



TOOL LIFECYCLE MANAGEMENT IN INDUSTRIAL PRACTICE

Aneta SKOWRON
Silesian University of Technology

Abstract:

The paper presents Tool Lifecycle Management (TLM) as an enhancement of traditional approach to the tool management. The most important assumptions and main research areas of modern tool management are introduced. The author describes functional areas and expectations of TLM. The components and design principles of Industrie 4.0 are presented. The main part shows TDM System, developed on the basis of TLM, and an example of its implementation in industrial practice.

Key words: *Tool Lifecycle Management, tool management, material and information flows, simulation of manufacturing processes, requirement for tools*

INTRODUCTION

Tool managements organization performs a significant function in an industrial practice where production processes are based on subtractive manufacturing. Supplying of the right tools in the right time and proper cutting data ensures uninterrupted manufacturing processes. Tools management needs a comprehensive approach to all of its tasks. Tool Lifecycle Management focuses on a holistic approach to the tool on each stage of its lifecycle: from the moment of its purchase through its work, the overall use and refurbishment up to its scrapping. Proper IT systems can support an efficient management of the tool system - starting from simple software supporting Tool Department to tool data systems integrated with other company systems supporting planning, simulating of technological processes and manufacturing.

TOOL MANAGEMENT IN INDUSTRIAL COMPANIES

Overall company activities connected with organization and planning the procurement of tools, their application in the production process, their storage and reverse logistics as refurbishment (re-grinding and re-coating) and scrapping of tools is defined as a tool management.

According to Liwowski and Kozłowski [8] the main tasks of tool management are:

- providing necessary tools to each workstation leading to effective machining,
- maintaining proper technical condition of tools,
- well-organized circulation of tools, in order to ensure the lowest costs of accomplishing tool management tasks.

Honczenko [2] points out the fact that the tool management concentrates not only on the tool's attributes but he also mentions tools-planning requirements, preparing and presetting the tools, providing the tools to workstations, recommending of cutting data, maintenance and repairs.

The activities performed in tool management, connected with the flow of goods and data between particular company departments and surrounding partners (tool supplier, tool refurbisher, tool scrapper) are presented in Figure 1.

In the literature tool management tasks are also connected with Flexible Manufacturing Systems (FMS). Tool system is indicated among manufacturing system and logistic supporting systems (energetic, circulation of technological liquids, chips removal system) as a part of FMS by Krzyżanowski [6]. Its functions include:

- generating tool requirements (which type of tool, which tool, how many),
- structuring tool data by geometry, cutting material, cutting data,
- storing right tools at workstation,
- providing tools from central warehousing (for ex. tool cabinets) to workstations,
- replacement of the tools during the production cycle, according to the technology,
- controlling the condition of the tool during its work and replacing it.

TOOL LIFECYCLE MANAGEMENT

Tool Lifecycle Management (TLM) is defined as an IT strategy that encompasses organization of the tool management at every stage of planning, tool use simulation, order preparation and production, as well as tool storage and maintenance. TLM is a central link between ERP Systems (Enterprise Resource Planning), PLM (Product Lifecycle Management) and MES (Measuring Execution System).

The areas of using TLM embrace:

- on the one hand, storing and providing tool data, tool graphics and cutting data in CAM system and simulation processes,
- on the other hand, actual organization of tool circulation on the shopfloor.

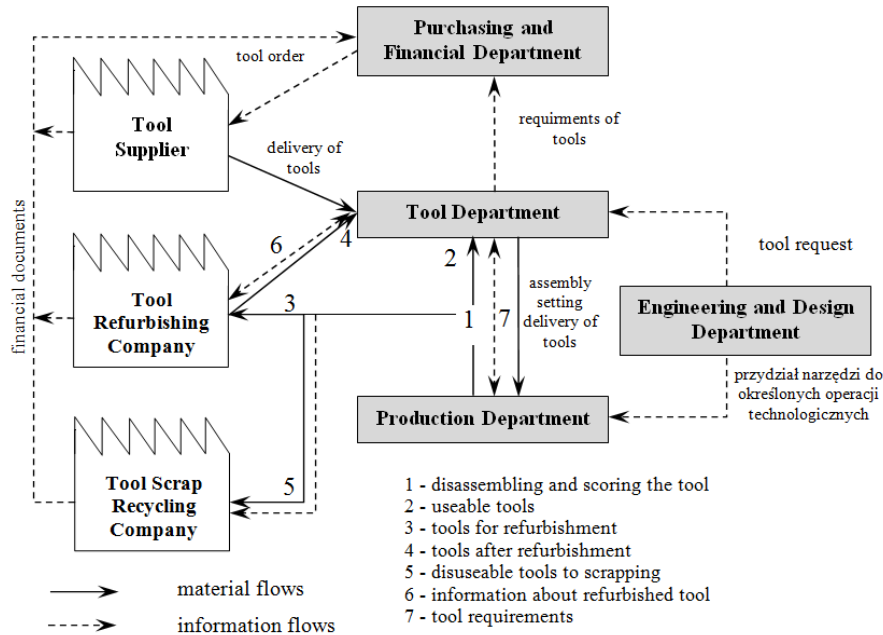


Fig. 1 Main material and information flows of tools data between business environment and departments of the company
Source: based on [11, 13].

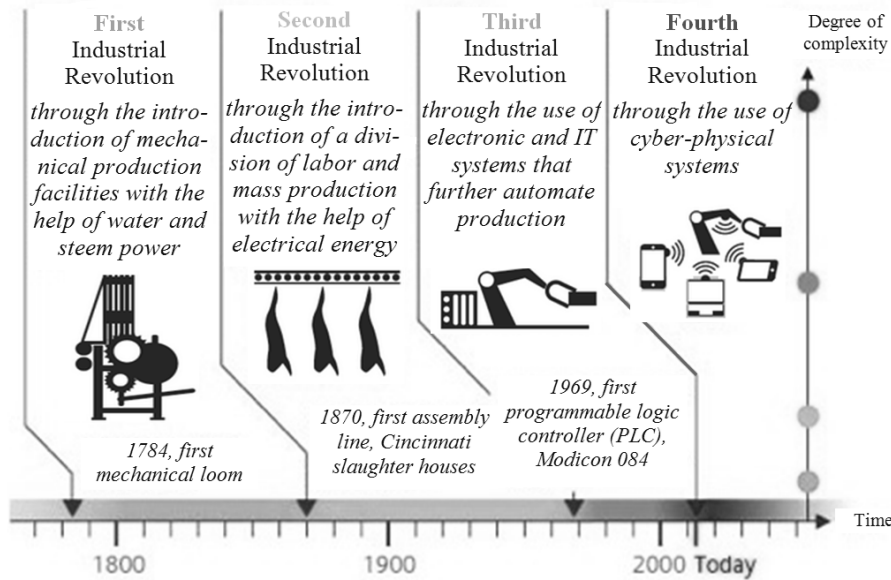


Fig. 1 Industrial Revolutions
Source: [12].

The literature emphasises that TLM is not oriented towards single processes or departments but on a seamless communication and data exchange between systems.

There are a lot of expectations from TLM systems. For example, Lynch lists the following:

- the ability to specify tool life, not only as the number of cycles, but also as the period of time, because in different tasks the tool can run for a different amount of time,
- reporting the tool exhaustion level and ability of automatic exchange of the dull tool, linked with the flow of the information to the system when the tool is being replaced,
- automatic flow of accurate data about tool work that enables automatic change of settings to hold surface quality,
- saving, storing and the ability of retrieving tool lifecycle data to minimize the initial setup time by the same work tasks,

- the possibility to modify the cutting data according to the workpiece material and also according to type of the tool, its geometry and cutting material.

The ultimate goal of tool life management system is to enable tool maintenance during the production run with no effect on the cycle time.

The ability to store and exchange tool data and graphics and the high capability of their integration into the existing company systems environment is the biggest advantage of the systems based on Tool Lifecycle Management conception. Thanks to them, planning is more precise and the manufacturing processes can be virtually simulated with the virtual models of the tools. Tool Lifecycle Management brings a complex view of the production process and is a strong support to implement Industrie 4.0.

THE CHARACTERISTIC OF INDUSTRIE 4.0

The term "Industrie 4.0" appeared in 2011 as a key initiative of High-Tech Strategy announced by the German federal government in planning perspective to 2020. The fol-

following year, the Working Group on Industrie 4.0 presented the recommendations for its implementations. The final report was presented at the Hanover Fair the following year.

Industrie 4.0 is a subject of many academic publications and many conferences have focused on this topic.

According to Herman and Pentek [1], there are two reasons for the fascination with Industrie 4.0:

- first of all, this change can revolutionize the industry, but this change can be predicted rather than observed ex-post, which gives the research institutes the possibility to shape the future actively,
- secondly, as experts predict, the economic effect of this change will be huge, it will increase the operational effectiveness and will define new models of business, products and services.

The term Industrie 4.0 in the literature refers to the fourth industrial revolution which is taking place right now. It was preceded by three earlier industrial revolutions, as presented in Figure 2.

In the history of the mankind three industrial revolutions had taken place. They are identified in the literature as:

- the first industrial revolution – dating back to the second half of the 18th and almost the whole 19th century, which was started by the invention of the steam engine and the development of mechanical production,
- the second industrial revolution – dating back to 1870s, introduced by electrification and mass production, as well as the division of labour,
- the third industrial revolution, also called the "digital revolution," initiated in 1970s by the developments in electronics, information technology and automatic production.

In the 2014, the experts from Dortmund Technical University undertook an initiative to create an explicit definition of Industrie 4.0 and to design the principles for its implementation. While trying to define Industrie 4.0 one encounters three problems:

- many academic publications and researches discuss different aspects of the term,
- Industrie 4.0 Working Group and Platform Industrie 4.0 create the vision, basic technologies and scenarios without introducing a clear definition,
- the term Industrie 4.0 is hardly known outside German-speaking countries.

The examples of different definitions of Industrie 4.0 are presented in the Table 1.

In the global perspective, there are other terms, comparable to Industrie 4.0, enumerated by Herman and Pentek [1], and also Lasi [7]:

- Industrial Internet, promoted by General Electric,
- Advance Manufacturing, created by American Advisors on Science and Technology,
- Integrated Industry, implemented by Bürger,
- Smart Industry and Smart Manufacturing, used by Davis and Porter.

The review of literature conducted by the authors of Design Principles for Industrie 4.0, based on the analysis of over 50 publications allowed to identify 6 components of Industrie 4.0. They are:

- Cyber-Physical Systems (CPS) – defined by Jaspersnite [3] as systems, in which cybernetic and physical systems are integrated on all levels,
- the Internet of Things,
- the Internet of Services,
- Smart Factory,
- Machine-to-machine (M2M) Communication,
- Smart Products.

Drawing on the review of literature and academic and practical background, the experts from Dortmund Technical University identified six design principles for implementing Industrie 4.0. These are:

- interoperability – the ability of CPS, Smart Factory and humans to communicate via the Internet of Things and the Internet of Services,
- virtualization – creating a virtual copy of the Smart Factory by linking the data from monitoring of the physical process with the data from the simulation models,
- decentralization – the ability of making decisions independently by CPS and Smart Factories,
- real-time capability – the capability of collecting and analyzing data and providing them in real time,
- service orientation – services offered via the Internet of Services,
- modularity – the ability of Smart Factory modules of flexible adaptations to changing requirements.

The next part of the paper presents TDM System – system of tool management based on Tool Lifecycle Management and its implementation in industrial practice.

Table 1
Definitions of Industrie 4.0.

Organization/ author	Date	Interpretation
Industrie 4.0 Working Group, Kagermann	2013	In the future, businesses will establish global networks that incorporate their machinery, warehousing systems and production facilities in the shape of Cyber-Physical Systems (CPC). In the manufacturing environment the CPS will comprise smart machines, storage systems and production facilities capable of autonomously exchanging information, triggering actions and controlling each other independently.
Platform Industrie 4.0	2014	A new level of value chain organization and management across the lifecycle of products.
Technical University Dortmund, Herman, Pentek	2014	Industrie 4.0 is a collective term for technologies and concepts of value chain organization. Within the modular structured Smart Factories of Industrie 4.0, CPS monitor physical processes, create a virtual copy of the physical world and make decentralized decisions. Over the IoT, CPS communicate and cooperate with each other and humans in real time. Via the IoS, both internal and crossorganizational services are offered and utilized by participants of the value chain.

Source: [1, 4, 17].

THE PROFILE OF TDM SYSTEM

TDM System is a complex solution for tool management. TDM System came into existence in 1987, when the first software supporting tool management was presented. During the 25 years, the system developed applying the latest technology, and expanded to a comprehensive solution that now integrates the tool management on each stage of tool lifecycle with planning and production, as well as simulation of processes and collisions.

The capability of its high integration with the company system environment is the most important feature of the TDM System.

Figure 3 presents the possible areas of integration.

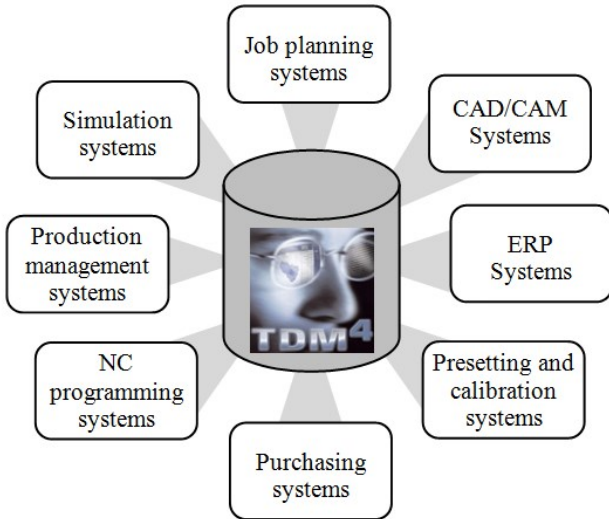


Fig. 3 TDM System's integration capabilities
Source: [14].

The main components of the TDM Systems and its key modules are shown in Figure 4.

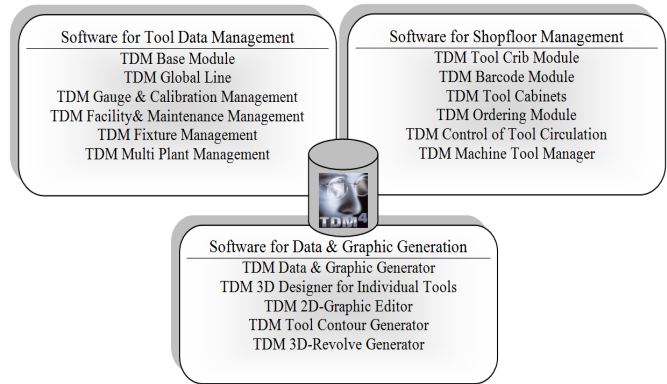


Fig. 4 Components and modules of TDM System
Source: based on [15].

Only a brief characteristic of some chosen modules of TDM Systems is presented here because of limitations on the paper's length.

The TDM Base Module enables to manage all the basic tool data. The features of this module are:

- graphic tool selection by workpiece material, machining operation, chucking devices
- automatic tool assembly with matching components,
- electronic cutting tool catalogue of more than 50 tool manufacturers with 2 and 3D graphics, machining know-how,
- automatic selection of cutting parameters and simulation of tool life,
- generating tool documentation and tool lists to changeover to define job,
- multilevel reporting.

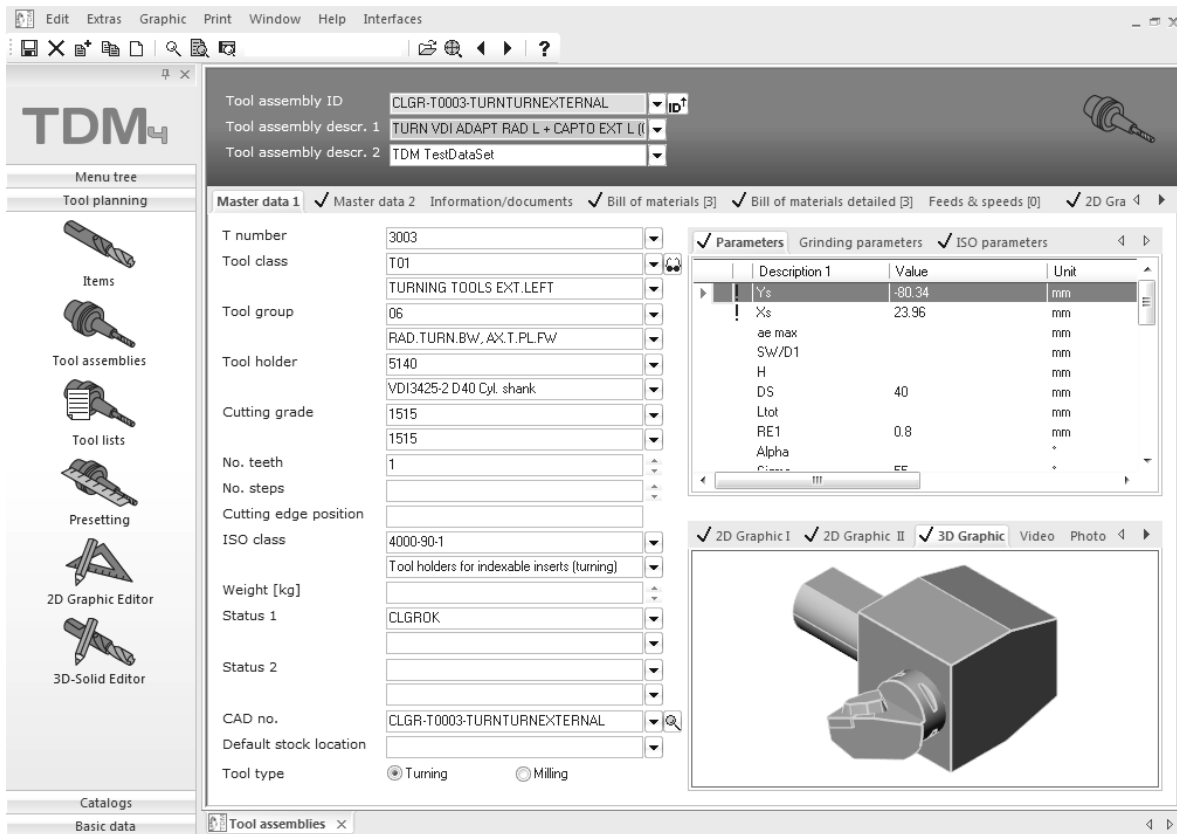


Fig. 5 Window of TDM System Base Module
Source: [14].

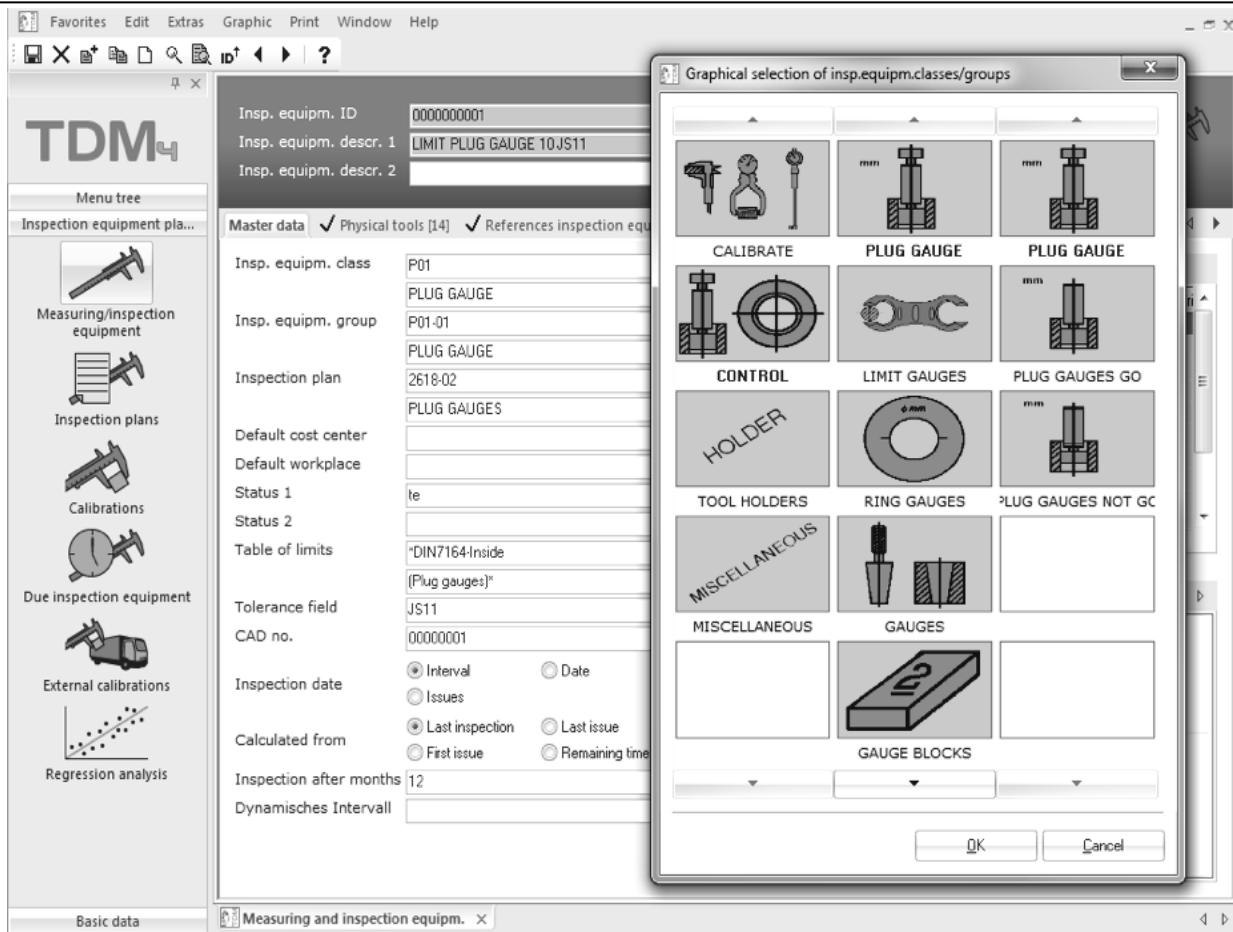


Fig. 6 Window of TDM System Base Module
 Source: [TDM System Manual]

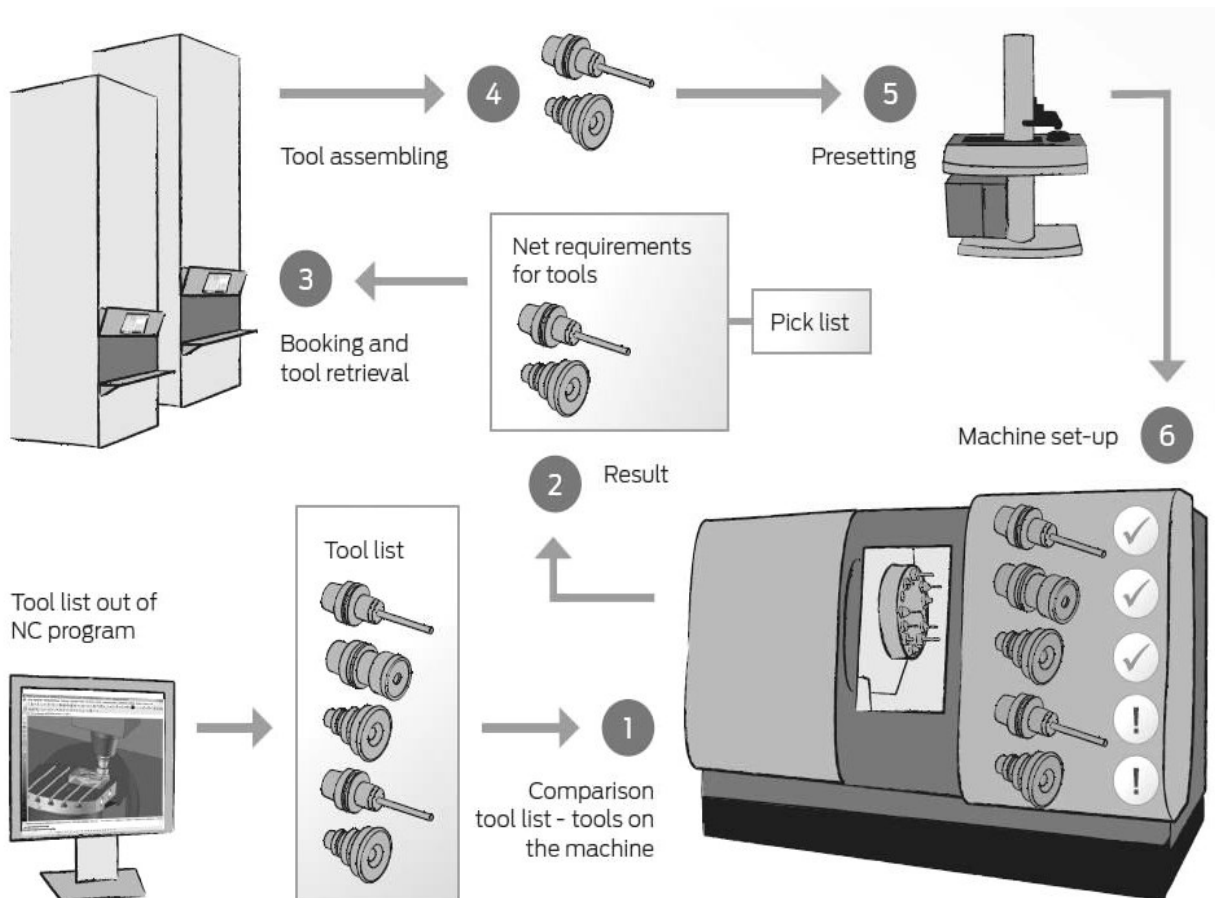


Fig. 7 Providing tool lists for production with TDM's Machine Tool Manager
 Source: [16].

Table 1
Benefits from implementing Tool Data Management System

Figures	Type of machining	Beading	Machining
Number of machines in the company		83	22
Number of shifts per day		2	2
Average setup time		1.5 h	0.5h
Number of new jobs per shift and machine (approx.)		1	2
Reduction of setup time		15%	10%
Number of new NC-Programms per month		110	260
Average number of tools per NC-Programme		20	6
Average time required for one NC-Programm		7h	1,5h
Time required for tool data acquisition and documentation		30%	20%
Time reduction for tool data acquisition and documentation		25%	25%
Percentage of tools exchanged during setup		70%	40%
Time required for tool handling (assembling, presetting, disassembling, stocking)		10 minutes	5 minutes
Time reduction for tool handling		7%	5%

Source: own elaboration based on company data.

The window of TDM Base Module is presented in Figure 5.

TDM Gauge and Calibration Module supports the organization and supervising of calibration measurement and inspection equipment. The functions of this module are:

- predefining of inspections plans according to VDI/VDE/DGQ2618,
- management of measurement documents,
- registration of measurement uncertainties and traceability of measurement results,
- statistical analysis of measurements,
- reporting by frequency of use and inspections.

The window of TDM Gauge and Calibration Module presents Figure 6.

Providing the tools for production with TDM Machine Tool Manager is shown in Figure 7.

The NC program generates tool requirements for a new production. The tool list is compared with the current tool inventory of the machine. This provides net requirements for tools and generates a detailed pick list. The tools are booked in the tool cabinet according to the pick list. After the tool retrieval, tools are assembled. Then they are preset and the machine is setting up.

IMPLEMENTING OF THE SOFTWARE IN THE INDUSTRIAL PRACTICE

The company produces a broad range of types and sizes of steel components in four plants. The high product diversity results in high demand on different tools. The company owns over 100 CNC machines. Half of the machining is milling, and the other half is turning. The number of tools in stock exceeds 9000 items and the number of NC programs exceeds 4000 a year.

The main problem of the tool management was low efficiency of the tool purchasing process and the increasing cost of tool stocking.

The software, through the centralized data base supports tool data like geometry, cutting parameters (feeds, speeds) and supplier data for all company divisions. The TDM software modules also support the user in programming and presetting the machines.

Among the benefits of implementing Tool Data Management one needs to point out:

- the connection between previously separated areas of tool management in different plants, and the synergy effect in ordering processes,
- replacing old "registration cards" with digital data with real time access to the whole tool information,
- software integration with CAM Systems and the possibility of using the data stored in tool software (such as geometry data, feeds & speeds, cutting conditions and collisions data) in NC programming

SUMMARY

Modern tool management moves towards integration of tool management on each stage of tool lifecycle with planning, production and other company systems.

Systems based on Tool Lifecycle Management can ensure:

- time and cost savings resulting from well-organized tool storage and circulation of inventories and cutting hidden stocks,
- reduction of time required for tool selection, preparing and providing to workstation,
- process reliability by reproducible feed and speeds and operating conditions,
- reduction of machine downtimes,
- improvement of the designing process resulting from simulation of technological operations and machines collisions.

REFERENCES

- [1] M. Herman, T. Pentek, B. Otto. *Design Principles for Industrie 4.0*. Dortmund, TU, 2015.
- [2] J. Honczarenko. *Elastyczna automatyzacja wytwarzania*. Warszawa, WNT, 2000.
- [3] J. Jaserneite. „Was hinter Begriffen wie Industrie 4.0 steckt?“ *Internet und Automation*, no. 12, 2012.
- [4] H. Kagerman. *Chancen von Industrie 4.0 nutzen, Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Vogel, 2014.
- [5] H. Kagerman. *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*. Acatech, 2013.
- [6] J. Krzyżanowski. „Elastyczna automatyzacja wytwarzania“. *Control Engineering Polska*, no. 3, 2008.

-
- [7] H. Lasi. „Industrie 4.0: Bedarfssog und Technologie-
druck als Treiber der vierten industriellen Revolution.“
Wirtschaftsinformatik, no. 56(4), 2014.
- [8] B. Liwowski, R. Kozłowski. *Podstawowe zagadnienia
zarządzania produkcją*. Kraków, Oficyna WK, 2007.
- [9] M. Lynch. “What to look for in a Tool Life Management
System.” *Modern Machine*, no. 1, 2007.
- [10] M. Lynch. “The Goal of a Tool Life Management.”
Modern Machine, no. 1, 2004.
- [11] „Samoobsługowa – automatyczna gospodarka narzę-
dziowa.” *Mechanik*, no. 1, 2003.
- [12] S. Shead. “Industry 4.0: the next industrial revolution.”
The Engineer, 7/2013.
- [13] A. Skowron. „Organizacja gospodarki narzędziowej w
przedsiębiorstwie przemysłowym”, in *Kreatywność i
innowacyjność w unowocześnianiu przemysłu i usług*, J.
Pyka, ed, Katowice: TNOIK, 2009
- [14] TDM System Manual
- [15] TDM Message no. 7, 2007
- [16] TDM Message no. 5, 2010
- [17] Plattform Industrie 4.0: www.plattform-i40.de

dr inż. Aneta Skowron
Silesian University of Technology, Faculty of Organization and Management
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, POLAND

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.

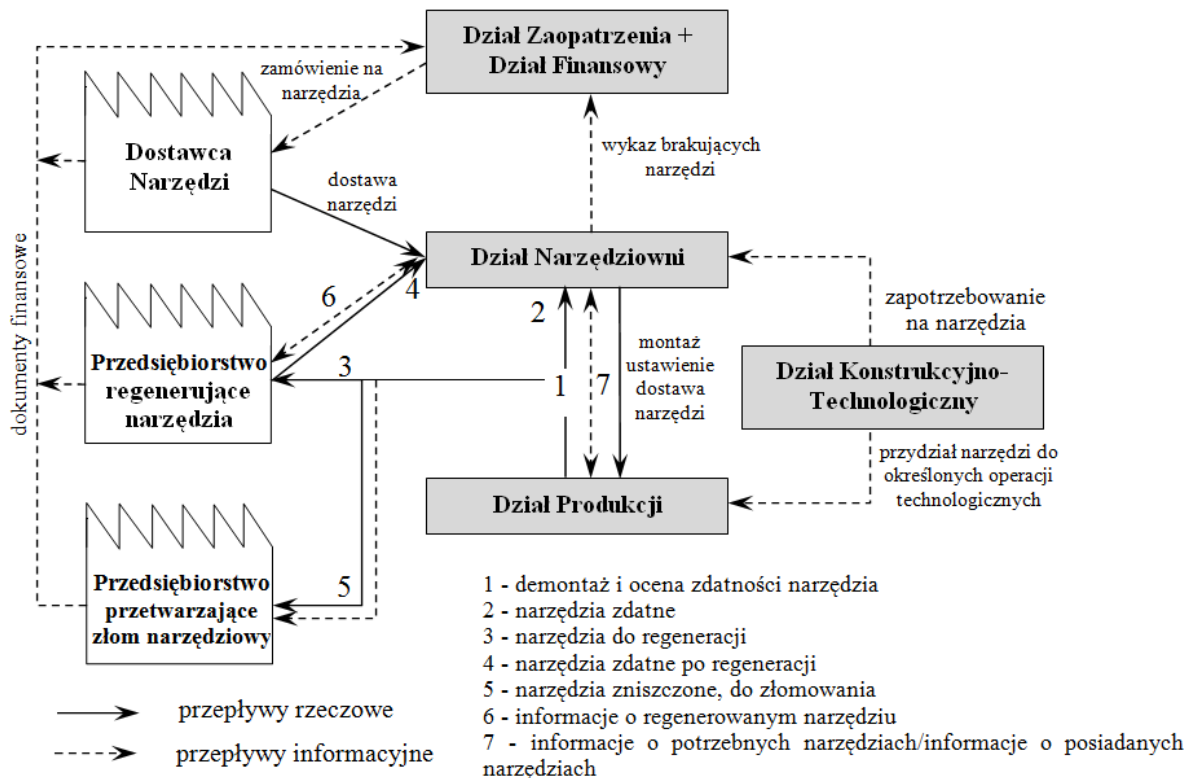
GOSPODARKA NARZĘDZIOWA W PRZEDSIĘBIORSTWACH PRZEMYSŁOWYCH

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

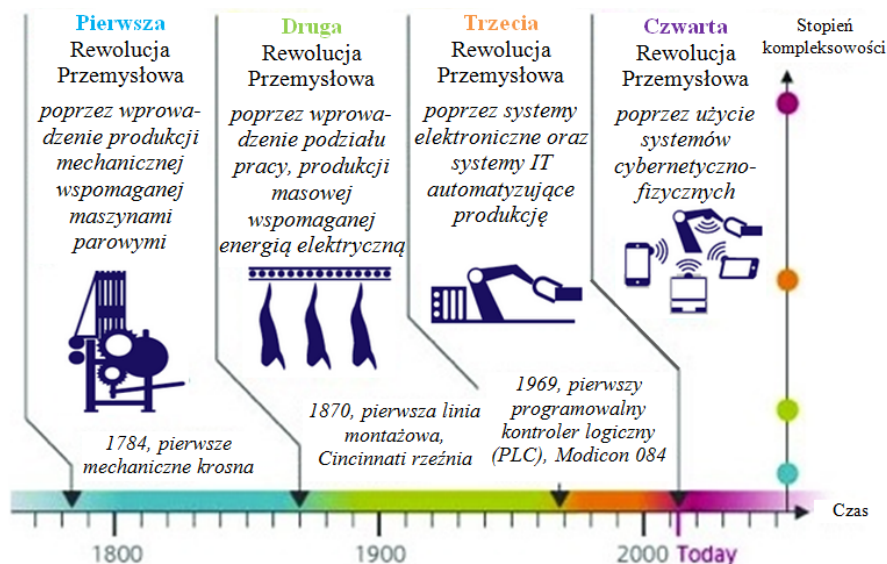
Pojęcie "Industrie 4.0" pojawiło się w 2011 roku jako kluczowa inicjatywa w ramach "Strategii High-Tech" przedstawionej przez rząd niemiecki w perspektywie planistycznej do 2020 roku. Już rok później powołany zespół roboczy opracował rekomendacje dotyczące implementacji Industrie 4.0. W kolejnym roku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

- a) 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,
- b) 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:

- a) pierwszą rewolucję przemysłową – datowaną na drugą połowę XVIII wieku i prawie cały XIX wiek, wynalezienie maszyny parowej, rozwój produkcji mechanicznej,
- b) 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.

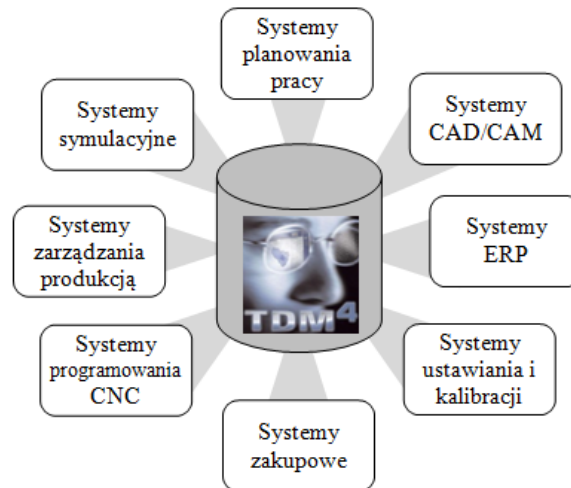
Główne komponenty składowe systemu wraz z ich kluczowymi modułami przedstawiono na rys. 4.

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:

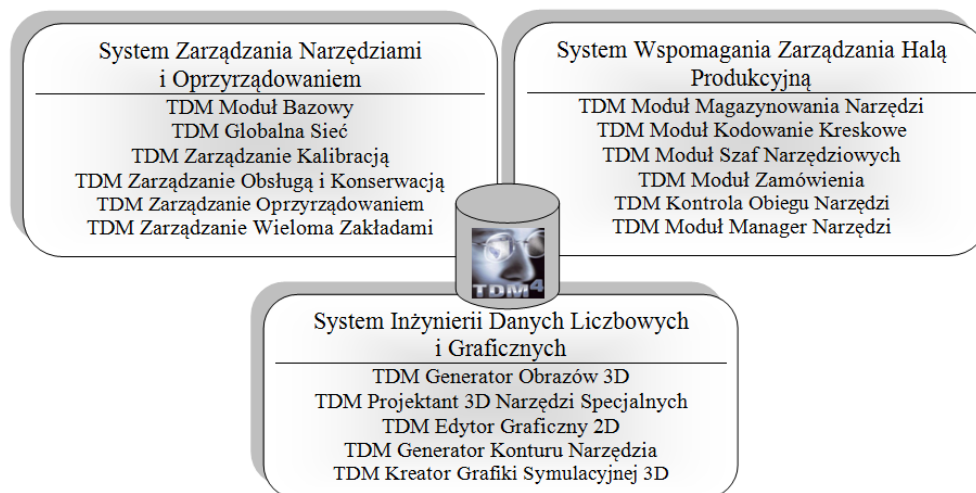
- a) dobór narzędzia w oparciu o obrabiany materiał, operację technologiczną, posiadany osprzęt poprzez interface graficzny,
- b) automatyczne łączenie komponentów w przypadku narzędzi składanych,
- c) bazę elektroniczną narzędzi ponad 50 producentów wraz z głównymi parametrami i obrazami 2 i 3D,

- 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

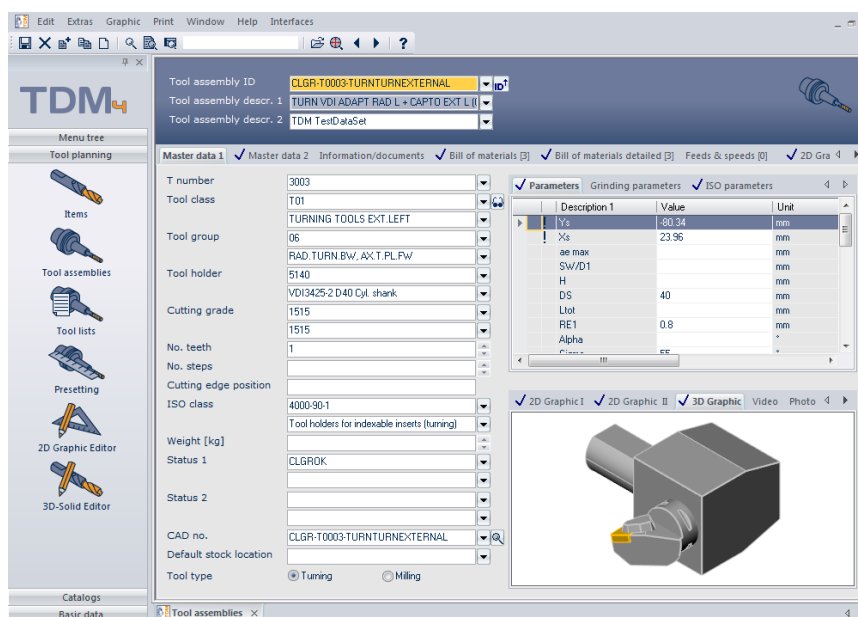
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [15]

Rysunek 5 przedstawia okno omawianego modułu.

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

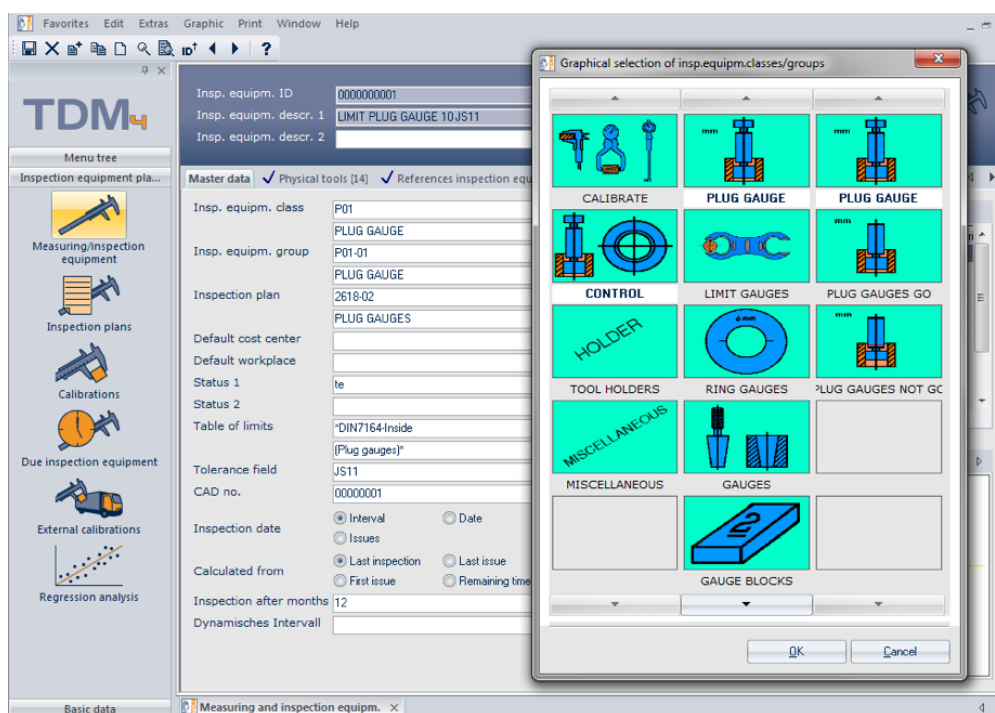
- a) predefiniowanie planów przeglądów według VDI/VDE/DGQ2618,
- b) zarządzanie dokumentacją pomiarową,
- c) rejestrowanie nieprawidłowości pomiarowych i śledzenie wyników pomiarów,
- d) analizy statystyczne pomiarów,
- e) raportowanie w oparciu o częstotliwość użycia i przeglądy.

Rysunek 6 przedstawia okno omawianego modułu.



Rys. 5 Okno Modułu Bazowego TDM System

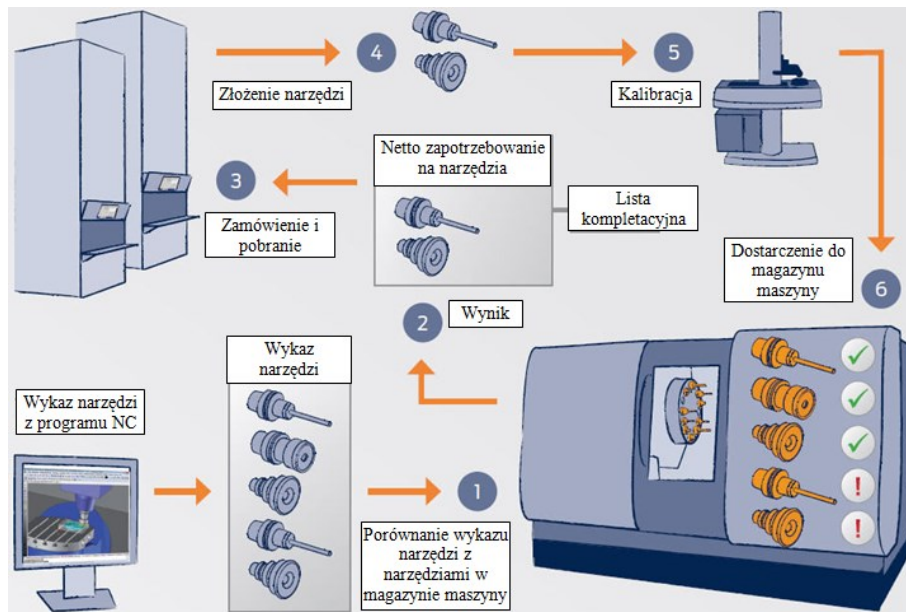
Źródło: TDM System Manual



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