

Jan JAWORSKI¹
Rafał KLUZ²
Tomasz TRZEPIECIŃSKI³

ANALIZA ZUŻYCIA NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH PODCZAS OBRÓBKI WSPORNIKA SILNIKA SPALINOWEGO

Właściwy dobór narzędzia skrawającego do określonej operacji obróbki skrawaniem jest zdeterminowany wielkością taktu produkcji i wymaganym okresem trwałości ostrza. Celem badań była analiza zużycia narzędzi skrawających na linii produkcji korpusów w zakładzie metalurgicznym. Narzędzia skrawające wykorzystywane na tej linii to głównie wiertła, frezy i płytki wielostrzowe do głowic frezarskich i frezów palcowych. Wykonano analizę zużycia narzędzi na linii obróbki mechanicznej wsporników i wykazano, że koszty zużycia narzędzi wynoszą około 4,2% kosztów wykonania części. Odpowiada to wielkości kosztów podawanych w literaturze. Obniżenie tych kosztów jest możliwe poprzez właściwy dobór parametrów skrawania.

ANALYSIS OF CUTTING TOOL WEAR DURING MACHINING OF COMBUSTION ENGINE BRACKET

The proper selection of a cutting tool to a specific machining operation is determined by the size of the production pace and the required tool life. The aim of this study was to analyze the wear of cutting tools on the production line of bodies at the metallurgical plant. Cutting tools used for this line are mainly drills, milling cutters and multi-blade inserts for face milling cutters and end mills. The paper presents the analysis of tool wear on the machining line of brackets. It has been shown that the cost of tool wear is about 4.2% of production costs of parts. It corresponds to the costs reported in the literature. The proper selection of the machining parameters makes it possible to reduce these costs.

1. WSTĘP

Grupowanie maszyn pozwala na znacznie sprawniejszy przepływ wyrobów przez urządzenia, ogranicza liczbę operacji transportu i magazynowania co wpływa na zmniejszenie zapasów produkcji w toku, zmniejsza liczbę przeładunków, powierzchnię składowania oraz usprawnia planowanie i sterowanie produkcją.

Postulatowi temu wychodzi naprzeciw koncepcja Lean Manufacturing, której podstawowym założeniem jest eliminacja marnotrawstwa zbędnych czynników zwiększających koszty. Koncepcja Lean Manufacturing tym różni się od innych koncepcji organizacji produkcji, że nie pozwala na doskonalenie stanu istniejącego poprzez zwiększenie efektywności realizacji wszystkich procesów realizowanych w przedsiębiorstwie, ale wymaga oceny tych procesów pod kątem rzeczywistej ich użyteczności. Szczupła produkcja jest jak do tej pory najbardziej efektywnym systemem produkcji ilościowej, jest kluczem do wzrostu produktywności, redukcji zapasów, zaangażowania pracowników w sprawy firmy i podniesienie zysków. Szczupła produkcja dla utrzymania założonego poziomu rozwoju wymaga ciągłego doskonalenia. Te ciągłe zmiany są akceptowane przez producentów, którzy rozumieją, że ciągłe doskonalenie ma na celu ograniczenie strat we wszystkich obszarach przedsiębiorstwa [1, 2].

W linii korpusów składających się z pieców do topienia metalu i obróbki cieplnej, zespołów maszyn do odlewania, stanowisk do próby szczelność, śrutowania, spawania wad odlewniczych oraz oczyszczania odlewów znajdują się również obrabiarki do obróbki mechanicznej. Na obróbkę mechaniczną składają się operacje obcinania układów zalewania, planowania czół, wiercenia, rozwiercania, gwintowania oraz frezowania nadlewów. Łącznie operacje obróbki mechanicznej obejmują około 30% czasu wykonania korpusu [3, 4]. Ważną rolę w przedsiębiorstwie przy takiej organizacji produkcji odgrywa gospodarka narzędziowa, która dobrze prowadzona pozwala na utrzymanie ciągłości produkcji oraz zabezpieczenie wymaganej jakości produkowanych

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa; 35-959 Rzeszów; al. Powstańców Warszawy 8, Tel: +48 17 865-17-25, e-mail: jkkmiop@prz.edu.pl

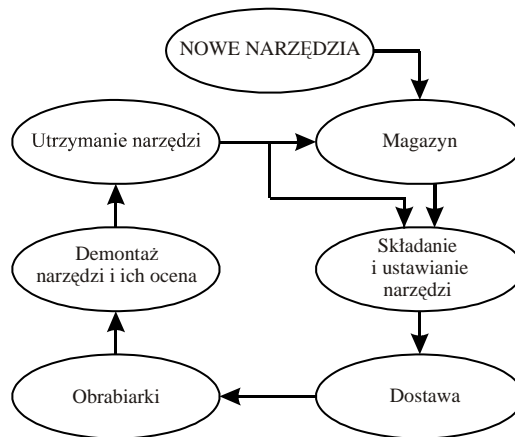
² Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa; 35-959 Rzeszów; al. Powstańców Warszawy 8, Tel: +48 17 865-17-25, e-mail: rkkmiop@prz.edu.pl

³ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa; 35-959 Rzeszów; al. Powstańców Warszawy 8, Tel: +48 17 865-17-14, e-mail: tomtrz@prz.edu.pl

wyrobów. Przy odpowiedniej gospodarce narzędziowej koszty narzędzi powinny się kształtować na poziomie 2÷6% kosztów produkowanego wyrobu [5]. Celem pracy jest analiza zużycia narzędzi skrawających na linii produkcji korpusów w zakładzie metalurgicznym.

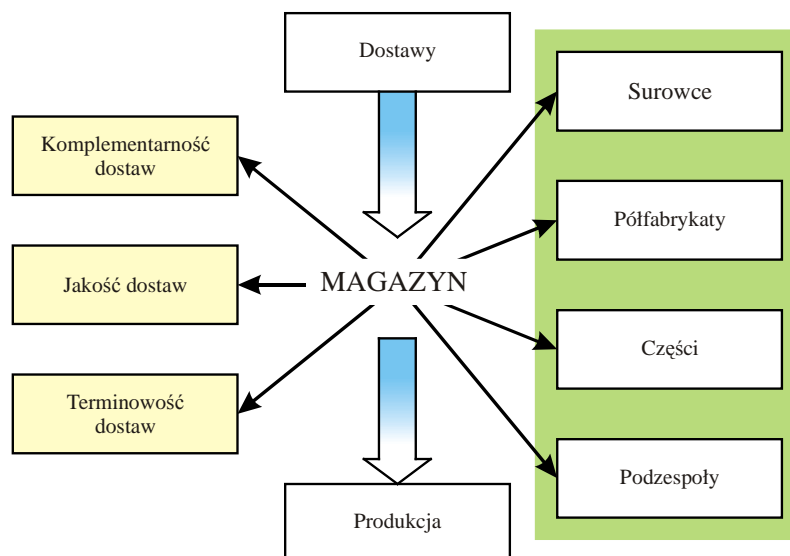
2. ZARZĄDZANIE GOSPODARKĄ NARZĘDZIOWĄ

Ewolucja gospodarczo-ekonomiczna dokonująca się w ostatnich latach w przemyśle wymusza również modernizację dotychczasowej gospodarki narzędziowej. Obserwuje się kilka trendów jak: komputeryzacja, automatyzacja lub przekazanie firmie zewnętrznej. W dużych przedsiębiorstwach mówi się zarówno o organizacji gospodarki narzędziowej jak i o problemie przepływu narzędzi [6, 7]. W praktyce przemysłowej często spotykamy się z przepływem narzędzi przedstawionym na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat przepływu narzędzi

Liczba oraz powierzchnia magazynów zaopatrzeniowych zależy od wielkości przedsiębiorstwa, specyfiki prowadzonej działalności gospodarczej oraz występujących w procesach technologicznych [8]. Mniejsze zakłady produkcyjne dysponują najczęściej jednym uniwersalnym magazynem. W dużych przedsiębiorstwach występują określone sieci magazynów zaopatrzeniowych obsługujących wszystkie procesy technologiczne. Producentem niektórych narzędzi oraz materiałów może być macierzysty zakład, specjalizujący się w produkcji i dostawach zaopatrzeniowych. W ramach logistyki zaopatrzenia koniecznym jest zabezpieczenie czasowo-przestrzenne dostępności materiałów i narzędzi wykorzystywanych we wszystkich procesach technologicznych realizowanych w przedsiębiorstwie [9]. Często logistyka procesów zaopatrzeniowych zwana jest również logistyką materiałową, której istotą jest organizacja oraz realizacja przepływu materiałów zaopatrzeniowych oraz narzędzi od dostawców do magazynu (rys. 2).

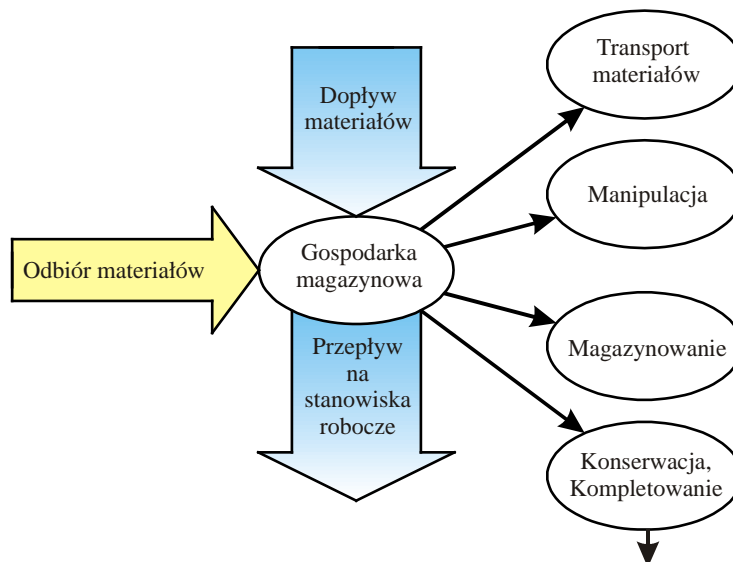


Rys. 2. Podstawowe działania logistyki zaopatrzenia

Gospodarka narzędziowa w zakładzie stanowi ważne ogniwo w zabezpieczeniu ciągłości produkcji i umożliwia jednocześnie wytwarzanie elementów o określonej jakości. Zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 3 wyodrębnia się trzy główne fazy przepływów materiałowych [8]:

- dopływ materiałów zaopatrzeniowych i kooperacyjnych do przedsiębiorstwa,
- odbiór i składowanie określonych materiałów i narzędzi w magazynach zaopatrzeniowych,
- organizowanie przepływu materiałów i narzędzi z magazynów zaopatrzeniowych do określonego stanowiska roboczego.

Celem logistyki zaopatrzenia jest zapewnienie odpowiedniej jakości, terminowości, częstotliwości, a także wymaganej niezawodności łańcucha dostaw.



Rys. 3. Przepływ materiałów w przedsiębiorstwie

W procesie produkcji wyróżnia się działalność podstawową oraz działalność pomocniczą. Pierwsza z nich związana jest z czynnościami związanymi bezpośrednio z wytwarzaniem produktów, druga umożliwia realizację procesów wytwórczych. Do działalności pomocniczej należą [9, 10]:

- lokalizacja zakładów produkcyjnych,
- gospodarka magazynowa,
- transport wewnątrzzakładowy,
- zarządzanie zapasami,
- organizacja systemu zaopatrzenia,
- lokalizacja zakładów produkcyjnych,
- wybór i rozmieszczenie wyposażenia produkcyjnego.

Gospodarka materiałowa jako kompleks działań organizacyjnych to proces racjonalnego obrotu materiałami w przedsiębiorstwie, związany z nabywaniem, transportem, magazynowaniem, manipulacją i wydawaniem materiałów do produkcji, oraz organizacją przepływu materiałów pomiędzy poszczególnymi komórkami przedsiębiorstwa [11]. Wyróżnia się cztery podsystemy gospodarki materiałowej uwzględniające procesy realne i informacyjne [12]:

- techniczne przygotowanie produkcji,
- procesy zaopatrzenia materiałowego,
- procesy magazynowania i produkcji.

Istotnym problemem technicznego przygotowania produkcji jest ustalenie optymalnego stopnia asortymentowego zróżnicowania materiałów [11]. Nadmierne ograniczenie asortymentu stosowanych materiałów może doprowadzić do wzrostu ich zużycia. Z kolei szeroki asortyment materiałów może przełożyć się na zmniejszenie kosztów zużycia, ale powoduje jednocześnie wzrost kosztów zaopatrzenia oraz utrzymania narzędzi.

Oprócz samego procesu przepływu narzędzi również niezmiernie ważny jest dobór narzędzi i parametrów skrawania dla realizowanego procesu technologicznego. Według danych literaturowych i badań firmy Gühring koszty narzędzi w procesie produkcyjnym przy właściwym doborze i zarządzaniu kształtują się na poziomie 4÷6% [4]. Jeśli jednak dodać do wartości wynikającej z kosztów zakupu również tzw. koszty pośrednie obejmujące składowanie oraz wydawanie narzędzi, negocjacje handlowe, zakup oraz kontrolę wejściową wówczas udział gospodarki narzędziowej sięga nawet 15% kosztów procesu produkcyjnego [4]. Wówczas jest to wartość, która w sposób bezpośredni ma wpływ na rentowność procesu produkcyjnego a sytuacjach skrajnych potrafi doprowadzić do braku konkurencyjności produktu na rynku. Głównym zadaniem nowoczesnej gospodarki narzędziowej jest zaopatrzenie produkcji narzędzia i serwis w najlepszy możliwy sposób w aspekcie technologii, jakości, czasu i produktywności.

Zewnętrzne firmy zajmujące się wytwarzaniem i obsługą narzędziową proponują kilka modeli zarządzania gospodarką narzędziową. Firma Gühring stworzyła 5-cio modułowy system (rys. 4) nazywany Gühring Tool Management Service obejmujący: planowanie procesu, logistykę, przepływ narzędzi, utrzymanie narzędzi i optymalizację procesów z spośród których klient może wybrać dowolny lub wszystkie moduły.

Gühring Tool Management Service				
Planowanie procesów	Logistyka	Przepływ narzędzi	Regeneracja narzędzi	Optymalizacja procesów
<ul style="list-style-type: none"> - konstrukcja narzędzi, - dobór parametrów technologicznych, - założenia techniczne procesów, - opracowanie programów CNC, - sprawdzenie programów CNC, - konstrukcja oprzyrządowania. 	<ul style="list-style-type: none"> - planowanie i zakupy, - magazynowanie, - analiza zużycia, - zmniejszenie liczby dostawców, - zmniejszenie typów narzędzi, - fakturowanie miesięczne, - automatyczne wydawanie narzędzi. 	<ul style="list-style-type: none"> - pobranie narzędzi z magazynu, - montaż i ustawienie, - dostawa na produkcję, - demontaż, - ocena, - składowanie, - wysyłka do serwisu, - złomowanie. 	<ul style="list-style-type: none"> - zbiórka narzędzi do ostrzenia, - zdjęcie pokryć, - ostrzenie, - re-pokrycie, - modyfikacje, - dostawa narzędzi. 	<ul style="list-style-type: none"> - analiza ABC kosztów narzędzi, - analiza zniszczeń narzędzi, - działania korygujące, - nadzorowanie i sprawdzanie wyników działań korygujących.

Rys. 4. Podstawowe moduły systemu Gühring Tool Management Service [13]

Możliwe jest również wybranie poszczególnych funkcji wewnątrzmodułowych i stworzenie z nich swojego indywidualnego modułu. Funkcją pozostającą w sprzeczności z podstawową działalnością przedsiębiorstwa jest dystrybucja narzędzi do produkcji w systemie trzymianowym, nierzadko 7 dni w tygodniu. Z tych powodów najczęściej przyjętym przez klientów rozwiązaniem jest tzw. Tool Management. Obejmuje on w swoim zakresie jak zakup, dystrybucję oraz utrzymanie narzędzi. Podstawowym atutem przemawiającym za wdrożeniem takiego modelu jest redukcja dostawców oraz typów narzędzi. Klient w takim rozwiązaniu otrzymuje jeden rachunek obejmujący narzędzia oraz usługi wykorzystane w procesie produkcyjnym w danym miesiącu obrachunkowym. Do najważniejszych korzyści osiągniętych przez firmę Gühring jest zmniejszenie zużycia narzędzi średnio o 15%, zwiększenie wykorzystania obrabiarek o 5%, zmniejszenie liczby stosowanych narzędzi o 30% oraz zmniejszenie zaangażowania kapitału własnego [13].

3. ANALIZA ZUŻYCIA NARZĘDZI

Linia obróbki korpusów znajduje się na wydziale mechanicznym i produkuje wsporniki do silników spalinowych przedstawionych na rysunku 5. Narzędzia skrawające wykorzystywane na tej linii to głównie wiertła frezy i płytki wieloostrowe do głowic frezarskich i frezów palcowych. Operacje wykonywane są na nowoczesnym centrum frezarskim CHIRON DZ12KU.



Rys. 5. Wspornik do silnika spalinowego

Centrum obróbkowe wyposażone jest w system sterowania Sinumerik i umożliwia wykonanie w jednym zamocowaniu wszystkich zabiegów na danej części dzięki posiadanemu magazynowi narzędzi. Wsporniki wykonywane są ze stopów aluminium ENAC-AISi7MgO3St6. Materiał ten dobrze się obrabia jednakże w przypadku użycia niewłaściwego chłodziwa powstają nalepienia na powierzchniach skrawających ostrza narzędzia. Dokładność wykonania wszystkich elementów składowych silnika spalinowego decyduje o jego eksploatacyjnej żywotności [14]. Proces technologiczny obróbki mechanicznej wsporników składa się z operacji przedstawionych w tabeli 1.

Tab. 1. Struktura procesu technologicznego obróbki wspornika

Nr operacji	Nazwa operacji	Czas jednostkowy
10	Wiertarsko-Frezarska	0,41 min.
20	Ślusarska	0,135 min.
30	Kontrola	0,2 min.
40	Pakowanie	0,165 min.
50	Przygotowanie do wysyłki	0,03 min.
	Razem	0,91 min.

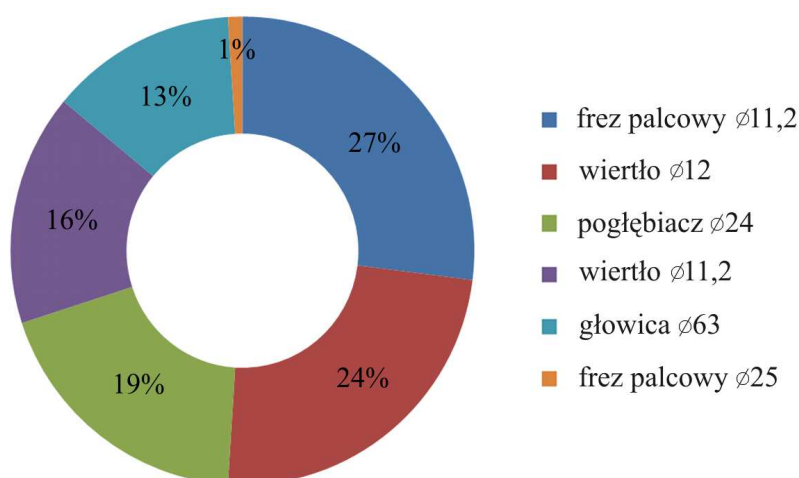
Na linii wykonywanych jest 60 000 sztuk miesięcznie. Czas pracy w systemie trzymianowym wynosi 3240 minut, a takt produkcji wynosi 0,5 min. W jednym cyklu obróbczym wykonuje się 4 wsporniki. Czasy trwania poszczególnych zabiegów w o operacji 10 wiertarsko-frezarskiej przedstawiono w tabeli 2. Czas trwania każdego z zabiegów nie przekracza czasu taktu, co zabezpiecza spełnienie wymagań odbiorcy. W tabeli 3 przedstawiono miesięczne koszty zużycia narzędzi w poszczególnych zabiegach operacji 10. Największy udział w kosztach mają: frez palcowy $\varnothing 11,2$ mm, wiertło $\varnothing 12$ mm i pogłębiacz $\varnothing 24$ mm. Procentowy udział kosztów przy realizowanym programie produkcyjnym przedstawiono na rysunku 6.

Tab. 2. Zabiegi operacji 10 wiertarsko-frezarskiej

Nr narzędzia	Nazwa narzędzia	Średnica, mm	Czas jednostkowy t_p , min.
T1	głowica frezarska	63	0,13
T2	wiertło	11,2	0,18
T3	frez palcowy	11,2	0,34
T4	wiertło	12	0,07
T5	pogłębiacz	24	0,1
T6	frez palcowy	25	0,2

Tab. 3. Zestawienie miesięcznych kosztów zużycia narzędzi z ostrzami z węglików spiekanych w poszczególnych zabiegach operacji 10

Nazwa narzędzia	Ilość sztuk wykonanych 1 narzędziem, szt.	Zużycie narzędzi w miesiącu, szt.	Cena jednostkowa narzędzia, zł	Miesięczny koszt narzędzi, zł
głowica frezarska	625	96	24,2	2332,2
wiertło $\varnothing 11,2$	7500	8	335,95	2687,6
frez palcowy $\varnothing 11,2$	1500	20	233	4660
wiertło $\varnothing 12$	7500	8	509,04	4072,32
pogłębiacz $\varnothing 24$	15000	4	840	3360
frez palcowy $\varnothing 25$ (3 płytki)	15000	12	14,51	174,12



Rys. 6. Procentowy udział kosztów narzędzi w realizowanym procesie produkcyjnym

W tabeli 4 przedstawiono koszt zużytych narzędzi przy realizacji programu produkcji i procentowy udział kosztów zużytych narzędzi, który w przeprowadzonych badaniach wynosi 4,2%. W tabeli 5 przedstawiono stosowane parametry skrawania przy obróbce wspornika przy realizacji poszczególnych zabiegów w operacji 10.

Tab. 4. Koszt narzędzi i ich procentowy udział

Koszt narzędzi	17277,24 zł
Cena za sztukę	6,6 zł
Cena za 60 tys. sztuk	396000 zł
Udział kosztów narzędzi	4,2%

Tab. 5. Parametry skrawania przy obróbce wspornika w poszczególnych zabiegach operacji 10

Nr	Narzędzie	Średnica, mm	Liczba ostrzy	Prędkość obrotowa, obr/min	Posuw f , mm/min	Prędkość skrawania v_c , [m/min]
T1	głowica frezarska	63	3	8500	8000	1682,3
T2	wiertło	11,2	2	5000	2500	175,9
T3	frez palcowy	11,2	2	10000	3000	351,9
T4	wiertło	12	2	5000	2500	190,1
T5	pogłębiacz	24	4	1000	400	75,4
T6	frez palcowy	25	3	1000	400	75,4

Czas wykonania operacji 10 wynosi około 15 sekund, czyli jest o połowę krótszy od czasu taktu, co daje możliwość takiego doboru parametrów skrawania, które umożliwiłyby zwiększenie trwałości narzędzia a co się z tym wiąże obniżenie kosztów zużycia narzędzi zgodnie ze znanym wzorem Taylora:

$$v_c = \frac{C_v}{T^m} \quad (1)$$

gdzie:

- v_c – prędkość skrawania,
- C_v – stała materiałowa,
- T – okres trwałości ostrza,
- m – wykładnik potęgowy.

Zadaniem technologa jest nie tylko taki dobór narzędzi i parametrów skrawania który umożliwi zapewnienie jakościowego wykonania części ale również taki, który zapewni obniżenie kosztów obróbki [15].

4. PODSUMOWANIE

Doskonalenie organizacji produkcji odlewni, szczególnie w warunkach ilościowego wzrostu produkcji wiąże się ze zmianą struktury procesu produkcyjnego z technologicznej na przedmiotową. Szczupła produkcja jest jak do tej pory najbardziej efektywnym systemem produkcji ilościowej, jest kluczem do wzrostu produktywności, redukcji zapasów, zaangażowania pracowników w sprawy firmy i podniesienie zysków.

W pracy dokonano analizy zużycia narzędzi na linii obróbki mechanicznej wsporników i wykazano, że koszty zużycia narzędzi wynoszą około 4,2% kosztów wykonania części, co odpowiada wielkości kosztów podawanych w literaturze oraz że możliwości linii umożliwiają obniżenie tych kosztów poprzez właściwy dobór parametrów skrawania.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Władysław R.: *Reengineering of precision castings production system*. Archives of Foundry Engineering, 6, 2006, s. 413-424.
- [2] Sokovic M., Pavletic D., Fakin S.: *Application of Six Sigma methodology for process design*. Journal of Materials Processing Technology, 62-163, 2005, s. 777-783.
- [3] Jaworski J.: *Management quality of tools in the planned housing casting*. Archives of Foundry Engineering, 7, 2007, s. 157-160.
- [4] Jaworski J.: *Możliwości zastosowania narzędzi z niskostopowych stali szybko tnących w projektowanej linii odlewania korpusów*. Archives of Foundry Engineering, 5, 2005, s. 115-121.

- [5] Streubel A., Subbotko R.: *Metody dystrybucji narzędzi w zakładach produkcyjnych oparte na systemie TM Software firmy Gühring, Inżynieria produkcji. Wiedza-Wizja-Programy Ramowe*, Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2006.
- [6] Fertsch M.: *Podstawy zarządzania przepływem materiałów w przykładach*, Poznań, Instytut Logistyki i Magazynowania, 2003.
- [7] Skowronek C.: *Podstawy gospodarki materiałowej*, Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 2005.
- [8] Skowronek C., Sarjusz-Wolski Z.: *Logistyka w przedsiębiorstwie*, Warszawa, PWE, 1995.
- [9] Ficoń K.: *Procesy logistyczne w przedsiębiorstwie*, Gdynia, Impuls Plus Consulting, 2001.
- [10] Muhlemann A., Oakland J., Lockyer K.: *Zarządzanie. Produkcja i usługi*, Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1997.
- [11] Krawczyk J.: *Gospodarka materiałowa w przedsiębiorstwie*:
http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2013/p055.pdf.
- [12] Skowronek C.: *Gospodarka materiałowa w samodzielnym przedsiębiorstwie*. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, 1988.
- [13] *Nowe rozwiązania firmy Guhring dla gospodarki narzędziowej* (Artykuł promocyjny), *Mechanik*, 7, 85, 2012, s. 574-575.
- [14] Jezierski J., Kowalik M., Siemiątkowski Z.: *Assembling operations and tolerance analysis of combustion engine crankshaft system*. *Archive of Mechanical Engineering*, 53, 2006, s. 363-371.
- [15] Jaworski J., Trzepieciński T.: *Możliwości zapewnienia jakościowego wykonania narzędzi z oszczędnościowej stali szybko tnącej*, Rzeszów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2014.