, że dane czynności mogą być realizowane w przyjętej kolejności $V_2 < V_6$, w odwróconej kolejności $V_6 < V_2$ lub obie czynności mogą być wykonywane równoległe.

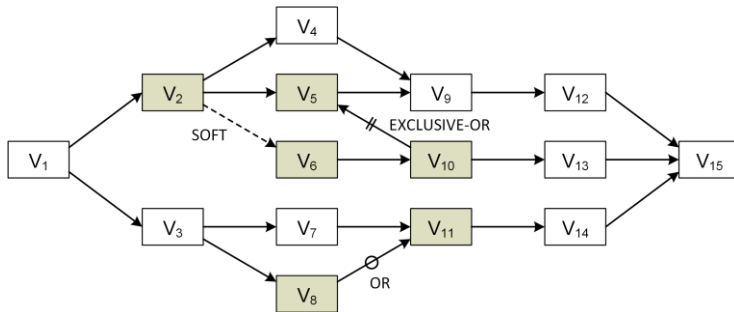
Przyjęto, że wprowadzenie relacji słabych (por. rys. 1) prowadzi do modyfikacji wykresów sieciowych rozpatrywanego zlecenia. Model należy uzupełnić o zidentyfikowane relacje między czynnościami. Poniżej przedstawiono kolejne cztery, spośród dwunastu, graficzne warianty realizacji zlecenia, uwzględniające dopuszczalne relacje następstwa. Dopuszczalny scenariusz

diagramu sieciowego obrazuje rysunek 3. Wynika z niego, że czynności V_2 i V_6 mogą być wykonywane równolegle w wyniku uwzględnienia relacji zupełnie słabej SOFT. Pozostałe zależności między czynnościami nie zostały zmienione.



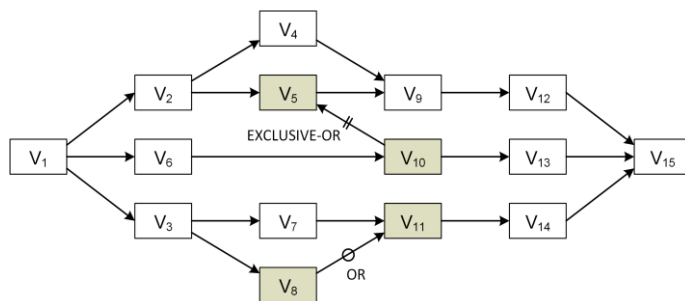
Rys. 3. Dopuszczalny wariant realizacji zlecenia produkcyjnego po aktywowaniu relacji zupełnie słabej SOFT

Rysunek 4 przedstawia dopuszczalny wariant realizacji zlecenia produkcyjnego powstały po aktywowaniu relacji EXCLUSIVE-OR. Wynika z niego, że czynność V_5 realizowana jest w odwrotnej kolejności, tj. bezpośrednio po zakończeniu czynności V_{10} , czynność V_2 i V_6 mają zachowaną kolejność realizacji. Sekwencja pozostałych czynności pozostała bez zmian.



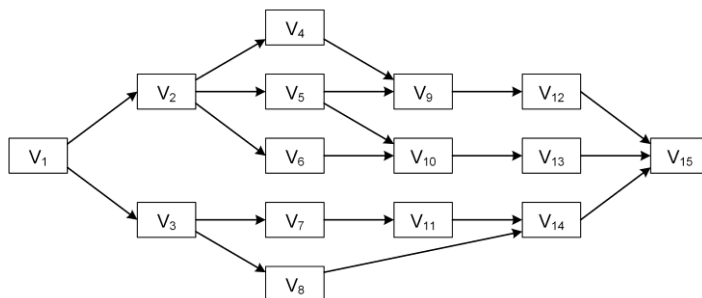
Rys. 4. Dopuszczalny model sieciowy zlecenia produkcyjnego po aktywowaniu relacji EXCLUSIVE-OR

Kolejny wariant (rys. 5) wskazuje, że dopuszczalna jest realizacja rozważanego zlecenia przy innym układzie czynności. Czynności V_2 i V_6 mogą być wykonywane równolegle (tak jak na rys. 4) przy odwróconej kolejności realizacji czynności V_5 i V_{10} .



Rys. 5. Dopuszczalny wariant realizacji zlecenia produkcyjnego po aktywowaniu relacji słabej SOFT i EXCLUSIVE-OR

Rysunek 6 jest ilustracją graficzną dopuszczalnego wariantu realizacji zlecenia, gdzie czynności V_8 i $V_7 < V_{11}$ mogą być wykonywane równoległe, uwzględniono relację słabą OR.



Rys. 6. Dopuszczalny wariant realizacji zlecenia produkcyjnego po aktywowaniu relacji słabej OR

Celem zilustrowania wpływu relacji słabych na całkowity czas realizacji rozważanego zlecenia wyznaczono dla każdego z pięciu prezentowanych wariantów, modeli sieciowych, ścieżki krytyczne oraz planowany czas wykonania zlecenia w każdym układzie kolejnościowym. Tabela 1 przedstawia wyznaczone ścieżki krytyczne poszczególnych wariantów wykonania zlecenia wraz z planowanym czasem jego realizacji. Wynika z niej, że najkrótszy termin realizacji rozważanego zlecenia wynosi 28 ujc. Realizacja zlecenia w wariacie pierwszym, drugim i piątym umożliwia najkrótszy czas wykonania zlecenia. Wariant numer 4, uwzględniający relację zupełnie słabą SOFT (równoległe wykonywanie czynności V_2 i V_6) i relację EXCLUSIVE-OR (odwrotna kolejność czynności V_5 i V_{10}), prowadzi do wydłużenia czasu realizacji zlecenia o 8 ujc do 36 ujc. Ostatni przedstawiony w pracy wariant (wariant numer 3) charakteryzuje się najdłuższym czasem wykonania danego zlecenia. W tym przypadku całkowity czas realizacji zlecenia wynosi 38 ujc.

Tab. 1. Zestawienie wyników poszczególnych scenariuszy realizacji zlecenia produkcyjnego

Numer wariantu	Numer rysunku z diagramem sieciowym	Ścieżka krytyczna	Planowany czas realizacji projektu (ujc)
1	Rys. 2	$V_1 < V_2 < V_5 < V_9 < V_{12} < V_{15}$	28
2	Rys. 3	$V_1 < V_2 < V_5 < V_9 < V_{12} < V_{15}$	28
3	Rys. 4	$V_1 < V_2 < V_6 < V_{10} < V_5 < V_9 < V_{12} < V_{15}$	38
4	Rys. 5	$V_1 < V_6 < V_{10} < V_5 < V_9 < V_{12} < V_{15}$	36
5	Rys. 6	$V_1 < V_2 < V_5 < V_9 < V_{12} < V_{15}$	28

Uzyskane rozwiązania w wariantach pierwszym, drugim i piątym są lepsze z punktu widzenia kryterium czasu. Pojawia się pytanie: czy są one równie dobre punktu widzenia kolejnych kryteriów, np. kosztowych? Rozważane zagadnienie sprowadza się do problemu minimalizacji kosztu realizacji projektu przy ustalonym, nieprzekraczalnym terminie dyrektywnym zlecenia i będzie przedmiotem dalszych analiz.

6. WNIOSKI

W zintegrowanym rozwoju wyrobów, procesów i systemów wytwarzania stosowanych jest szereg metod wspomagających działania, które tworzą informację ukierunkowaną na ich właściwe definiowanie i modelowanie. Jednym z ważniejszych efektów wdrażania do praktyki przemysłowej metod umożliwiających realizację nowoczesnych strategii rozwojowych wyrobów jest skrócenie cykli uruchomień nowych wyrobów oraz przyspieszenie realizacji zleceń produkcyjnych. Skala uzyskiwanych efektów zależy od sprawności powiązań informacyjno-decyzyjnych fazy technicznego przygotowania produkcji ze sferą planowania systemów sterowania produkcją [14]. Zintegrowany proces realizacji projektu produkcyjnego odzwierciedla sieć w postaci etapów, zadań, aktywności i występujących współzależności między nimi. Takie współzależności między poszczególnymi etapami wynikają ze współzależności zadań oraz wymaganej wiedzy na poszczególnych etapach wykonania projektu.

Wprowadzenie w modelach realizacji zleceń produkcyjnych relacji słabych zwiększa liczebność zbioru rozwiązań dopuszczalnych w problemie minimalizacji czasu ich wykonania, co docelowo może zwiększać zakres wartości kryterium optymalizacji i powodować konieczność wyznaczenia wariantu realizacji z minimalnym kosztem (lub ustalenia rozwiązań Pareto-optymalnych). Jest to istotne z punktu widzenia efektywności realizacji zleceń produkcyjnych, zarówno po stronie wykonawcy, jak i zleceniodawcy.

Zastosowanie zależności słabych do stochastycznego harmonogramowania zleceń produkcyjnych umożliwia proaktywną antycypację skutków wystąpienia zakłóceń, uzyskiwaną poprzez wielowariantowość proponowanych rozwiązań przy uwzględnieniu różnych sytuacji decyzyjnych. Zwiększa to elastyczność w ustalaniu terminów realizacji, jak również alokacji zasobów, umożliwiając tym samym wyrównanie poziomu ich zapotrzebowania w warunkach konieczności redukcji czasu realizacji zlecenia.

LITERATURA

- [1] PAJĄK E.: *Zarządzanie produkcją: produkt, technologia, organizacja*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006.
- [2] TAMIMI S., DIEKMANN J.: *Soft logic in network analysis*. Journal of Computing in Civil Engineering, 2(3), 1988, 289–300.
- [3] WANG W.C.: *Impact of soft logic on the probabilistic duration of construction project*. International Journal of Project Management, 23, 2005, 600–610.
- [4] EL-SERSY A.H.E.: *An intelligent data model for schedule updating*. Doctoral dissertation. University of California, Berkeley, CA, 1992.
- [5] PMI Standards Committee: *A guide to the project management body of knowledge*. 5th edition. PMI, Newtown Square, PA, 2013.
- [6] WYSOCKI R.K.: *Efektywne zarządzanie projektami. Tradycyjne, zwinne, ekstremalne*. Wydawnictwo Onepress-Helion, Gliwice, 2013.
- [7] PISZ I., ŁAPUŃKA I.: *The idea of operationalization of the conceptual model of project driven orders for small and medium-sized enterprises in condition of uncertainty*. [w:] Knosala R. (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole, 2012, 297–308.
- [8] EISNER H.: *A generalized network approach to the planning and scheduling of a research project*. Operations Research, 10(1), 1962, 115–125.
- [9] ELMAGHRABY S.E.: *An algebra for the analysis of generalized activity networks*. Management Science, 10(3), 1964, 494–514.
- [10] ŻUBER R.: *Metody sieciowe w planowaniu przygotowania produkcji*. Przegląd Organizacji, 10, 1974, 432–434.
- [11] PRITSKER A.A.B.: *GERT: graphical evaluation and review technique*. Rand Corporation, RN-4973-NASA, Santa Monica, April 1966.
- [12] ZHANG L., ZOU X.: *Repetitive project scheduling: theory and methods*. Elsevier, Amsterdam-Oxford-Waltham, 2015.
- [13] JAŚKOWSKI P., SOBOTKA A.: *Modelowanie problemu redukcji czasu realizacji przedsięwzięcia budowlanego*. Przegląd Budowlany, 9, 2008, 55–58.
- [14] DUDA J., STADNICKI A.: *Modelowanie procesów rozwoju wyrobów*. [w:] Knosala R. (red.), *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, t. 1, Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole, 2011, 272–283.

Alfred PASZEK*

OPRACOWANIE PRZYBLIŻONEJ REPREZENTACJI WIEDZY DLA BUDOWY SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA WIEDZĄ PRODUKCYJNĄ

Streszczenie

W pracy przedstawiono przykłady opracowania przybliżonej reprezentacji wiedzy, które znajdują zastosowanie w budowie systemów zarządzania wiedzą w przedsiębiorstwie. Dokonano analizy zastosowania zbiorów rozmytych wspomagających opracowanie reguł wnioskowania w doborze materiałów wejściowych do produkcji elementów maszyn. Pokazano sposób zapisu stwierdzeń oraz reguł z wykorzystaniem współczynników pewności CF, umożliwiających podejmowanie decyzji w warunkach niepewności wyboru stanowisk technologicznych.

1. WSTĘP

Nowoczesna gospodarka powinna być oparta na zasobach wiedzy oraz ich odpowiednim zarządzaniu. Postrzegane jest to jako najważniejsze źródło przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw [1]. Dotyczy to nie tylko przedsiębiorstw, w których kapitał intelektualny pracowników jest zasadniczym zasobem przekształcanym w produkty takie jak np.: ekspertyzy, projekty, oprogramowanie. Zarządzanie zasobami wiedzy stało się ważnym działaniem w rozwoju przedsiębiorstw, w których dominują procesy produkcji, stając się głównym źródłem innowacji. Rozwijanie wiedzy w przedsiębiorstwie następuje głównie poprzez rozmaite procesy uczenia się. Postępy w tej dziedzinie wymagają przyjęcia zintegrowanego, interdyscyplinarnego i strategicznego punktu widzenia. Strategicznym celem zarządzania wiedzą jest pomnażanie kapitału intelektualnego i zwiększanie sprawności organizacji [2,3,4].

* Politechnika Opolska, Instytut Innowacyjności Procesów i Produkcji, ul. Ozimska 75, Opole, a.paszek@po.opole.pl

Prowadzone są szerokie badania nad budową oraz wdrażaniem komputerowych systemów zarządzania wiedzą [5,6]. Działanie takich systemów wspomaga podejmowanie różnorodnych decyzji w przedsiębiorstwach oraz usprawnia procesy pozyskiwania, przechowywania i wykorzystania wiedzy, potrzebnej do wytworzenia produktów. Systemy zarządzania wiedzą umożliwiają uzyskanie istotnych informacji o procesach i systemach produkcyjnych. Stanowią podstawę sprawnie działających systemów zarządzania w przedsiębiorstwach. Uwzględniając specyfikę działania systemów zarządzania wiedzą można wymienić następujące korzyści w ich zastosowaniu, takie jak: udoskonalanie procesów i produktów, minimalizacja kosztów produkcji oraz polepszenie przepływu informacji w procesach produkcji [7].

2. BUDOWA SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA WIEDZĄ PRODUKCYJNĄ

Punktem wyjściowym budowy systemów zarządzania wiedzą jest analiza zasobów wiedzy występujących w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Pojęcie wiedzy produkcyjnej oznacza takie zbiory informacji, dzięki którym można realizować podstawowe cele przygotowania produkcji. Należy zauważyć, że wiedza produkcyjna stanowi zbiór informacji o procesie produkcyjnym realizowanym w ściśle określonych realiach danego przedsiębiorstwa. Jest to dynamiczny zbiór informacji, co związane jest z ciągłymi zmianami procesów np. parametrów obróbki, parku maszynowego, narzędzi skrawających itp.

Podstawowym modułem systemu zarządzania wiedzą jest baza wiedzy produkcyjnej. Jest to istotne źródło informacji o produktach, technologii oraz rozwiązaniach organizacyjnych w przedsiębiorstwie. Właściwie opracowana baza wiedzy stanowi podstawowy element budowy systemu, warunkujący zdolność przedsiębiorstwa do szybkiego reagowania na zmiany rynkowe oraz jest głównym źródłem innowacji w przedsiębiorstwie. Budowa bazy wiedzy wymaga przetwarzania odpowiednich zasobów wiedzy produkcyjnej w celu opracowania reprezentacji tej wiedzy [7].

Pojęcie reprezentacji wiedzy oznacza niezależny od rozpatrywanej informacji ogólny formalizm przekazywania, zapisywania i gromadzenia dowolnego zasobu wiedzy. Stanowi to kombinację struktur danych oraz odpowiednich procedur interpretacyjnych. Reprezentacja wiedzy zależnie od sposobu przedstawiania wiedzy w systemie, może być wyrażona poprzez [8]:

- procedury – w tym przypadku baza wiedzy jest ściśle zintegrowana w sposób programowy z systemem zarządzania wiedzą,
- deklaracje – umożliwiają wyodrębnienie bazy wiedzy w strukturze systemu zarządzania wiedzą, co ułatwia jej zapis oraz modyfikacje programowe.

3. PRZYBLIŻONA REPREZENTACJA WIEDZY PRODUKCYJNEJ

Działania projektantów systemów zarządzania wiedzą związane z przetwarzaniem odpowiednich zasobów wiedzy w przedsiębiorstwach mają często charakter przybliżony. To przybliżenie, zwane również niepewnością, rozumie się jako brak pełnej informacji do podjęcia wymaganej decyzji. W celu umożliwienia sprawnego działania systemów w takich warunkach pomocne jest zastosowanie elementów logiki rozmytej [9]. Opracowana na tej podstawie reprezentacja wiedzy będzie posiadała cechy reprezentacji przybliżonej. Zastosowanie takiej reprezentacji jest korzystne w przypadku, gdy należy wybrać rozwiązanie spośród kilku, prawie równorzędnych rozwiązań danego problemu decyzyjnego. Baza wiedzy systemu, opracowana na podstawie jej reprezentacji, prowadzi wtedy do konkretnego rozwiązania problemu decyzyjnego.

3.1. Metody reprezentacji wiedzy z wykorzystaniem zbiorów rozmytych

Zastosowanie zbiorów rozmytych w reprezentacji wiedzy polega na wyrażeniu niepewności wiedzy poprzez funkcje przynależności, opracowane dla przesłanek i konkluzji rozpatrywanego problemu decyzyjnego. Zbiór rozmyty elementów x w przestrzeni X jest zbiorem, w którym nie ma dokładnej granicy między elementami tego zbioru i pozostałymi elementami przestrzeni X . Zakładając, że zbiór A jest zbiorem rozmytym w przestrzeni X , można przedstawić ten zbiór w postaci par elementów, a mianowicie [10]:

$$A = \{x, \mu_A(x)\}, x \in X \quad (1)$$

Funkcja μ_A jest funkcją przynależności, a jej wartość $\mu_A(x)$ jest stopniem przynależności x do zbioru rozmytego A : od nieprzynależności ($\mu_A(x)=0$), przez przynależność cząstkową ($0 < \mu_A(x) < 1$) do całkowitej przynależności ($\mu_A(x)=1$). W zbiorach rozmytych przejście od przynależności do nieprzynależności ma charakter stopniowy, w odróżnieniu od zbioru konwencjonalnego, gdzie występuje zmiana skokowa. Funkcje przynależności przedstawia się zwykle w postaci graficznej [11].

Dla pary zbiorów rozmytych A i F zawartych w skończonej przestrzeni X , można określić stopień możliwości oraz stopień pewności stwierdzeń opartych na tych zbiorach. Stopień możliwości Π określa stwierdzenie, że zbiór A zawiera element rozmyty o wartości F . Stopień pewności N jest określony za pomocą miary braku możliwości stwierdzenia, że zbiór rozmyty \bar{A} , odwrotnie do zbioru A , zawiera element rozmyty o wartości F . Stopnie Π oraz N stosowane są w budowie stwierdzeń orzekających o wyborze określonego wariantu rozwiązania problemu decyzyjnego. Do wartości stopni zostają przyporządkowane stałe lingwistyczne, które zapisywane są w regułach [12].

3.2. Zastosowanie współczynników pewności w reprezentacji wiedzy

Współczynniki pewności CF służą do oceny stopnia pewności stwierdzeń i reguł, modeli relacyjnych oraz wyprowadzanych wniosków reprezentujących wiedzę dziedzinową. Wnioskowanie z zastosowaniem współczynników CF ma charakter przybliżony. Współczynniki pewności są przeważnie subiektywną oceną pewności reguł i warunków zamieszczonych w bazie wiedzy. Możliwa jest jednak w wielu przypadkach ich weryfikacja eksperymentalna. Wybór współczynników jest odzwierciedleniem pewnej hierarchii wartości i preferencji wyboru wariantów rozwiązań.

W celu umożliwienia zapisu stwierdzeń każdej trójce $\langle O, A, V \rangle$, gdzie O oznacza obiekt, A – nazwa atrybutu, V – wartość atrybutu, zostaje przypisany współczynnik pewności CF. Prowadzi to do zapisu stwierdzeń w postaci czwórki, według następującego schematu [7]:

$$\langle O, A, V, CF \rangle \quad (2)$$

W zapisie reguł wnioskowania stosowane są stwierdzenia, z których zbudowane są części przesłankowe (warunkowe) i konkluzyjne (działaniowe) reguł. Zastosowanie współczynników pewności CF w regułach polega więc na tym, że wprowadza się je najpierw do stwierdzeń, a następnie tak opracowane stwierdzenia łączy się, dochodząc do zapisu regułowego. Utworzone w ten sposób reguły można nazwać przybliżonymi regułami wnioskowania. Dla ogólnej budowy reguł wnioskowania:

JEŻELI *przesłanki(warunki)* **TO** *konkluzje(działania)*

występują następujące przypadki budowy przybliżonych reguł wnioskowania:

JEŻELI *niepewne przesłanki* **TO** *niepewne konkluzje*

JEŻELI *niepewne przesłanki* **TO** *dokładne konkluzje*

JEŻELI *dokładne przesłanki* **TO** *niepewne konkluzje*

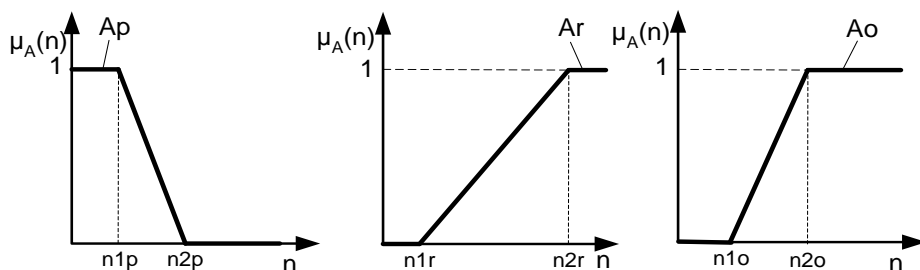
Można wyciągnąć wniosek, że jeżeli choć jedno stwierdzenie zastosowane w przesłance lub konkluzji reguły, będzie posiadać współczynnik CF o wartości mieszczącej się w przedziałach $(-1; 1)$, to taką regułę można będzie przyporządkować do zbioru przybliżonych reguł wnioskowania. Wnioskowanie z użyciem tej reguły będzie się odbywać w warunkach niepewności wyboru.

4. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA ZBIORÓW ROZMYTYCH W OPRACOWANIU PRZYBLIŻONEJ REPREZENTACJI WIEDZY

Prezentowany przykład dotyczy zastosowania zbiorów rozmytych w doborze materiału wejściowego do produkcji wybranych elementów maszyn. Analiza procesów przygotowania produkcji pozwoliła na przyjęcie następujących zbiorów, zależnych od wielkości produkcji:

- A_p – wielkość produkcji elementów wytwarzanych z pręta walcowanego,
- A_r – wielkość produkcji elementów wytwarzanych z rury grubościennej,
- A_o – wielkość produkcji elementów wytwarzanych z odkuwki matrycowej.

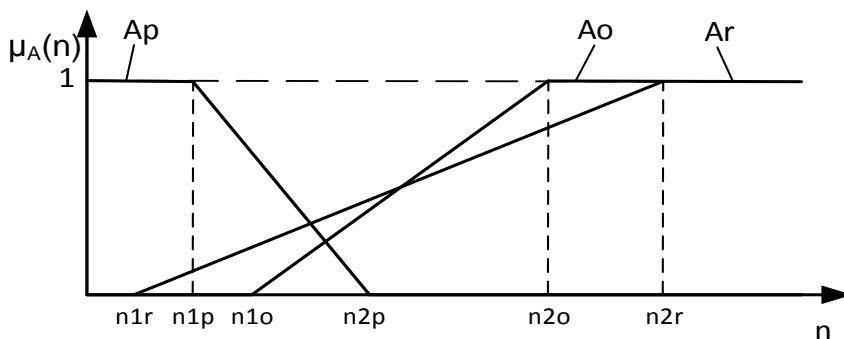
Każdy ze zbiorów został zdefiniowany przez funkcję przynależności $\mu_A(n)$, której wartość zależy od liczby n produkowanych elementów. Opracowanie wykresów funkcji przynależności dla przyjętych wariantów materiałów wejściowych pokazane na rys. 1, stanowi początkowy etap budowy reprezentacji wiedzy.



Rys. 1. Wykresy funkcji przynależności zbiorów rozmytych dla wariantów materiałów wejściowych (opracowanie własne)

Przebieg funkcji przynależności określa przedziały liczbowe charakteryzujące przynależność elementu, w tym przypadku wielkości produkcji wyrażonej liczbą n , do zbioru rozmytego. Na wykresach funkcji $\mu_A(n)$ przedstawionych na rys. 1 widać, że występują przedziały liczbowe w których wartość funkcji $\mu_A(n)$ wynosi 1, czyli elementy należą całkowicie do zbioru. W tych przedziałach, dla każdej funkcji z osobna, występuje pewność, że należy przyjąć do produkcji dany materiał wejściowy. Występują także przedziały liczbowe w których wartość funkcji $\mu_A(n)$ wynosi 0, czyli oznacza to, że elementy zupełnie nie należą do zbioru. W tych przedziałach ma się pewność, że nie należy przyjmować do produkcji danego materiału wejściowego, również oddzielnie dla każdej funkcji. Na rys. 1 zaznaczono przedziały $(n1; n2)$, w których przynależność elementów do zbioru jest częściowa, czyli w takim przypadku nie ma pewności wyboru. Na tej podstawie można wybierać dany materiał do produkcji, ale należy rozpatrzyć przy tym różne czynniki, które na to wpływają.

Następnym etapem budowy przybliżonej reprezentacji wiedzy jest złożenie wykresów funkcji przynależności opracowanych zbiorów rozmytych. Przykład takiego złożenia pokazano na rys. 2.



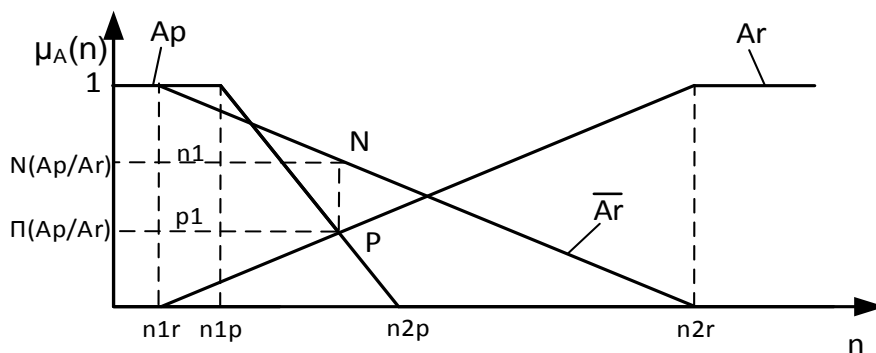
Rys. 2. Przykład złożenia wykresów funkcji przynależności przyjętych zbiorów rozmytych (opracowanie własne)

Analiza wykresów funkcji przynależności (rys. 2) prowadzi do opracowania przedziałów liczbowych wielkości produkcji, na podstawie których można wnioskować o wyborze danego materiału wejściowego. Występują dwa rodzaje takich przedziałów:

1. Przedziały, w których można jednoznacznie i pewnie wybrać materiał wejściowy z którego będzie produkowany element.
Wartość funkcji przynależności $\mu_A(n)$ w tych przedziałach wynosi 1. Są to następujące przedziały widoczne na rys. 2: $(0; n1r>$ dla produkcji z pręta walcowanego oraz $<n2r; +\infty)$ dla produkcji z rury grubościennej.
2. Przedziały, w których wybór materiału wejściowego jest niepewny i występuje jednocześnie więcej wariantów rozwiązań.
W tym przypadku wartość funkcji przynależności $\mu_A(n)$ mieści się w przedziale $(0; 1)$. W prezentowanym przykładzie jest to przedział wielkości produkcji $(n1r; n2r)$.

Dla przedziałów drugiego rodzaju, w celu ułatwienia wyboru wariantu materiału wejściowego do produkcji elementów, zastosowane zostaną stopnie możliwości Π oraz stopnie pewności N stwierdzeń, opartych na zbiorach rozmytych. Stwierdzenia te zakładają możliwość i pewność wyboru danego wariantu i w prezentowanym przykładzie związane są z podobieństwem postaci konstrukcyjnej materiału wejściowego z postacią konstrukcyjną gotowego elementu. Punktem wyjściowym wyznaczenia wartości stopni jest przyjęcie odpowiednich zbiorów rozmytych dla wariantów dopuszczalnych. Przebiegi przykładowych funkcji przynależności zostały przedstawione na rys. 1, a złożenie tych funkcji obrazuje rys. 2. Na tej podstawie zostaną wyznaczone wartości stopni stwierdzeń poprzez zastosowanie metody graficznej.

Na rys. 3 pokazano graficzny sposób wyznaczania wartości stopni możliwości i pewności stwierdzenia dla wyboru rury grubościennej w przypadku, gdy wybór pręta walcowanego staje się niepewny. Wielkość produkcji znajduje się wtedy w przedziale $(n1p; n2p)$. Wariant odkuwki matrycowej został w tym przypadku pominięty ze względu na małą wartość funkcji przynależności w tym przedziale (rys. 2).



Rys. 3. Graficzne wyznaczenie stopni możliwości i pewności wyboru rury grubościennej (opracowanie własne)

Wartości stopni stwierdzenia wyznaczone zostały na podstawie punktu P przecięcia funkcji: $\mu_{Ap}(n)$ i $\mu_{Ar}(n)$ dla stopnia możliwości $p1$ oraz poprzez rzut N tego punktu na wykres funkcji odwrotnej $\mu_{Ar}(n)$ dla stopnia pewności $n1$. Wyznaczone wartości stopni $p1$ i $n1$ zostały zastosowane w budowie reguł wnioskowania, które stanowią przybliżoną reprezentację wiedzy. Ogólna budowa tych reguł przedstawia się następująco:

JEŻELI <liczba produkowanych elementów> **i** <wartości stopni możliwości i pewności stwierdzenia dla wyboru i-tego wariantu> **TO** <zastosować wariant i>

Przykład zapisu reguły wnioskowania wygląda następująco:

JEŻELI <liczba produkowanych elementów jest w przedziale $(n1p; n2p)$ >
i <wartość stopni $(n1; p1)$ > **TO** <zastosować pręt walcowany>

W częściach warunkowych reguł można zamieścić stwierdzenie orzekające o podobieństwie postaci konstrukcyjnych materiału wejściowego z gotowym elementem. W celu zbadania, czy dane stwierdzenie jest spełnione mogą być stosowane stałe lingwistyczne. Stałe te można zapisać za pomocą stopni możliwości i pewności w postaci pary liczb $\langle n \ p \rangle$. Przykładowy zbiór stałych lingwistycznych pokazano w tab. 1.

Tab. 1. Przykładowy zbiór stałych lingwistycznych (opracowanie własne)

Nazwa stałej lingwistycznej	Wartość stopnia możliwości oraz stopnia pewności
na pewno tak	<1 1>
prawie tak	<0,7 1>
raczej tak	<0,4 1>
raczej nie	<0 0,6>
prawie nie	<0 0,3>
na pewno nie	<0 0>

Wyznaczone wartości stopni p1 i n1 porównywane są z wartościami stopni dla stałych lingwistycznych i w przypadku, gdy mieszczą się w zakresie danej stałej to zostaje ona wybrana do zapisu reguły wnioskowania. Przykłady zapisu reguł, w których zastosowano stałe lingwistyczne oraz stwierdzenia orzekające o podobieństwie postaci konstrukcyjnych zamieszczono poniżej:

JEŻELI <liczba produkowanych elementów jest w przedziale (n1p; n2p)>
i < postać materiału wejściowego raczej nie musi być zbliżona do postaci gotowego elementu> **TO** <zastosować pręt walcowany>

JEŻELI <liczba produkowanych elementów jest w przedziale (n1p; n2p)>
i < postać materiału wejściowego ma być prawie zbliżona do postaci gotowego elementu> **TO** <zastosować rurę grubościenną>

Na podstawie przedstawionego przykładu można stwierdzić, że opracowane reguły wnioskowania umożliwiają rozwiązanie problemów związanych z niepewnością wiedzy w projektowaniu procesów produkcyjnych.

5. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA WSPÓŁCZYNNIKÓW PEWNOŚCI W PRZYBLIŻONEJ REPREZENTACJI WIEDZY

W bazach wiedzy systemów zarządzania wiedzą stosowane są zmienne łańcuchowe o niepewnym charakterze. Zmienne te przyjmują wartości ze zbioru współczynników pewności CF. Wymaga to opracowania odpowiedniej reprezentacji wiedzy, dzięki której możliwe jest wnioskowanie oraz wykonywane są działania na przyjętych zmiennych. Zapis współczynników CF zostanie przedstawiony dla przybliżonej reprezentacji wiedzy, wyrażonej za pomocą stwierdzeń i reguł wnioskowania.

5.1. Zapis stwierdzeń

Opracowany przykład przedstawia wiedzę niepewną dotyczącą zastosowania danego materiału wejściowego w produkcji wybranego elementu. W ogólnej postaci stwierdzenia $\langle O, A, V, CF \rangle$, opisanej w punkcie 3.2, zamieszczono:

- nazwę materiału (O),
- nazwy wymiarów charakterystycznych materiału (A),
- wartości wymiarów charakterystycznych materiału (V),
- wartość współczynnika CF, określającą stopień pewności stosowania materiału wejściowego dla produkowanego elementu.

Na tej podstawie opracowano następujące przykłady stwierdzeń:

1. Dla pręta walcowanego o średnicy zewnętrznej 45 mm:

$\langle \text{PRET, Dz, 45, } \mathbf{0.3} \rangle$

2. Dla rury grubościennej o średnicy zewnętrznej 42 mm i średnicy wewnętrznej 20 mm:

$\langle \text{RURA, (Dz, Dw), (42, 20), } \mathbf{0.5} \rangle$

3. Dla odkuwki matrycowej o średnicy zewnętrznej 41 mm, średnicy wewnętrznej 19 mm i długości 40 mm:

$\langle \text{ODKUWKA, (Dz, Dw, L), (41, 19, 40), } \mathbf{0.9} \rangle$

Należy zauważyć, że wartość współczynnika CF dla danego materiału może się zmieniać w zależności od warunków opisujących rozwiązywany problem, np. wielkości produkcji, rodzaju elementu itp.

5.2. Zapis reguł wnioskowania

Opracowane przykłady reguł wnioskowania dotyczą doboru obrabiarek do obróbki toczeniem wybranych elementów maszyn. Ustalono, że dobór ten uzależniony jest od charakterystycznych wymiarów elementów oraz wielkości produkcji wyrażonej za pomocą przyjętego określenia typu produkcji. W określeniu typu produkcji wprowadzono niepewność wiedzy, gdyż występują zakresy liczbowe produkowanych sztuk dla których trudno jest stwierdzić, jaki występuje dokładnie typ produkcji. Części przesłankowe (warunkowe) reguł składają się zatem z dwóch rodzajów stwierdzeń:

- stwierdzenia dokładne dotyczące wymiarów elementów obrabianych,
- stwierdzenia niepewne dotyczące typu produkcji.

Wynikiem wnioskowania na podstawie opracowanych reguł są konkretne nazwy obrabiarek, stosowanych w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym. Zauważono, że dla podanych warunków wyboru w niektórych wariantach rozwiązań nie ma pewności, co do zastosowania danej obrabiarki. Wobec tego w częściach konkluzyjnych reguł wprowadzono stwierdzenia niepewne. Ogólna budowa reguł dla tak opracowanych przesłanek i konkluzji przedstawia się następująco:

JEŻELI <wymiary elementu> **i** <typ produkcji(CF)>
TO <nazwa obrabiarki(CF)>

Wprowadzenie współczynnika CF w budowie reguł umożliwia podejmowanie decyzji w warunkach niepewności wyboru rozwiązania. Występuje tutaj przypadek niepewności przesłanek oraz niepewności konkluzji, pokazany w punkcie 3.2.

Poniżej przedstawiono przykłady zapisu reguł wnioskowania zgodnie z podaną wyżej ogólną ich budową dla doboru obrabiarek w procesach obróbkowych wybranego przedsiębiorstwa:

- R1:** **JEŻELI** <średnica zewnętrzna elementu ≤ 95 mm> **i** <typ produkcji seryjny (CF=0.8)> **TO** <zastosować automat KA-200 (CF=0.7)>
- R2:** **JEŻELI** <średnica zewnętrzna elementu ≤ 95 mm> **i** <typ produkcji seryjny (CF=0.6)> **TO** <zastosować automat FAR-250u (CF=0.9)>
- R3:** **JEŻELI** <średnica zewnętrzna elementu ≤ 95 mm> **i** <typ produkcji masowy (CF=1)> **TO** <zastosować automat KA-200 (CF=1)>
- R4:** **JEŻELI** <średnica zewnętrzna elementu > 95 mm> **i** <średnica zewnętrzna elementu < 170 mm> **i** <typ produkcji masowy(CF=0.9)> **TO** <zastosować automat EMAG MSC-22 (CF=1)>
- R5:** **JEŻELI** <średnica zewnętrzna elementu > 95 mm> **i** <średnica zewnętrzna elementu < 170 mm> **i** <typ produkcji jednostkowy(CF=0.4)> **TO** <zastosować automat TZD 63N (CF=0.5)>

Przedstawione przykłady zapisu stwierdzeń oraz reguł wnioskowania pozwalają określić korzyści w zastosowaniu współczynników pewności CF:

- możliwość wyrażenia preferencji w wyborze określonego wariantu rozwiązania w przypadku, gdy decyzje zależą od wielu czynników,
- możliwość weryfikacji wartości współczynników pewności na podstawie doświadczeń oraz intuicji projektantów procesów produkcyjnych,
- uzyskiwane wyniki wnioskowania stosującego współczynniki pewności są zgodne z wynikami „wnioskowania zdroworozsądkowego”, niesformalizowanego i stosowanego w warunkach niepewności wiedzy.

6. WNIOSKI

Opracowanie przybliżonej reprezentacji wiedzy umożliwia budowę systemów zarządzania wiedzą wspomagających podejmowanie decyzji w warunkach niepewności i braku pełnej informacji o rozwiązywanych problemach. Systemy takie posiadają bazę wiedzy, w której zapisywane są przybliżone stwierdzenia oraz reguły wnioskowania. Podstawą opracowania elementów reprezentacji wiedzy jest zastosowanie logiki rozmytej, a szczególnie działania na zbiorach rozmytych oraz wprowadzanie współczynników pewności CF.

Należy zauważyć, że wiedza zamieszczona w systemie powinna pochodzić od eksperta dziedzinowego, a skuteczność i efektywność działania systemu zależy głównie od umiejętności zamodelowania tej wiedzy przez projektanta systemu. Istotny jest prawidłowy dobór wariantów dopuszczalnych oraz ich uporządkowanie pod względem ważności zastosowania w konkretnym przypadku. Podstawową zaletą zastosowania przybliżonej reprezentacji wiedzy jest uwzględnienie wielowariantowości rozwiązań oraz przybliżonego sposobu rozwiązywania problemów decyzyjnych.

LITERATURA

- [1] PROBST G., RAUB S., ROMHARDT K.: *Zarządzanie wiedzą w organizacji*. Oficyna Ekonomiczna, Kraków, 2002.
- [2] DAVENPORT T.H., PROBST B.: *Knowledge management case book. Best Practises*. Corporate Publishing John Wiley&Sons, Berlin&Munich, 2002.
- [3] EDVISSON L., MALONE M.S.: *Kapitał intelektualny*. PWN, Warszawa, 2001.
- [4] JASHAPARA A.: *Zarządzanie wiedzą*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2006.
- [5] MADANMOHAN R.: *Knowledge Management. Tools and Techniques. Practitioner and Experts Evaluate KM Solutions*. Elsevier Butterworth-Heinemann, New York, 2005.
- [6] KOWALCZYK A., NOGALSKI B.: *Zarządzanie wiedzą. Koncepcja i narzędzia*. Wydawnictwo DIFIN, Warszawa, 2007.
- [7] TRAJER J., PASZEK A., IWAN S.: *Zarządzanie wiedzą*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2012.
- [8] KNOSALA R. i zespół: *Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2002.
- [9] YAGER R., FILEV D.: *Essential of fuzzy modelling and control*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.
- [10] KACPRZYK J.: *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*. PWN, Warszawa, 1986.
- [11] RUTKOWSKI L.: *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.
- [12] PASZEK A., WITTBRODT P.: *Application of decision tables in technological knowledge representation*. Applied Mechanics and Materials, Vol. 791, 2015, p. 18–25.

Aleksander NIEOCZYM*, Arkadiusz GOLA**

WYKORZYSTANIE WSPÓŁCZYNNIKA OEE DO ANALIZY FUNKCJONOWANIA LINII PRODUKCYJNYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania współczynnika całkowitej efektywności wyposażenia OEE dla potrzeb oceny efektywności funkcjonowania linii produkcyjnej, identyfikacji słabych punktów oraz podjęcia działań naprawczych. W ramach przeprowadzonych badań analizie poddano linię rozlewu napoi alkoholowych. Analiza pracy linii pomogła przy wyłonieniu najsłabszych punktów linii. Zidentyfikowano maszynę generującą największe czasy przestoju linii a także zaproponowano zmiany konstrukcyjne mające na celu zwiększenie niezawodności pracy maszyny.

1. WSTĘP

Produkcja potokowa realizowana jest na liniach produkcyjnych gdzie na każdej maszynie wykonywana jest określona czynność lub zespół czynności. W celu osiągnięcia założonej wydajności produkcji każda z maszyn powinna odznaczać się określonym współczynnikiem niezawodności pracy (bezawaryjnością). Cecha ta definiowana jest także jako czas pomiędzy kolejnymi naprawami lub czas przywracania maszyny do stanu zdatności [1]. Przykładowo, jeśli niezawodność pojedynczego urządzenia wynosi 90%, czyli prawdopodobieństwo pozostawania w stanie zdatności do pracy ma wartość 0,90, a na linii pracuje 30 urządzeń, to niezawodność całej linii wynosi $0,9^{30} = 0,042$ czyli 4,2%. Jeśli nastąpi zwiększenie niezawodności urządzeń poprzez 10-krotne zmniejszenie awaryjności, otrzymujemy wartość niezawodności

* Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Mechatroniki, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel.: 81 538 42 03, a.nieoczym@pollub.pl

** Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel.: 81 538 45 35, a.gola@pollub.pl

linii równą: $0,99^{30} = 0,74$. Zmniejszenie niezawodności a przez to i wydajności systemu produkcyjnego może wynikać z błędów wykonania maszyn, błędów eksploatacyjnych, nieprzestrzegania reżimów użytkowania maszyn. Inną przyczyną niezawodności linii mogą być przestoje maszyny lub zespołu maszyn w wyniku identyfikacji wadliwych wyrobów spowodowanych wadą materiałów wejściowych lub błędami wynikającymi z procesu produkcyjnego. Z tego powodu dąży się do konfigurowania linii produkcyjnych w ten sposób aby maszyny produkcyjne były rozdzielone punktami kontrolnymi [2]. Punkty takie są punktami stabilizacji tempa produkcji oraz miejscami eliminacji wadliwych wyrobów. Prawdopodobieństwo wystąpienia awarii jest także zależne umiejętności i kompetencji ludzkich. W początkowej fazie użytkowania występuje zwiększona awaryjność spowodowana brakiem umiejętności pracownika lub służb przeprowadzających przeglądy oraz naprawy. Po tym okresie przychodzi najbardziej stabilny okres i trwa do czasu naturalnego wyeksploatowania.

Ponieważ niezawodność pojedynczej maszyny wpływa na niezawodność systemu i ma bezpośrednie przełożenie na wydajność produkcji należy zastosować narzędzie badawcze umożliwiające wskazanie maszyn generujących zaburzenia w działaniu systemu [3]. Narzędziem takim jest wskaźnik *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). OEE służy do mierzenia niezawodności urządzenia opartego na trzech ważnych parametrach: dostępność (A), wydajność (P) i jakość (Q) [4]. Otrzymana wartość współczynnika jest wykorzystywana do formułowania wniosków na temat przyczyn spadku niezawodności linii a także do formułowania działań prewencyjnych [4,5].

Wskaźnik OEE posiada pewną wartość liczbową, która jest pozycją bazową nie tylko do sterowania i monitorowania wydajności urządzeń produkcyjnych, ale jest także wskaźnikiem nadającym kierunek zmian jakościowych w systemie produkcyjnym i zwiększenia wydajności [6]. Działania naprawcze są także podejmowane w celu polepszenia organizacji pracy, zarządzania zasobami ludzkimi a także ze względu zmianę wizerunku firmy [7]. Bardzo często realizowanie działań naprawczych spowodowane jest chęcią uzyskanie wyników działalności firmy na poziomie firm klasy światowej [8,9]. W celu uzyskania wartości porównawczej, otrzymana wartość wskaźnika OEE jest porównywana z wartościami zestawionymi w standardach *Japan Institute of Plan Management (JIPM)* [10].

Metodyka obliczeń współczynnika OEE podlega często modyfikacji w celu odzwierciedlenia specyfiki niektórych gałęzi przemysłu [11,12,13]. W przemyśle elektronicznym [14] wprowadzono dwuwymiarową metodykę badań zwaną *Overall Equipment Productivity* (OEP). W [12] opisano metodologię *Design of Experiments* (DOE) wykorzystaną podczas zbierania danych wykorzystywanych do analizy OEE. Bazując na DOE wykazano, że w celu poprawy OEE, większy nacisk należy położyć na czynniki, które wpływają na wydajność.

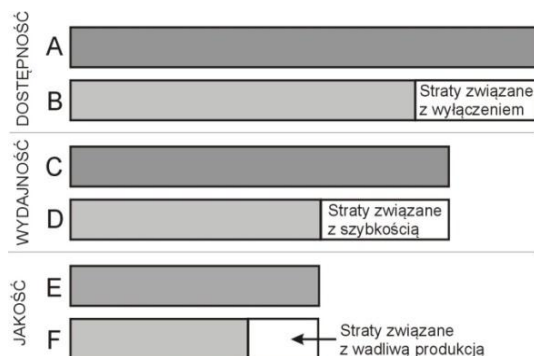
Wydajność i niezawodność systemów produkcyjnych rozpatrywana była w odniesieniu do różnych gałęzi przemysłu. W [15] opisano wpływ konstrukcji narzędzia roboczego oraz sposobu sterowania jego pracą na wydajność pracy zrobotyzowanego stanowiska roboczego. W [14] przeprowadzono wieloaspektową analizę niezawodności składowania amoniaku. Niezawodność rozpatrywana była także na poziomie powstawania projektu urządzeń [16,17]. Powiązano tu dane wejściowe konstrukcji warunkujące parametry eksploatacyjnych urządzeń z analizą kinematyczną, dynamiczną oraz wytrzymałościową.

W [11] przedstawiono korelację między FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*) oraz wskaźnikiem OEE. Parametr FMEA jest stosowany w znalezieniu korelacji pomiędzy wagą uszkodzenia, częstością jego występowania i identyfikacją uszkodzenia. Przedstawiono przetestowane 32 hipotezy badawcze i sprecyzowane wnioski dotyczące wykorzystania FMEA do poprawy OEE. W [13] opisano wyniki badań po wprowadzeniu integrację pomiędzy OEE i niezawodnością badanego systemu. Wprowadzono pojęcie *Failure Rate* i *Failure Ratio*. Integracja tych dwóch współczynników na celu poprawy poziomu jakości czynności konserwacyjnych.

2. OEE i INNE WSKAŹNIKI OCENY NIEZAWODNOŚCI PRACY MASZYN I SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH

Wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia (ang. *Overall Equipment Effectiveness* – OEE) jest podstawowym miernikiem wykorzystywanym w celu weryfikacji efektywności pracy maszyn oraz przebiegu procesów produkcyjnych [18]. Budowa wskaźnika OEE obejmuje trzy składowe

- **Dostępność** – wyrażona jako stosunek czasu pracy, czyli czasu poświęconego na produkcję wyrobów (rys. 1, wartość B) do czasu operacyjnego netto, obejmującego czas zmiany roboczej pomniejszony o planowane przestoje (rys. 1, wartość A).
- **Wydajność** – wyrażona jako stosunek rzeczywistej produkcji, czyli liczby wytworzonych wyrobów (rys. 1, wartość D) do produkcji docelowej, czyli liczby wyrobów, które mogłyby zostać wytworzone przy założeniu maksymalnych prędkości pracy maszyn (rys. 1, wartość C).
- **Jakość** – wyrażona jako stosunek dobrej produkcji, czyli wyrobów spełniających założenia jakości (rys. 1, wartość F) do rzeczywistej produkcji (rys. 1, wartość E)." [18,19].



Rys. 1. Elementy składowe wskaźnika OEE [19]

W klasycznym ujęciu wartość wskaźnika OEE obliczana jest jako iloczyn składowych: dostępność, wydajność i jakość i może być wyrażony formułą:

$$OEE = \frac{B}{A} \times \frac{D}{C} \times \frac{F}{E} \times 100\% \quad (1)$$

Uzyskanie maksymalnej wartości OEE, czyli 100 % oznacza uzyskanie stu procentowej wartości wszystkich składowych. W praktyce jest to nieosiągalne, a obniżenie poszczególnych wartości składowych powoduje obniżanie samego OEE. Zarząd firmy może sam wyznaczyć wartości, do których dąży lub kierować się wytycznymi JIPM gdzie wskaźniki wynoszą:

- dostępność 90 %,
- wydajność 95 %,
- jakość 99,9 %,

co w sumie oznacza całkowitą wartość wskaźnika OEE na poziomie 85,41%.

Obliczona wartość wskaźnika OEE wymaga prawidłowej interpretacji otrzymanego wyniku. Wykrycie punktów krytycznych w liniach produkcyjnych i podejmowanie działań zmierzających do zwiększenia niezawodności poszczególnych maszyn stanowi istotę obliczania wartości OEE [20].

Powiązanie między FMEA oraz OEE wymusza wymaga obliczenia wartości wskaźników niezawodności pracy badanej linii produkcyjnej. Współczynnikami tymi są [21]:

1. Współczynnik awaryjności k_a – określający ilość awarii, jakie wystąpiły w trakcie pracy urządzenia.

$$k_a = \frac{N_a}{N_o} \quad (2)$$

gdzie: N_a – liczba uszkodzonych obiektów linii [szt.],
 N_o – liczba obiektów tworzących linię [szt.].

2. Parametr strumienia uszkodzeń linii ω – określający prawdopodobieństwo uszkodzenia w przedziale czasu.

$$\omega = \frac{n_u}{N_o} \quad (3)$$

gdzie: n_u – liczba uszkodzeń wszystkich obiektów linii [szt.],
 N_o – liczba obiektów tworzących linię [szt.].

3. Średni czas postoju linii wskutek uszkodzeń T_{pm} .

$$T_{pm} = \frac{\sum t_{pi}}{n_u} \quad (4)$$

gdzie: t_{pi} – czas postoju linii wskutek i-tego uszkodzenia [godz.],
 n_u – liczba uszkodzeń wszystkich obiektów linii [szt.].

4. Średni czas pracy linii między uszkodzeniami T_{rm} – będący wartością oczekiwaną zmiennej losowej, określającej czas pracy obiektu między dwoma kolejnymi uszkodzeniami.

$$T_{rm} = \frac{T_c - \sum t_{pi}}{n_u} \quad (5)$$

gdzie: t_{pi} – czas postoju linii wskutek i-tego uszkodzenia [godz.],
 n_u – liczba uszkodzeń wszystkich obiektów linii [szt.],
 T_c – czas eksploatacji linii [godz.].

5. Współczynnik postoju linii k_p .

$$k_p = \frac{\sum t_{pi}}{T_c} \times 100\% \quad (6)$$

gdzie: *oznaczenia jak powyżej.*

6. Współczynnik gotowości linii k_g – określany jako prawdopodobieństwo zdarzenia, że obiekt będzie w stanie sprawności w dowolnym momencie czasu t w przyjętym modelu niezawodności.

$$k_g = \frac{T_c - \sum t_{pi}}{T_c} \times 100\% \quad (7)$$

gdzie: t_{pi} – czas postoju linii wskutek i-tego uszkodzenia [godz.],
 T_c – czas eksploatacji linii [godz.].

W praktyce współczynnik gotowości linii k_g oznacza probabilistyczną ocenę dyspozycyjności obiektu, systemu bądź podsystemu w zakresie wykonywania danego zadania.

3. ANALIZA PRACY LINII W WARUNKACH PRZEMYSŁOWYCH

W ramach prowadzonych badań analizą objęto linię rozlewniczą do produkcji wysokoprocentowych napojów alkoholowych. Linia składa się z następujących maszyn oraz z urządzeń pomocniczych o przeznaczeniu:

- depaletyzator – rozładunek nowych butelek z palet i umieszczenie ich na taśmie transportowej,
- transporter liniujący – liniowanie butelek z transportu masowego na transporter pojedynczy,
- płuczka – mycie butelek (najczęściej alkoholem technicznym),
- rozlewaczka – nalewanie produktu do butelek oraz ich zakręcanie.
- bufor butelek – gromadzenie butelek przed etykietarką; urządzenie eliminuje przestoje linii np. podczas uzupełniania etykiet,
- etykietarka – naklejanie etykiet oraz banderol,
- transporter pojedynczy – transportuje butelki pomiędzy etykietarką, a rozdzielaczem,
- rozdzielacz butelek – rozdziela butelki w sposób automatyczny na poszczególne tory wjazdu do kartoniarki,
- kartoniarka – pakowanie pełnych butelek w kartonowe opakowania; urządzenie składa, a następnie skleja kartony dopasowane do wymiarów gabarytowych wyrobu,
- paletyzator – układanie kartonów na paletach,
- owijarka – owijanie palet folią.

Badania w zakresie sprawności funkcjonowania linii produkcyjnej prowadzano przez 4 tygodnie. W tym czasie linia pracowała 7 dni w tygodniu w systemie 1 zmianowym. Źródłem informacji o funkcjonowaniu linii i występujących zdarzeniach były Karty Wydajności Linii, oraz informacje z Sekcji Nadzoru i Działu Utrzymania Ruchu. Na Karcie Wydajności wpisywane były następujące dane:

- numer brygady,
- godzina i data produkcji,
- wydajność linii,
- kod awarii,
- typ awarii,
- kod wad materiałowych,
- kod przestoju,
- typ przestoju.

Wpływ poszczególnych obiektów wchodzących w skład linii rozlewu na jej awaryjność można ocenić na podstawie liczby uszkodzeń i czasu postojów obiektów. Na podstawie obliczonych wskaźników niezawodności można wytypować słabe ogniwa, a więc obiekty, które:

- najczęściej ulegają uszkodzeniom,
- są przyczyną dłuższych przestojów.

Za słabe ogniwo uznaje się taki obiekt, który spełnia następujące kryteria:

- ulega dwóm i więcej uszkodzeniom w przeliczeniu na czas pracy linii,
- udział czasu postoju linii z jego powodu wynosi co najmniej 10%.

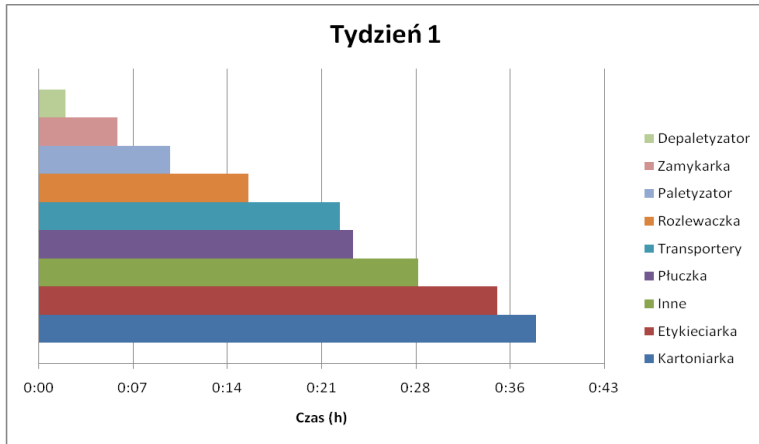
Zebrane dane z funkcjonowania linii oraz zdarzeń podczas jej pracy pozwoliły na obliczenie wartości parametrów niezawodnościowych (tab. 1 i 2) i wykonanie graficznej analizy wyników (rys. 2–5).

Tab. 1. Wartości wskaźników niezawodności pracy linii w kolejnych tygodniach

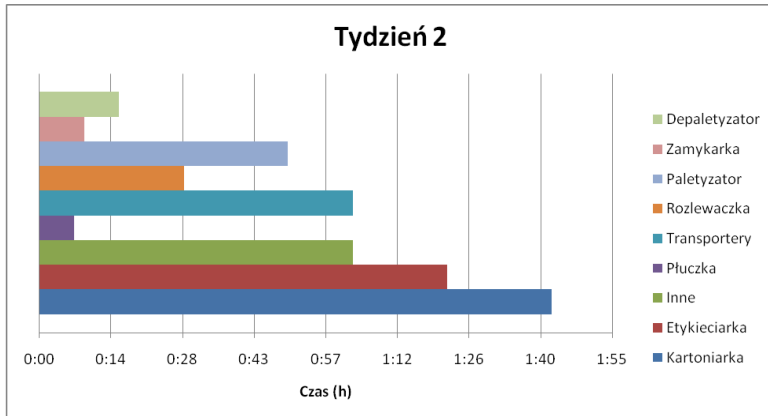
Wskaźniki niezawodności pracy linii	Tydzień 1	Tydzień 2	Tydzień 3	Tydzień 4
Współczynnik awaryjności k_a	0,45	0,45	0,45	0,45
Parametr strumienia uszkodzenia linii ω	1,5	1,6	1,55	1,2
Średni czas postoju linii wskutek uszkodzeń T_{pm} [s]	720	1013	1150	1023
Średni czas pracy linii między uszkodzeniami T_{rm} [s]	5520	4190	5354	7378
Współczynnik postoju linii k_p [%]	11,54	19,45	17,67	12,17
Współczynnik gotowości linii k_g [%]	88,46	80,55	82,33	87,83

Tab. 2. Dienne wartości wskaźników OEE w okresie prowadzenia badań

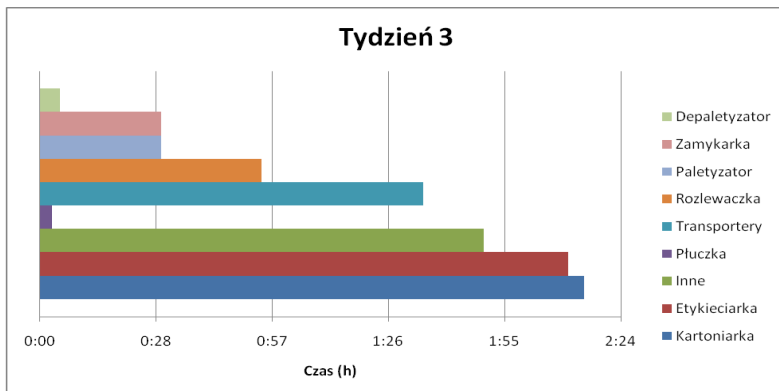
	Tydzień 1	Tydzień 2	Tydzień 3	Tydzień 4
Dzień 1	82	59	60	83
Dzień 2	82	51	71	81
Dzień 3	84	62	64	77
Dzień 4	71	66	48	92
Dzień 5	76	67	70	79
Dzień 6	65	60	49	68
Dzień 7	72	71	70	77



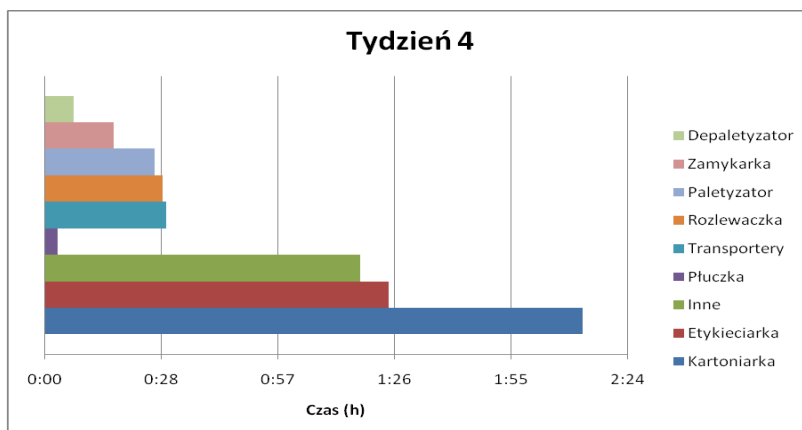
Rys. 2. Czas przestojów poszczególnych maszyn w pierwszym tygodniu pracy



Rys. 3. Czas przestojów poszczególnych maszyn w drugim tygodniu pracy



Rys. 4. Czas przestojów poszczególnych maszyn w drugim tygodniu pracy



Rys. 5. Czas przestołów poszczególnych maszyn w drugim tygodniu pracy

Wzrost czasu przestoju linii w skutek uszkodzeń można zauważyć w 3 oraz 4 tygodniu. Urządzeniami, które generują największy czas przestołów jest kartoniarka oraz etykieciarka – przy czym czas przestołów kartoniarki podczas 4 tygodniowej analizy to aż 6 godz. 49 min. i jest to 25,43% czasu wszystkich przestołów. Liczba uszkodzeń lub regulacji wszystkich obiektów to 117 godz. z czego 23,93 % są to uszkodzenia lub regulacje kartoniarki.

Podczas 4 tygodniowej analizy najczęściej pojawiło się zdarzeń związanych z regulacją (23 zdarzenia), dodatkowo wystąpiło 5 zdarzeń związanych z awarią kartoniarki.

Przeprowadzona analiza pozwoliła zidentyfikować urządzenia, które najczęściej ulegają awarii. W dalszej kolejności przeprowadzono szczegółową analizę i identyfikację zespołów urządzeń ulegających awarii. Podczas analizy kartoniarka wykazała największy czas postoju podczas pracy linii, która wynosi około 10 % oraz ulegała największej liczbie uszkodzeń. Urządzenie to zostało wytypowane do dalszej analizy cyklu pracy, w celu wyeliminowania tak dużej liczby przestołów linii.

Na podstawie analizy pracy linii rozlewniczej określono, że kartoniarka generuje największy czas przestołów linii. Przeprowadzono analizę pracy kartoniarki, w celu wykrycia punktów krytycznych maszyny. Przeanalizowano schemat pracy urządzenia oraz podjęto jej obserwację podczas produkcji. Na podstawie obserwacji stwierdzono, że podzespołem, który generuje najczęściej problemów jest magazynek kartonów (rys. 6). Układ podający jest układem przemieszczającym kartony leżące w płaszczyźnie poziomej. Kartony pobierane są za pomocą urządzenia rolkowego. Głównym problemem podczas pracy magazynka jest podawanie kartonów po kilka sztuk na raz co powoduje przestoje linii. Tak więc to nie awarie generują najczęściej czasu przestoju,

a regulacje magazynka. Aby magazynek pracował płynnie, karton musi mieć ściśle określone wymiary gabarytowe odpowiadające wzorcowi oraz nie może być zawilgocony. Gdy wilgotność powietrza na hali produkcyjnej wzrasta zauważa się zwiększoną ilość problemów z podawaniem kartonów. Taka sytuacja zaobserwowana była podczas 3 i 4 tygodnia zbierania danych odnośnie niezawodności pracy linii. Większa wilgotność powoduje, że kartony są lekko sklejone co powoduje pobieranie ich w większej ilości.

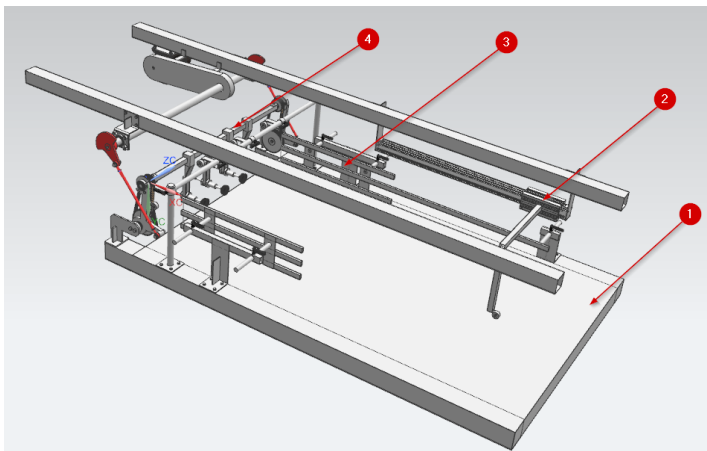


Rys. 6. Magazynek kartonów

Magazynek wytypowano jako punkt krytyczny maszyny oraz całej linii. Aby poprawić działanie linii, a co za tym idzie poprawić wydajność, zdecydowano o przebudowaniu magazynka. Zachowując wymaganą wydajność pracy urządzenia wynoszącą 40 kartonów/minutę zaproponowano główne zmiany: ustawienie kartonów w pozycji pionowej oraz pobieranie kartonów za pomocą pneumatycznych przyssawek.

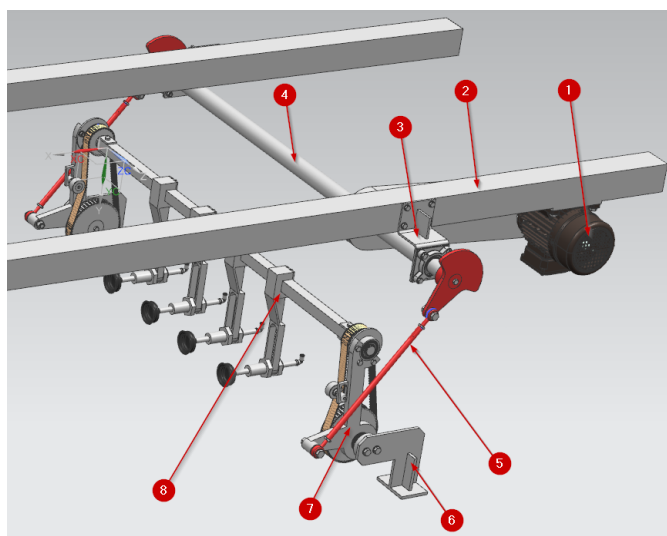
Schemat konstrukcyjny zmodernizowanego magazynka kartonów przedstawiono na rys. 7.

Kartony układane są na podstawie (1) w pozycji pionowej i dociskane za pomocą mechanizmu prowadzącego (2) do ogranicznika znajdującego się przy ramieniu podającym (4). Pozycjoner (3) służy do ustawienia kartonów w osi magazynka kartonów. Szerokość mechanizmu pozycjonującego można regulować za pomocą rączek regulacyjnych, tak aby dopasować magazynek do odpowiedniego formatu kartonu. W zaprojektowanym magazynku kartonów został zastosowany pneumatyczny system pobierania kartonów.



Rys. 7. Model zmodernizowanego magazynka kartonów: 1 – podstawa magazynka, 2 – mechanizm prowadzący, 3 – mechanizm pozycjonujący kartony, 4 – mechanizm pobierający kartony

Źródłem napędu mechanizmu pobierający kartony (rys. 4) jest trójfazowy silnik elektryczny (1), który poprzez przekładnię łańcuchową napędza wał (4). Z kolei ruch wahadłowy ramienia (8) z pneumatycznymi przyssawkami pobierającymi kartony połączony realizowany jest poprzez cięgno (5) oraz przekładnię pasową (7).



Rys. 4. Mechanizm pobierający kartony: 1 – silnik napędzający, 2 – rama górna, 3 – podpora wału, 4 – wał napędowy, 5 – cięgno, 6 – podpora przekładni, 7 – przekładnia pasowa z pasem zębatym, 8 – ramię podające.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Wskaźnik OEE jest jednym z najważniejszych wskaźników opisującym efektywność maszyn i urządzeń technologicznych w przedsiębiorstwie. Obliczona wartość wskaźnika OEE stanowi podstawę do wytyczenia kierunku działań prowadzonych do doskonalenia procesów produkcyjnych. Dzięki temu łatwo można zidentyfikować „wąskie gardła” oraz problemy techniczne i organizacyjne przedsiębiorstwa. OEE jest również miarą wdrożonych udoskonaleń i pozwala obliczyć korzyści wynikające z doskonalenia procesów oraz eliminacji poszczególnych problemów.

W ramach przeprowadzonych prac badawczych analizie poddano linię rozlewu wysokoprocentowych napoi alkoholowych, składającą się z 11 maszyn realizujących operacje podstawowe i pomocnicze. Zarówno dla całej linii, jak też poszczególnych maszyn technologicznych obliczono wskaźniki całkowitej efektywności wyposażenia (OEE) oraz inne parametry oceny niezawodności maszyn i urządzeń technologicznych.

Przeprowadzona analiza pozwoliła na wyłonienie maszyny, która generowała największe czasy przestoju linii, a także wykrycie punktów krytycznych maszyny. W tym celu dodatkowo przeanalizowano schemat pracy urządzenia oraz podjęto jej obserwację podczas produkcji. Na podstawie obserwacji stwierdzono, że podzespołem, który generuje najwięcej problemów jest magazynek kartonów. Głównym problemem podczas pracy magazynka jest podawanie kartonów po kilka sztuk na raz co powoduje przestoje linii. W konsekwencji, aby poprawić działanie linii, a co za tym idzie zwiększyć jej wydajność, zdecydowano o przebudowaniu magazynka. Zachowując wymaganą wydajność pracy urządzenia wynoszącą 40 kartonów/minutę zaproponowano główne zmiany: ustawienie kartonów w pozycji pionowej oraz pobieranie kartonów za pomocą pneumatycznych przyssawek – co zostało przedstawione w postaci schematów konstrukcyjnych zmodernizowanego urządzenia.

LITERATURA

- [1] WAŻYŃSKA-FIOK K.: *Niezawodność systemów technicznych*. PWN, Warszawa 1990.
- [2] DANILCZUK W., CECHOWICZ R., GOLA A.: *Analiza konfiguracji linii produkcyjnych na podstawie modeli symulacyjnych*. [w:] Bzdyra K. (red.). *Informatyczne systemy zarządzania*. Tom 5, Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2014, 25–42.
- [3] GOLA A., SOBASZEK Ł., ŚWIĆ A.: *Selected Problems of Modern Manufacturing Systems Design and Operation* [in:] Koukolova L., Świć A. (ed.): *Robotics and Manufacturing Systems*. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2014, pp. 56–68.
- [4] BAMBER C.J., CATSKA P., SHARP J.M., MOTARA Y.: *Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE)*. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 9, 2003, pp. 223–238.

- [5] NAKAJIMA S.: *Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*, Cambridge: Productivity Press. 1988.
- [6] GARZA-REYES J.A., ELDRIGE S., BARBER K.D., MEIER H.: *Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Process Capability (PC) Measures: A Relationship Analysis*. International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 27, 2010, pp. 48–62.
- [7] JAIN A., BHATTI R., DEEP H.S., SHARMA S.K.: *Implementation of TPM for Enhancing OEE of Small Scale Industry*. International Research Journal Consortium, Vol. 1. No. 1, 2012, pp. 125–136.
- [8] SAMOCIUK W., KRZYŚIAK Z., SZIGIELSKI M., ZARAJCZYK J. STROPEK Z., GOŁACKI K., BARTNIK G., SKIC A., NIEOCZYM A.: *Modernization of the control system to reduce a risk of severe accidents during non-pressurized ammonia storage*. Przemysł Chemiczny, nr 5, 2016, s. 158–161.
- [9] SWANSON L.: *An Empirical Study of The Relationship Between Production Technology and Maintenance Management*. International Journal of Production Economics, Vol.53, 1997, pp. 191–207.
- [10] MANSUR A., RAYENDRA R., MASTUR M.: *Performance Acceleration on Production Machines Using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) Approach*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 105 (2016) 012019
- [11] AHIRE C.P., REKAR A.S.: *Correlating Failure Mode Effect Analysis (FMEA) and Overall Equipment Effectiveness (OEE)*. Procedia Engineering, Vol. 38, 2012, pp. 3482–3486.
- [12] RELKAR A.S., NANDURKAR K.N.: *Optimizing and analyzing Overall Equipment Effectiveness (OEE) through Design of Experiments (DOE)*, Procedia Engineering, Vol. 38, 2012, pp. 2973–2980.
- [13] SAMAT H.A., KAMARUDDIN S., AZID I.A.: *Integration of Overall Equipment Effectiveness (OEE) and reliability method for measuring machine effectiveness*. South African Journal of Industrial Engineering, Vol. 23, no. 1, 2012, pp. 92–113.
- [14] CHAKRAVARTHY G.R., KELLER P.N., WHEELER B.R., OSS S.V.: *A methodology for measuring, reporting, navigating, and analyzing Overall Equipment Productivity (OEP)*. IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, 2007, pp. 306–312.
- [15] LONGWIC R., NIEOCZYM A.: *Control of the process of screwing in the industrial screwdrivers*. Advances in Science and Technology Research Journal, Vol. 10, No. 30, 2016, pp. 202–206.
- [16] BRUMERCIK F., LUKAC M., NIEOCZYM A.: *Mechanical differentia mathematical model*. Communications, Vol. 17, No. 3, 2015, pp. 88–91.
- [17] BRUMERCIK F., TOMASIAKOVA M., NIEOCZYM A.: *Epicycle gear train synthesis*. Communications, Vol. 17, No. 3, 2015, pp. 47–50.
- [18] WIRKUS M., KUKUŁKA A.: *Obliczanie składowej jakości OEE przy wielu operacjach technologicznych*. Zarządzanie Przedsiębiorstwem, Nr 2, 2015, s. 40–47.
- [19] KORNICKI L., KUBIK S. (red.): *OEE dla Operatorów. Całkowita efektywność wyposażenia*, Wyd. ProdPress.com, Wrocław 2009.
- [20] GOŁA A., KOSICKA E., DANIEWSKI K., MAZURKIEWICZ D: *Analiza błędów przy ocenie wskaźnika OEE na przykładzie linii rozlewu butelkowego [w:] Knosala R. (red): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Tom II, Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2016, s. 558–569.*
- [21] NIEOCZYM A.: *Badania teoretyczne pracy komórki montażowej w aspekcie produktywności jej elementów*. Wydawnictwo Politechniki lubelskiej, Lublin 2014.

Jakub PIZOŃ*, Jerzy LIPSKI**, Tomasz CIEPLAK***

KONCEPCJA MODELU WYCENY WARTOŚCI STRUMIENIA DANYCH PRODUKCYJNYCH

Streszczenie

W związku z intensywnym rozwojem rozwiązań pozwalających na generowanie, przesyłanie, wymianę i przetwarzanie dużych zbiorów danych pojawiają się nowe perspektywy dla analityki biznesowej, ale też stwarzana jest możliwość do komercyjnej wymiany danych pomiędzy przedsiębiorstwami niniejszy artykuł stanowi próbę sformułowania modelu, który umożliwi skuteczną ocenę wartości strumienia danych w systemach produkcyjnych. Artykuł przedstawia autorskie rozwiązanie problemu związanego ze sposobem wyceny danych uwzględniając koszty ich pozyskania, poziom oczekiwanej marży jak i poziom przydatności do budowy modeli maszynowego uczenia.

1. WSTĘP

Proces w którym wartościowanie wykonania różnorodnych zadań w celu dostarczenia oczekiwanej dla zamawiającego wartości dodanej nazywamy procesem wyceny. Zamawiającym jest strona, która zainteresowana zakupem dobra, usługi od strony przedkładającej ofertę.

Wycena wykonania danego zadania bądź też systemu stanowi kosztową reprezentację danego zadania. W ramach tej reprezentacji wchodzi koszty środków trwałych, pracochłonność, wartości niematerialne i prawne oraz wszelkie te elementy, bez których wykonanie danego zadania nie jest możliwe.

Wynik realizowanego zlecenia stanowi produkt, usługę, czy też przypisanie wartości do danego zasobu. Należy też przy tym wskazać, że wycena wykonywana jest zawsze zgodnie z przyjętym zestawem założeń i stanowi prognozę kosztów bądź wartości szacowanej rzeczy.

* Politechnika Lubelska, Doktorant Studiów Doktoranckich na Wydziale Mechanicznym, jakubpizon@pollub.edu.pl

** Politechnika Lubelska, Wydział Zarządzania, Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa, j.lipski@pollub.pl

*** Politechnika Lubelska, Wydział Zarządzania, Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa, t.cieplak@pollub.pl

Założenia wyceny niejednokrotnie przyjmują formę sformalizowanych wymagań i odpowiadają potrzebom i stawianym przez podmiot kryteriom. Podmiot ten w zależności od kontekstu biznesowego może być określony mianem aktora, klienta czy też zleceniodawcy.

W świecie gospodarczym przepływu dóbr i usług sporządzanie wycen i ofertowanie to jeden z kluczowych elementów działalności przedsiębiorstw. Przedsiębiorstwa oferują swoje usługi, pozyskują zasoby w oparciu o wyceny i ceny przedstawiane przez partnerów biznesowych takich jak dostawcy, klienci. Tym samym każdy aspekt działającego przedsiębiorstwa może być przedmiotem wyceny, a przez to może być ofertowany. Dlatego też, wyceniane mogą być zarówno aktywa jak o pasywa firmy [1].

We współczesnym świecie, w związku z intensywnym rozwojem technologii informatycznych jak i postępującą rewolucją techniczną występującą pod hasłem „Przemysł 4.0” aktywnym, które w krótkim czasie może zostać przedmiotem ofertowania jak i zakupu są dane [2].

Wiąże się to z faktem, że coraz to nowoczesne parki maszynowe wyposażone w narzędzia, które mają możliwość wykonywania działań np.: obróbczych zgodnie z zadanym programem. Mają możliwość wykonywania programu jak i bieżącego śledzenia w czasie rzeczywistym działań maszyn. Tym samym, zarówno maszyny jak i całe linie produkują ogromne ilości danych strumieniowych, które z perspektywy nauki o danych mogą być źródłem danych uczących w procesie maszynowego uczenia. Wynikiem działania maszynowego uczenia jest model, pozwalający na wskazywanie regresji oraz klasyfikacji wybranych zdarzeń. To, co charakterystyczne dla tego typu modeli to fakt, że wymagają one dużych zbiorów danych w celu uzyskanie istotnych statystycznie wniosków.

Proces generowania danych jest aktywnie wspierany przez rozwój takich paradygmatów jak mgła obliczeniowa (ang. fog computing, FC), chmura obliczeniowa (ang. cloud computing, CC) czy też przemysłowy internet rzeczy (ang. Industrial Internet of things, IIoT) wykorzystujący protokoły komunikacji takie jak MQTT [3], czy zintegrowane wytwarzanie oraz intensywny rozwój nauki o danych (ang. data science) [4].

Nauka o danych pozwala agregować wiedzę z wielu obszarów w celu dostarczenia analitycznych produktów wykorzystujących metody sztucznej inteligencji [5–6].

W związku z tym, że dane maszyn i urządzeń wykorzystywanych przez przedsiębiorstwo stanowią jej aktywa, mogą podobnie jak inne aktywa być przedmiotem obrotu handlowego. Z tego powodu pojawia się potrzeba odpowiedniego ich oszacowania i wyceny danych.

Przy czym zakłada się, że jednym z czynników, który warunkuje potrzebę wyceny danych jest wzrastającym zapotrzebowaniem firm na rozwiązania analityczne, które usprawniają i stanowią podstawę do podejmowania decyzji, a przez to dokonywania zmian w organizacjach. Gartner rozmiar rynku Business Intelligence (BI) i rozwiązań analitycznych osiągnie wartość 18,3 mld dolarów [7–8].

Przy czym kluczowy jest przy implementacji takich rozwiązań nie jest samo oprogramowanie analityczne co dostęp bądź posiadanie odpowiednich źródeł danych.

Dlatego też, w perspektywie rynku analityki w czasie rzeczywistym w zastosowaniach przemysłowych, która stanowi wąski dział specjalizowanych rozwiązań, szczególną rolę pełni wiedza na temat stosowanych rozwiązań.

Dlatego też, przedsiębiorstwo, które zamierza wdrożyć nowe rozwiązanie bądź zasymulować działanie nowego rozwiązania (urządzenia) będzie potrzebowało realnego materiału do testów – planowanego rozwiązania – tym samym będzie potrzebowało danych historycznych wdrażanego urządzenia.

Powodem zakupu danych może też być potrzeba diagnozy bądź też łatwego przeniesienia złożonej technologii uruchomionej i stabilnej w jednym podmiocie gospodarczym do innego podmiotu. W tym kontekście, przedsiębiorstwo występuje w roli zamawiającego wycenę danych i oczekującego, że pozyskane dane strumienia maszyny pozwolą mu na sterowanie, parametryzowanie, ocenę realizowanych procesów maszyn, a nawet całych linii produkcyjnych.

W tym momencie trudno mówić o popycie na dane, gdyż w większości stanowi to przedmiot dwustronnych umów między przedsiębiorstwami. Niemniej jednak w związku z powstawaniem portali umożliwiających wymianę danych, takich jak np.: można przypuszczać, że w związku z intensywnym rozwojem technologii przemysłowych taki popyt przybierze znaczącą formę. Podobnie jak w przypadku danych na temat rynków dostarczanych przez agencje badawcze.

Powyższe otwiera perspektywę dla nowego rynku wymiany danych na rzecz tworzenia modeli maszynowego uczenia w perspektywie zarządzania różnymi aspektami produkcji przedsiębiorstwa. Tym samym stanowi duże pole do badań w celu opracowania skutecznego narzędzia wykazania wartości danych.

2. PROCES WYCENY

Bardzo istotne w procesie wyceny jest założenie, że zleceniodawca wie dokładnie, jakie są jego potrzeby i jest w stanie je wyczerpująco wskazać.

Niestety w przypadku rzeczywistych zleceń, niejednokrotnie dochodzi do sytuacji, że zleceniodawca nie jest do końca w stanie zdefiniować swoich potrzeb albo też nie uświadamia sobie, jakie zadania są powiązane z dostarczeniem wartości dodanej. Tym samym nie ma świadomości wielkości kosztów powiązanych z oczekiwanym przez niego efektem.

W takim przypadku sporządzona wycena musi się opierać o dobre założenia i być wynikiem ścisłych konsultacji prowadzonych w iteracyjny sposób. Konsultacji, podczas których zespół wyceniający wraz z zespołem zamawiającego ustalają kolejne szczegóły związane z uzyskaniem oczekiwanego efektu. Jest to sytuacja najbardziej pożądana niemniej jednak pojawia się problem w przypadku, gdy po stronie zamawiającego nie ma zespołu bądź jest on niedostępny,

байд не posiada потрібних кваліфікації. В такому випадку при спорядженні вцену позостає тько можливість опарця сї на дошвідченнї і вїдзы доконуїагєго вцену.

То дошвідченнє і вїдза могā застаї wsparта попрз рїзнє порївнаннє тї. benchmarki wskazuģe, jakie były koszty i efekty innych projektów, które sā zbliżone zakresem do zlecenia wskazanego przez zamawiaģego. Porїwnuģac dane zlecenie z innymi o porїwnywalnym zakresie możliwe jest wskazanie właściwej parametryzacji ocenianego zlecenia zarówno w wymiarze czasu jak i wartoścї.

Takie podejścїe wydaje sїe odpowiednie niemniej jednak wymaga zgromadzenia uprzednio bazy danych charakterystyk podobnych projektów. Co wїцей ta baza powinna być na bїeģaco uaktualniana – tak by szacowane wartoścї mĩaly realny wymiar – adekwatny do aktualnej sytuacji rynkowej. Ponadto tego typu rozwiāzanie, w przypadku, gdy zakresy projektów, nie sā wystarczajāco podobne moģe prowadzїc do przeszacowania bādz nie do szacowania zlecenia. Tym samym, baza zamiast poprawїc proces wцену narazi go na ryzyko przeszacowania bādz niedoszacowania wцену.

В такому випадку konieczne jest posiadanie innego narzēdzia, które pozwoli skutecznie oszacować cenę danego zlecenia w miarodajny sposōb, adekwatny do sytuacji rynkowej, a takģe pozwalajācy na wценę wielu rїznych rozwiāzań.

Co wїцей, niezbēdne jest by proces wцену mїgł zostaї wykonany w skończonym czasie. Dlatego proces wцену powinien być zrealizowany w akceptowalnym przez klienta czasie. Oczywїście, czas wykonania wцену zazwyczaj jest bezpośrednio skorelowany z zakresem zlecenia. Tym samym, im wїększe zlecenie tym samym bēdzie trwać ono dłuģej. Niemniej jednak czas wцену powinien być zgodny z oczekiwaniami klienta, co oczywїście wymaga ścisłej wspōłpracy pomiēdzy stronā zleceniodawcy jak i oferenta.

3. MODEL WYCENY

Kolejnym sposobem opartym na doшвідченнї, który moģe zostaї zastosowany do вцену, jest narzēdzie zwane modelem вцену. Model вцену to formalne narzēdzie, które w sposōb elastyczny odwzorowuje charakter zlecenia вцену.

Metoda ta posiada zdolnoścї zamodelowania kontekstu biznesowego, czyli jest w stanie przeloģzїc charakter danego zlecenia na poziom realnych elementōw, tworzących finalne rozwiāzanie.

Dziēki zastosowaniu modelu, który попрz swoģā budowę odzwierciedla zarówno doшвідченнє вценїагєго як і korzysta z benchmarkōw pochodzących z innych projektów możliwe jest dokonanie prognozy kosztów, можливо bliskiej realnym kosztom wykonania projektu.

W tym momencie pojawia się pytanie jak taki model powinien zostać skonstruowany by w pełni odpowiadał specyfikowanym powyżej założeniom.

W celu odpowiedzi na to pytanie w niniejszym artykule zaprezentowana zostanie autorska koncepcja opracowania modelu wyceny wartości strumienia danych produkcyjnych.

3.1. Strumień danych

Strumień danych jest potencjalnie nieograniczoną, uporządkowaną sekwencją elementów danych, które przychodzą w czasie. Odstęp między przybyciem każdego elementu danych mogą się różnić. Te elementy danych mogą być prostymi parami wartości atrybutów, jak relacje bazy danych lub bardziej złożonymi strukturami.

Główne różnice pomiędzy strumieniami danych a konwencjonalnymi statycznymi zbiorami danych obejmują:

- Elementy danych w strumieniu pojawiają się kolejno w czasie,
- Nie ma kontroli nad kolejnością, w jakiej przychodzą dane, a system przetwarzania powinien być gotowy do reagowania w każdej chwili,
- Rozmiar danych może być ogromny (strumienie mogą mieć nieskończoną długość),
- Zwykle nie jest możliwe zapisanie wszystkich danych z strumienia danych w pamięci,
- Zazwyczaj możliwe jest tylko jedno skanowanie elementów z strumienia danych,
- Gdy fragment strumienia jest przetwarzany, może on być odrzucany lub czasami, w razie konieczności przechowywany, bądź agregowane i obliczane są tylko statystyki lub streszczenia,
- Szybkość przybycia danych jest nagła (tj. jest stosunkowo wysoka odniesieniu zależna do mocy przetwarzania systemu),
- Strumienie danych są podatne na zmianę (instancje generujące dane zmieniają się w locie),
- Etykietowanie danych może być bardzo kosztowne (a nawet niemożliwe w niektórych przypadkach) i może nie być natychmiastowe.

Te charakterystyki strumienia danych stwarzają potrzebę innych algorytmów niż te wcześniej opracowane do tworzenia modeli analitycznych np.: maszynowego uczenia na danych wsadowych, gdzie dane są przechowywane w skończonych, trwałych repozytoriach danych.

Typowe algorytmy uczenia się wsadowego nie są w stanie spełnić wszystkich wymagań strumienia danych, takich jak ograniczenia użycia pamięci, ograniczony czas przetwarzania i skanowania przychodzących przykładów [9]. Tym samym, rozwijane są nowe sposoby analityki, które dostarczają narzędzi do budowy modeli analitycznych. Ma to szczególne znaczenie w perspektywie IIoT

gdzie strumień danych stanowi strumień danych produkcyjnych, który to jest zapisem parametrów maszyn i urządzeń systemu produkcyjnego. W przypadku, gdy przedsiębiorstwo chce rozwijać system produkcyjny w oparciu o nowoczesne technologie, a nie posiada danych to albo je wytworzy albo pozyska. Po to by pozyskać dane należy najpierw określić ich wartość – nawet w formie pewnej prognozy – stąd potrzebne jest systematyczne podejście do wyceny tego typu danych. Autorska propozycja takiego modelu została przedstawiona w kolejnych rozdziałach niniejszego artykułu.

3.2. Koncepcja modelu

Kluczowe jest określenie elementów modelu, następnie przypisanie im wag wyrażających istotność danego elementu. Istotne jest też wskazanie, które elementy są niezbędne, a które opcjonalne dla sporządzenia wyceny.

Model tworzy struktura powiązanych, poprzez wagi elementów, które dają się elastycznie komponować w zależności od ocenianych danych.

Ważne jest też wskazanie podstawy naliczenia wartości, która reprezentuje poziom kosztów pozyskania unikalnej porcji danych. W stosunku do podstawy możliwe jest wskazanie poziomu marży, jakie chce pozyskać przedsiębiorstwo z tytułu zbycia bądź wymiany strumieni danych.

Ważne jest też by model uwzględniał wskazania benchmarków dla podobnych bądź możliwie zbliżonych projektów. Proponowaną strukturę można zobrazować w postaci grafu, który wskazuje kolejne elementy, przypisane im wagi, jak i uwzględnia wyniki benchmarków. Tym samym, uwzględnia wszelkie elementy jak i zapewnia modułowość rozwiązania.

Kluczowe założenie modelu polega na tym, że każdy element ma wagę przypisaną względem wymiaru podstawowego wyceny pracochłonności. W ten sposób tworzy się hierarchiczna struktura wag. Ocena wagowa sporządzana jest dla każdego wymiaru. Każdy strumień danych ze względu na jego charakterystykę należy wycenić.

3.2.1. Wymiary

Wymiary wyceny wartości danych produkcyjnych wynikają, podobnie jak w przypadku innych systemów, wprost z charakterystyki ich pozyskiwania i sposobów przetwarzania.

Ważny jest też kontekst, w jakim definiowane są te wymiary. Dlatego też, w perspektywie budowania modelu – powinien być on w stanie określić wartość danych pozyskiwanych online (w czasie zbliżonym do rzeczywistego) jak i offline – jako dane wsadowe zagregowane w postaci bazy danych bądź hurtowni danych. Z tego powodu część wymiarów, które występują w modelu określono mianem kluczowych lub opcjonalnych.

Na potrzeby niniejszego opracowania propozycja modelu obejmuje wszystkie elementy dające się zidentyfikować na podstawie odczytów bądź też doświadczenia wyceniającego. Należy też zwrócić uwagę na fakt, że poszczególne wymiary wyceny mogą być dekomponowane na kolejne składowe, którym przyporządkowane są kolejne wagi. Przy czym należy też dodać, że sposób sformułowania modelu zakłada możliwość zwiększenia bądź zmniejszenia liczby elementów definiujących jego kształt.

Jakość danych

Pierwszymi z kluczowych wymiarów wyceny strumieni produkcyjnych stanowią elementy definiujące charakterystykę pozyskiwanych danych. Elementy te decydują o wspólnym wymiarze jakości danych przesyłanych w strumieniu, który będzie miał wpływ na pozostałe aspekty zgodnie z budową modelu.

Do takich elementów należy przede wszystkim format pozyskiwanych danych. Dane takie jak wartości zmierzone, przekazywane są w strumieniu z kontrolerów urządzeń w formie nie ustrukturalizowanej albo ustrukturalizowanej według unikalnego schematu – charakterystycznego tylko dla danego urządzenia pomiarowego. Dane te na ogół nie nadają się bezpośrednio do przetworzenia w systemie.

Format ma duże znaczenie w późniejszym przetwarzaniu danych. Przetwarzanie wymaga by format dostarczanych danych zapewniał czytelny opis danych oraz był dostarczany w możliwie najlepszej formie dla systemów analitycznych. Za taki standard można uznać XML bądź coraz szerzej stosowany JSON. Tym samym im bardziej pozyskane dane mają format zbliżony do XML'a/JSON'a tym mają większą wartość.

Kolejnym wymiarem koniecznym do wyceny w wymiarze strumienia danych są braki danych. Wymiar zależny jest od dysponowanej infrastruktury. Już na etapie odczytu danych ze strumienia, jeśli występują braki danych, to znacząco obniża jakość strumienia danych. Potencjał informacji, który można z niego uzyskać (choćby w perspektywie maszynowego uczenia), wywołany koniecznością sztucznego uzupełnienia danych, bądź usunięcia niepełnych obserwacji, ogranicza wartość dodaną danych.

Kolejnym wymiarem, mającym szczególny wpływ na wartość dostarczanych danych to dokładność (szczegółowość) odczytywanych danych. Wartość dokładności odczytywanych danych może być wyceniana przede wszystkim w perspektywie jej istotności dla przyszłego klienta. Jeśli zakupione dane mają być potrzebne do modelowania procesów, które charakteryzuje duża dokładność to dane też powinny reprezentować adekwatną bądź zbliżoną dokładność odczytów.

Docelowo dane, które są przedmiotem wyceny powinny być spójne. Oznacza to, że nie dochodzi w danych do takiej sytuacji, że jedna wartość występuje pod wieloma formami. Dane, które nie są standaryzowane będą adekwatnie podrażać koszt przetworzenia danych przy pomocy słowników – które mają możliwość

mapowania różnych wystąpień na jedną wymaganą wartość. Tym samym ich wartość w modelu będzie znacznie mniejsza niż w przypadku danych standaryzowanych.

Jeśli w ramach zbioru danych pojawiają się duplikaty danych to należy wskazać, że ich wartość istotnie spada. Chyba, że ma miejsce zjawisko redundacji danych o tym samym charakterze (np. temperatura z dwu niezależnych czujników, zwiększa prawdopodobieństwo poprawności danych). W tym przypadku wartość takich danych powinna być większa (dla ich zastosowania) lecz też okupiona wyższymi kosztami pozyskania.

Co więcej, należy tutaj wskazać, że w przypadku strumieni danych należy też brać pod uwagę ich stałość. Stałość oznacza stabilność ilości unikalnych zmiennych w strumieniu danych. Zamawiającemu zawsze będzie zależało na utrzymaniu najwyższej stałości. Zapewnia to wysoką jakość pozyskiwanego modelu analitycznego wytworzonego na podstawie danych.

Przedmiotem wyceny powinny być konkretne dane, które są istotne w perspektywie mapowanego kontekstu biznesowego. W przypadku, gdy te dane nie są dostępne bądź też zawierają się w obrębie innych konieczna jest ich ekstrakcja. Tym samym, wymagane jest większa moc obliczeniowa jak i opóźniony zostaje czas przyjęcia danych do analizy.

Wolumen danych

Odrębny fragment wyceny będzie stanowił wolumen danych. Wolumen danych będzie można definiować w zakresie ilości fizycznej danych jak i okresu, z jakiego pozyskane dane pochodzą.

Naturalnym jest, że większą wartość będzie miała większa ilość danych. Przy czym należy wskazać, że nie jest to wprost proporcjonalna zależność. Wynika to przede wszystkim z faktu, że danych może być dużo w strumieniu. Co wiąże się bezpośrednio z poprzednio opisanym wymiarem. Z drugiej strony parametr, który bezpośrednio wpływa na wolumen danych to horyzont czasowy pozyskanych danych albo okres ich pobierania.

Horyzont czasowy danych należy rozumieć, jako okres z jakiego pochodzą wyceniane dane. Im ten okres jest dłuższy tym wartość pozyskanych danych powinna być większa. Jeśli wyceniane dane mają być pozyskiwane w czasie rzeczywistym w wycenie należy przyjąć okres, w jakim dane będą przesyłane z systemów oferenta danych do zamawiającego.

W perspektywie wolumenu wycenianych danych oprócz samej wyceny należy brać pod uwagę fakt czy wolumen danych jest odpowiedni do dysponowanej przez kupującego infrastruktury sprzętowej. Co więcej, przy ustaleniu horyzontu czasowego należy się zastanowić, jaki okres będzie wystarczający dla planowanych modeli analitycznych. Tym samym, w takich przypadkach zalecana jest szczególna uwaga i rozważenie, czy w perspektywie kontekstu biznesowego dane będą istotne w analizie.

Wymiar wolumenu danych jest też bezpośrednio przez zakres pozyskiwanych danych rozumiany, jako wskazanie ilu jednostkowo parametrów dotyczą dane. Innymi słowy, dla jak wielu unikalnych zmiennych w sensie analitycznym, dostarczone zostaną dane. Dopiero dane pomiarów, które tworzą unikalny ciąg wskazań dla wybranego wskaźnika (temperatura, ciśnienie, ilość wykonanych operacji itp.) wyrażonego w dyskretnej formie danych, stanowi dla analityka materiał do tworzenia analitycznych modeli, a tym samym uzyskania pożądanych efektów zakupu danych.

Ustalenie zakresu danych stanowi zadanie wyceniającego i będzie wynikiem dekompozycji strumienia danych. Przede wszystkim, ze względu na fakt, że parametry te wiążą się bezpośrednio ze specyfiką wycenianego strumienia danych. Dlatego też, pierwszym etapem dekompozycji będzie zdobycie informacji na temat tego ilu urządzeń dotyczy dany strumień danych. Ma to szczególne znaczenie w perspektywie kontekstu biznesowego. Istotny jest tu fakt, że względu na fakt, że jeśli wycenie podlegają dane, które nie zawierają istotnych dla analityka danych, nie będą one przydatne dla firmy. Tym samym, zamawiający dane nie powinien ich kupować. Z drugiej strony, jeśli dane zawierają niezbędny zakres wtedy należy wycenić i zakupić dane danego strumienia.

W przypadku, gdy przedmiotem wyceny jest kilka strumieni danych należy w odniesieniu do każdego ze strumieni przeprowadzić ich dekompozycję na kolejne urządzenia i unikalne parametry.

Suma wyszczególnionych w ramach strumieni istotnych z perspektywy wyceniającego powinna być wyceniona w ramach modelu. Oczywiście, kwestia czy takie wydzielenie jest możliwe zależy od obustronnych ustaleń stron. W tym wymiarze, strony w drodze umowy muszą postanowić czy możliwa jest wycena tylko istotnych parametrów z perspektywy zamawiającego.

Kontekst biznesowy

Wymiarem biznesowym modelu wyceny jest kontekst biznesowy. Dane tak samo jak każdy inny przedmiot wymiany handlowej oprócz elementów typowo technicznych związanych z charakterystyką, parametrami, ilością wycenianego posiada też kontekst biznesowy. W przypadku wyceny danych – kontekst – wiąże się bezpośrednio z wiedzą niejawną ukrytą w danych, a także z charakterystyką urządzeń, jakie produkują dane.

Tym samym, jeśli przedmiotem wyceny są dane, które pochodzą z maszyny, która jest unikatowa w skali danego rynku – jej dane powinny być adekwatnie więcej wycenione. Z drugiej strony, jeśli dane, które są wyceniane wiążą się z jakąś linią produkcyjną, w drodze inżynierii odwrotnej mogą posłużyć do parametryzowania np.: konkurencyjnych linii innej firmy bądź też innego oddziału większej spółki. W tej perspektywie ma to znaczenie biznesowe i powinno być przełożone na wymiar wyceny.

W wymiarze kontekstu biznesowego powinien się też znaleźć element wynikający z benchmarku. W przypadku, gdy, podobne dane były już wyceniane w podobnym wymiarze można uwzględnić benchmark. Wskaźnik benchmarku ma, zatem też możliwość podnieść bądź obniżyć sumaryczną wartość wyceny o daną wartość procentową. Dlatego też, wskaźnik benchmarku stanowi arbitralną miarę ustaloną przez wyceniającego z zarządem firmy sprzedającej dane i stawowi wymiar decyzji biznesowej.

3.3. Wycena

Podstawą do sporządzenia wyceny dla wyceniającego jest próbka danych. Próbka danych powinna zostać dostarczona przez dział wsparcia informacyjnego. Przy czym do danych powinien zostać załączony opis zawierający specyfikację danych wskazującą zarówno typ unikalnych zmiennych (wartość tekstowa, numeryczna itp.) czy jak i wskazujący kontekst (ciśnienie, temperatura, wykonana procedura itp.) jak i maszynę generującą.

Dopiero załączanie deskrypcji pozwoli na przygotowanie wiarygodnej wyceny, a także oceny czy dane, które będą przedmiotem wymiany są adekwatne do potrzeb, które zgłosił zamawiający. Należy przy tym pamiętać, że wycena powinna się dokonać na próbce danych z wybranego okresu czasu – istotnego ze względu na kontekst biznesowy. W przypadku proponowanego modelu wycena jest sporządzana przez podmiot oferujący dane.

Wartość danych wyznaczana jest, jako kombinację rang przypisanych kolejnym pozycjom adekwatnie do ilości pozyskiwanych danych z danego źródła. Rangi zostały wskazane na wykresie stanowią propozycję autora i wymagają dalszych badań i konsultacji.

Wycena stanowi wartość danych strumienia (WDS) stworzoną poprzez trzy wymiary, tj.: wartość wolumenu (W), przelicznik jakości (J) oraz przelicznik kontekstu biznesowego (KB). Tym ze względu na fakt, że wycena stanowi proces. Jej pierwszym etapem będzie określenie wartości wolumenu danych, następnie określony zakres wolumenu zostanie skorygowany o rangową ocenę jego jakości jak i rangową ocenę istotności pod względem kontekstu biznesowego. Przy czym, dla każdego strumienia danych sporządza się osobną dekompozycję. Tym samym całkowita wartość wyceny wyraża się wzorem:

$$WDS = \Sigma(W*J*KB) \quad (1)$$

Wartość wolumenu określona zostanie metodą kosztową – wskazującą okres, z jakiego pobierane są dane pomnożony przez arbitralną stawkę pozyskania danych. Stawka pozyskiwania danych powinna wynikać z analizy controllingowej wskazującej/szacującej koszty udostępnienie danych na danym urządzeniu w ciągu np.: godziny, dnia czy też miesiąca – w zależności od potrzeb. Stawka powinna

uwzględniać oczekiwany poziom marży. Przy czym marża powinna być większa im dostarczana informacja danej unikalnej zmiennej jest wartościowa np.: w przypadku inżynierii odwrotnej.

Przelicznik jakości danych stanowi rangową ocenę poszczególnych elementów w skali od $\langle 0,1 \rangle$, przy czym 0 oznacza, że wolumen zupełnie nie spełnia danego kryterium jakości, a 1 że całkowicie spełnia. Wynikowy wskaźnik jakości stanowi średnią arytmetyczną poszczególnych ocen.

Natomiast wskaźnik kontekstu biznesowego ustalony jest po analizie kolejnych kryteriów i jest ustalony przez analityka na poziomie od co najmniej 1 do 2. Przy czym – jako średnia arytmetyczna kryteriów. Kolejne kryteria tego wymiaru mogą przyjąć wartość teoretycznie od zera do ustalonej wartości. Zatem ten wskaźnik pozwala zmienić znacząco kształt wyceny – tak by jak najlepiej oddać kontekst biznesowy. Oceny spełnienia kryteriów dokonuje analityk danych w oparciu o próbkę.

Tym samym finalna formuła ma następującą postać:



Rys. 1. Model wyceny (opracowanie własne)

3.4. Wyzwania dla koncepcji

Biorąc pod uwagę to, że na łamach niniejszego artykułu proponowana jest koncepcja modelu autorzy świadomi są występowania dobrych stron proponowanych rozważań, ale też i wyzwań przed nim stojących:

- Model na obecnym etapie nie uwzględnia kwestii podatkowych. Definiuje tylko nominalny koszt danych. Ten aspekt wymaga analizy prawnej w celu ustalenia odpowiedniej stawki VAT, jaką powinien uregulować zamawiający.
- Kolejne wyzwanie to arbitralność przypisanych wag, stawek i elementów w ocenie jakościowej jak i kontekście biznesowym. W tym wymiarze planuje się przeprowadzenie badań ankietowych skierowanych do przedsiębiorstw jak i analityków, co do postrzeganej przez nich wartości poszczególnych wag jak i kompletności kryteriów.

4. WNIOSKI

Zagadnienie wyceny danych strumieniowych stanowi znaczące wyzwanie przede wszystkim ze względu na wielowymiarowość i ściśle powiązanie aspektów produkcyjnych, informatycznych i biznesowych. Niemniej jednak, ze względu na intensywny rozwój nowoczesnych rozwiązań informatycznych, takich: jak Internet rzeczy, chmura obliczeniowa, analityka dużych zbiorów danych Big Data należy się spodziewać, że zagadnienie wyceny produkcyjnych danych strumieniowych będzie znacznie częściej rozpatrywane. Wykonanie wyceny danych strumieniowych nie powinno być wykonywane tylko na podstawie autorytarnych ocen, czy tylko i wyłącznie wiedzy eksperckiej. Przede wszystkim ze względu na fakt, że tego typu szacowania mogą być w dużej mierze niedoszacowane jak i przeszacowane. Brak narzędzia bądź systematycznego podejścia do wyceny może zniechęcać przedsiębiorstwa do wymiany danych, które i tak będą generowane przez maszyny parku maszynowego sterowane numerycznie.

Ze względu na te wymagania, artykuł stanowi próbę sformułowania modelu takiej wyceny, w oparciu doświadczenie autora jak i literaturę specjalistyczną. Opisane na łamach artykułu narzędzie to autorski model, stanowiący koncepcję rozwiązania opisanego problemu związanego ze sposobem wyceny danych uwzględniając koszty ich pozyskania, poziom oczekiwanej marży jak i poziom przydatności do budowy modeli analitycznych tworzonych z wykorzystaniem metod i technik maszynowego uczenia. Tym samym, wynikiem użycia modelu jest prognoza wartości zestawu danych stanowiący zapis online parametrów maszyn procesów produkcyjnych.

Ze względu na nowość analizowanego zagadnienia, wskazane są dalsze badania, które pozwolą na weryfikację koncepcji. Co więcej, pozwolą na odpowiedź czy koszty pozyskania danych nie przekroczą zysku z efektów ich wykorzystania i jaki może mieć to skutek na organizację.

LITERATURA

- [1] SWACHA J.: *Metoda wyceny wartości zbiorów danych na potrzeby zarządzania cyklem życia informacji*. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Informatyka Ekonomiczna, 2011, 20, nr 187, s. 108–119
- [2] CIEPLAK T., MALEC M.: *Practical usage of cloud computing in computer integrated manufacturing*. New methods in industrial engineering and production management, Politechnika Lubelska, 2012, s. 7–18.
- [3] KHODADADI F., DASTJER A. V., BUYYA R.: *Internet of Things: An Overview*, ArXiv e-prints, Chapter 1, 2017.
- [4] BRUNNER R. J., KIM E. J.: *Teaching Data Science*, Procedia Computer Science, Vol. 80, 2016, s. 1947–1956.
- [5] O'NEIL C., SCHUTT R.: *Doing Data Science*, O'Reilly, 2014.
- [6] BRZEZINSKI D.: *Block-Based and Online Ensembles for Concept-Drifting Data Streams* – Ph.D. thesis. Poznan University of Technology, 2015.

- [7] Gartner, 10 Megatrends in Analytics, <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/10-megatrends-in-analytics>
- [8] Gartner Says Worldwide Business Intelligence and Analytics Market to Reach \$18.3 Billion in 2017, <http://www.gartner.com/newsroom/id/3612617>
- [9] KRAWCZYK B., MINKU L., GAMA J., STEFANOWSKI J., WOŹNIAK M.: *Ensemble learning for data stream analysis: A survey*. Information Fusion, Volume 37, September 2017, pp. 132–156

Przemysław PLECKA, Krzysztof BZDYRA,
Zbigniew BANASZAK*

METODA PRZEDWDROŻENIOWEGO WYMIAROWANIA ZMIAN OPROGRAMOWANIA SYSTEMÓW KLASY ERP

Streszczenie

Przedmiotem pracy są zagadnienia wymiarowania czasu i kosztów zmian oprogramowania związane z adaptacją standardowych rozwiązań systemów klasy ERP do specyfiki wdrażających je przedsiębiorstw. Istniejące metody wymiarowania nie sprawdzają się na etapach rozmów handlowych i analizy przedwdrożeniowej. Próbę odpowiedzi na te potrzeby stanowi autorski metamodel szacowanych parametrów wdrożenia uwzględniający rozmyte właściwości zmiennych decyzyjnych problemu szacowania kosztów oprogramowania. W odróżnieniu od innych, model ten w większym stopniu spełnia zwyczajowe warunki: kompletności, jednolitości i niesprzeczności wymagań. Jego implementacja w metodzie szacowania kosztów wdrożenia pozwala uzyskiwać wyniki z lepszą dokładnością i nie większym kosztem niż jest to możliwe przy pomocy innych znanych metod.

1. WSTĘP

Standardowe oprogramowanie klasy ERP zawierające zbiory najczęściej wykorzystywanej funkcjonalności [1,8] nie uwzględnienia bogatej specyfiki potrzeb średnich przedsiębiorstw. Przykładowo mówiąc, wykorzystywany w przedsiębiorstwie specyficzny sposób obiegu dokumentów może dyskwalifikować wykorzystanie jednej lub kilku funkcjonalności oferowanych w standardowym systemie ERP. Sytuacja taka wymusza bądź to wprowadzenie stosownych

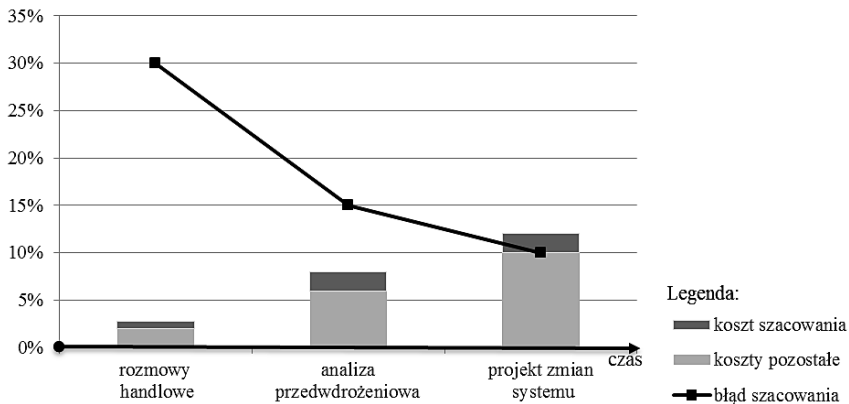
* Zakład Podstaw Informatyki i Zarządzania, Politechnika Koszalińska, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, tel.: 94 3478738, przemek.plecka@gmail.com, kbzdyra@tu.koszalin.pl, zbigniew.banaszak@tu.koszalin.pl

zmian struktury i organizacji przedsiębiorstwa, bądź też dostosowanie oferowanych rozwiązań do potrzeb użytkowników. W większości przypadków ma miejsce drugie z tych rozwiązań; to dostawcy oprogramowania rozszerzają swoje oferty tak, że oprogramowanie ostatecznie wdrażanych „standardowych” rozwiązań, uwzględniając uwarunkowania związane np. ze sposobem organizacji procesów logistycznych, spełnia indywidualne oczekiwania przedsiębiorstw.

W przedstawionym kontekście oprócz zwyczajowo występujących w projektach informatycznych etapów obejmujących: dostawę sprzętu komputerowego, budowę/rozbudowę infrastruktury teleinformatycznej lokalnej/rozległej, udostępnianie licencji na oprogramowanie, instalację i parametryzację oprogramowania na serwerze i jednostkach roboczych, import danych z wcześniej używanego przez klienta systemu informatycznego (SI) oraz szkolenia, wdrożenia systemów klasy ERP obejmują również etap dostosowania funkcjonalności oferowanego, standardowego oprogramowania do wymagań klienta. Ponoszone koszty oraz ocena ryzyka ich przekroczenia mogą być oszacowane z wystarczającą dokładnością na wszystkich oprócz ostatniego z wyżej wymienionych etapów. Oznacza to, że każdorazowe wdrożenie referencyjnej wersji systemu ERP wpisuje się w planowanie związanego z nim przedsięwzięcia, a w szczególności w wymiarowanie czasu i kosztów zmian oprogramowania. Istotną rolę w procesie planowania odgrywają etapy: rozmów handlowych, analizy przedwdrożeniowej oraz studium wykonalności. W szczególności jednak, to właśnie ustalenia przyjęte w trakcie rozmów handlowych definiujących cel i zakres wdrożenia ERP determinują zakres projektu, jego ograniczenia, harmonogram (termin realizacji), a także wartość kontraktu.

Jest rzeczą naturalną, że zamawiający rozpoczyna rozmowy handlowe z wieloma dostawcami, a wybiera tylko jednego. Oznacza to jednak, że pozostali dostawcy ponoszą koszty (rozmów handlowych, analizy przedwdrożeniowej, procesów szacowania), ale nie podpisują kontraktu. Stąd dostawcom zależy, aby jak najszybciej tzn. już na etapie rozmów handlowych dysponować wynikami szacowania i przystąpić do negocjacji z zamawiającym lub też zrezygnować z kontraktu, ponosząc jeszcze stosunkowo niewielkie koszty prac przygotowawczych. To, jak zmienia się procentowy udział błędu szacowania i kosztu wymiarowania przedsięwzięcia wdrożeniowego, przedstawia przykład na rys. 1. Koszty pozostałe oznaczają koszty pozyskania danych do szacowania, np. koszty sesji analitycznych, wyjazdów, noclegów itp.

Łatwo zauważyć, że zmniejszenie błędu szacowania na przykład, na etapie rozmów handlowych, przy założeniu stałych kosztów wykonania, pozwala dostawcom wcześniej podejmować stosowne decyzje. Ma to szczególnie istotne znaczenie w sytuacjach, gdy klient rozpoczyna jednoczesne negocjacje z kilkoma dostawcami, a ostatecznie wybiera produkt tylko jednego z nich. Łatwo też widać jak ważną rolę w rozmowach (negocjacjach) handlowych odgrywa umiejętność dokładnego szacowania kosztów dostosowania ERP do wymagań klienta.



Rys. 1. Procentowy udział błędu i kosztu wymiarowania przedsięwzięcia wdrożeniowego systemu klasy ERP [13]

Niedoszacowanie kosztów grozi dostawcy utratą zysku bądź nawet taką stratą, która doprowadzi go do bankructwa. Z kolei jego przeszacowanie, zagraża przejściem kontraktu przez konkurencyjne firmy. Oznacza to, że głównych przyczyn niepowodzeń większości przedsięwzięć informatycznych bardziej należy się doszukiwać w ich nieprawidłowym definiowaniu, a w szczególności w błędach szacowania kosztów i czasu ich realizacji, niżli w jakości zarządzania nimi.

Metody wspomagające wycenę kosztów wykonania oprogramowania są powszechnie znane [5] i dostępne czego niestety nie można powiedzieć o metodach wymiarowania przedsięwzięć związanych ze zmianą istniejącego już oprogramowania. Większość znanych metod wymiarowania wykorzystuje metryki stanowiące formalne zapisy pewnych własności oprogramowania przeliczane na wartość kosztów po uwzględnieniu dodatkowych, specyficznych dla danego projektu, czynników. W praktyce jednak, tylko niektóre z wykorzystywanych metryk odzwierciedlają koszty wytworzenia oprogramowania, jak np. ilości linii kodu źródłowego (Source Lines of Code – SLOC) odpowiadające pewnej pracochłonności wytworzenia kodu, przekładającej się z kolei na stosowne koszty [2,3,14].

W istniejącej sytuacji opracowanie alternatywnych metod umożliwiających dokładniejsze szacowanie czasochłonności (kosztów) wprowadzania zmian oprogramowania urealniałoby planowane koszty i terminy realizacji projektu. Zmniejszyłoby też koszty wdrożenia oraz ryzyko porażki projektu wdrożenia. W tym też kontekście, przyjmując, że przedsiębiorstwo produkcyjne średniej wielkości planuje wdrożyć (w zakresie wybranych funkcjonalności) zintegrowany system zarządzania klasy ERP. Rozważany w pracy problem sprowadza się do opracowania metody szacowania kosztów zmian oprogramowania, metody której wykorzystanie na etapie rozmów handlowych i analizy przedwdrożeniowej, pozwala uzyskiwać wyniki z lepszą dokładnością i nie większym kosztem niż jest to możliwe przy pomocy innych znanych metod.

Ponieważ niska dokładność wyników szacowania uzyskiwana tradycyjnymi metodami może wynikać z posiłkowania się nieprecyzyjnymi i/lub niepełnymi danymi (nt. wymagań i/lub oczekiwań) pozyskiwanymi od klienta, a także z braku dostępu do wiedzy i doświadczeń kumulujących się z uprzednio prowadzonych wdrożeń. Zatem rozwiązanie wyżej przedstawionego problemu poszukiwane będzie w środowisku ontologicznych modeli z rozmytymi wartościami zmiennych decyzyjnych.

W kolejnym rozdziale przedstawiono ontologiczny model kosztów wdrożenia systemów ERP. Z kolei, w rozdziałach trzecim i czwartym omówiono podstawowe etapy metody szacowania kosztów wdrożenia oraz zilustrowano jej działanie na wybranych przykładach. Wnioski i uwagi, a także kierunki dalszych badań przedstawiono w rozdziale piątym.

2. ONTOLOGICZNY MODEL KOSZTÓW WDROŻENIA

Funkcjonalność systemów informatycznych oraz wymagania klienta w stosunku do wdrażanego SI, rozumiane jako ograniczony zakres wiedzy o przedsiębiorstwie dają się formalizować na wiele sposobów, jednym z nich może być ontologia rozumiana jako formalizm umożliwiający reprezentację wiedzy

o badanym obiekcie. Strukturę rozważanego dalej metamodelu szacowanych parametrów wdrożenia definiuje uporządkowana trójka (1):

$$O = (C, R^C, H^C) \quad (1)$$

gdzie: C – zbiór pojęć odpowiadających obiektom rzeczywistym wraz z atrybutami określonych typów,

R^C – zbiór nietaksonomicznych relacji łączących pojęcia z atrybutami określonych typów,

H^C – hierarchia pojęć, zbiór taksonomicznych relacji występujących pomiędzy pojęciami.

Interpretację pojęć i relacji między nimi zawieranych określa leksykon (2):

$$L = (L^C, L^R, L^H, F) \quad (2)$$

gdzie: L^C – definicje zbioru pojęć C ,

L^R – definicje zbioru relacji nietaksonomicznych R ,

L^H – definicje zbioru relacji taksonomicznych H ,

F – zbiór definicji typów atrybutów pojęć i relacji.

Nazwy symboli zaczerpnięto z definicji ontologii zaproponowanej w pracy [6]. Struktura metamodelu (1) odpowiada strukturze danego systemu informatycznego wyłącznie w zakresie tych jego elementów, które są znaczące w danym aspekcie badań. Na przykład, obiekty danych SI (tabele bazy danych) zdefiniowane w L^C tworzą zbiór pojęć C , a procedury realizujące określone funkcjonalności SI (przetwarzanie danych) zdefiniowane w L^R tworzą zbiór relacji nietaksonomicznych R .

Przedstawiony metamodel (1) pozwala na budowanie dedykowanych modeli parametrów wdrożenia uwzględniających jego różne perspektywy, np. koszty wdrożenia. Przystosowanie modeli do konkretnego zastosowania osiąga się przez odpowiednie definiowanie leksykonu (2) uszczegóławiającego struktury i właściwości modelu (1). Wykorzystywany dalej model szacowanych parametrów (kosztów) wdrożenia ma postać (3):

$$MSPW = (O, J, P, H, S) \quad (3)$$

gdzie: O – struktura modelu ontologicznego (1),

J – operacja łączenia (scalania) modeli lub fragmentów modeli,

P – operacja propagacji (zapisywana i uogólniania) wiedzy pochodzącej ze składowych o znanych właściwościach,

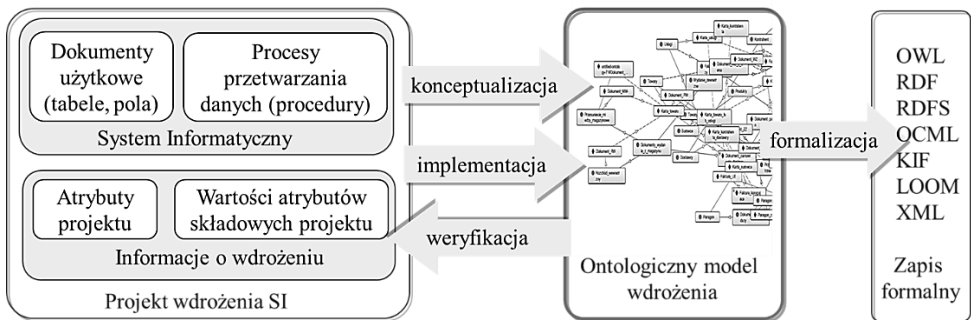
H – operacja dziedziczenia (przekazywania) wiedzy od nowododanych składowych o nieokreślonych właściwościach,

S – operacja różnicowania, określania różnic między dwoma modelami.

Konstruowanie dedykowanych $MSPW$ obejmuje dwa etapy. W pierwszym budowany jest ontologiczny model znanego systemu klasy ERP, w drugim etapie model ten uzupełniany jest o wiedzę odpowiadającą dedykowanemu profilowi zastosowań pochodzącą z wcześniej zrealizowanych wdrożeń. Diagram pokazujący źródła danych oraz ważniejsze etapy budowy ontologicznej reprezentacji $MSPW$ przedstawia rys. 2.

Oprócz etapu identyfikacji określającego przeznaczenie modelu, np. alokację kosztów w projekcie wdrożenia, oraz jego elementy składowe, np. dane, procesy, kategorie kosztów, ważną rolę odgrywają etapy:

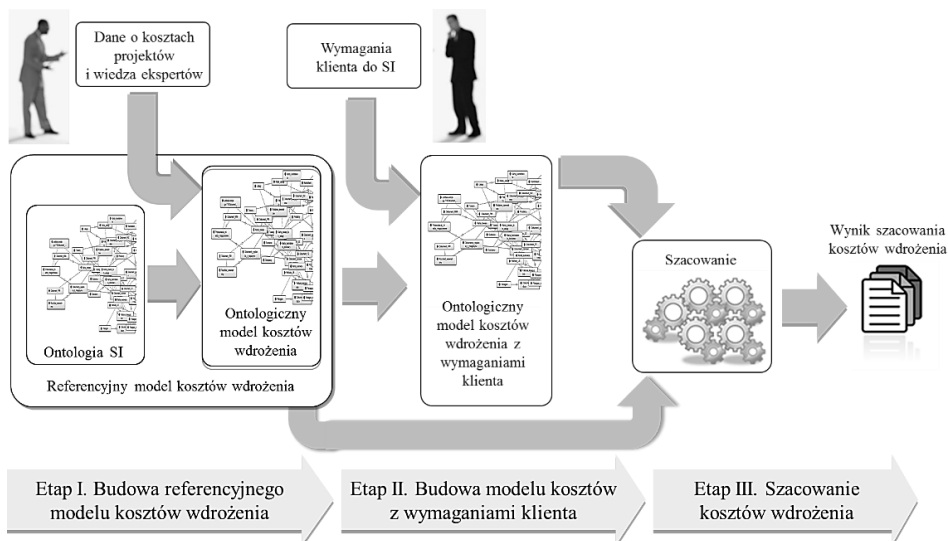
- konceptualizacji, obejmującej m.in. definiowanie leksykonu L oraz listy wystąpień i listy procesów zgodnych z L , budowę klas dokumentów użytkowych składających się na pierwszą część zbioru C , itp.
- implementacji, w trakcie którego następuje przypisanie wartości zgodnie z określonymi w L atrybutami, tworzenie relacji zawierania między klasami dokumentów użytkowych składających się na zbiór L^H , itp.
- formalizacji, sprowadzający się do wyboru formatu zapisu modelu np. XML, RDF, OWL lub inny.



Rys. 2. Schemat budowy ontologicznej reprezentacji MSPW [13]

3. METODA SZACOWANIA KOSZTÓW WDROŻENIA

Opracowana metoda szacowania kosztów wdrożenia składa się z trzech etapów, rys. 3. Na pierwszym etapie, dostawca tworzy model referencyjny kosztów wdrożenia. Uzupełnia go wiedzą o kosztach wcześniejszych wdrożeń. Model ten odzwierciedla koszty referencyjnego wdrożenia SI. Na drugim etapie, w trakcie rozmów handlowych i analizy przedwdrożeniowej, dostawca modyfikuje model referencyjny w zależności od wymagań klienta odnoszących się do ERP.

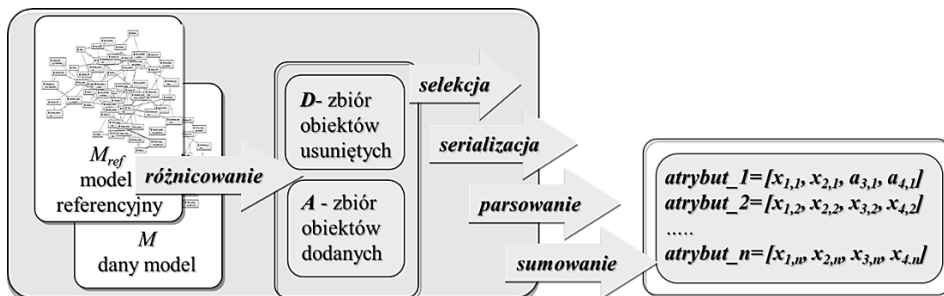


Rys. 3. Etapy metody szacowania kosztów wdrożenia [13]

Możliwe są następujące przypadki zmian w modelu: dodanie klasy, wystąpienia, relacji (operacja łączenia J), oraz usunięcie klasy, wystąpienia, relacji. Zmiana klas, wystąpień lub relacji realizowana jest przez usunięcie danego obiektu i utworzenie w jego miejsce nowego. Dodane składowe modelu nie posiadają jeszcze atrybutów związanych z kosztami wdrożenia. Dopiero w procesie dziedziczenia H zostaje im przypisany zestaw atrybutów nadrzędnych obiektów. W przypadku dodanych relacji taka operacja nie zawsze jest możliwa. Jeśli dodana relacja r łączy klasy c_1 i c_2 , to:

- jeśli klasa c_1 i klasa c_2 nie posiadają żadnych „starych” relacji, to wartości atrybutów kosztów szacuje ekspert, na przykład wykorzystując metodę szacowania przez analogię [4],
- jeśli klasa c_1 lub klasa c_2 posiadają „stare” relacje, to relacja $r(c_1, c_2)$ dziedziczy atrybuty, jakie występują w istniejących relacjach klasy c_1 lub c_2 .

W etapie trzecim wykonywana jest operacja różnicowania S modelu referencyjnego i modelu zawierającego dodatkowe informacje o wymaganiach klienta. Jej wynikiem są dwa zbiory, z których usuwane są klasy i ich atrybuty nie mające wpływu na koszty. Pozostają jedynie wystąpienia i relacje nietaksonomiczne. Pierwszy zbiór zawiera obiekty usunięte z modelu referencyjnego. Z tego zbioru wybierane i zsumowane są wartości atrybutu odpowiadające kosztom usunięcia danej składowej. Drugi zbiór zawiera obiekty, o które rozszerzony został model, tzn. obiekty uwzględniające wymagania klienta. Z tego zbioru wybrane są wartości atrybutów odpowiadające za koszty dodania danej składowej. Następnie zapis różnic przekształcony zostaje do formatu szeregowego (serializacja) oraz dokonywana jest analiza jego struktury gramatycznej (parsowanie). Po kolejno realizowanych operacjach serializacji i parsowania wyznaczany zostaje zbiór niepowiązanych składowych modelu wraz z komplectami atrybutów. W konsekwencji „sumowania” wartości (funkcji przynależności) atrybutów tego samego typu (np. *kosztu_dodania*) opisujących zmianę względem modelu referencyjnego wyznaczany jest model oszacowania kosztu zmian standardowego systemu ERP. Przebieg opisanego wyżej procesu ilustruje rys.4.



Rys. 4. Schemat szacowania zmian modelu MSPW [13]

Warto podkreślić, że przyjęcie rozmytych wartości atrybutów składowych modelu implikuje rozmytą wartość wyników, przyjmujących postaci funkcji przynależności, wyznaczających wartości oszacowań. Rozmyte wartości oszacowania niosą dodatkową wiedzę (m.in. informację o charakterze i zakresie zmian wyniku obliczeń), którą dostawca może wykorzystać w procesie negocjacji kontraktu.

4. PRZYKŁADY WERYFIKACJI

Ze względu na skalę rozważanych projektów, weryfikację przedstawionej metody szacowania kosztów wdrożenia ograniczono do obszaru zarządzania logistycznego, tzn. z funkcjonalnością należąca do jednej z najczęściej podlegających zmianom oprogramowania w standardowych rozwiązaniach systemów klasy ERP, rys. 5.



Rys. 5 Przykładowe obszary funkcjonalne systemów klasy ERP [13]

Prowadzoną weryfikację przeprowadzono na przykładzie danych obejmujących cztery, wcześniej zrealizowane projekty wdrożeń w branżach:

- przemysłu okrętowego, zakres prac: certyfikacji bezpieczeństwa sprzętu,
- produkcji urządzeń energetycznych, zakres prac: zamówienia surowców,
- produkcji elementów z żywic epoksydowych, zakres prac: kontrola surowców,
- produkcji agrourządzeń: zakres prac: zarządzania magazynem wyrobów gotowych,

Na przykładzie systemu Xpertis [8] firmy Macrologic zaprojektowano instancję ontologicznego modelu kosztów wdrożenia dla obszaru zarządzania logistycznego zawierającą 36 klas i podklas, 29 wystąpień (ang. *individuals*), oraz 11 typów relacji (ang. *object properties*) występujących w 138 przypadkach. Model ontologiczny uzupełniono rzeczywistymi danymi pochodzącymi z dokumentacji powykonawczej, projektów wcześniej zrealizowanych przez dostawcę, w zakresie wartości atrybutów *koszt_dodania*, *koszt_usunięcia*. Model kosztów wdrożenia, dedykowany etapom rozmów handlowych i analizy przedwdrożeniowej zaimplementowany został w środowisku programu Protégé 5.0 [14].

Wyniki badań dotyczące dokładności wyników uzyskiwanych opracowaną metodą, tzn. badań mających na celu porównanie wartości szacowanych z rzeczywistymi kosztami (zebranych w tabeli 1 i 2) wykazały znaczną poprawę dokładności z 30–40% do 10–20% na etapie rozmów handlowych i z 14–40% do 4–22% na etapie analizy przedwdrożeniowej. Oznacza to, że zastosowanie opracowanej metody poskutkowało dwukrotnym wzrostem dokładność szacowania.

Tab. 1. Weryfikacja dokładności metody szacowania zmian kosztów oprogramowania na etapie rozmów handlowych

Projekt	Metoda hybrydowa ² [rbh]	Proponowana metoda [rbh]	Rzeczywiste koszty [rbh]	Błąd szacowania Δx	
				metoda hybrydowa	proponowana metoda
nr 1	38	46	51	34%	11%
nr 2	79	91	112	42%	23%

Tab. 2. Weryfikacja dokładności metody szacowania zmian kosztów oprogramowania na etapie analizy przedwdrożeniowej

Projekt	Metoda hybrydowa [rbh]	Proponowana metoda [rbh]	Rzeczywiste koszty [rbh]	Błąd szacowania Δx	
				metoda hybrydowa	proponowana metoda
nr 1	59	53	51	14%	4%
nr 2	98	102	112	14%	10%
nr 3	367	383	413	13%	8%
nr 4	53	65	79	49%	22%

W badaniach mających na celów porównanie czasochłonność procesu szacowania związanego z wykorzystaniem opracowanej metody, a innymi wybranymi metodami: *Indywidualna ocena eksperta*, *Zliczania, obliczania i oceniania*, *Szacowanie przez Analogię*, *Analiza Punktów Funkcyjnych*, potwierdzona została również inna jej zaleta – we wszystkich badanych przypadkach czasochłonność szacowania była od 27% do 43% mniejsza niż czasochłonność szacowania wynikająca z danych historycznych, patrz tabela 3. W przeprowadzonym porównaniu nie uwzględniono czasochłonności budowy ani też konserwacji ontologicznego modelu wdrożenia. Koszt budowy takiego modelu dostawca ponosi jednorazowo dla standardowego ERP.

² metoda hybrydowa – szacowanie różnymi znanymi metodami niezależnych wymagań

Tab. 3. Weryfikacja czasochłonności budowy modelu implementowanego w metodzie szacowania kosztów oprogramowania

Projekt	Metoda hybrydowa [rbh]	Proponowana metoda [rbh]	Zmniejszenie czasu szacowania
nr 1	7	5	29%
nr 2	11	8	27%
nr 3	42	24	43%
nr 4	5	3,5	30%

W przypadku gdy dostawca wykorzystuje ontologiczny model SI do tworzenia oprogramowania, jak to ma miejsce w ontologii KAKTUS i TLOVE [5,10,11], to koszty budowy modelu wdrożenia dzielą się pomiędzy projektami produkującymi SI i projektami wdrożeniowymi. Warto również zauważyć, że koszt szacowania związany z zastosowaniem opracowanej metody można jeszcze bardziej zmniejszyć wprowadzając automatyzację wyliczania wartości atrybutów klas w czasie procesu propagacji P oraz dziedziczenia H atrybutów przez nowo dodane składowe modelu.

5. ZAKOŃCZENIE

Przeprowadzone badania poligonowe wykazały, że na etapach rozmów handlowych i analizy przedwdrożeniowej opracowana metoda gwarantuje dokładniejsze wyniki od tych, które otrzymuje dostawca szacując zmiany oprogramowania znanymi metodami. Badania te sugerują również, że metoda ta powinna być stosowana dla projektów o czasochłonności większej niż 100 rbh.

Zauważono również, że na ocenę wyników szacowania uzyskiwanego z pomocą opracowanej metody istotny wpływ ma struktura przyjętego modelu ontologicznego oraz wiedza dostawcy o kosztach (czasochłonności) poszczególnych jego składowych modelu. Elementy te determinują koszty budowy tychże modeli, wymagane do kompleksowej weryfikacji kosztów procesu szacowania. Oznacza to potrzebę kontynuacji badań pod kątem szacowania kosztów budowy również samych modeli ontologicznych.

Oprócz wyżej przedstawionych wątków, kierunki dalszych prac wyznaczają potrzeby związane z rozszerzaniem modeli ontologicznych na pozostałe funkcjonalności systemów ERP, a także automatycznym wyznaczaniem wartości atrybutów klas w czasie procesu propagacji P oraz dziedziczenia H atrybutów przez nowo dodane składowe ontologii.

LITERATURA

- [1] BANASZAK Z., MLECZKO J., KŁOS S.: *Zintegrowane systemy zarządzania*, Wydanie II, PWE, Warszawa 2016.
- [2] BOEHM B. W.: *Software Engineering Economics*, Englewood Cliffs, New York, 1981.
- [3] BOEHM B. W.: *Software Cost Estimation with COCOMO II*, Prentice Hall, 2000.
- [4] BZDYRA K., PLECKA P.: *Identyfikacja wymagań użytkownika ERP w procesie wyceny kosztów wdrożenia*, w: *Information Systems in Management XVIII*, Wydawnictwo SGGW, Warszaw, 2013, str. 121–131.
- [5] MCCONELL S.: *Software Estimation: Demystifying the Black Art*, Microsoft Press, 2006.
- [6] MEADCHE A.: *Web information tracking using ontologies. Intelligent systems in accounting*, [w:] *Finance and Management*, nr 12, 2004.
- [7] Microsoft Corporation, *Microsoft Dynamics*, <http://www.microsoft.com/en-us/dynamics/erp-ax-overview.aspx> [data dostępu: 10.01.2016].
- [8] Comarch SA, *Comarch ERP XL*, <http://www.comarch.pl/erp/xl> [data dostępu: 10.01.2016].
- [9] Macrologic SA, *Xpertis – inteligentne systemy zarządzania przedsiębiorstwem*, <http://www.macrologic.pl/rozwiązania/erp> [data dostępu: 10.01.2016].
- [10] GOŁUCHOWSKI J.: *Ontologia jako jawny i sformalizowany model wiedzy gromadzonej o SZW nowej generacji*, w: *Technologie informatyczne w zarządzaniu wiedzą w organizacji*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice, 2005, str. 216–223.
- [11] GRUBER T. R.: *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*, *Technical Report KSL 92–71*, Knowledge Systems Laboratory, Computer Science Dept. Stanford University, Stanford, 1993.
- [12] PLECKA P., BZDYRA K.: *Wykorzystanie ontologii w wymiarowaniu projektów informatycznych*. XVII Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Zakopane, 2014, tom II, nr VIII, str. 230–240.
- [13] PRZEMYSŁAW P.: *Metoda przedwdrożeniowego wymiarowania zmian oprogramowania wybranej klasy systemów ERP*, Rozprawa doktorska, Wydział Elektroniki i Informatyki, Politechnika Koszalińska, Koszalin 2016
- [14] SCHNEIDER G., WINTERS J. P.: *Applying Use Cases: A Practical Guide*, Addison Wesley Publishing Company Incorporated, 2001.

*Jerzy STAMIROWSKI**

INTEGRACJA INFORMACYJNA W OBSZARZE PROJEKTOWANIA I TECHNICZNEGO PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI

Streszczenie

Integracja informacyjna jest istotnym elementem automatyzacji procesów projektowania i technicznego przygotowania produkcji. Prowadzone w ISO prace doprowadziły do opracowania standardu ISO 10303 STEP ujednoliciającego model informacyjny opisujący własności wyrobu. Model pozwala uzyskać integrację informacyjną, procesów projektowania i technicznego przygotowania produkcji co poprawia efektywność prac projektowych. W artykule przedstawiono syntetycznie zasady integracji, standard STEP i język EXPRESS. Wskazane zostały również wybrane zastosowania standardu STEP w obszarze automatyzacji technicznego przygotowania produkcji i wytwarzania.

1. WPROWADZENIE

Współczesne warunki produkcji złożonych wyrobów stawiają przed przedsiębiorstwami zadanie zwiększenia konkurencyjności. Podstawowym instrumentem rozwiązania tego problemu staje się stosowanie w przedsiębiorstwach technologii informacyjnych we wszystkich procesach cyklu życia wyrobu. Analiza cyklu życia wyrobu oparta o identyfikację procesów oraz wdrażanie technologii informacyjnych uwzględniających koncepcje informacyjnie zintegrowanego przedsiębiorstwa, powinny być metodyczną podstawą działalności współczesnego przedsiębiorstwa. Istniejące międzynarodowe standardy zawierają zbiory zasad zgodnie z którymi możliwa jest współpraca informacyjna systemów z wszystkich obszarów cyklu życia wyrobu a zintegrowane środowisko informacyjne, powinno zapewnić wszystkim uczestnikom cyklu życia wyrobu ujednolicony sposób wymiany informacji.

Integracja informacji i automatyzacja stają się w otoczeniu rynkowych koniecznym warunkiem konkurencyjnej działalności przedsiębiorstwa.

* Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Automatyki i Robotyki, Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, j.stamirowski@tu.kielce.pl

Jednym z podstawowych problemów integracji jest dysponowanie ujednoczonym modelem danych, oferującym dane potrzebne do opisu wyrobu na każdym etapie cyklu życia wyrobu. Zaletą takiego modelu jest również to, że jego dane mogą być używane przez aplikacje obsługujące różne zadania procesów w cyklu życia wyrobu.

Ze względu na wielowątkowość, złożoność i obszerność problematyki integracji w cyklu życia wyrobu, przedstawione zostaną jedynie i to syntetycznie zagadnieniach integracji w obszarach projektowania i technicznego przygotowania produkcji, ze wskazaniem na znaczenie modelu danych o wyrobie. Modelem pozwalającym w sposób wyczerpujący opisać własności wyrobu na każdym etapie cyklu życia wyrobu jest międzynarodowy standard ISO 10303 STEP.

2. PODSTAWOWE POJĘCIA ZWIĄZANE Z MODELEM WYROBU I INFORMACYJNĄ INTEGRACJĄ CYKLU ŻYCIA WYROBU.

2.1. Wyrób

Wyrób jest wynikiem określonej działalności przedsiębiorstwa. Wyroby produkowane w przemyśle budowy maszyn mogą mieć różne postaci, od prostego detalu do złożonej maszyny. Każdy wyrób opisany jest określonym rodzajem i objętością informacji.

2.2. Cykl życia wyrobu

Cykl życia wyrobu to zbiór wzajemnie związanych procesów (etapów) powodujących zmiany stanu wyrobu prowadzące w konsekwencji do zaspokojenia wymagań klienta. Każdy proces i zmiana stanu opisane są informacją. Cykl życia złożonego wyrobu np. samolotu trwa na ogół dziesiątki lat, przy czym większą część czasu zajmują procesy projektowania i wytwarzania.

W literaturze wymieniana jest różna liczba etapów cyklu życia wyrobu. Jeden z podziałów wymienia ich dziesięć: marketing, projektowanie i techniczne przygotowanie produkcji, planowanie procesów produkcji i kontroli, zakup materiałów i półwyrobów, wytwarzanie i usługi wytwarzania, pakowanie i magazynowanie, przekazanie do eksploatacji, gwarancyjna pomoc techniczna i obsługa serwisowa, działalność posprzedażna w okresie eksploatacji, utylizacja [8]. Dużą część czasu całego cyklu zajmują podstawowe procesy produkcji: projektowanie i techniczne przygotowanie produkcji oraz wytwarzanie. Procesy wytwarzania przebiegają zgodnie z procesami technologicznymi (operacje, zabiegi), które również opisane są określoną informacją.

2.3. Automatyżacja procesów cyklu życia wyrobu

W początkowym okresie komputerowego wspomaganía procesów produkcyjnych, systemy komputerowe stosowano do rozwiązywania pojedynczych odizolowanych zadań. W pierwszej kolejności powstały systemy dla zarządzania. Niedługo po nich pojawiły się systemy automatyzacji obliczeń inżynierskich, automatyzacji projektowania i technicznego przygotowania produkcji, sprowadzone początkowo do komputerowego programowania OSN (CAE/CAD/CAM).

W miarę zwiększania się liczby systemów i producentów systemów, pojawił się problem przesyłania danych pomiędzy różnymi systemami różnych producentów, stosujących różne formaty kodowania danych. Głównym problemem wstrzymującym efektywne zarządzanie informacją stała się ogromna ilość informacji w zróżnicowanych formatach ("chaos informacyjny") tworząca bariery komunikacyjne pomiędzy uczestnikami cyklu życia wyrobu. Problemy ten dotyczył w szczególności dużych międzynarodowych przedsiębiorstw produkujących złożone wyroby tj. samoloty, okręty, samochody. Poszukiwanie rozwiązania tego problemu doprowadziło do powstania koncepcji integracji informacji w obszarze cyklu życia wyrobu. W końcu lat 70-tych i na początku 80-tych XX wieku powszechnie uważano, że dla automatyzacji projektowania konieczny jest jeden model definiujący własności wyrobu. W wyniku doświadczeń przemysłowych powstała współczesna koncepcja zintegrowanego wsparcia informacyjnego cyklu życia wyrobu, oparta na wymianie informacji "bez papieru" i standaryzująca model danych opisujący wyrób na każdym etapie cyklu życia wyrobu. Model proponował utworzenie jednolitej przestrzeni informacyjnej (JPI) obejmującej wszystkich uczestników cyklu życia wyrobu. Charakterystycznymi cechami JPI powinny być: otwarta architektura, wspólne przechowywanie danych (repozytoria) i pracujące na danych proponowanego modelu oprogramowanie akceptowane przez wszystkich uczestników cyklu życia wyrobu [8]. Wraz z rozwojem modelowania komputerowego, międzynarodowy komitet standaryzacji (ISO) opracował standardy, wykorzystujące światowe wdrożenia w obszarze wymiany danych.

3. INFORMACYJNE WSPARCIE CYKLU ŻYCIA WYROBU

3.1. Technologie reprezentacji danych

Pod pojęciem tym należy rozumieć zbiór metod, języków i modeli pozwalających opisać i przedstawić informacje o wyrobie w odniesieniu do każdego z procesów cyklu życia wyrobu.

Obszar przedmiotowy wyrobu to nieustrukturyzowany zbiór obiektów opisanych wartościami ich właściwości oraz istniejącymi pomiędzy nimi związkami.

Model informacyjny to nazwane zbiory encji (entity, obiekty) posiadające właściwości (atrybuty), które opisane są nazwami (metadane) np. promień, długość. Wartości atrybutów wyrażone są liczbowo lub opisowo np. 50, 100, mały, duży. Pomiędzy zbiorami encji istnieją logiczne związki.

Przy automatyzacji każdego etapu cyklu życia wyrobu tworzony jest model zawierający:

- zbiór pojęć przedstawiający obiekty obszaru przedmiotowego, uczestniczące w rozwiązaniu postawionego zadania,
- zbiór atrybutów opisujących własności obiektów obszaru przedmiotowego
- związki odpowiadające zależnościom pomiędzy obiektami obszaru przedmiotowego.

Na każdym etapie cyklu życia wyrobu model służy do opisu wyrobu i wymiany informacji o wyrobie, stając się źródłem pierwotnej informacji dla wszystkich programów użytkowych każdego etapu cyklu życia wyrobu. Programy te mogą również zbierać i przechowywać wyniki swojej pracy. W początkowym okresie problemem ujednoczenia modelu danych było stosowanie w praktyce dużej liczby metod, języków i modeli danych o wyrobach.

3.2. Technologie integracji danych

Technologia integracji danych to zbiór zautomatyzowanych metod integrowania procesów cyklu życia wyrobu wraz z ich danymi w ramach jednolitej przestrzeni informacyjnej. Proces integracji polega na zbudowaniu struktury łączącej oddzielne modele cyklu życia wyrobu przez powiązanie zbioru pojęć o obiektach, atrybutach i związkach.

Integracja przeprowadzana jest na ogół w dwóch etapach:

- celem pierwszego etapu jest utworzenie w oparciu o istniejące standardy dokumentów elektronicznych dla każdego procesu i każdego uczestnika cyklu życia wyrobu,
- celem drugiego etapu jest utworzenie z niezależnych dokumentów, zintegrowanej jednolitej przestrzeni informacyjnej (ZJPI) dla cyklu życia wyrobu. Wynikiem może być utworzenie wirtualnego przedsiębiorstwa.

Integracja automatyzuje i zdecydowanie usprawnia wymianę informacji pomiędzy etapami cyklu życia wyrobu.

3.3. Baza standardów technologii informacyjnego wsparcia cyklu życia wyrobu

Podstawowy podział dzieli standardy na: funkcjonalne (opisujące metody rozwiązywania zadań) i techniczne (określające modele, struktury wymiany danych oraz wspólne stosowanie).

W przypadku informacyjnego wsparcia cyklu życia wyrobu można wyróżnić pięć grup standardów [8], [3],[10]:

- standardy funkcjonalne przeznaczone do opisu funkcji procesów i ich wpływu na postać modelu danych o wyrobie. Pozwalają one przedstawić w różnych formach np. graficznej, funkcjonowanie procedur systemów w ZJPI. Przykładami mogą być: metodologia modelowania funkcjonalnego IDF0 podająca sposoby opisu procesów, Workflow Management Coalition opisujący sposób przepływu danych w potokach (workflow) oraz coraz powszechniej stosowany język UML;
- standardy informacyjne opisu i klasyfikacji struktur danych o wyrobie używane przez wszystkich uczestników cyklu życia wyrobu. Podstawowym standardem jest tu międzynarodowy standard wymiany danych o wyrobie ISO 10303 STEP [3];
- standardy architektury oprogramowania pozwalającej na wymianę dane bez bezpośredniego udziału człowieka. Realnym staje się wtedy współpraca różnych programów, zbudowanych na jednakowej dla wszystkich aplikacji architekturze. Ze względu na swoje zalety w dużych przedsiębiorstwach stosowane są standardy sieciowych architektur obiektowych CORBA (Common Object Request Broker Architecture) i DCOM (Distributed Common Object Model) [10];
- standardy komunikacyjne opisujące sposoby fizycznego przesyłania danych pomiędzy systemami komputerowymi. Podstawą są tutaj standardy sieci Internet;
- standardy interfejsów użytkownika opisują interfejsy przy pomocy których użytkownicy prowadzą dialog z system i procedury współpracy systemów [10];

Standaryzacja ma duże znaczenie w procesie tworzenia zintegrowanej przestrzeni informacyjnej. Największe znaczenie z punktu widzenia procesów projektowania i technicznego przygotowania produkcji ma standard ISO 10303 STEP.

Dlaczego STEP jest zalecany i coraz powszechniej stosowany? Przyczyną jest oferowana przez standard bardzo rozbudowana struktura danych, opisująca geometrię wyrobu, strukturę złożonych wyrobów i związki w jakie wchodzi tworzące ją elementy. Model danych o tak rozbudowanych strukturach danych, jako jedyny model standaryzowany, przewidziany jest do użycie w szerokim zakresie zastosowań obejmujących cały cykl życia wyrobu i jest w stanie objąć ten obszar. Informacja z plików STEP w języku EXPRESS może być używana

do projektowania procesów technologicznych obróbki a opis struktury utworzony z wchodzących w związki detali do projektowania procesów technologicznych montażu.

Struktura danych modelu STEP jest dużo bogatsza od struktury standardów IGES, SET czy VDA-FS. Proponowany obecny protokół AP242 STEP powala ponadto uwzględnić w opisie wymagania odnoszące się do jakości wyrobu tj. tolerancja i błędy kształtu. Rozszerzenie to powiększy możliwości automatyzacji projektowania procesów technologicznych oraz procesów kontroli.

4. STEP

4.1. Historia

STEP rozpoczął swój rozwój w 1984 roku jako następcą IGES, SET i VDA – FS. Początkowo planowano utworzenie standardu dla jednego modelu niezależnego od wyrobu. Jednak ze względu na jego złożoność, został podzielony na mniejsze części, rozwijane i zatwierdzone osobno. W latach 1994/95 ISO opublikowała wstępny opis STEP jako standard międzynarodowy składający się z części 1, 11, 21, 31, 41, 42, 43, 44, 46, 101, 201 i AP 203. Dzisiaj AP 203 – Projekt wyrobu z kontrolowaną konfiguracją (Configuration controlled design) jest nadal jednym z najważniejszych protokołów zastosowań STEP i wspiera go w procesach importu i eksportu wiele systemów CAD.

W drugiej fazie rozwoju STEP został rozszerzony i dostosowany do specyfiki procesów projektowania w przemysłach: lotniczym, motoryzacyjnym, elektrycznym, elektronicznym i innych. Etap ten zakończył się w 2002 roku wydaniem protokołów STEP AP 202, AP 209, AP 210, AP 212, AP 214, AP 224, AP 225, AP 227, AP 232. Wprowadzono również interpreter konstrukcji – aplikacje serii AIC, 500. Części te okazały się jednak zbyt duże, nakładały się na siebie i nie były wystarczająco ujednolicone. Zauważone niedoskonałości doprowadziły do rozwoju modułowej struktury STEP (400, Seria 1000). Powstały nowe AP obejmujące dodatkowe etapy cyklu życia takie jak: wczesna analiza wymagań (AP 233), konserwacje i naprawy (AP 239), nowe obszary przemysłowe (AP 221, AP 236). Powstały nowe modułowe edycje poprzednich AP (AP 203, AP 209, AP 210). Publikacja tych nowych wydań zbiegła się z wydaniem w 2010 roku nowego produktu SMRL ISO, opisującego moduły STEP i biblioteki zasobów. Zawiera ona opisy wszystkich części zasobów standardu STEP i modułów aplikacji na jednej płycie CD. SMRL ma być częściej poprawiany i dostępny po znacznie niższych kosztach niż przy zakupie wszystkich części osobno. W grudniu 2014 ISO opublikowała pierwszą edycję nowego podstawowego protokołu AP 242, który łączy wcześniejsze AP w górę w sposób kompatybilny. AP 242 łączy dwa najpowszechniej stosowane protokoły STEP: AP203 i AP214 [11].

STEP charakteryzuje się długą historią w dziedzinie definiowania modeli danych wyrobów przy jednoczesnym stworzeniu możliwości niezależnej wymiany danych pomiędzy różnymi systemami. Stwarza możliwości różnorodnego użycia i ponownego wykorzystanie danych Dostawcy rozwiązań CAM pracują obecnie nad możliwościami przetwarzania i wykorzystania danych reprezentowanych przez AP242 PMI (Product Manufacturing Information) w automatyzacji procesów technicznego przygotowania produkcji głównie projektowania procesów technologicznych i kontroli [1], [4], [20].

STEP jest rozwijany i utrzymywany przez komitet techniczny ISO TC 184, systemy automatyzacji i integracji, podkomitetu SC4, dane przemysłowe. Podobnie jak przy innych normach ISO i IEC STEP objęty jest prawami autorskimi przez ISO. Jest standardem trudnym, wymusza konieczność zapoznania się z szeregiem nowych koncepcji i nie jest łatwo dostępny. Stan ten może zmienić SMRL ISO. Dostępny dla użytkowników jest natomiast język EXPRESS (ISO 10303-11), który jest osią standardu. Przy pomocy języka EXPRESS można definiować struktury danych a wersja G pozwala na graficznie przedstawienie struktur. Krótki przegląd historii STEP pokazuje, że nie jest to standard martwy. Jest nadal intensywnie rozwijany i coraz szerzej stosowany.

4.2. Podstawowe własności standardu STEP

Informacja o wyrobie wykorzystywana jest w cyklu życia wyrobu przez różne użytkowe systemy komputerowe. Zalecany do budowy modeli informacyjnych, przedstawiających struktury danych o wyrobie, międzynarodowy standard, formalnie, ISO 10303 Product data representation and exchange (Przedstawienie danych o wyrobie i ich wymiana) noszący nieformalną nazwę STEP – Standard for the Exchange of Product data (standard dla wymiany danych o wyrobie) zawiera pięć podstawowych komponentów: metody opisu, metody realizacji, zintegrowane zasoby, metody testowania zgodności, protokoły zastosowań.

4.3. Metody opisu

Przeznaczone są dla modeli informacyjnych zintegrowanych zasobów i protokołów zastosowań. Podstawowym narzędziem opisu wyrobu przy pomocy danych jest w standardzie STEP język EXPRESS (ISO 10303-11) [2, 3] nazywany często językiem modelowania informacji. Nie jest to język programowania, jest to język umożliwiający opisanie własności wyrobu. Współczesne programy CAD/CAM tj. CATIA, SOLIDWORKS generują na wyjściu pliki wymiany danych standardu STEP w języku EXPRESS.

Z założenia język EXPRESS operuje niezależnymi obiektami nazywanymi również zgodnie z terminologią przyjętą w projektowaniu baz danych encjami. Właściwości encji opisuje się atrybutami i ich wartościami. Np. obiekt (encja)

punkt o nazwie P1 ma trzy atrybuty o nazwach x, y, z (metadane) i trzy wartości 10, 10, 10. Dane te przedstawiają pozycję punktu P1 w przestrzeni. Język EXPRESS jest językiem obiektowym dlatego operacjom wymiany plików w tym języku, najlepiej odpowiada architektura obiektów rozproszonych tj. CORBA czy DCOM [10].

Niżej przedstawiono fragment pliku STEP w języku EXPRESS odpowiadający jednej krzywej.

```
#93=CARTESIAN_POINT('POINT6', (1.08712E+002, 5.4303168E+001, 0.0E+000));
#94=VERTEX_POINT('VERTEX6', #93);
#95=CARTESIAN_POINT('POINT7', (1.12522E+002, 5.0493168E+001, 0.0E+000));
#96=VERTEX_POINT('VERTEX7', #95);
#97=CARTESIAN_POINT('POS3', (1.08712E+002, 5.0493168E+001, 0.0E+000));
#98=DIRECTION('DIR4', (0.0E+000, 0.0E+000, -1.0E+000));
#99=DIRECTION('DIR5', (-1.0E+000, 0.0E+000, 0.0E+000));
#100=AXIS2_PLACEMENT_3D('AXIS2', #97, #98, #99);
#101=CIRCLE('ELLIPSE2', #100, 3.810000000000001E+000);
#102=EDGE_CURVE('EDGE6', #94, #96, #101, .T.);
#103=ORIENTED_EDGE('COEDGE6', *, *, #102, .T.);
```

W miarę stabilny język EXPRESS opisujący wyrób i udostępniony do powszechnego stosowania jest jedną z największych zalet standardu STEP. Pliki STEP mogą być swobodnie przesyłane pomiędzy systemami posiadającymi zdolność interpretacji standardu STEP a polecenia języka EXPRESS mogą być przetwarzane zgodnie z potrzebami różnych procesów cyklu życia wyrobu.

Istotne jest to, że różne systemy różnych producentów mogą swobodnie wymieniać dane, jeżeli czytają język EXPRESS i generują na wyjściu pliki w języku EXPRESS. W przypadku kiedy dwa współpracujące systemy używają różnych formatów plików wejścia i wyjścia ich współpraca wymaga użycia w każdym z nich innych programów dopasowujących.

4.4. Metody realizacji

Metody realizacji STEP odnoszą się do wymiany danych o wyrobie. Są one zorientowane na struktury danych opisane językiem EXPRESS. STEP proponuje dwie metody wymiany danych: plik wymiany i interfejs SDAI (Standard Data Access Interface – ISO 10303–22) łączący dostęp do bazy danych o wyrobie z systemami CAD.

4.5. Protokoły zastosowania

Protokół zastosowania STEP jest specjalnym przedstawieniem informacji o wyrobie dla konkretnego obszaru przedmiotowego. W odróżnieniu od przedstawienia bazowego zawiera on uzupełnienia specyficzne dla danego obszaru przedmiotowego. Przykładami obszarów przedmiotowych uwzględnionych w standardzie STEP są: budowa maszyn ISO 10303–203 (AP 203), budowa samochodów ISO 10303–214 (AP 214), budowa okrętów ISO 10303–215 (AP 215). Specjalne przedstawienie danych na podstawie przedstawienia bazowego nazywa się interpretacją. Utworzenie interpretacji polega na przystosowaniu wybranych elementów modelu bazowego (w EXPRESS) do obszaru przedmiotowego protokołu zastosowania. Interpretacja wyraża się często dodaniem nowych atrybutów i ograniczeń.

4.6. Zintegrowane zasoby

Zintegrowane zasoby określone są specyficznymi dla obszaru przedmiotowego protokołami zastosowań STEP. Podstawą zintegrowanych zasobów jest bazowy model wyrobu w języku EXPRESS wchodzący w zestaw protokołów zastosowań.

4.7. Metody testowania

Metody testowania służą do sprawdzenia zgodności oprogramowania używanego do opisu i przesyłania danych z odpowiednim standardem protokołu zastosowania STEP.

4.8. Obiekty informacyjnego modelu wyrobu w popularnym protokole AP 203

Swoją niezależność od obszaru przedmiotowego język EXPRESS zawdzięcza podejściu zorientowanemu obiektowo. Podstawowym pojęciem modelowania obiektów obszaru przedmiotowego w języku EXPRESS są abstrakcyjne pojęcia: "zbiór encji", "encja". Zbiór encji można utożsamiać z klasą przedmiotów realnego świata opisaną atrybutami. Encja jest egzemplarzem zbioru encji i można ją utożsamiać z pojedynczym obiektem. Deklaracja "zbioru encji" w języku EXPRESS rozpoczyna się kluczowym słowem ENTITY, po którym występuje nazwa. Deklaracja określa przestrzeń egzemplarzy wyrażoną przez wszystkie możliwe wartości ich atrybutów. Przestrzeń egzemplarzy może być ograniczona przez wybór ograniczonego zbioru wartości atrybutów. Każdy egzemplarz jest unikalny.

4.9. Ogólna charakterystyka informacyjnego modelu wyrobu w AP203

Protokół ISO 10303–203 Configuration controlled design (projekt wyrobu z zarządzaniem konfiguracją) – AP 203, omówiony jako najpopularniejszy reprezentant protokołów AP, przeznaczony jest głównie dla wymiany danych opisujących projektowany wyrób [2], [3], [8]. Zawiera on przedstawione niżej grupy danych tworzące model:

- identyfikacja wyrobu, jego komponentów i ich związków,
- zarządzanie konfiguracją wyrobu,
- opis procesu utworzenia i zmiany wyrobu,
- identyfikacja dostawców komponentów,
- opis geometrii, model 3D.

Sformułowano w nim również zalecenia dla danych charakteryzujących grupy wyrób. W zasadzie AP 203 nie został utworzony dla przechowywania danych o wyrobie w postaci rysunków, chociaż można go adaptować i do tego celu.

4.10. Identyfikacja wyrobu (Part_identification)

Zawiera podstawowe zasady opisu wyrobu, wersji i wewnętrznej klasyfikacji. Jedną z podstaw standardu STEP jest możliwość różnorodnego przedstawienia wyrobu. Model wyrobu składa się z części ogólnej (core model) i szeregu podrzędnych modeli opisujących różne aspekty wyrobu.

Bazowym obiektem jest egzemplarz klasy **product** na który nakłada się charakterystyki jego wersji. Dla opisu oznaczenia wyrobu, jego wersji i sposobu prezentacji AP 203 wykorzystuje schemat **product_definition_schema** z tomu ISO 10303–41.

4.11. Wyrób (product)

Klasa **product** określona w ISO 10303–1 podaje zalecenia dotyczące oznaczenia i opisu w kontekście tworzenia nowego obiektu przez proces.

Wersja wyrobu.

Wersja wyrobu definiowana jest przez klasy:

Product_definition_formation (Wersja wyrobu).

Product_definition_formation_with_specified_source (Wersja wyrobu ze wskazaniem pochodzenia).

Obiekt **product_definition** odpowiada opisowi jednej wersji jednego wyrobu dla jednego aspektu etapu cyklu życia wyrobu.

4.12. Klasyfikacja wyrobów

Klasa **product_category** opisuje klasę wyrobów do której odnosi się opis. Klasa **product_category_relationship** opisuje zależności pomiędzy dwoma klasami wyrobu. Klasy mogą tworzyć podklasy.

4.13. Opis i prezentacja własności wyrobu

Modele opisu i prezentacji pokazują postać i właściwości wyrobu, w procesie produkcji i eksploatacji. Każdy wyrób (**produkt_definition**) może mieć kilka prezentacji. Obiekty schematu **product_property_representation_schema** pozwalają określić związek pomiędzy własnościami wyrobu i ich prezentacjami (model geometryczny, model tekstowy).

4.14. Geometrii wyrobu

Shape (kształt) – to jedna z podstawowych własności wyrobu. Kształt i gabaryty wyrobu opisane są obiektami geometrycznymi i zależnościami pomiędzy różnymi postaciami wyrobów. Geometria wyrobu związana jest z jego prezentacją. W standardzie STEP prezentacja zależy od obszaru przedmiotowego i sposobu użycia. Prezentacjami mogą być: rysunek, model MES, model własności fizycznych itp.

Obiekty geometryczne STEP opisujące kształt wyrobu to głównie punkty oraz dwu- i trzywymiarowe parametryczne krzywe i powierzchnie. Schemat **geometric_model_schema** (ISO 10303–42) zawiera obiekty określające różne rodzaje modeli geometrycznych.

4.15. Struktura wyrobu

Dla opisu struktury wyrobu należy podać do jakiej jednostki montażowej wchodzi wyrób i jakie jest jego położenie. W AP 203 te dwie cechy rozpatrywane są niezależnie.

4.16. Opis struktury wyrobu

Klasy używane do opisu struktury wyrobu w AP 203 zawarte są w schemacie **product_structure_schema** z ISO 10303–44. Znajdują się tam narzędzia pozwalające przedstawić zależności pomiędzy wyrobami. W AP 203 używane są zdefiniowane w ISO 10303–44 następujące zależności:

Klasa **assembly_component_usage** ustanawia związek pomiędzy elementami konstrukcji przy pomocy czterech podtypów:

Klasa **quantified_assembly_component_usage** – związek pomiędzy elementami i ich operacjami montażu,

Klasa **next_assembly_usage_occurence** – określa zależność pomiędzy elementem i kolejną bezpośrednią operacją montażu,

Klasa **specified_higher_usage_occurence** – określa zależność pomiędzy montowanym elementem a węzłem najwyższego poziomu. W ten sposób można połączyć węzły na różnych poziomach

Klasa **promissory_usage_occurence** przerywa związek pomiędzy montowanym elementem a węzłem najwyższego poziomu.

Struktura wyrobu modelowana jest skierowanym analitycznym grafem. W modelach tych węzły reprezentują wyrób a łuki charakter połączenia. W schemacie **product_structure_schema** węzły odpowiadają klasie **product_definition** a łuki **assembly_component_usage**.

Przy pomocy schematu **product_structure_schema** mogą być tworzone inne struktury odnoszące się do wyrobów. Należą do nich: specyfikacja (bill-of-material) i schemat podziału (parts list structur).

Dla użytkowników, którzy chcą automatyzować projektowanie procesów technologicznych montażu, opis struktury wyrobu STEP powinien być podstawą. Pełny opis języka EXPRESS znajduje się w normie ISO 10303–11 [2,], [3].

4.17. PMI (Product Manufacturing Information)

Dla poprawy konkurencyjności, przez lepsze wykorzystanie modelu 3D standardu STEP jako podstawy komunikowania się systemów, firmy coraz częściej uzupełniają model geometryczny 3D o dane opisujące wymagania jakie ma spełnić wyrób w procesie produkcji oraz o informacje dla produkcji. Należą do nich między innymi wymiary geometryczne uzupełnione tolerancją i błędami kształtu. Adnotacje umieszczane są bezpośrednio na modelu 3D. Do tak rozszerzonego modelu danych o wyrobie przypisywane jest pojęcie PMI (Product Manufacturing Information) – informacja o wytwarzaniu wyrobu. Rozszerzony w ten sposób podstawowy modele 3D dostarcza dużo więcej informacji uczestnikom realizującym procesy: wytwarzania, montażu i kontroli, poprawiając efektywność ich pracy [19], [20]. Problem ten stał się również przedmiotem prac ISO, o czym świadczy nowy protokół AP242 PMI [1], [4].

5. ZARZĄDZANIE DANYMI O WYROBIE

5.1. Technologia PDM

Technologia PDM (Product Data Management) przeznaczona jest do zarządzania danymi o wyrobie i procesami informacyjnymi cyklu życia wyrobu. Dane o wyrobie to cała informacja towarzysząca wyrobowi w czasie cyklu życia. Procesy informacyjne to procedury cyklu życia wyrobu tworzące dane

o wyrobie na danym etapie cyklu lub używające dane o wyrobie do przetwarzania np. procedury zmian wyrobu. Jednym z podstawowych zadań PDM jest zwiększenie dostępu do danych wszystkim uczestnikom cyklu życia wyrobu, co związane jest ściśle z zagadnieniem integracji danych opartej o jeden model informacyjny.

5.2. System PDM

Jest to system komputerowy realizujący technologię PDM i przeznaczony do zarządzania związanymi z wyrobem danymi i procesami informacyjnymi. W odróżnieniu od systemów stosowanych w zarządzaniu i ukierunkowanych na zarządzanie zasobami, system PDM ukierunkowany jest na zarządzanie danymi o wyrobie. Ze względu na funkcje użytkowe systemy PDM można podzielić na [8]:

- systemy PDM tworzące środowisko pracy użytkownika;
- system PDM pełniący funkcję integracji danych w cyklu życia wyrobu.

W wielu przedsiębiorstwach funkcjonuje dwa centra integracji: system ERP integrujący dane o zasobach i system PDM integrujący dane o wyrobie. Ponadto system PDM współpracuje poziomo z systemem ERP i pionowo z systemami użytkowymi: CAD, CAM itp. Dane wypracowane przez systemy użytkowe przesyłane są do PDM a w przypadku konieczności wprowadzenia zmian, wracają do systemu użytkowego. Najprostszym sposobem wymiany danych są pliki wymiany danych. Obecnie wszystkie systemy: PDM, ERP i użytkowe, powinny pracować ze wspólną bazą danych. Warunkiem wymiany jest jednokowy format danych wymienianych pomiędzy systemami.

Systemy PDM wytwarzane są przez wyspecjalizowane firmy np. Windchill i coraz częściej przez firmy wytwarzające systemy CAD, które rozszerzają możliwości swoich systemów o funkcję PDM np. SOILDWORKSPDM [19].

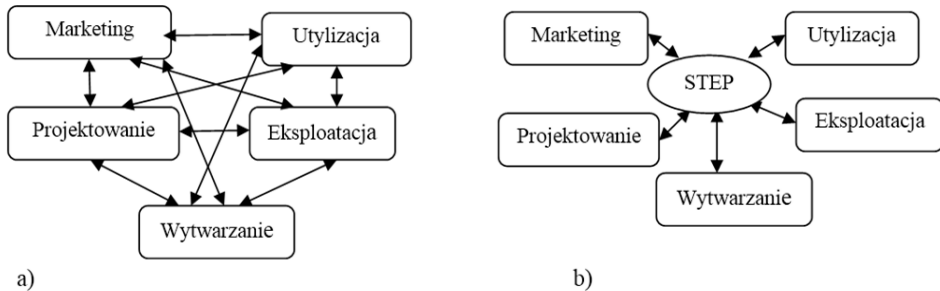
6. STEP W WYBRANYCH ZASTOSOWANIACH INŻYNIERSKICH

Przedstawione niżej skrótowo wybrane przypadki zastosowań pokazują możliwości i obszary zastosowań standardu STEP w procesach technicznego przygotowania produkcji.

6.1. Wymiana danych z użyciem standardu STEP

Jedną z podstawowych zalet standardu STEP w procesie wymiany danych jest ograniczenie liczby post i preprocesorów konwertujących formaty plików wyjściowych i wejściowych współpracujących systemów (rys. 1). Tak zorganizowana wymiana jest przejrzysta, mniej zawodna i bardziej efektywna.

Cykl życia wyrobu

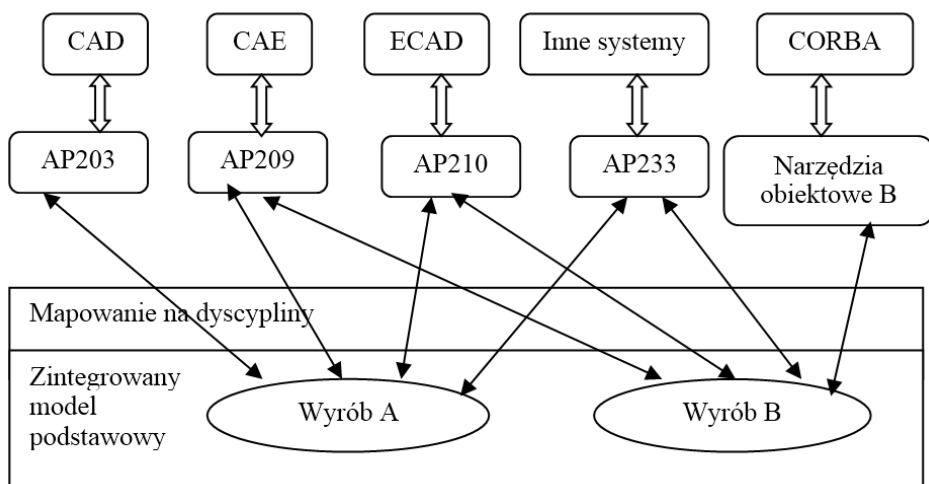


Rys. 1. Wymiana informacji w środowisku informacyjnym: a) bez używania standardowych plików wymiany; b) z użyciem standardowych plików wymiany STEP

Aktualne systemy PDM zapewniają zaawansowane zarządzanie konfiguracją, tworzeniem wersji i strukturą produktu. Oferują zaawansowane prezentowanie modeli i danych inżynierskich, grupują pliki i dokumenty związane z konkretną wersją produktu, umożliwiają przeglądanie i raportowanie.

Jednak większość systemów PDM nie jest w stanie wygenerować reprezentacji wymaganej dla modelu innej dyscypliny, ponieważ systemy PDM nie rozumie wewnętrznej semantyki modeli. Wyjątkiem są bardziej zaawansowane systemy PDM posiadające zdolność do wydobywania informacji z plików STEP np. o montażu. Żeby umożliwić interdyscyplinarną współpracę systemów w procesie integracji zaawansowani użytkownicy stosują w procesach wymiany danych standard STEP (rys. 2).

System wymiany integruje heterogeniczne modele dyscyplin przez zdefiniowany na stałe model podstawowy. Zapewnia algorytmiczny wgląd w modele dyscyplin i świadczy usługi interdyscyplinarne. Odwzorowanie reprezentacji modelu podstawowego w dyscypliny realizowane jest z użyciem języka EXPRESS. Narzędzia dyscypliny używające modeli STEP muszą mieć możliwość importu i eksportu plików STEP. Taki model wymiany posługujący się własnościami standardu STEP nazywany jest "Inteligentnym systemem PDM" [7].



Rys. 2. IPDM – Inteligentny PDM integrujący dyscypliny i udostępniający interfejsy obiektowe PDM (opracowanie własne na podstawie [7])

Standard STEP wykorzystywany jest do wymiany danych w produktach firmy Dessault Systems. Translator systemu SOLIDWORKS importuje pliki STEP (*.step) jako dokumenty części lub złożenia; geometrię obiektów powierzchni, krzywe, kolory, oraz informacje o topologii z plików AP214 STEP; geometrię krawędziową (szkieletową) z plików STEP AP203 i AP214 oraz dane konfiguracyjne STEP.

Translator systemu SOLIDWORKS eksportuje części lub złożenia do plików STEP. Możliwy jest wybór eksportu indywidualnych części lub podzespołów z drzewa złożenia. Jeżeli wybierzemy podzespół, automatycznie wybrane zostaną wszystkie jego komponenty. Jeżeli wybierzemy komponent, jego przodkowie zostaną częściowo wybrani, zachowując strukturę złożenia.

CATIA V6R2013x w Dessault Systems uzyskała możliwość importu i eksportu standardu STEP AP242 [19].

Model danych standardu 3D, ISO 10303–242 z reprezentacją PMI stał się ważnym elementem wymiany danych w produkcji samochodów i samolotów. Zapewnił długoterminową archiwizację i wprowadził do produkcji elementy inteligencji. STEP używany jest również przez inne firmy lotnicze i samochodowe w których wyróżnia się dobrą wydajnością i niezawodnością.

6.2. STEP w programowaniu obrabiarek CNC

Wprowadzenie standardu STEP do projektowania technologii obróbki na obrabiarkach CNC przyczynia się do zmniejszenia objętości programów, poprawia komunikację pomiędzy CAM a produkcją jak również pozwala kontrolować i korygować jakość obrabianych detali w czasie rzeczywistym.

Od blisko 50 lat do programowania obrabiarek CNC używany jest język G-kodów. Jest on od lat krytykowany [9]. Z powodu jego wad w wielu zastosowaniach, szczególnie w przemyśle lotniczym i samochodowym podejmowano próby wprowadzenia zmian mających na celu usprawnienie przepływów i wymiany danych. Programy obróbki używane w tych przemysłach charakteryzują się przepływami informacji o dużej objętości. Wymiana danych jest czasochłonna i nieefektywna. Niedogodności te spowodowały zaangażowanie się wielu producentów w działania, mające na celu doprowadzenie do standaryzacji wymiany danych.

Prace nad opracowaniem nowego standardu podjęła grupa robocza ds. wytwarzania i narzędzi maszyn organizacji OMAC. Podgrupa STEP-NC rozpoczęła prace nad dostosowaniem normy ISO 10303 do celów grupy OMAC. Opracowany standard STEP-NC z wykorzystaniem protokołu AP-238 kieruje strumień danych od oprogramowania CAM do oprogramowania sterownika CNC, jednocześnie chroniąc i upraszczając informacje. Jak sugeruje m. in. firma Boeing lepszym rozwiązaniem jest system, w którym zamiast danych o ruchach osi przesyła się informację o ruchach narzędzia. Wyrafinowane systemy CNC mogą przeliczać dane o ruchu narzędzia na dane o ruchu poszczególnych osi. Powstaje również możliwość przesyłania do CNC informacji wysokiego poziomu odnoszącej się do właściwości wytwarzanych elementów, materiałów, narzędzi oraz tolerancji tj. danych technologicznych. W sytuacji gdy używa się standardów, takich jak np. AP-238 w STEP-NC, dane o ruchach narzędzi stają się „niezależne od maszyny” [22]. Pojawiły się również propozycje przesyłania do układu sterowania programów w języku EXPRESS lub do niego podobnym.

Użycie standardów STEP AP 238 (usługa obróbkowa) i AP 242 (usługa pomiarowa) pozwoliło w czasie rzeczywistym przeprowadzić obróbkę aktualizującą obrabianego detalu, na podstawie wygenerowanego z użyciem protokołów STEP cyfrowego modelu "bliźniaka". Z modelem łączono się również przy pomocy smar fonu. Próbę przeprowadzono w październiku 2016 r. w obecności przedstawicieli zespołów ISO TC 184/SC4, OMAC i firmy Boeing.

6.3. STEP w automatyzacji projektowania procesów technologicznych.

Zastosowanie STEP w automatyzacji projektowania procesów technologicznych pozwala opracować nowe metody projektowania dla których danymi wyjściowymi są wygenerowane przez systemy CAD pliki w języku EXPRESS. Zautomatyzowane elastyczne systemy produkcyjne (ZESP) projektowane są z myślą o obróbce przez system rodziny detali. W takich przypadkach proces technologiczny projektowany jest metodą wariantową albo generacyjną. Idea generacyjnego projektowania procesów oparta jest na pojęciach elementarnego obiektu konstrukcyjnego i elementarnego obiektu technologicznego. Automatyzacja wyodrębniania elementarnych obiektów konstrukcyjnych z geometrii detali zapisanej w plikach STEP w języku EXPRESS i wygenerowanych

z systemów CAD, przyczynia się do znacznego postępu w generacyjnym projektowaniu procesu technologicznego. STEP dobrze reprezentuje wyroby przez ich dane geometryczne, topologię i wymagania obróbki a pliki wymiany danych w języku EXPRESS generowane są przez wiele systemów CAD. Pliki w języku EXPRESS są plikami tekstowymi. Przetworzenie tych plików przez programy użytkowników pozwala generować elementarne obiekty konstrukcyjne dla detali pryzmatycznych [16, 17] detali osiowosymetrycznych i otworów [12],[16],[17]. Do rozpoznawania elementarnych obiektów konstrukcyjnych mogą być używane różne języki programowania np. java [12] Elementarne obiekty mogą być dalej przetwarzane przez systemy budujące proces technologiczny z operacji i zabiegów. Elementarne obiekty mogą być przechowywane w bazie danych i w przyszłości wykorzystywane przez systemy technicznego przygotowania produkcji i planowania. Problemami rozpoznawania elementarnych obiektów i ich cech zajmuje się obecnie wielu naukowców. Metoda projektowania procesów technologicznych w oparciu o rozpoznane w plikach STEP elementarne obiekty jest ważnym ogniwem integracji etapów projektowania i wytwarzania cyklu życia wyrobu. Automatyzacją opartą o jeden model danych objęte były by prace projektowe i prace technicznego przygotowania produkcji.

Istnieją również propozycje wykorzystania w procesie budowę systemu CAM opartego na standardzie STEP-NC, szczegółowego modelu danych narzędziowych standardu STEP [18].

6.4. STEP w automatyzacji projektowania zautomatyzowanych elastycznych systemów produkcyjnych (ZESP)

Podstawą projektowania ZESP są realizowane w systemie procesy technologiczne. Wybór obrabiarek i struktury ZESP z użyciem procedur opartych o technologie wygenerowane na podstawie elementarnych obiektów rozpoznanych w plikach EXPRESS, zautomatyzowałby i zintegrował cały obszar projektowania i technicznego przygotowania produkcji aż do poziomu projektu ZESP, w którym wytwarzane były by zaprojektowane w CAD wyroby [22].

7. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono zarys zasad integracji, historii STEP, struktury języka EXPRESS oraz wskazano wybrane przypadki stosowania STEP w praktyce inżynierskiej. Duża objętość norm STEP, utrudniony dostęp oraz konieczność zapoznania się z szeregiem nowych koncepcji, utrudniają upowszechnianie standardu. Przedstawione w artykule syntetyczne ale dość szerokie spojrzenie na integrację z zastosowaniem standardu STEP pokazujące jego możliwości. Rozszerzoną wiedzę o standardzie można uzyskać z obszernej literatury.

Mimo wszystkich trudności, duże przedsiębiorstwa produkujące wyroby o najwyższym poziomie technicznym, widzą przewagę dobrych stron standardu STEP i rozwijają jego stosowanie. Standard STEP nie jest standardem martwym. ISO kontynuuje proces jego rozwoju np. AP242, a przedsiębiorstwa rozwijają jego stosowanie.

LITERATURA

- [1] ISO 10303–242:2014: *Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 242: Application protocol: Managed model-based 3D engineering*. http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm%3Fcsnumber%3D57620
- [2] ISO 10303–11:2004: *Subscribe to updates Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual*. http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=38047
- [3] PN-ISO 10303–11: *Systemy integracji i automatyzacji przemysłowej. Reprezentacja i wymiana danych o produktach. Metody opisu. Język EXPRESS*.
- [4] *Recommended Practices for STEP AP242 Business Object Model XML Product & Assembly Structure*. 2016.
- [7] STEPHEN C. WATERBURY: *STEP for Multi-Disciplinary Model Management: "Intelligent PDM"*. NASA/Goddard Space Flight Center, July 16, 1999.
- [8] KOŁCZYN A.F., OWSJANNIKOW W.M., SSTRJELKOW A.F.: *Zarządzanie cyklem życia produkcji*. M: Ancharsis, 2002.
- [9] SOSONKIN W.L., MARTINOW F.M.: *Systemy sterowania numerycznego*. Wydawnictwo Logos, M.: 2005.
- [10] EMMERICH W.: *Engineering Distributed Objekts*. Wydawnictwo John Wiley & Sons Ltd., Wydanie angielskie 2000, Wydanie rosyjskie M.: 2002.
- [11] www.en.wikipedia.org/wiki/ISO_10303
- [12] ASHOK G., HEBBAL S.S., SACHHIDANAND REUR: *Development of alogorithm to recognize through slot feature from STEP AP224 neutral file*, International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol. 05, Issue 08, 2016.
- [13] MALLESWARIA V.N., VALIB P.M., SARCAC M.M.M.: *Automatic Recognition of Machining Features using STEP Files*. International Journal of Engineering Research & Technology, Vol. 2, Issue 3, March 2013.
- [14] SANKHA DEB, J. RAUL PARRA-CASTILLO, KALYAN GHOSH: *An Integrated and Intelligent Computer-Aided Process Planning Methodology for Machined Rotationally Symmetrical Parts*. International Journal of Engineering Research & Technology, Vol. 13, Issue 1, 2011.
- [15] SREERAMULU D., RAO C.S.P.: *A new methodology for recognizing features in rotational parts using STEP data exchange standard*. International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 3, No 6, 2011.
- [16] SREERAMULUR D., RAO C.S.P.: *A New Methodology for Recognition of Milling Features from STEP File*. The International Journal of Applied Management and Technology, Vol. 6, Num. 3, 2008, pp.172–190, pp.105–115.
- [17] ASHOK G., HEBBAL S.S., SCACHHIDANAD R.: *Recognition of Hole Feature and Stock Details of a Prismatic Part from Its STEP AP224 Neutral File*. International Journal on Emerging Technologies, 6(1), 2015, pp. 118–124.

- [18] POBOŻNIAK J.: *Reprezentacja danych o narzędziach obróbkowych w standardzie STEP-NC. Tool data representation in STEP-NC standard*. Mechanik, nr 02/2015 – Artykuły z Międzynarodowego Kongresu CAX Innovation zamieszczone na płycie CD.
- [19] <https://www.3ds.com> – Dessault Systems
- [20] <https://www.steptools.com/stds/stepnc>
- [21] STAMIROWSKI J.: *Koncepcja technologicznego wyboru urządzeń dla elastycznych systemów produkcyjnych z wykorzystaniem standardu ISO 10303 STEP*. Technologia i automatyzacja montażu, nr 3/2016, pp.20–24.

Ewelina KOSICKA*, Arkadiusz GOLA**

PROBLEMATYKA PROJEKTOWANIA INTELIGENTNEGO SYSTEMU PREDYKCYJNO-DECYZYJNEGO DLA POTRZEB SŁUŻB UTRZYMANIA RUCHU

Streszczenie

Konieczność zwiększenia niezawodności i efektywności systemów produkcyjnych stawia wyzwania w zakresie opracowywania nowoczesnych rozwiązań umożliwiających przewidywanie możliwości wystąpienia awarii obiektu technicznego oraz optymalizację terminu i zakresu realizacji prac konserwacyjno-remontowych. W niniejszym artykule przedstawiono główne założenia i problematykę projektowania inteligentnego systemu predykcyno-decyzyjnego dla potrzeb służb utrzymania ruchu. W sposób szczególny skupiono się na problemach, których rozwiązanie może umożliwić opracowanie inteligentnego systemu realizującego dynamiczną analizę parametrów resztkowych i danych o charakterze nietechnicznym.

1. WSTĘP

Dynamicznie zachodzące zmiany w przemyśle produkcyjnym, znajdujące swoje odzwierciedlenie w rosnącym poziomie automatyzacji i robotyzacji systemów produkcyjnych, są m.in. efektem narastającej konkurencji w skali globalnej oraz niespotykanego dotąd postępu technicznego [3,11]. Trend ten znajduje również odzwierciedlenie w rozwoju koncepcji Przemysłu 4.0, której podstawowym założeniem jest możliwość analizy i wnioskowania na podstawie danych dotyczących wszystkich obszarów przedsiębiorstwa. Połączenie komputerów, sterowników oraz maszyn poprzez IIoT (ang. *Industrial Internet of Things*) pozwala na budowę systemów cyberfizycznych (CPS, ang. *Cyber-Physical Systems*) [10,12], których istotą jest odzwierciedlenie rzeczywistych obiektów

* Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, 81 538 42 40, e.kosicka@pollub.pl

** Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, 81 538 45 35, a.gola@pollub.pl

w sposób matematyczny. W konsekwencji, efektem prowadzonych badań ma być utworzenie inteligentnej fabryki (ang. *Smart Factory*) m.in. poprzez [2,9]:

- wdrażanie nowoczesnych systemów wytwarzania (umożliwiających wizualizację i monitoring przebiegu produkcji),
- wykorzystanie chmur danych (poprzez składowanie i przetwarzanie danych w chmurach, wykorzystanie systemów analitycznych i kalkulacyjnych),
- analizę danych pochodzących z produkcji (wykorzystanie zaawansowanych algorytmów decyzyjnych do analizy w czasie rzeczywistym),
- stosowanie inteligentnych czujników (w celu uzyskania bezprzewodowego przekazywania danych),
- wykorzystanie systemów cyber-fizycznych (będących autonomicznymi systemami decyzyjnymi),
- dążenie do posiadania nowoczesnego UR (opierającego swe działania na algorytmach przewidywania awarii, zdalnych systemach wsparcia czy systemach zarządzających utrzymaniem ruchu).

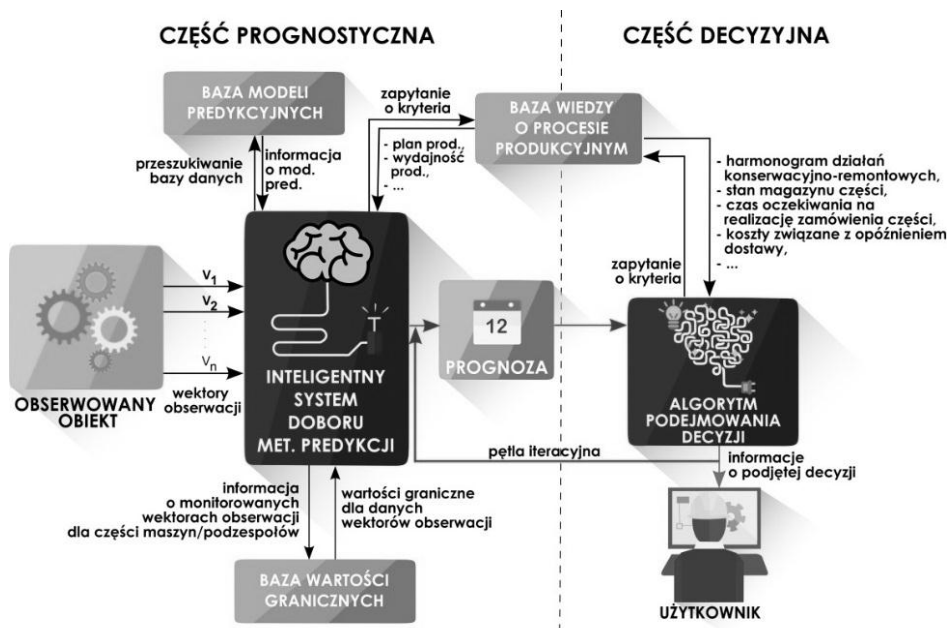
Perspektywa wsparcia działań prowadzonych w ramach utrzymania ruchu parku maszynowego w myśl koncepcji Przemysłu 4.0 ma uwzględniać przede wszystkim prognozowanie awarii wyposażenia produkcyjnego, funkcjonowanie zdalnych systemów wsparcia i systemów zarządzających utrzymaniem ruchu, a także ich integracji z maszynami. Stanowi to wyzwanie dla projektowania inteligentnych systemów umożliwiających analizę stanu technicznego maszyn, przewidywanie możliwości wystąpienia awarii oraz wspomagania podejmowania decyzji w zakresie terminu i zakresu realizacji prac konserwacyjno-remontowych. W niniejszym artykule przedstawiono problematykę i ogólne założenia budowy inteligentnego systemu predykcyjno-decyzyjnego dedykowanego dla potrzeb służb utrzymania ruchu.

2. OGÓLNE ZAŁOŻENIA INTELIGENTNEGO SYSTEMU PREDYKCYJNO-DECYZYJNEGO

Funkcjonujące dotychczas systemy predykcyjne bazują na prognozowaniu występowania awarii części maszyn z wykorzystaniem narzuconego modelu bądź modeli hybrydowych [8]. W trakcie funkcjonowania systemu nie uwzględnia się możliwości zmiany modelu matematycznego, który w danym momencie pozwoliłby na uzyskanie dokładniejszej prognozy niż ten zaadaptowany na początkowym etapie. W stosowanych obecnie rozwiązaniach same prognozy i podejmowane na ich podstawie decyzje opierają się jedynie na wnioskowaniu prowadzonym na podstawie monitorowanych wartości procesów resztkowych [6,7,16]. Wydaje się jednak, że takie podejście ogranicza możliwość uwzględnienia w procesie decyzyjnym znacznie szerszego zakresu czynników (zarówno technicznych jak i nietechnicznych) wpływających na występowanie

awarii parku maszynowego. W związku z powyższym, zaproponowano koncepcję systemu prognostyczno-decyzyjnego, który pozwoliłby na dynamiczny dobór modelu matematycznego w zależności od charakterystyki monitorowanych wartości procesów resztkowych, ale również pozwoliłby na wnioskowanie z wykorzystaniem informacji pochodzących wprost z systemu produkcyjnego.

Na rys. 1. przedstawiono algorytm wielomodelowej metody predykcji.

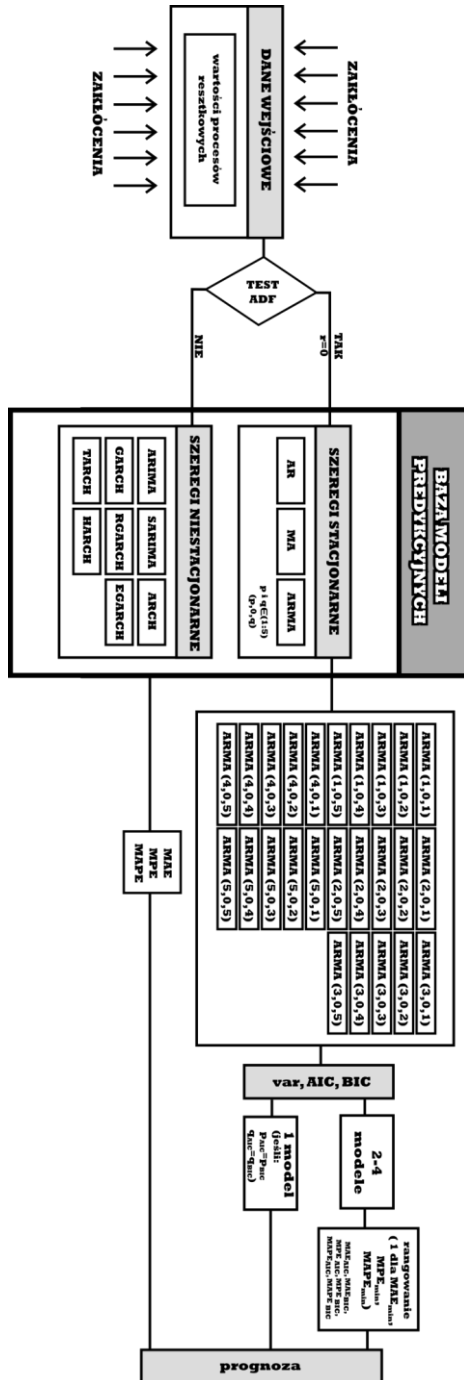


Rys. 1. Algorytm wielomodelowej metody predykcji [7]

Algorytm składa się z dwóch części: prognostycznej i decyzyjnej. Istotą części prognostycznej jest przewidywanie możliwości wystąpienia awarii określonego elementu systemu produkcyjnego, podczas gdy część decyzyjna ma za zadanie wspomaganie inżyniera utrzymania ruchu w zakresie wyboru terminu i zakresu prowadzonych prac konserwacyjno-remontowych.

3. STRUKTURA I ZASADY FUNKCJONOWANIA MODUŁU PROGNOSTYCZNEGO

Trzonem przedstawionej koncepcji systemu prognostyczno-decyzyjnego jest moduł prognostyczny. Jego zadaniem jest analiza rejestrowanych wartości procesów resztkowych z wykorzystaniem modeli analizy szeregów czasowych. Jego budowę zaprezentowano na rys. 2.



Rys. 2. Dobór modelu matematycznego do prognozowania awarii parku maszynowego (źródło: opracowanie własne)

Dane wejściowe w postaci monitorowanych wartości procesów resztkowych powinny trafić do testu ADF, którego zastosowanie pozwoli określić stacjonarność szeregu. W przypadku stwierdzonej stacjonarności, prognozowanie kolejnych wartości szeregu będzie następowało z wykorzystaniem modeli [1]:

- AR – model autoregresji,
- MA – model ruchomej średniej,
- ARMA – model autoregresji i ruchomej średniej.

Dla kombinacji modeli ARMA utworzonych z p i $q \in (1:5)$ zostaną wygenerowane wartości kryteriów AIC (kryterium informacyjne Akaikego) i BIC (bayesowskie kryterium Schwarzera). W przypadku, w którym zarówno AIC, jak i BIC wskazują te same wartości p i q , które pozwalają budować model generujący najlepsze prognozy. W przypadku, kiedy AIC oraz BIC wskazują różne wartości p i q , moduł prognostyczny przekierowuje modele wskazane przez kryteria (od 2 do 4 modeli) do etapu, na którym decyzja o najlepszym z nich podejmowana jest w oparciu o wyniki kryteriów MAE (ang. *Mean Absolute Error* – średni błąd bezwzględny), MPE (ang. *Mean Percentage Error* – średni błąd procentowy) oraz MAPE (ang. *Mean Absolute Percentage Error* – średni absolutny procentowy błąd) na podstawie wskazań metody rankingowej. Do analizy szeregów niestacjonarnych zostały natomiast zaproponowane modele [1]:

- ARIMA – skalkowane procesy autoregresji i średniej ruchomej,
- SARIMA – ang. *seasonal ARIMA*,
- ARCH – ang. *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*,
- GARCH – ang. *Generalized ARCH*,
- RGARCH – ang. *Randomized GARCH*,
- EGARCH – ang. *Exponential GARCH*,
- TARARCH – ang. *Threshold ARCH*,
- HARARCH – ang. *Heterogeneous interval ARCH*.

Decyzja o tym, który z nich posłuży do prognozowania wartości procesów resztkowych zostanie podjęta w oparciu o odpowiednie kryteria informacyjne i predycyjne wyznaczone na kolejnym etapie badań.

Na etapie projektowania struktury algorytmu pojawia się wiele kwestii wymagających opracowania. Należą do nich:

- Redukcja wektora obserwacji – podstawową kwestią na etapie tworzenia systemu jest określenie rodzaju procesów resztkowych, na podstawie których będzie generowana prognoza. Do rozstrzygnięcia również pozostaje kwestia czy monitorować wyłącznie te parametry, które jako pierwsze pozwalają na wskazanie symptomów nadchodzącego uszkodzenia – czy też powinny być one uzupełnione o dodatkowe parametry (np. parametry nietechniczne).

- Określenie częstotliwości próbkowania – dla każdego monitorowanego procesu resztkowego konieczne jest określenie częstotliwości próbkowania. O ile w przypadku monitorowania wibracji danej części częstotliwość próbkowania jest określona na podstawie twierdzenia Kotelnikowa-Shannona, to konieczne jest jej określenie dla innych procesów resztkowych takich jak np. temperatura.
- Określenie częstotliwości doboru modelu prognostycznego – w szczególności określenia wymaga częstotliwość uruchamiania modelu prognostycznego, który kontrolując monitorowane parametry, w sposób dynamiczny dobierze odpowiedni model. Ponadto należy ustalić czy wraz ze wzrostem prawdopodobieństwa wystąpienia awarii należy zintensyfikować częstotliwość uruchamiania wspomnianego modułu.
- Zdefiniowanie postaci prognozy – w opracowywanym systemie istotnym zagadnieniem pozostaje ustalenie kwestii dotyczących postaci prognozy – czy należy przedstawić ją jako precyzyjną informację o przedziale czasu, w którym może nastąpić potencjalna awaria, czy też można zastosować rozwiązania z zakresu wizualnej identyfikacji w postaci np. sygnalizatora przemysłowego. Ustalenia wymaga również sposób postępowania w przypadku wygenerowania prognozy w kontekście przeprowadzenia z jej uwzględnieniem konserwacji parku maszynowego.
- Weryfikacja trafności prognozy – wygenerowana prognoza powinna zostać zweryfikowana pod kątem jej trafności. W tym celu obliczane są błędy *ex post* czy *ex ante*, które pomagają określić jej skuteczność. Błędy *ex post* są porównaniem przeszłych prognoz z poznanymi wartościami prognozowanych wielkości, zaś *ex ante* przynoszą informacje o oczekiwanych przeciętnych odchyleniach realizacji zmiennej prognozowanej od prognoz w czasie $t > n$. Otwarta pozostaje zatem kwestia, na podstawie którego z nich miałyby przebiegać weryfikacja.
- Uwzględnienie efektów weryfikacji – przeprowadzona weryfikacja trafności prognozy nie powinna być wyłącznie informacją zwrotną, ale na jej podstawie powinny być przeprowadzane działania usprawniające i ulepszające funkcjonowanie całego algorytmu, pozwalając mu na generowanie bardziej dokładnych prognoz.
- Określenie zakresu wykorzystania danych historycznych – zapisy historyczne stanowią w przedsiębiorstwach cenne źródło informacji dotyczące jego funkcjonowania. Z punktu widzenia Służb Utrzymania Ruchu szczególnie cennymi są archiwizowane zapisy dotyczące pracy maszyn. Należy podjąć decyzję czy opracowany algorytm prognostyczno-decyzyjny będzie bazował na danych historycznych, a w przypadku ich wykorzystywania, określić w jakim stopniu i do czego powinny znaleźć zastosowanie.

4. ANALIZA WPLYWU CZYNNIKÓW NIETECHNICZNYCH NA WARTOŚCI PARAMETRÓW PROCESÓW RESZTKOWYCH

Występowanie awarii parku maszynowego może być prognozowane w oparciu o rejestrowane wartości procesów resztkowych (określone w proponowanym algorytmie jako czynniki techniczne). Należy jednak zaznaczyć, iż na wartości rejestrowanych wektorów obserwacji mają wpływ zakłócenia będące w dużej mierze czynnikami nietechnicznymi. Przygotowania do budowy algorytmu prognostyczno-decyzyjnego uwzględniającego ich oddziaływanie, należałoby zatem poprzedzić pytaniami dotyczącymi kwestii:

A) PRAC KONSERWACYJNYCH

– Czy jakość i częstotliwość prowadzonych prac konserwacyjnych wpływa na moment wystąpienia awarii? Jeśli tak, to w jaki sposób wyrazić tę zależność?

B) PRZERW EKSPLOATACYJNYCH, SPADKÓW WYDAJNOŚCI

– Czy przerwy w eksploatacji parku maszynowego wpływają na moment wystąpienia awarii? Czy istnieje zależność pomiędzy spadkiem wydajności parku maszynowego a wartościami procesów resztkowych? W przypadku potwierdzenia istnienia takich zależności, czy jest możliwe stwierdzenie powtarzalności ich obserwacji i ich zamodelowanie?

C) WARUNKÓW NA HALI PRODUKCYJNEJ

– W jakim stopniu warunki na hali produkcyjnej powodują zaburzenia bądź zmianę wartości procesów resztkowych? Które czynniki mogą mieć na to wpływ – temperatura? Wilgotność powietrza? Poziom zapylenia? Czy istnieje możliwość opracowania zależności pomiędzy warunkami a charakterystyką zapisów monitorowanych procesów resztkowych?

D) CZYNNIKA LUDZKIEGO

– W jakim stopniu sposób obsługi maszyny przez jej operatora wpływa na awaryjność pracy zespołu/części maszyny? W jaki sposób należy wyrazić poziom kompetencji pracownika i jego wpływ na występowanie awarii parku maszynowego? Czy wyłącznie kompetencje operatora wpływają na jakość obsługi maszyny? Czy wpływ na obsługę maszyny przez operatora mają czynniki zdrowotne i psychologiczne, warunkujące jego kondycję? Jaką metodą należałoby się posłużyć w celu określenia zależności pomiędzy wpływem wszystkich aspektów związanych z czynnikiem ludzkim a wartościami procesów resztkowych?

E) PRACY SĄSIADUJĄCYCH ELEMENTÓW/ PODZESPOŁÓW/ UKŁADÓW

– W jaki sposób należy określić wpływ zakłóceń pochodzących z innych elementów/podzespołów/układów na pracę monitorowanego obiektu?

Zakres prac pozwalających na uwzględnienie wspomnianych kwestii w prognozowaniu awarii parku maszynowego stawia wyzwania dotyczące konieczności prowadzenia w wielu obszarach dodatkowych badań czy nawet opracowania nowych metod określających chociażby zależności pomiędzy czynnikami nietechnicznymi a wektorami obserwacji.

5. ZAŁOŻENIA MODUŁU INTELIGENTNEGO SYSTEMU WSPOMAGANIA DECYZJI W ZAKRESIE PRAC KONSERWACYJNO-REMONTOWYCH

Zaprezentowane założenia dotyczące budowy i sposobu funkcjonowania samego algorytmu prognostyczno-decyzyjnego wskazują na możliwość wspomaganie działania SUR w zakresie prowadzenia działań konserwacyjnych poprzez predykcję awarii w oparciu o rejestrowanie wartości procesów resztkowych. Należy mieć jednak na uwadze liczne czynniki zakłócające pracę obiektu, przez co monitorowane parametry nie odzwierciedlają wyłącznie procesów zużycia.

Perspektywa funkcjonowania predykcyjnego utrzymania ruchu opierającego swoje działania na algorytmie predykcyjnym, który dynamicznie dobiera model matematyczny generujący dla danego okna czasowego najbardziej dokładną prognozę, skłania ku możliwości rozszerzenia go o dodatkowe funkcjonalności odpowiadające oczekiwaniom Przemysłu 4.0. Może do nich należeć m.in.:

A) POWIĄZANIE Z MAGAZYNEM

Zbliżający się termin możliwej do wystąpienia awarii może stanowić sygnał do kontroli magazynu części zamiennych. Dzięki powiązaniu systemu predykcyjnego z działem zamówień możliwe byłoby zlecenie zakupu części zamiennych w momencie, gdy istniałoby rzeczywiste zapotrzebowanie na nie.

B) AUTOMATYZACJA W OBSZARZE REGULACJI WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH NA HALI PRODUKCYJNEJ

Ustalenie wpływu warunków klimatycznych panujących na hali produkcyjnej, a także wyznaczenie zależności pomiędzy nimi a wartościami procesów resztkowych, może stanowić podstawę do wprowadzenia automatyzacji w obszarze regulacji warunków panujących na hali. Dzięki temu istniałaby możliwość utrzymywania optymalnych warunków sprzyjających bardziej efektywnemu wykorzystaniu parku maszynowego. Należy przy tym zaznaczyć, że warunki panujące na hali produkcyjnej muszą przede wszystkim być zgodne z przepisami BHP.

C) KONTROLA CZYNNIKA LUDZKIEGO

Opracowanie metody określającej zależności pomiędzy pracą operatora maszyny, a wartości procesów reszkowych może stanowić podstawę do inteligentnego systemu kierującego operatorów na szkolenia przypominające z zakresu obsługi maszyn. Takie rozwiązanie może stanowić wsparcie dla audytów funkcjonowania autonomicznego utrzymania ruchu.

D) WPŁYW SUROWCÓW, PÓLPRODUKTÓW, OPAKOWAŃ, ETC. NA CZĘSTOTLIWOŚĆ WYSTĘPOWANIA AWARII

Doszukanie się wpływu rodzaju surowców, półproduktów czy opakowań na częstotliwość występowania awarii może okazać się wsparciem na etapie realizacji zamówień i doboru dostawców.

E) WYZNACZANIE TERMINÓW PRAC PREWENCYJNYCH

Zastosowanie rozwiązań IIoT w nadzorowaniu pracy parku maszynowego może przyczynić się do wspomagania tworzenia harmonogramu prac SUR. Rejestracja czasu pracy maszyn pozwoli na podstawie rzeczywistych informacji wyznaczyć termin, w którym powinny zostać przeprowadzone działania (tj. smarowanie, olejenie czy wymiana części) ujęte w DTR (dokumentacji techniczno-ruchowej), a wynikające z opracowania odpowiedniej liczby roboczogodzin.

6. PODSUMOWANIE

Obserwowany rozwój rewolucji przemysłowej, zwanej Przemysłem 4.0 stawia wysokie wymagania wobec systemów produkcyjnych [4,5,14]. Zgodnie z oczekiwaniami, ich stosowanie ma przyczynić się do wzrostu wydajności produkcyjnej, poziomu automatyzacji w przedsiębiorstwach, jak również zdecydowanej poprawy w efektywnym wykorzystaniu zasobów [13,15].

Budowa systemów wspierających funkcjonowanie przedsiębiorstw produkcyjnych powinna zatem być odpowiedzią na zdefiniowane oczekiwania, wychodząc poza ramy dotychczasowych rozwiązań. Prognozowanie awarii parku maszynowego wymaga wiedzy pochodzącej z wielu obszarów, zwłaszcza jeśli miałyby przebiegać z uwzględnieniem czynników nietechnicznych. Wiele aspektów uwzględnionych w zaproponowanym modelu predykcyjnym z racji złożonego charakteru, będzie możliwych do uwzględnienia po przeprowadzonych badaniach potwierdzających istnienie relacji pomiędzy rejestrowanymi zapisami, a także po opracowaniu nowych metod ich wyrażania.

LITERATURA

- [1] BERGER R.: *The Digital Transformation of Industry*, 2015.
- [2] BOKRANTZ J., SKOOGH A., BERLIN C., STAHR J.: *Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030*. International Journal of Production Economics (191), 2017, pp. 154–169
- [3] GOLA A., SOBASZEK Ł., ŚWIĆ A.: Selected Problems of Modern Manufacturing Systems Design and Operation [in:] Koukolova L., Świć A. (ed.): *Robotics and Manufacturing Systems*, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2014, pp. 56–68.
- [4] GOLA A., ŚWIĆ A.: *Directions of Manufacturing Systems' Evolution from the Flexibility Level Point of View*, [w:] Knosala R. (ed.) *Innovations in Management and Production Engineering*, Oficyna Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2012, pp. 226–238.
- [5] GOLA A.: *Economic Aspects of Manufacturing Systems Design*, Actual Problems of Economics, 156 (6) 2014, pp. 205–212.
- [6] KALLEN M., NOORTWIJK J.: *Optimal maintenance decisions under imperfect inspection*. Reliab Eng Syst Saf 90 (2–3), pp. 177–185.
- [7] KOSICKA E., MAZURKIEWICZ D., KOZŁOWSKI E.: *Algorithm of a multiple method for predicting values of residual processes*. [w:] *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T. 2, red. Knosala R. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017, s. 560–571.
- [8] LEE J., ARDAKANI H. D., YANG S., BAGHERI B.: *Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation*. The Fourth International Conference on Through-life Engineering Services, 2015, pp. 3–7.
- [9] LEE J., BAGHERI B.: *Cyber-Physical Systems in Future Maintenance*. [w:] Amadi-Echendu J., Hoohlo C., Mathew J. (eds) *9th WCEAM Research Papers. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, 2015.
- [10] RAZAA A., ULANSKYB V.: *Modelling of predictive maintenance for a periodically inspected system*. The 5th International Conference on Through-life Engineering Services (TESConf 2016), pp. 98–101.
- [11] SOBASZEK Ł., GOLA A.: *Perspective and methods of human-industrial robots cooperation*, Applied Mechanics and Materials, vol. 791, pp. 178–183.
- [12] THE BOSTON CONSULTING GROUP: *Industry 4.0 – the Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, 2015.
- [13] WANG N., SUN S., SI S., LI J.: *Research of predictive maintenance for deteriorating system based on semi-markov process*. In Proc. of 16th IEEE Int. Conf. on Industrial Engineering and Engineering Management. Beijing; 2009, pp. 899–903.
- [14] WIĘCEK D.: *Wpływ czynników kosztotwórczych na szacowanie kosztów produkcji elementów maszyn*. Organizacja i zarządzanie: Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 2017 z. 101, s. 533–544.
- [15] ZHIKUN H.: *Predictive maintenance strategy of variable period of power transformer based on reliability and cost*. In Proc. of 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Guiyang, 2013, pp. 4803–4807.
- [16] <http://www.astor.com.pl/industry4/#home> [data dostępu: 15.06.2017].

Daniel GAŚKA, Marta FIJEWSKA**, Małgorzata GÓŹDŹ***

ELEKTRONICZNY REKORD PACJENTA – ŚCIEŻKĄ CYFRYZACJI SŁUŻBY ZDROWIA

Streszczenie

W artykule przedstawiono kierunki powszechnej digitalizacji i informatyzacji w służbie zdrowia, które prowadzą do gromadzenia różnorodnych danych z wielu obszarów. Informacje te dotyczą m.in. demografii, danych laboratoryjnych, administracyjnych czy też monitoringu z urzędów medycznych. W związku z ilością i różnorodnością danych medycznych pojawia się konieczność integracji oraz potrzeba tworzenia kanałów dystrybucji informacji, których przykłady zostały zaprezentowane w artykule.

1. WSTĘP

Transformacja warunków otoczenia przyczyniła się do wprowadzenia zmian w zarządzaniu placówkami ochrony zdrowia, które starają się dostosować do nowych wymagań rynkowych. W celu obniżenia kosztów swojej działalności, podniesienia jakości oferowanych świadczeń zdrowotnych, uniknięcia błędów medycznych, jednostki opieki zdrowotnej dokładają wszelkich starań, by wdrożyć u siebie nowoczesne rozwiązania informacyjne i informatyczne. Takiemu podejściu sprzyja również właściwy przepływ informacji i wiedzy w zakładach opieki zdrowotnej, gdyż organizacje, które nie mają dostatecznej dostępności do informacji czy nie umieją wykorzystać posiadanej przez pracowników wiedzy narażone są na duże ryzyko przy podejmowaniu jakichkolwiek decyzji.

W chwili obecnej w Polsce świadczeniodawcy gromadzą, przechowują oraz przetwarzają dane we własnym zakresie. Wszelkie migracje pacjenta od jednego świadczeniodawcy do drugiego w większości przypadków nie wiążą się z równoległą migracją zgromadzonych danych medycznych. Oznacza to, że ulegają one utraceniu, a cały proces diagnozowania i gromadzenia danych na temat pacjenta zaczyna się od nowa. Ponadto dane pacjenta są dostępne tylko

* Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych Politechnika Lubelska, tel. 81 538 45 84, d.gaska@pollub.pl

** Koło Naukowe Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Lubelska

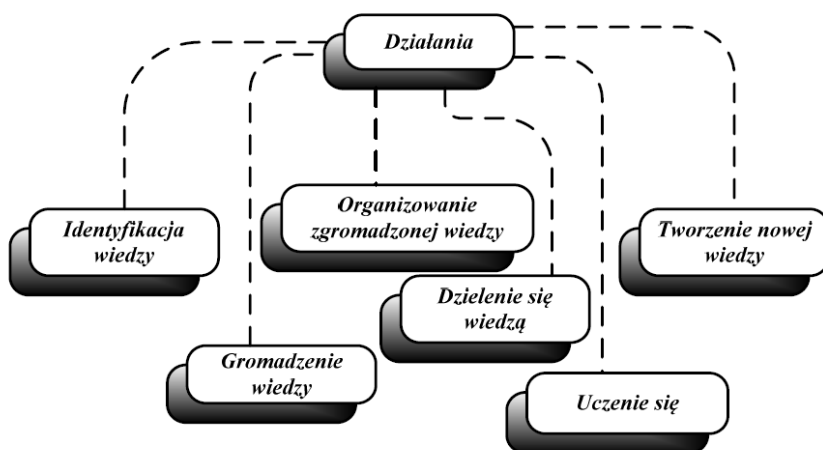
i wyłącznie przez pracowników danego świadczeniodawcy. Dostęp do nich, nawet w przypadku sytuacji ratującej życie, jest niemożliwy poza jednostką świadczeniodawcy.

Powyższe problemy oraz uwarunkowania technologiczne stały się podstawą do opracowania koncepcji Elektronicznego Rekoru Pacjenta (ERP) – systemu, który jest dla lekarzy źródłem wiedzy o pacjencie, gdyż pozwala uzyskać kompleksowe informacje o jego stanie zdrowia oraz o sposobie i przebiegu leczenia konkretnej osoby. Wdrożenie systemu EHR przyczynia się do podniesieniu jakości opieki zdrowotnej, uniknięciu poważnych błędów medycznych oraz zoptymalizowaniu i zredukowaniu kosztów zarządzania placówkami zdrowotnymi [3].

2. PROCESY INFORMACYJNE W POLSKIEJ SŁUŻBIE ZDROWIA

Zagadnienie zapewnienia ciągłości świadczeń opieki zdrowotnej można rozpatrywać w dwóch obszarach: zabezpieczenie opieki zdrowotnej oraz zarządzanie procesami leczenia. Za pierwszy obszar odpowiada przede wszystkim Ministerstwo Zdrowia (wspomagane przez Główny Urząd Statystyczny, Główny Inspektorat Sanitarny, Główny Inspektorat Farmaceutyczny, Państwowy Zakład Higieny, instytuty naukowe), wojewodowie, marszałkowie województw oraz Narodowy Fundusz Zdrowia. Drugi obszar to domena świadczeniodawców wspomagana regulacjami opracowanymi przez Ministerstwo Zdrowia, Narodowy Fundusz Zdrowia, Zakład Ubezpieczeń Społecznych. Osiąganie celów opieki zdrowotnej w tych dwóch obszarach uwarunkowane jest dostępem do poprawnej, prawdziwej i wiarygodnej informacji medycznej [8].

Jednostki opieki zdrowotnej (publiczne oraz prywatne) mają za zadanie zaspokajanie potrzeb społeczeństwa, poprzez świadczenie usług zdrowotnych zarówno na wysokim jakościowo poziomie, jak i w sposób zapewniający efektywność danej organizacji. Cele te można osiągnąć dzięki zarządzaniu wiedzą, gdyż pomaga ono usprawnić działanie danej jednostki, a przez to zwiększyć poprawić wyniki placówek służby zdrowia oraz zmniejszyć ryzyko związane z podejmowaniem niewłaściwych decyzji (rys. 1) [3].

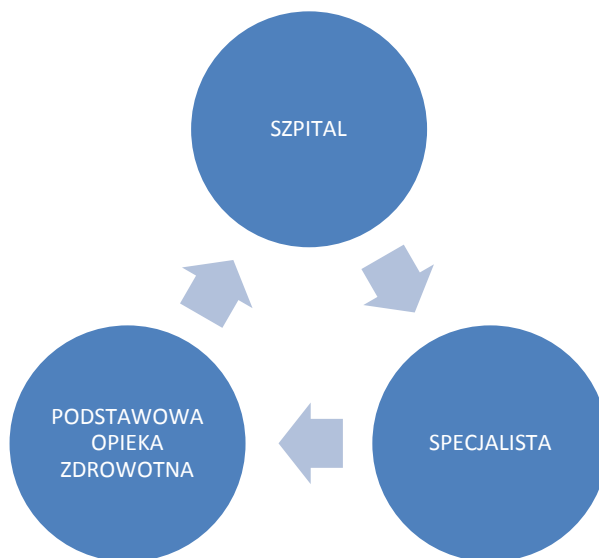


Rys. 1. Funkcjonalny aspekt zarządzania wiedzą [3]

Uwzględniając specyfikę sektora ochrony zdrowia, połączenie ludzi, procesów, danych i technologii w celu optymalizowania informacji, współpracy, kompetencji i doświadczenia można rozumieć jako zarządzanie wiedzą, które możliwe jest dzięki korzystaniu z możliwości jakie dają technologie informacyjno-komunikacyjne (ICT – Information and Communications Technology). Odbывается to poprzez np. zwiększenie wewnętrznej efektywności funkcji menedżerskich, poprawę jakości usług zdrowotnych, tworzenie zasad działania i kontrolowania decyzji, monitorowanie i porównywanie wyników organizacji oraz komunikowanie się z otoczeniem. Dla Polski główne obszary działania w zakresie informatyzacji ochrony zdrowia przedstawiono w dokumencie „Kierunki informatyzacji „e-Zdrowie Polska” na lata 2011–2015”, a jest to mianowicie:

- ułatwienie członkom społeczeństwa dostępu do informacji z zakresu ochrony zdrowia,
- poprawa efektywności systemu ochrony zdrowia w zakresie elektronicznego obiegu dokumentacji,
- stworzenie procedur, wytycznych, opracowywanie, zgrupowanie, rozpowszechnianie i lepsze wykorzystanie doświadczeń pracowników oraz dostępnych i nowoczesnych systemów teleinformatycznych, by usprawnić zarządzanie zakładem opieki zdrowotnej,
- unowocześnienie systemu informacji medycznej w celu analizy zapotrzebowania na realizowane świadczenia zdrowotne,
- praktyczna realizacja budowy rozwiązań IT w ochronie zdrowia zgodnych z wytycznymi Komisji Europejskiej umożliwiające włączenie Polski w obszar interoperacyjnego elektronicznego zapisu medycznego (EHR – Electronic Health Record) [3].

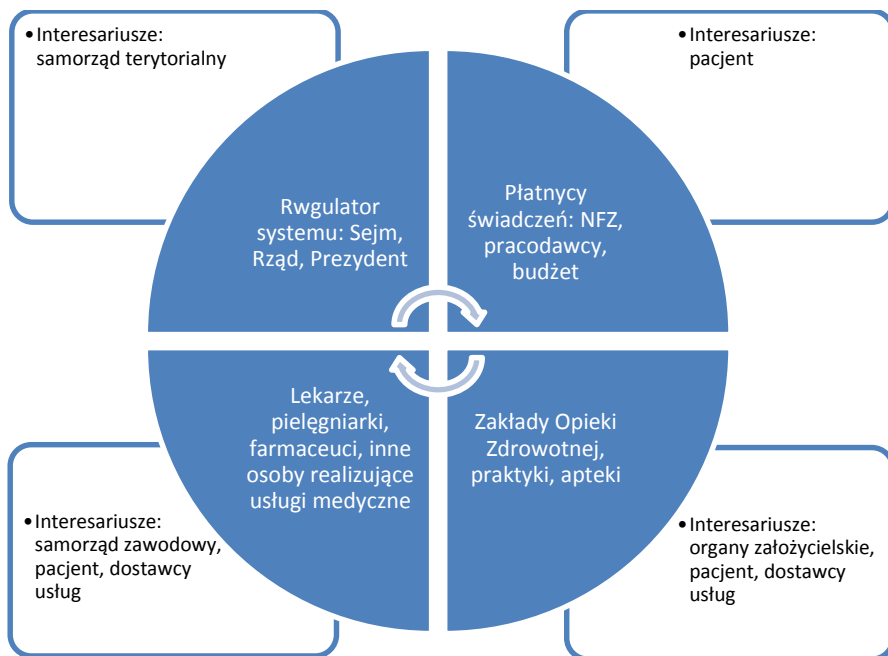
Charakterystyczną cechą polskiego systemu zdrowia jest to, że poszczególne podmioty odpowiedzialne za zabezpieczenie opieki zdrowotnej ukształtowały własne, często wzmocnione regulacjami prawnymi – autonomiczne kanały gromadzenia informacji (rys. 2) [8].



Rys. 2. Przepływ dokumentacji medycznej pomiędzy poszczególnymi podmiotami opieki zdrowotnej

Mechanizmy wspierające zarządzanie procesami leczenia są natomiast bardziej pochodną systemu finansowania świadczeń zdrowotnych niż wymagań związanych z jakością leczenia pacjentów. W efekcie dokumentacja zdrowotna obejmuje tylko część danych medycznych, a jej zakres jest często niewspółmierny do potrzeb informacyjnych uczestników i interesariuszy systemu zdrowia (rys. 3) [8].

Brak ładu informacyjnego w systemie ochrony zdrowia, a zwłaszcza brak kompleksowych uregulowań w zakresie dokumentacji zdrowotnej znacząco utrudnia informatyzację zakładów opieki zdrowotnej, a zwłaszcza wdrożenie elektronicznego rekordu pacjenta. Dodatkowym problemem są wymagania podmiotów zarządzających procesami informacyjnymi, które często narzucają zakładom opieki zdrowotnej własne rozwiązania informatyczne. Zakłady opieki zdrowotnej przetwarzają często ten sam zakres danych za pośrednictwem wielu autonomicznych systemów informatycznych. Efektem jest częsty brak porównywalności informacji, zarówno na poziomie jednostkowym (pacjent, lekarz, świadczeniodawca) jak i zagregowanym (region, jednostka chorobowa, rodzaj świadczeniodawcy) [5].



Rys. 3. Uczestnicy i interesariusze systemu zdrowia

3. ELEKTRONICZNY REKORD PACJENTA

Rozwój informatyki medycznej ma bezpośredni związek z rozwojem medycyny personalizowanej, która jest w pewnym stopniu uznawana za nową wizję opieki medycznej na świecie. Dlatego też w minionym dziesięcioleciu władze Stanów Zjednoczonych podjęły działania mające na celu stworzenie dla każdego obywatela do 2014 r. pełnej dostępności do Elektronicznego Rekoru Pacjenta (Electronic Health Record – EHR), czyli do indywidualnej elektronicznej dokumentacji medycznej. Obecnie 68% szpitali w Stanach Zjednoczonych wykorzystuje EHR, w tym 11% szpitali w pełni wdrożyło go w swoich placówkach. Przyjmuje się, że dalszy rozwój EHR przyczyni się do znacznego obniżenia kosztów opieki medycznej, zmniejszenia czasu leczenia, a także poprawienia komfortu samej kuracji [2].

Elektronicznym rekordem pacjenta (EHR – ang. Electronic Health Record lub EHCR – ang. Electronic Health Care Record), określa się ogół danych medycznych dotyczących konkretnego pacjenta (rys. 4). Ta ważna struktura danych znana jest także pod nazwą osobistego rekordu medycznego (ang. patient health record PHR). Jego głównym założeniem jest utworzenie centralnej bazy danych, która będzie umożliwiała dostęp, gromadzenie, przechowywanie, udostępnianie oraz przetwarzanie danych osobowych i danych wrażliwych

w sposób zapewniający ciągły dostęp nieuwarunkowany aktualnym miejscem pobytu czy też hospitalizacji pacjenta. Elektroniczny Rekord Pacjenta zapewni swobodny przepływ pacjentów od jednego świadczeniodawcy do drugiego z gwarancją utrzymania ciągłości gromadzonych danych osobowych oraz danych wrażliwych (wiek, grupa krwi, alergie, leki, historia chorobowa itp.). W związku z tym wszelkie procedury ratujące życie, a wymagające dostępu do aktualnych danych, będą możliwe do przeprowadzenia. Pacjent staje się zatem decydem praw dostępu do własnych danych osobowych, dostępu niezależnego od macierzystej jednostki świadczeniodawczej. W założeniu wykorzystanie tego samego EHR powinno być możliwe w różnych systemach informatyki medycznej [4,7].



Rys. 4. Osobisty rekord pacjenta (Electronic patient record) [6]

3.1. Elektroniczny rekord pacjenta – uwarunkowania prawne

Obecnie obowiązujące Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 21 grudnia 2006 r. w sprawie rodzajów i zakresu dokumentacji medycznej w zakładach opieki zdrowotnej oraz sposobu jej przetwarzania zastąpiło wcześniejsze, które utraciło swą moc w wyniku wyroku Trybunału Konstytucyjnego (wyrok z dnia 28 listopada 2005 r.). Trybunał uznał za niezgodne z art. 92 ust. 1 Konstytucji niektóre przepisy rozporządzenia dotyczące odpłatnego udostępniania wyciągów i kopii dokumentacji medycznej. Przepisy odnoszące się bezpośrednio do elektronicznej dokumentacji medycznej wprowadzono niejako przy okazji opracowywania projektu obecnego rozporządzenia. I choć nie przyniosło to rewolucyjnych zmian w sposobie prowadzenia dokumentacji medycznej

(większość zakładów opieki zdrowotnej nadal prowadzi ją w formie papierowej), było jednak przełomem w sposobie podejścia do tematu. Szeroka dyskusja, która w następstwie rozporządzenia rozwinęła się w gronie menedżerów ochrony zdrowia oraz ekspertów IT, a także pierwsze doświadczenia związane z jej wdrażaniem pokazała, że idea elektronizacji dokumentacji medycznej jest nie tylko zgodna z oczekiwaniami menedżerów ochrony zdrowia, którzy traktują ją jako naturalny, kolejny etap procesu informatyzacji zakładów opieki zdrowotnej, ale spotkała się również z poparciem środowisk medycznych [5].

W grudniu 2009 r. Ministerstwo Zdrowia skierowało do uzgodnień międzyresortowych projekt nowego rozporządzenia w sprawie rodzajów i zakresu dokumentacji medycznej w zakładach opieki zdrowotnej oraz sposobu jej przetwarzania. Jego wydanie stało się konieczne w związku z przeniesieniem delegacji do jego wydania z dotychczasowej ustawy o zakładach opieki zdrowotnej do ustawy z dnia 6 listopada 2008 r. o prawach pacjenta i Rzeczniku Praw Pacjenta (Dz. U. Nr 52, poz. 417, z późn. zm). Jest to dobra okazja, nie tylko do wprowadzenia zapisów umożliwiających upowszechnienie elektronicznej dokumentacji medycznej oraz sposobów jej udostępniania (np. za pośrednictwem Internetowego Konta Pacjenta), ale przede wszystkim uporządkowania całokształtu spraw związanych z dokumentowaniem świadczeń zdrowotnych, których zasady i sposoby regulują obecnie odrębne akty prawne. Drugą ważną kwestią jest umożliwienie wzajemnego udostępniania dokumentacji medycznej przez podmioty biorące udział w procesie leczenia pacjenta, bez konieczności angażowania w ten proces samego pacjenta.

3.2. Zawartość i zasady działania elektronicznego rekordu pacjenta

Elektroniczny rekord pacjenta obejmuje, w stosunku do rekordu medycznego szerszy zakres informacji. Prezentuje on dane kliniczne pacjenta, przebieg leczenia oraz diagnostyczne i terapeutyczne wyniki wykonanych procedur, m.in.: wyniki badań laboratoryjnych, zarejestrowane obrazy diagnostyczne oraz sygnały biomedyczne, raporty, farmakoterapię. Elektroniczny rekord pacjenta koncentruje się przede wszystkim na pacjencie, zaś dane mogą pochodzić z wielu instytucji, biorących udział w procesie leczenia (lekarz rodzinny, specjalista, dentysta, szpital) [5].

Odnosząc elektroniczny rekord pacjenta do Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 21 grudnia 2010 r. w sprawie rodzajów i zakresu dokumentacji medycznej oraz sposobu jej przetwarzania powinno się mieć na uwadze przede wszystkim dokumentację indywidualną – zewnętrzną tj. w szczególności: skierowania (do szpitala, na badanie diagnostyczne lub konsultację); zaświadczenia, orzeczenia, opinie lekarskie, kartę przebiegu ciąży, kartę informacyjną z leczenia szpitalnego [5].

Zawartość rekordu pacjenta stale podlega wzbogacaniu i ewolucji. Początki informatyki medycznej były takie, że rejestrowane o pacjencie dane były wyłącznie tekstowe, a dokładniej – większość ich miała charakter skrótowych kodowych oznaczeń. Rys. 5 przedstawia ekran konsoli tekstowej jednego z pierwszych systemów szpitalnych – Technicon Medical Information System (TMIS), który wprowadzono do użytku w roku 1965. Powstał on jako wynik współpracy firmy Lockheed i EI Camino Hospital w Kalifornii. Pomimo bardzo ascetycznego interfejsu użytkownika – ekran tekstowy z 80 kolumnami znaków – system ten sprawdzał się zaskakująco dobrze i w niektórych szpitalach amerykańskich wciąż jest stosowany przy uzyskiwaniu dostępu do archiwalnych danych [1,4].

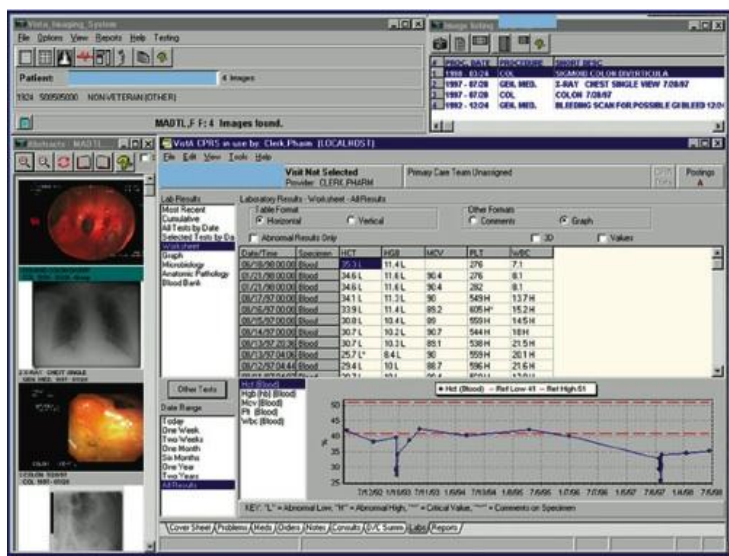
```

REFCOL INJ 500 MG, STAT, &THEN, Q6H
SMA-18-----
                COMMON LAB TESTS
                -----
      BL CHEM      HEMA          OTHER          ▶A
                ▶B
                ▶C
      ✓MA-18      ACT(COAG TIME) UA          ▶DE
      ▶DESCRIP    CBC          UDRL          ▶F
      BUN          ▶DESCRIPTION          ▶G
      CPK, TOTAL  ESR          ▶H
      CREATININE HEMOGRAM          ▶I-K
      ELECT(SMA-6) (INCL PCU) ▶OCC BL-ST ▶L
      GLUC(FBS)  PLAT CT          ▶CULTURE ▶M-O
      GLUC(2HPC) PRO TIME          ▶P
      LDH, TOTAL ▶QR
      POTASS          ▶S
      SGOT          ▶BL BANK          ▶T
      URIC ACID  ▶TESTS BY SPEC'M TYPE ▶U-Z
      (-----)
      ( PICKUP)  ▶PICKUP SCHED ▶NURS
      TOMORROW  ▶PRIORITY      ▶MEDS  ▶SPEC'M
      TODAY     SPM COLLECTED ▶DIET  ▶MASTER
      RETURN   ----- REVIEW
      ERR      TYPE      RETRIEVE
  
```

Rys. 5. Widok elektronicznego rekordu pacjenta w systemie TMIS [1]

Wczesne szpitalne systemy informacyjne były rozszerzeniami systemów administracyjnych stosowanych w szpitalach, co było poważnym czynnikiem ograniczającym ich rozwój. Stosowane bazy danych sztywną strukturą i ścisłą definicją rekordów naśladowały rozwiązania projektowe właściwe dla systemów finansowych. Takie zasady okazały się nieadekwatne i zbyt mało elastyczne do przechowywania i zarządzania informacjami klinicznymi. Dzisiejsze szpitalne systemy informacyjne HIS są przystosowane przede wszystkim do obsługi przekrojowego rekordu pacjenta zawierającego informacje o wielu zdarzeniach zaistniałych w związku z nim w obrębie jednostki służby zdrowia, jaki i poza nią [4].

Jeżeli przyjmiemy, że daną medyczną jest pojedyncza obserwacja pacjenta, to jest oczywiste, że posiadanie kompletnych, poprawnych, zweryfikowanych danych we właściwym czasie i miejscu często jest okolicznością, która przesądza o zdrowiu, bądź życiu człowieka. Danymi mogą być odczyt temperatury ciała, zawartość tlenu w krwi obwodowej, stężenie jonów potasu we krwi, ciśnienie krwi – czyli liczby (wszelkie obserwacje i dane z wywiadu, jakie lekarz wprowadzi do systemu). Ale dane to także obrazy, na przykład rentgenowskie albo pochodzące z USG. Dlatego współczesne rekordy pacjentów w szpitalnych bazach danych wyglądają zupełnie inaczej niż to pokazano na rysunku 5. Obok informacji tekstowych znajdują się tu także wyniki badań przeprowadzonych za pomocą nowoczesnej aparatury medycznej, a zwłaszcza liczne dane obrazowe (rys. 6) [4].

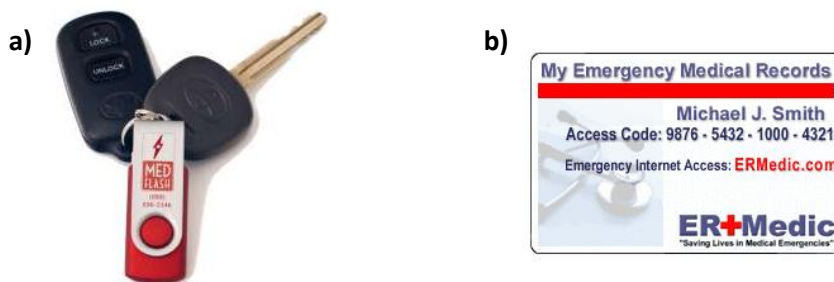


Rys. 6. Nowoczesny rekord pacjenta [8]

Rekord pacjenta służy do administracyjnego nadzoru nad wszystkim, co danego pacjenta dotyczy (część szara systemu informatycznego szpitala), a także służy do rejestracji i kontroli wszystkich decyzji (diagnoz) i zabiegów medycznych, jakim poddawany jest pacjent (część biała) [4]. krwi, ciśnienie krwi – czyli liczby. (wszelkie obserwacje i dane z wywiadu, jakie lekarz wprowadzi do systemu). Ale dane to także obrazy, na przykład rentgenowskie albo pochodzące z USG. Dlatego współczesne rekordy pacjentów w szpitalnych bazach danych wyglądają zupełnie inaczej niż to pokazano na rysunku 5. Obok informacji tekstowych znajdują się tu także wyniki badań przeprowadzonych za pomocą nowoczesnej aparatury medycznej, a zwłaszcza liczne dane obrazowe (rys. 6) [4].

Przenoszenie danych z jednego systemu informatycznego do drugiego za pomocą dokumentu papierowego jest nie tylko anachronizmem, ale dodatkowo bywa źródłem błędów spowodowanych przez człowieka przy ponownym wprowadzaniu informacji zawartych w rekordzie pacjenta do kolejnego szpitalnego systemu informacyjnego. Jest to także poważne ograniczenie dla diagnostyki pacjenta polegającej na porównaniu jego aktualnych parametrów medycznych z wynikami archiwalnymi [4].

W niektórych krajach wysoko rozwiniętych rekord medyczny pacjenta jest mu udostępniany także w formie elektronicznej. Ponieważ jest ważne, żeby pacjent miał ten rekord stale przy sobie (na wypadek gdyby mu trzeba było udzielać nagłej pomocy medycznej) – wytwarza się te elektroniczne kopie rekordów medycznych na przykład w formie breloków do kluczy (rys. 7a) lub w wygodnym formacie karty kredytowej (rys. 7b) [4].

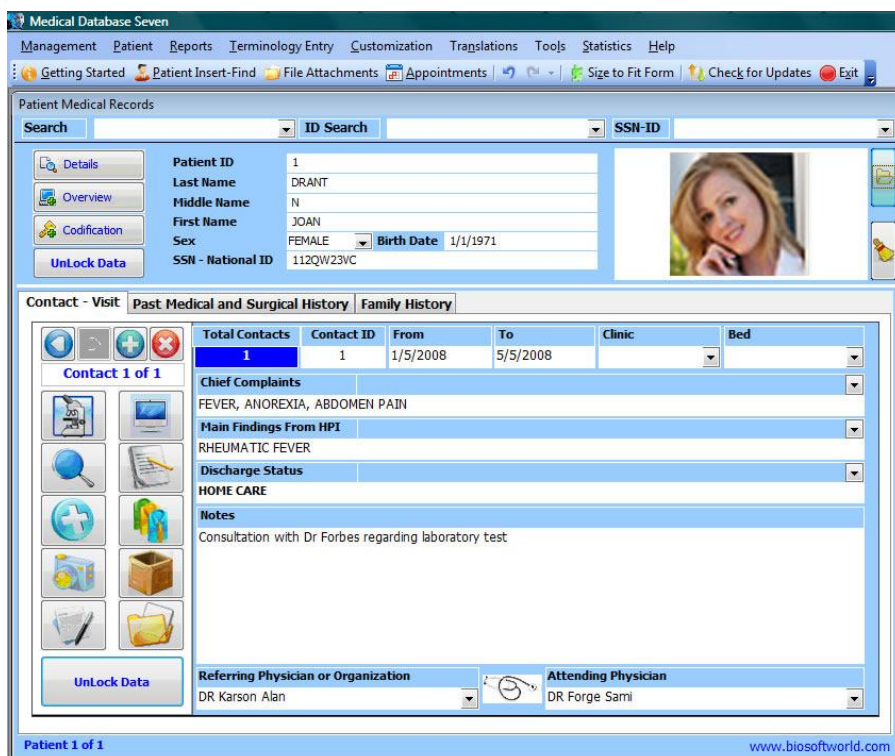


Rys. 7. Różne formy elektronicznego rekordu pacjenta: a) brelok do kluczy, b) postać karty kredytowej [4]

Elektroniczna forma rekordu medycznego i jego kompleksowy charakter pozwala na łatwą wymianę danych pomiędzy dostawcami usług medycznych oraz agencjami ubezpieczeniowymi. Gromadzone dane są bowiem nie tylko podstawą raportowania przez oddziały m.in. wykorzystania bazy łóżek, zapotrzebowania na żywność oraz są podstawowym źródłem danych dla statystyki szpitalnej, ale dane te są także potrzebne pracownikom szpitala prowadzącym rozliczenia należności za wykonanie świadczeń zdrowotnych i wysyłającym w tym celu okresowe raporty do płatników (NFZ) [4].

3.3. Elektroniczny rekord pacjenta a proces jego leczenia

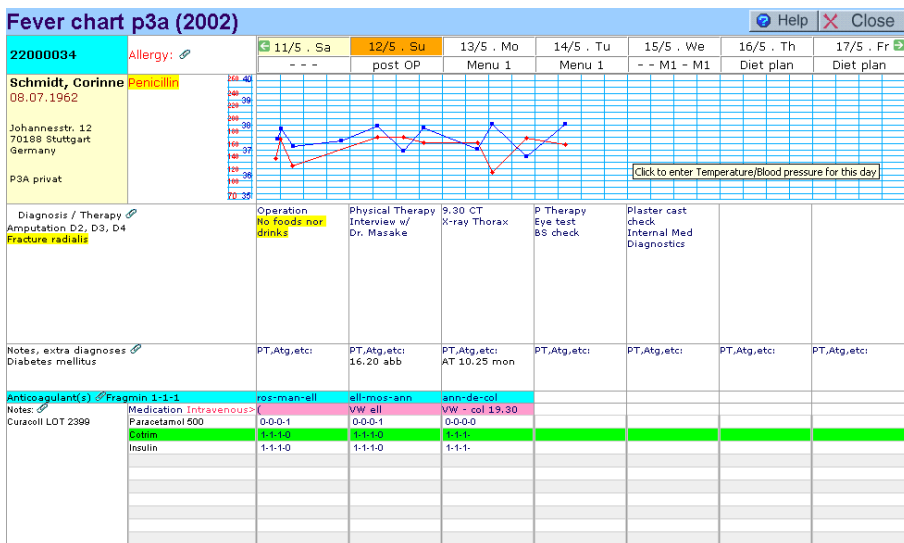
Rekord medyczny pacjenta jest zapisem wszystkich parametrów niezbędnych do opisu jego stanu w aspekcie medycznym. Każda osoba wykonująca jakąkolwiek czynność diagnostyczną czy terapeutyczną związaną z konkretnym pacjentem zaczyna zawsze pracę od przywołania na swój komputer jego elektronicznego rekordu (rys. 8) [4].



Rys. 8. Elektroniczny rekord pacjenta jako podstawa wszystkich działań medycznych [4]

Dobrze zbudowany elektroniczny rekord pacjenta zawiera też informacje o bieżącym przebiegu leczenia, również takie, które w tradycyjnych (między innymi używanych w Polsce) procedurach medycznych odwołują się do dokumentów papierowych. Przykładem może być karta przebiegu zmian temperatury ciała pacjenta, która w wydaniu tradycyjnym wisi zwykle w specjalnej ramce „w nogach” łóżka pacjenta, a której elektroniczny odpowiednik wygląda tak, jak to pokazano na rysunku 9. Karta ta w wersji elektronicznej zawiera też zalecenia dotyczące leków, diety, badań lekarskich, ustaleń diagnostycznych itp.

Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na czas dostępu do danych. W stanach nagłych, często spotykanych np. na oddziałach intensywnej opieki medycznej, oddziałach zabiegowych, oddziałach intensywnego nadzoru kardiologicznego itp. - czas w jakim uzyskuje się dane bywa kluczowym czynnikiem. Dlatego w systemach szpitalnych stosuje się rozwiązania zmierzające do skrócenia drogi i czasu pomiędzy pozyskaniem informacji (na przykład pobraniem próbek substancji biologicznej do badania), a momentem, kiedy reprezentujące tę informację dane zostaną umieszczone w systemie i udostępnione do interpretacji.



Rys. 9. Karta przebiegu zmian temperatury w elektronicznym rekordzie pacjenta [4]

3.4. Korzyści wynikające z użytkowania elektronicznego rekordu pacjenta

Wśród korzyści wynikających z użytkowania elektronicznego rekordu pacjenta można wymienić:

1. Korzyści wynikające z funkcjonalności aplikacji:

a) dla pracowników medycznych:

- możliwość przeglądania kart danych pacjenta przez autoryzowanych użytkowników,
- możliwość dodawania do kart medycznych pacjentów informacji na temat leczenia przepisanych leków, hospitalizacji, etc. przez autoryzowanych użytkowników – lekarzy,
- dostęp do systemu kontaktu lekarza z pacjentem lub innym pracownikiem placówki medycznej;

b) dla biura obsługi:

- rejestracja pacjentów oraz pracowników medycznych w spójnej bazie danych,
- zarządzanie danymi osób zarejestrowanych w systemie przez autoryzowanych operatorów (moderatorów) systemu z odpowiednim poziomem dostępu,
- edycja i aktualizacja danych słownikowych systemu,

c) dla pacjenta:

- możliwość przeglądania danych osobowych, teleadresowych, medycznych, historii medycznych, badań lekarskich, przepisanych leków, informacji o hospitalizacji,

- dostęp do system kontaktu pacjenta z lekarzem lub pracownikiem placówki medycznej,
 - możliwość przeszukiwania bazy pracowników medycznych według różnych kryteriów wyszukiwania np. specjalności medycznej oraz poszczególnych placówek medycznych [8].
2. Korzyści biznesowe:
- a) dla placówek opieki medycznej – zmniejszenie kosztów funkcjonowania systemu opieki medycznej poprzez:
- eliminowanie powielania badań oraz procedur medycznych,
 - zmniejszenie ryzyka podejmowania leczenia w oparciu o niepełne dane pacjenta,
 - zmniejszenie nakładu pracy pracowników recepcji – zdalny dostęp pacjentów umożliwiający zdalną rejestrację oraz dostęp do informacji za pośrednictwem systemu,
 - zwiększenie trafności diagnozy,
 - podniesienie bezpieczeństwa pacjenta dzięki szybkiemu dostępowi do jego kompletnych danych medycznych w krytycznych sytuacjach,
 - wspieranie monitorowania stanu zdrowia pacjenta dzięki ewidencjonowaniu w systemie historii chorób, przebiegu leczenia, zażywanych leków, etc.
 - skrócenie czasu obsługi pacjenta.
- b) dla pracowników medycznych:
- bezpośredni dostęp do kompleksowej informacji medycznej o pacjencie, co znacznie ułatwia podejmowanie istotnych decyzji oraz diagnozowanie w oparciu o rzetelne dane (także w sytuacjach, gdy czas dostępu do danych pacjenta ma zasadnicze znaczenie dla ratowania jego życia i zdrowia),
 - dostęp do historii medycznej pacjenta z dowolnego miejsca z dostępem do sieci Internet,
 - eliminacja konieczności powtarzania badań pacjenta,
 - skrócenie czasu obsługi pacjenta,
 - dostęp do bazy danych ośrodków opieki medycznej i lekarzy zapisanych w systemie co pozwala na wymianę informacji i konsultacje np. z lekarzem który dokonał wcześniejszego wpisu do systemu;
- c) dla pacjenta:
- łatwy i szybki dostęp do aktualnych informacji medycznych bez wychodzenia z domu,
 - poprawa jakości leczenia i bezpieczeństwa zdrowia pacjenta,
 - dostęp do bazy danych zawierającej informacje o lekarzach i placówkach opieki zdrowotnej zarejestrowanych w systemie,
 - możliwość kontaktu z wybranym lekarzem/jednostką za pośrednictwem systemu w celu konsultacji lub zasięgnięcia porady odnośnie stosowania leków [9].

3.5. Główne problemy związane z wprowadzeniem ERP

Funkcjonowanie elektronicznego rekordu pacjenta wymaga istnienia infrastruktury teleinformatycznej (tzw. szyny usług) niezależnej od placówki opieki zdrowotnej tworzonej przez instytucje krajowe (publiczne i niepubliczne) lub regionalne.

Wymogiem wprowadzenia systemów teleinformatycznych obsługujących elektroniczny rekord pacjenta jest:

- istnienie mechanizmów identyfikacji pacjenta na poziomie krajowym,
- funkcjonowanie centralnych baz danych lub instytucji – dystrybutorów informacji medycznej,
- używanie jednolitej terminologii medycznej oraz ich kodów i jednokowych zakresów informacji,
- ustanowienie odpowiednich dla takiego poziomu funkcjonowania, mechanizmów bezpieczeństwa i poufności danych medycznych [9].

4. WNIOSKI

Niepewność oczekiwań klientów, zmiany rynku usług medycznych, rozwój technologii informacyjnych i informatycznych sprawiają, że odbiorcy produktów medycznych oczekują zwiększenia różnorodności produktów, niższych kosztów, lepszej jakości produktów, wyższego poziomu udzielania świadczeń medycznych, zwiększenia jakości opieki nad pacjentem i szybszej reakcji na zmieniające się warunki otoczenia.

Transformacje otoczenia stały się podstawą do opracowania koncepcji, stworzenia i udoskonalania Elektronicznego Rekordu Pacjenta (ERP) – systemu, który jest dla lekarzy źródłem wiedzy o pacjencie. W chwili obecnej wiele instytucji w Stanach Zjednoczonych stara się wykorzystać EHR dla bardziej spersonalizowanej terapii oraz badań. Przykładem może być Harvard Medical School, gdzie prowadzi się prace nad zintegrowanym systemem EHR dla wspomaganie decyzji klinicznych przy zastosowaniu narzędzi do interpretacji testów genetycznych. Dzięki temu możliwe będzie znalezienie nowych korelacji między informacją genetyczną, chorobami a odpowiedzią na leczenie. System zostanie wdrożony w Massachusetts General Hospital w celu gromadzenia informacji genetycznej dla pacjentów onkologicznych, aby zaoferować standard leczenia zbliżony do kanonów medycyny spersonalizowanej. Szpital Children's Memorial Hospital w Chicago wykorzystuje platformę Xenobase do eksploracji danych pacjentów, m.in. do badań nad przetaczaniem macierzystych komórek hematopoetycznych.

Także Komisja Europejska poprzez Dyрекcję Generalną do spraw Społeczeństwa Informacyjnego i Mediów zabiega o wdrożenie systemu EHR we wszystkich krajach członkowskich Unii Europejskiej. W tym celu w 2002 r. został powołany European Institute for Health Records (EuroRec), organizacja o charakterze non profit. EuroRec współpracuje poprzez swoje krajowe niezależne centra (ProRec) z organizacjami służby zdrowia, firmami czy administracją krajową. Celem tej organizacji jest wspieranie wprowadzania EHR na poziomie europejskim. Estonia jako pierwszy kraj na świecie wdrożyła i w pełni udostępniła rekordy swoim obywatelom. Takie kraje jak Wielka Brytania, Czechy, Dania, Hiszpania, Niemcy czy Finlandia również prowadzą bardzo zaawansowane prace nad tym projektem [2].

W Polsce na podstawie rządowego projektu informatyzacji publicznej służby zdrowia „e-Zdrowie Polska 2009–2015” planowane jest wdrożenie Systemu Informacji Medycznej (SIM), czyli stworzenie centralnych baz danych i rejestrów medycznych oraz zwiększenie dostępności do informacji w opiece medycznej dla pacjentów.

Preferowana infrastruktura w medycynie personalizowanej pozwalałaby lekarzowi na łatwy dostęp do kompletnych danych pacjenta, zawierających informacje kliniczne, fizyczne i molekularne, jak również notatek lekarzy z obserwacji klinicznych. Dzięki dobrej elektronicznej bazie danych, eksploracja danych pacjenta i porównanie tych wyników z aktualnym stanem wiedzy pozwoli na określenie nowych korelacji w celu zindywidualizowanej diagnozy, leczenia i lepszego monitorowania choroby.

LITERATURA

- [1] Congress of the United States: Policy Implications of Medical Information Systems. Washington, 1977.
- [2] LEWANDOWSKA M. A., LEWANDOWSKI R., ROSZKOWSKI K.: *Medycyna personalizowana w onkologii – wizja czy realna koncepcja?* Contemporary Oncology 15/2011, s. 1–6.
- [3] STRZELECKA A.: *Zarządzanie przepływem dóbr i usług w zakładach opieki zdrowotnej.* Studia i Materiały, Polskie Stowarzyszenie Zarządzania Wiedzą, 55/2011, s. 176–186.
- [4] TADEUSIEWICZ R.: *Informatyka medyczna.* Wyd. Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 2011.
- [5] NYCZAJ K.: Blog poświęcony problematyce informatyzacji ochrony zdrowia, <http://nyczaj.blog.onet.pl>
- [6] CompuGroup Medical Polska, <http://www.cgmpolska.pl> [data dostępu: 20.10.2013].
- [7] Projekt Dolnośląskie E-Zdrowie, <http://www.dolnoslaskieezdrowie.pl>
- [8] NetLine Group, <http://www.netline.pl>.
- [9] Świętokrzyskie Centrum Onkologii: Elektroniczny Portal Pacjenta, <http://www.onkol.kielce.pl>
- [10] <http://www.salveomt.com/images/electronic-medical-record.gif>