

KONCEPCJA TOOL LIFECYCLE MANAGEMENT W PRAKTYCE PRZEMYSŁOWEJ

*Aneta SKOWRON
Politechnika Śląska*

Streszczenie. Artykuł prezentuje koncepcję zarządzania cyklem życia narzędzia (Time Lifecycle Management, TLM) jako rozszerzenie tradycyjnej koncepcji zarządzania gospodarką narzędziową. Przedstawiono najważniejsze założenia oraz główne obszary problemowe współczesnej gospodarki narzędziowej. Zaprezentowano obszary funkcjonalne oraz oczekiwania wobec koncepcji TLM. Nawiązano do idei Industrie 4.0, omawiając jej komponenty oraz założenia projektowe implementacji. Zasadnicza część artykułu prezentuje program TDM System, opracowany w oparciu o koncepcję TLM oraz przykład jego wdrożenia w praktyce przemysłowej.

Słowa kluczowe: zarządzanie cyklem życia narzędzia, gospodarka narzędziowa, przepływy rzeczowe i informacyjne, symulacja procesów wytwórczych, zapotrzebowanie na narzędzia.

WPROWADZENIE

W produkcji przemysłowej, której procesy produkcyjne związane są z wykorzystaniem narzędzi organizacja gospodarki narzędziowej odgrywa kluczową rolę. Niezakłócony przebieg procesu produkcyjnego wymaga zapewnienia zasileń we właściwe narzędzia, we właściwym czasie oraz określenie optymalnych warunków ich pracy. Zarządzanie gospodarką narzędziową wymaga kompleksowego podejścia do wszystkich jej zadań. Koncepcja Tool Lifecycle Management koncentruje się na całościowym zarządzaniu narzędziem od momentu jego pojawienia się w przedsiębiorstwie poprzez czas jego pracy, zużycie i regenerację aż po złomowanie. Efektywne zarządzanie systemem narzędziowym może być wspomagane przez odpowiednie systemy komputerowe – od prostego oprogramowania wspomagającego pracę Działu Narzędziowni po systemy zarządzania danymi narzędziowymi zintegrowane z innymi systemami przedsiębiorstwa, wspomagające prace planistyczne, symulacje procesów technologicznych oraz produkcję.

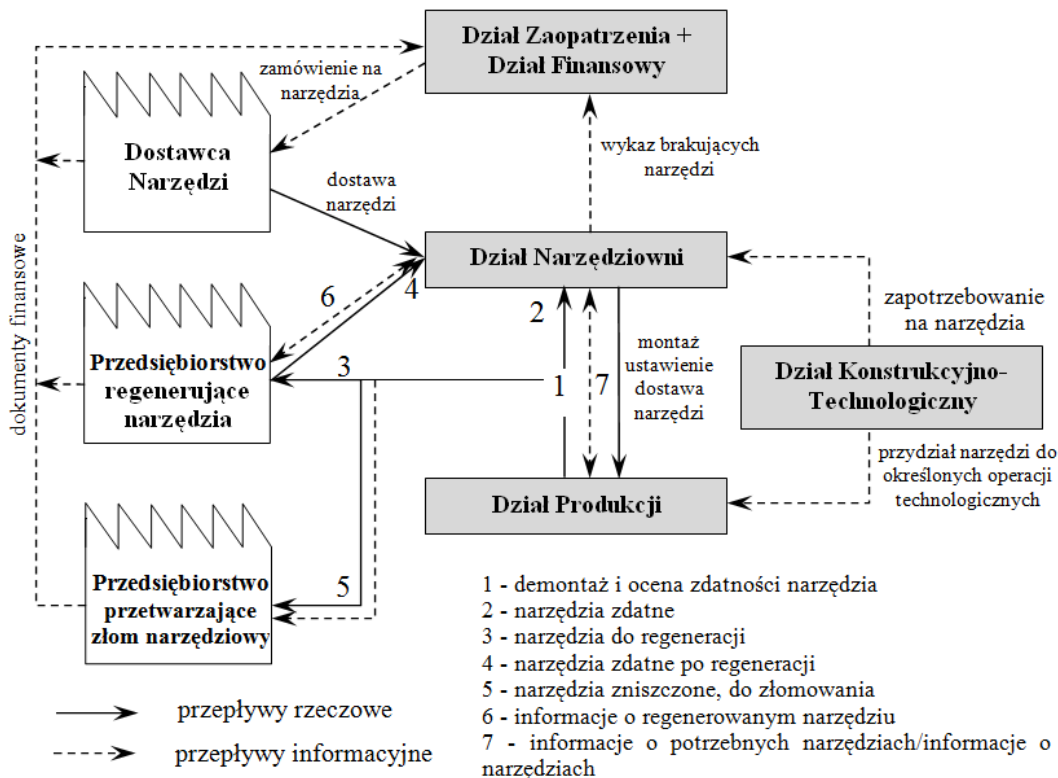
GOSPODARKA NARZĘDZIOWA W PRZEDSIĘBIORSTWACH PRZEMYSŁOWYCH

Gospodarkę narzędziową można zdefiniować jako całokształt działalności przedsiębiorstwa związany z organizacją i planowaniem zaopatrzenia w narzędzia, przechowywaniem oraz wykorzystywaniem zgromadzonych narzędzi w procesach produkcji oraz logistyką zwrotną związaną z regeneracją i złomowaniem zużytych narzędzi.

- Liwowski i Kozłowski do podstawowych zadań gospodarki narzędziowej zaliczają [8]:
- a) zaopatrzenie każdego stanowiska roboczego w narzędzia niezbędne do skutecznego i racjonalnego wykonania wyznaczonego mu zadania,
 - b) zapewnienie dobrego stanu technicznego narzędzi,
 - c) zorganizowanie przepływu narzędzi w taki sposób, aby wymienione wcześniej zadania wykonać przy najmniejszym koszcie.

Honczarenko [2] zwraca uwagę, że zarządzanie gospodarką narzędziową nie koncentruje się wyłącznie na wymaganiach odnośnie samych narzędzi ale odnosi się również do planowania zapotrzebowania na narzędzia, przygotowania narzędzi, dostawy narzędzi do maszyn, doboru parametrów pracy oraz konserwacji i naprawy.

Rysunek 1 przedstawia czynności realizowane w ramach gospodarki narzędziowej w powiązaniu z przepływami rzeczowymi i informacyjnymi między wybranymi działami przedsiębiorstwa a funkcjonującymi w otoczeniu podmiotami dostarczającymi, regenerującymi i złomującymi narzędzia.



Rys. 1 Główne przepływy rzeczowe i informacyjne między otoczeniem a działami przedsiębiorstwa w zakresie gospodarki narzędziowej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [11, 13]

Zagadnienia gospodarki narzędziowej poruszane są w literaturze również w aspekcie elastycznych systemów wytwarzania. Krzyżanowski [6] wymienia podsystem narzędziowy obok podsystemu wytwarzania, przedmiotowego i dodatkowych logistycznych podsystemów wspierających (energetycznego, obiegu cieczy technologicznych i odprowadzania wiórow) jako element elastycznego systemu wytwarzania. Do funkcji tego podsystemu należą [6]:

- wyznaczanie zapotrzebowania na określony czas pracy narzędzia (jakie narzędzia, jakiego rodzaju, w jakiej ilości),
- przyporządkowanie każdemu narzędziu zestawu danych (oznaczenie narzędzia, geometria, zalecane parametry pracy),
- magazynowanie narzędzi w odpowiedniej liczbie, przy stanowisku pracy i w razie potrzeby wymiana w magazynie przystanowiskowym,
- transportowanie narzędzi z magazynu centralnego do poszczególnych stanowisk roboczych,

- e) zmienianie narzędzia odpowiednio szybko, w czasie trwania procesu obróbki, zgodnie z zaplanowanym przebiegiem tego procesu,
- f) kontrolowanie w czasie pracy stanu narzędzia i zapewnienie odpowiedniej reakcji systemu w wypadku wystąpienia nieprawidłowości.

ZARZĄDZANIE CYKLEM ŻYCIA NARZĘDZIA

Zarządzanie cyklem życia narzędzi (TLM, Tool Lifecycle Management) jest definiowane jako strategia IT obejmująca organizację gospodarki narzędziowej we wszystkich fazach planowania, symulacji, opracowania zamówienia i produkcji. TLM stanowi połączenie między systemami ERP (Enterprise Resource Planning), PLM (Product Lifecycle Management) i MES (Manufacturing Execution System) i zapewnia komunikację między planowaniem i systemem produkcji [10].

Obszary działania TLM obejmują:

- a) z jednej strony gromadzenie i dostarczanie danych o narzędziach i ich parametrach do systemu CAM i symulacji procesu,
- b) z drugiej strony fizyczną organizację przepływu narzędzi w przedsiębiorstwie.

Literatura przedmiotu podkreśla, że koncepcja TLM nie jest zorientowana na pojedyncze procesy czy wydziały lecz na ciągłą komunikację i wymianę informacji między elementami systemu.

W literaturze można znaleźć opracowania dotyczące oczekiwań wobec systemów zarządzania cyklem życia narzędzia. Przykładowo Lynch [9] zalicza do nich:

- a) możliwość określania czasu życia narzędzia nie poprzez określenie jego liczby cykli pracy ale poprzez określenie odcinka czasu, ponieważ narzędzia mogą pracować w różnych zleceniach produkcyjnych przez różną długość czasu,
- b) raportowanie o poziomie zużycia narzędzia oraz możliwość automatycznej wymiany narzędzi stępionych połączona z przepływem informacji do systemu, gdy narzędzie jest wymienione,
- c) automatyczny przepływ aktualnych danych o pracy narzędzia umożliwiający automatyczną zmianę ustawień by utrzymać parametry obrabianej powierzchni,
- d) zapisywanie, przechowywanie i możliwość odtworzenia danych o życiu narzędzia, pozwalająca na możliwość powrotu do wcześniejszych ustawień bez konieczności ponownego ich wprowadzania,
- e) możliwość modyfikowania parametrów pracy narzędzia w zależności od obrabianego materiału ale jednocześnie w zależności od rodzaju narzędzia, jego geometrii i materiału, z którego jest wykonane.

Wśród zasadniczych celów TLM wymienia się możliwość wykonywania wszystkich czynności związanych z utrzymaniem i konserwacją narzędzi bez negatywnego wpływu na czas cyklu produkcyjnego [10].

Największą zaletą systemów tworzonych w oparciu o koncepcję TLM jest możliwość gromadzenia danych liczbowych i graficznych związanych z narzędziami i procesami, w które są zaangażowane oraz wysoka zdolność ich integracji z pozostałymi systemami przedsiębiorstwa. Dzięki temu planowanie może być możliwie najbardziej precyzyjne a procesy technologiczne mogą być symulowane w wirtualnej rzeczywistości przez wirtualne

modele narzędzi. Koncepcja TLM dostarcza kompleksowy obraz procesu produkcyjnego i może być podstawą do wdrożenia Industrie 4.0.

CHARAKTERYSTYKA IDUSTRIE 4.0

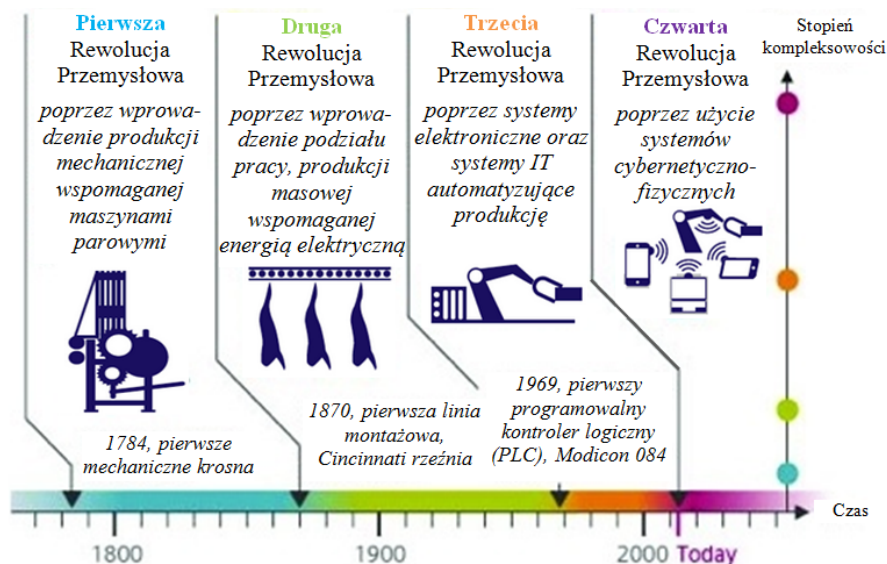
Pojęcie "Industrie 4.0" pojawiło się w 2011 roku jako kluczowa inicjatywa w ramach "Strategii High-Tech" przedstawionej przez rząd niemiecki w perspektywie planistycznej do 2020 roku. Już rok później powołany zespół roboczy opracował rekomendacje dotyczące implementacji Industrie 4.0. W kolejnym roku na Targach w Hanowerze przedstawiono raport końcowy dotyczący Industrie 4.0.

Od tamtej pory Industrie 4.0 było przedmiotem wielu publikacji naukowych oraz zagadnieniem poruszonym na wielu konferencjach.

Herman i Pentek [1] fenomen zainteresowania Industrie 4.0 widzą w dwóch przyczynach:

- po pierwsze jest ona zmianą rewolucjonizującą przemysł ale przewidywaną a nie obserwowaną dopiero po zaistnieniu, co daje szerokie pole instytutom badawczym aby aktywnie kształtować przyszłość,
- po drugie eksperci oceniają że efekt ekonomiczny tej rewolucji będzie ogromny i dotyczył będzie m.in. wzrostu efektywności operacyjnej oraz zdefiniowania nowych modeli biznesowych a także nowych modeli produktów czy usług.

Termin Industrie 4.0 jest w literaturze odnoszony do mającej właśnie miejsce rewolucji przemysłowej. Jest ona poprzedzona trzema wcześniejszymi w historii ludzkości, przedstawionymi na poniższym rysunku.



Rys. 2 Rewolucje przemysłowe

Źródło: Tłumaczenie na podstawie [12]

Literatura dotycząca tego pojęcia określa je jako:

- pierwszą rewolucję przemysłową – datowaną na drugą połowę XVIII wieku i prawie cały XIX wiek, wynalezienie maszyny parowej, rozwój produkcji mechanicznej,
- drugą rewolucję przemysłową – datowaną od lat 70-tych XIX wieku, warunkowaną przez podział pracy, elektryfikację i produkcję masową,

c) trzecią rewolucję przemysłową nazywaną również "rewolucją cyfrową" – zapoczątkowaną w latach 70-tych XX wieku wraz z rozwojem zaawansowanej elektroniki i technologii informacyjnej, zmierzającą do automatyzacji procesów produkcyjnych.

Wydział Budowy Maszyn na Politechnice Dortmundzkiej podjął się w 2014 roku próby stworzenia jednoznacznej definicji pojęcia oraz założeń projektowych dla implementacji Industrie 4.0. Problemy z definiowaniem Industrie 4.0 wynikają z [5]:

- a) mnogości publikacji naukowych i badań, z których każde porusza różne aspekty pojęcia,
- b) określenia przez kluczowych propagatorów ("Industrie 4.0 Working Group", "Plattform Industrie 4.0") wizji, podstawowych technologii i wybranych scenariuszy bez wprowadzenia jednoznacznej definicji,
- c) słabej znajomości określenia Industrie 4.0 poza krajami niemieckojęzycznymi.

W tabeli 1 przedstawiono przykłady różnych interpretacji pojęcia Industrie 4.0

Tabela 1 Definiowanie pojęcia Industrie 4.0

<i>Organizacja/autor</i>	<i>Rok</i>	<i>Interpretacja</i>
Industrie 4.0 Working Group, Kagermann,	2013	W przyszłości przedsiębiorstwa stworzą globalne sieci obejmujące ich maszyny i urządzenia, systemy magazynowania i zdolności produkcyjne w obrębie CPS (Cyber Physical Systems). W środowisku wytwarzania CPS będą zawierały inteligentne maszyny, systemy magazynowania i możliwości produkcyjne zdolne do autonomicznej wymiany informacji, inicjowania działań i kontrolowania się wzajemnie i niezależnie.
Plattform Industrie 4.0	2014	Nowy poziom organizacji i zarządzania łańcuchem wartości poprzez cykl życia produktów.
Politechnika w Dortmundzie, Herman, Pentek	2014	Zbiorowy termin określający technologie i koncepcje organizacji łańcucha wartości. W modułowej strukturze Inteligentnych Fabryk, system CPS monitoruje procesy fizyczne, tworzy wirtualną kopię świata rzeczywistego i wydaje decentralizowane decyzje. Poprzez sieć elementy systemu komunikują się i współpracują ze sobą oraz ludźmi w czasie rzeczywistym. Poprzez usługi sieciowe zarówno wewnętrzne jak i międzyorganizacyjne usługi są oferowane i używane przez uczestników łańcucha wartości.

Zródło: Opracowanie własne na podstawie [1, 4, 17]

Herman i Pentek [1] przywołują za Lasi [7] i innymi porównywalne do Industrie 4.0 pojęcia funkcjonujące w globalnej perspektywie. Wymieniają m.in.:

- a) promowane przez General Electric określenie Industrial Internet,
- b) Advanced Manufacturing stworzone przez amerykańską organizację Advisors on Science and Technology,
- c) termin Integrated Industry wprowadzony przez Bürgera,
- d) Smart Industry i Smart Manufacturing użyte przez Davisa i Portera.

Przeprowadzony przez autorów Design Principles for Industrie 4.0 przegląd literaturowy obejmujący analizę ponad 50 publikacji pozwolił na identyfikację 6 komponentów Industrie 4.0. Należą do nich:

- a) Cyber-Physical Systems (CPS) – definiowane przez Jasperneite [3] jako systemy, w których cybernetyczne i fizyczne podsystemy są ściśle zintegrowane na wszystkich poziomach,
- b) Internet of Things,
- c) Internet of Services,

- d) Smart Factory,
- e) Machine-to-machine (M2M) communication,
- f) Smart Products.

Zespół badawczy z Politechniki w Dortmundzie na bazie analizy literaturowej oraz doświadczeń akademickich i przemysłowych określił 6 założeń projektowych dla implementacji Inudstrie 4.0. Należą do nich [4]:

1. interoperacyjność – zdolność systemu CPS, ludzi i Smart Factory do kontaktowania się i komunikowania poprzez Internet of Things i Internet of Services,
2. wirtualizacja – tworzenie wirtualnej wersji Smart Factory w oparciu o połączenie danych pozyskanych z monitorowania procesów fizycznych z danymi z modeli planistycznych i symulacyjnych,
3. decentralizacja – możliwość podejmowania niezależnych decyzji przez Smart Factories i CPS,
4. możliwości czasu rzeczywistego – możliwość zbierania i analizy danych oraz dostarczania opracowanych wytycznych w czasie rzeczywistym,
5. orientacja na obsługę – oferowanie usług poprzez Internet of Services,
6. modułowość – możliwość elastycznej adaptacji modułów Smart Factory do zmiany wymagań.

W dalszej części artykułu przedstawiony został opierający się na koncepcji Tool Lifecycle Management system TDM oraz przykład praktyczny jego wdrożenia w praktyce przemysłowej.

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU TDM

TDM System jest kompleksowym rozwiązaniem do zarządzania narzędziami oraz szeroko pojętym wyposażeniem produkcyjnym. Początek rozwoju systemu sięga roku 1987, w którym stworzono pierwszą wersję oprogramowania wspierającego gospodarkę narzędziową. W ciągu ponad 25 lat system ewoluował wykorzystując najnowsze osiągnięcia technologiczne, w kierunku systemu integrującego zarządzanie narzędziami na wszystkich etapach ich życia z planowaniem i produkcją oraz umożliwiającym symulacje procesów technologicznych i kolizji maszynowych.

Najważniejszą cechą systemu TDM jest jego wysoka zdolność do integracji z istniejącymi systemami przedsiębiorstwa. Schemat obrazujący możliwości integracyjne systemu przedstawiono na rys. 3.

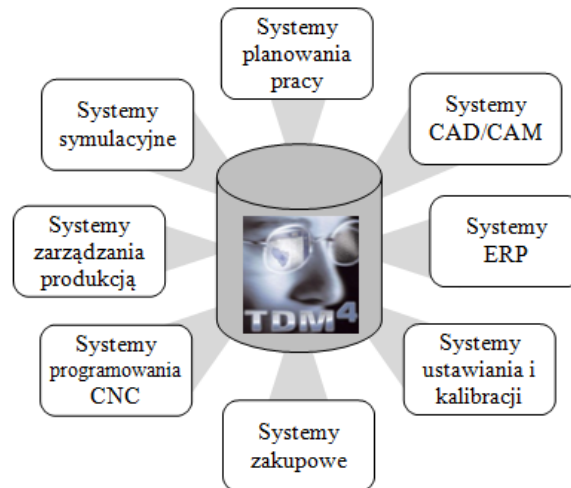
Główne komponenty składowe systemu wraz z ich kluczowymi modułami przedstawiono na rys. 4.

Ze względu na objętość opracowania przedstawiono poniżej jedynie krótką charakterystykę wybranych modułów systemu TDM.

Moduł Bazowy umożliwia zarządzanie podstawowymi danymi narzędziowymi. Do jego funkcji zalicza się:

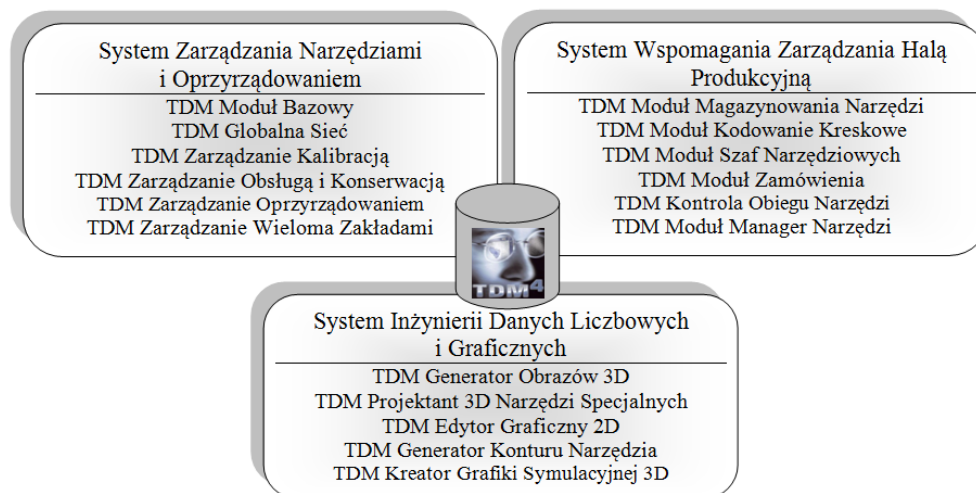
- a) dobór narzędzia w oparciu o obrabiany materiał, operację technologiczną, posiadany osprzęt poprzez interface graficzny,
- b) automatyczne łączenie komponentów w przypadku narzędzi składanych,
- c) bazę elektroniczną narzędzi ponad 50 producentów wraz z głównymi parametrami i obrazami 2 i 3D,

- d) zintegrowany dobór parametrów pracy i możliwość symulacji długości życia narzędzia,
- e) generowanie dokumentacji narzędziowej oraz list narzędzi do uzbrojenia dla określonego zlecenia produkcyjnego,
- f) wielokryterialne raportowanie.



Rys. 3 Możliwość integracji systemu TDM

Źródło: Tłumaczenie na podstawie TDM System Manual



Rys. 4 Komponenty składowe i moduły TDM System

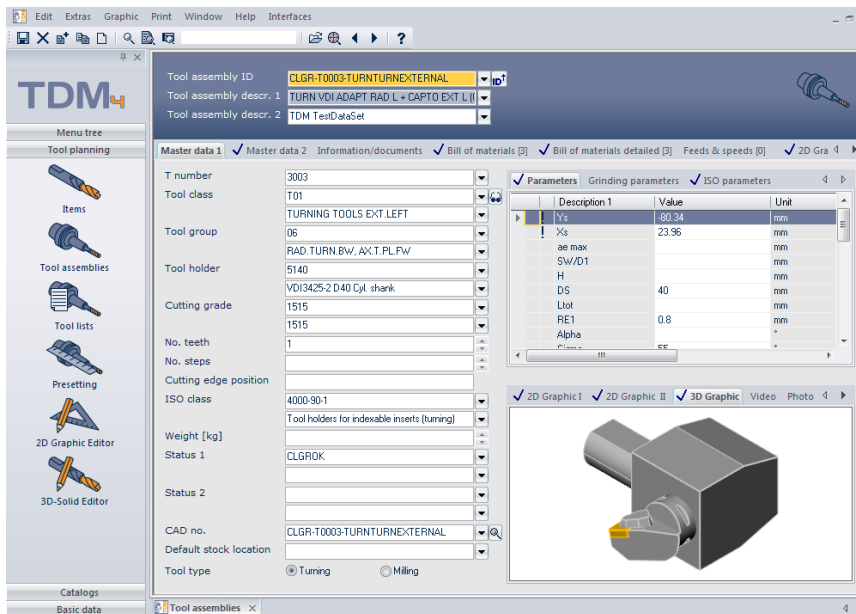
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [15]

Rysunek 5 przedstawia okno omawianego modułu.

Moduł Zarządzanie Kalibracją wspomaga organizację i nadzorowanie kalibracji przyrządów pomiarowych i kontrolnych. Do jego głównych funkcji należą:

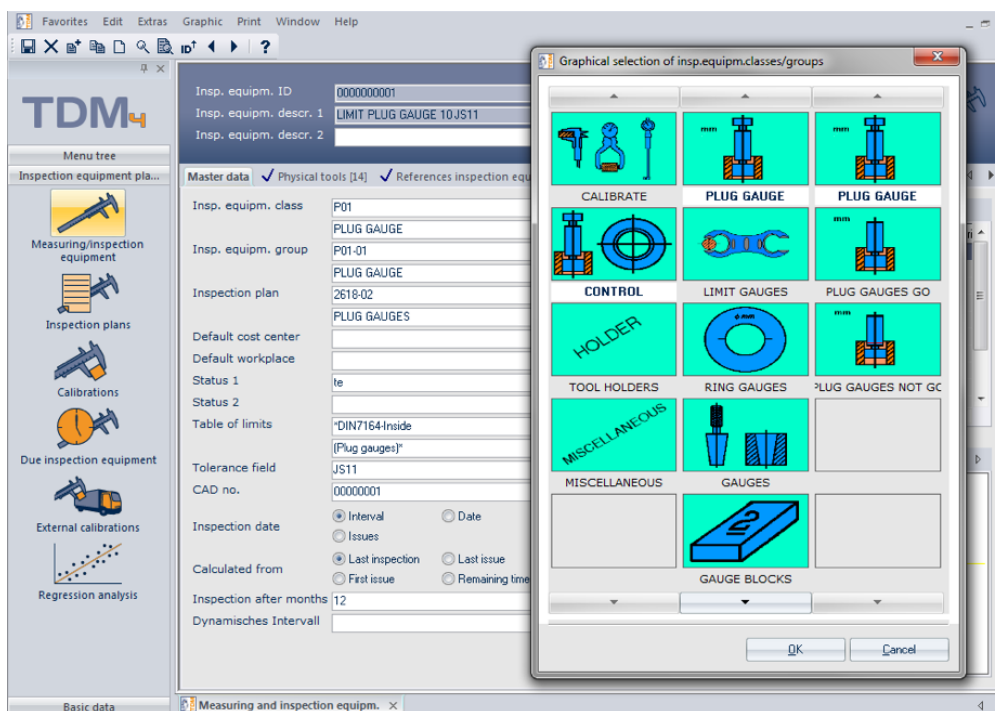
- a) predefiniowanie planów przeglądów według VDI/VDE/DGQ2618,
- b) zarządzanie dokumentacją pomiarową,
- c) rejestrowanie nieprawidłowości pomiarowych i śledzenie wyników pomiarów,
- d) analizy statystyczne pomiarów,
- e) raportowanie w oparciu o częstotliwość użycia i przeglądy.

Rysunek 6 przedstawia okno omawianego modułu.



Rys. 5 Okno Modułu Bazowego TDM System

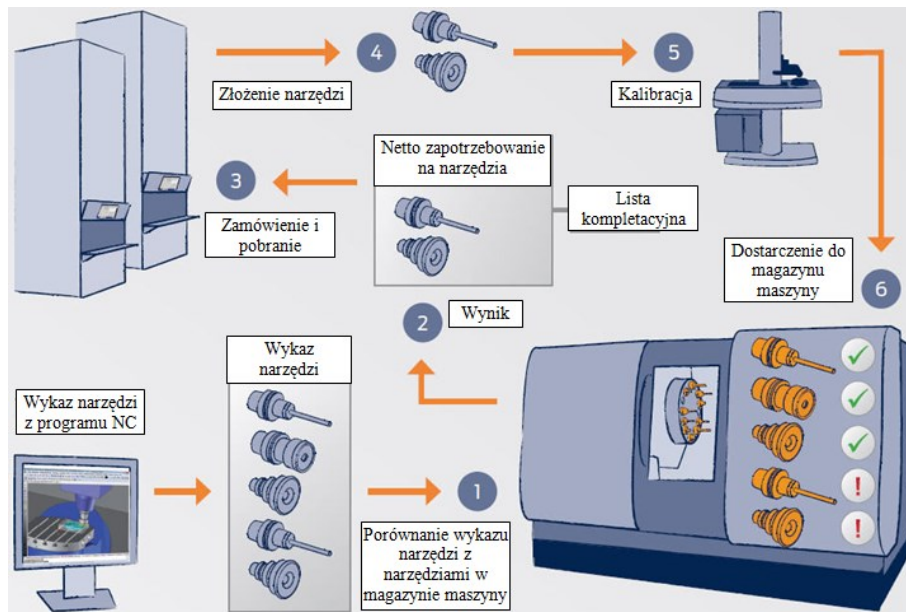
Źródło: TDM System Manual



Rys. 6 Okno Modułu Zarządzanie Kalibracją TDM System

Źródło: TDM System Manual

Funkcjonowanie modułu Manager Narzędzi przedstawiono na schemacie (rys. 7). Zapotrzebowanie na narzędzia w zleceniu produkcyjnym zostaje wygenerowane w programie NC. Wykaz jest porównywany z narzędziami znajdującymi się w magazynie maszyny. Na tej podstawie tworzone jest zapotrzebowanie netto na narzędzia. Zgodnie z listą kompletną w szafie narzędziowej zamawiane i pobierane są brakujące narzędzia, które w razie potrzeby są składane. Dalej następuje ich kalibracja i dostarczenie do magazynu maszyny.



Rys. 7 Dostarczanie potrzebnych do produkcji narzędzi, moduł TDM Machine Tool Manager

Źródło: Tłumaczenie na podstawie [16]

PRZYKŁAD WDROŻENIA OPROGRAMOWANIA W PRAKTYCE PRZEMYSŁOWEJ

Analizowane przedsiębiorstwo zajmuje się produkcją szerokiego wachlarza różnych typów i rozmiarów podzespołów stalowych. Posiada 4 zakłady produkcyjne. Różnorodność produktów jest bardzo wysoka i wpływa na zapotrzebowanie na dużą ilość różnych narzędzi. Firma posiada ponad 100 maszyn typu CNC. Ponad połowę procesów obróbki stanowi frezowanie a pozostałą część toczenie. Ilość pozycji narzędziowych przekracza 9000, natomiast liczba programów pisanych dla maszyn przekraczała 4000 rocznie. Głównym problemem w obszarze gospodarki narzędziowej był niska efektywność procesu zakupu narzędzi oraz wzrastający koszt utrzymywania zapasów narzędziowych. Oprogramowanie zapewniło centralizację bazy danych dotyczących narzędzi oraz wsparcie w obrębie takich danych dotyczących gospodarki narzędziowej dla wszystkich wydziałów przedsiębiorstwa jak: geometria narzędzi, parametry pracy (prędkości skrawaniem, posuwy, itd.), dostawcy. Moduły oprogramowania zapewniły również wsparcie użytkownikom w zakresie programowania i nastawiania maszyn.

Tabela 2 przedstawia efekty wdrożenia systemu.

Efektami wdrożenia oprogramowania TDM było również:

- powiązanie między do tej pory zupełnie odrębnymi obszarami gospodarki narzędziowej poszczególnych zakładów oraz efekt synergii w zakresie procesu zamawiania,
- zastąpienie kart narzędziowych postacią cyfrową danych pozwalającą na dostęp do pełnych informacji narzędziowych w czasie rzeczywistym,
- integracja oprogramowania z systemem CAM i możliwość wykorzystania danych gromadzonych przez oprogramowanie narzędziowe w zakresie geometrii narzędzi, parametrów pracy, warunków obróbki, kolizji maszynowych w programowaniu maszyn.

Tabela 2 Efekty wdrożenia systemu zarządzania gospodarką narzędziową

Parametry	Rodzaj obróbki	Frezowanie	Toczenie
Liczba maszyn w przedsiębiorstwie		83	22
Liczba zmian dziennie		2	2
Średni czas ustawiania		1,5 h	0,5h
Liczba nowych zleceń na zmianę i maszynę (w przybliżeniu)		1	2
Średnia redukcja czasu nastawiania		15%	10%
Ilość nowych programów NC dla maszyn miesięcznie		110	260
Średnia liczba narzędzi na program NC		20	6
Średni czas jednego programu NC		7h	1,5h
- czas na opracowanie dokumentacji i generowanie danych dla narzędzi i maszyn		30%	20%
Redukcja czasu opracowania dokumentacji i danych narzędziowych		25%	25%
Udział narzędzi wymienianych w czasie nastawiania		70%	40%
Czas potrzebny na obsługę narzędzi (składanie, ustawianie, rozkładanie, magazynowanie)		10 minut	5 minut
Redukcja czasu obsługi narzędzi		7%	5%

Źródło: Opracowanie własne w oparciu o dane przedsiębiorstwa

PODSUMOWANIE

Nowoczesne zarządzanie gospodarką narzędziową zmierza w kierunku integracji zarządzania narzędziami na wszystkich etapach ich życia z procesami planowania i produkcji oraz innymi systemami w przedsiębiorstwie.

Wykorzystanie systemów bazujących na koncepcji Tool Lifecycle Management może przynieść m.in.:

- oszczędności czasowe i kosztowe wynikające z uporządkowania magazynowania narzędzi i ich cyrkulacji oraz zlikwidowania ukrytych zapasów narzędzi,
- skrócenie czasu doboru narzędzi, ich przygotowania i dostarczenia do stanowiska,
- zapewnienie powtarzalności i stabilności procesów poprzez odtwarzalne dane dotyczące warunków i parametrów pracy narzędzi,
- skrócenie czasu przestoju maszyn,
- poprawę projektowania procesów przez wykorzystanie symulacji procesów technologicznych i kolizji maszynowych.

LITERATURA

- [1] Herman M., Pentek T., Otto B.: Design Principles for Industrie 4.0, TU Dortmund, 2015
- [2] Honczarenko J.: Elastyczna automatyzacja wytwarzania, WNT, Warszawa 2000
- [3] Jaserneite J.: Was hinter Begriffen wie Industrie 4.0 steckt?, Internet und Automation 12/20 12
- [4] Kagerman H.: Chancen von Industrie 4.0 nutzen, Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Vogel, 2014
- [5] Kagerman H.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Acatech, 2013
- [6] Krzyżanowski J.: Elastyczna Automatyzacja Wytwarzania, materiały z seminarium na Międzynarodowych Targach Produkcji i Technologii PROTECH 2007, publikowane w Control Engineering Polska 3/2008

- [7] Lasi H. i in.: Industrie 4.0: Bedarfsog und Technologiedruck als Treiber der vierten industriellen Revolution, Wirtschaftsinformatik 56(4)/2014
- [8] Liwowski B., Kozłowski R.: Podstawowe zagadnienia zarządzania produkcją, Oficyna WK, Kraków 2007
- [9] Lynch M., What to look for in a Tool Life Management System, Modern Machine 1/2007
- [10] Lynch M.: The Goal of a Tool Life Management, Modern Machine 1/2004
- [11] Samoobsługowa – automatyczna gospodarka narzędziowa, Mechanik 1/2003
- [12] Shead S.: Industry 4.0: the next industrial revolution, The Engineer 7/2013
- [13] Skowron A.: Organizacja gospodarki narzędziowej w przedsiębiorstwie przemysłowym, [w:] Pyka J. (red.): Kreatywność i innowacyjność w unowocześnianiu przemysłu i usług, TNOIK Konferencja "Nowoczesność przemysłu i usług", Katowice 2009
- [14] TDM System Manual
- [15] TDM Message 7/2007
- [16] TDM Message 5/2010
- [17] Plattform Industrie 4.0: www.plattform-i40.de