

Impact of used semi-finished products on the cost of mass production of the part in the automotive industry

Wpływ stosowanych półwyrobów na koszty produkcji seryjnej części w przemyśle motoryzacyjnym

KAMILA WILKOŃSKA
AGATA BINIEK
DANIEL GROCHAŁA
MIROSLAW PAJOR*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.10.90>

The article deals with the problem of determining production costs when designing part technology for the automotive industry. In mass-production and mass production, several variants of production processes are usually prepared, which are then assessed in economic and technological terms. **Technological variants most often differ in the type of semi-finished product used, which significantly affects the efficiency and cost of machining carried out in subsequent operations.** The article attempts to determine the methodology of determining costs for the developed technological variants. Simulation tests were carried out on production processes based on **commercial semi-finished products and involving machining with high energy absorption, as well as processes based on special semi-finished products and using high-performance machining, characterized by low material consumption.**

KEYWORDS: technology of machine parts, machining, rough materials, serial production, cost production, automotive industry

Artykuł dotyczy problemu wyznaczania kosztów produkcji w trakcie projektowania technologii części na potrzeby branży motoryzacyjnej. W produkcji wielkoseryjnej i masowej zwykle przygotowuje się kilka wariantów procesów produkcyjnych, które następnie są oceniane pod względem ekonomicznym i technologicznym. Warianty technologiczne najczęściej różnią się rodzajem zastosowanego półwyrobu, który istotnie wpływa na wydajność i koszty obróbki ubytkowej realizowanej w kolejnych operacjach. W artykule podjęto próbę określenia metodyki wyznaczania kosztów dla opracowanych wariantów technologicznych. Badaniom symulacyjnym poddano procesy produkcyjne bazujące na półproduktach handlowych i obejmujące obróbkę skrawaniem o dużej energochłonności oraz procesy oparte na specjalnych półproduktach i wykorzystujące wysokowydajną obróbkę skrawaniem, charakteryzującą się niską materiałochłonnością.

SŁOWA KLUCZOWE: technologia części maszyn, obróbka skrawaniem, półwyrób produkcyjny, produkcja seryjna, koszty produkcji, branża motoryzacyjna

Wprowadzenie

Półwyroby stanowią ważny składnik ceny wytwarzanych części maszyn. Jednakże na etapie doboru półwyrobu trudno jest wyznaczyć koszty całego procesu produkcji.

Podobnie trudno jest oszacować koszty przygotowania półwyrobu (odlewu, odkuwki) bez pełnej informacji o planowanej obróbce skrawaniem. Rodzaj półwyrobu wpływa bowiem na proces obróbki skrawaniem, a ten z kolei determinuje warunki techniczne wytworzenia półwyrobu. Podczas projektowania procesu technologicznego nie da się więc określić pełnej struktury kosztów z uwzględnieniem dokładności wymiarowo-kształtowej półwyrobu oraz wymaganej dokładności wytwarzanej części [1].

Technolodzy projektujący proces produkcji skupiają się głównie na technologicznych aspektach, natomiast mniej uwagi poświęcają kwestiom ekonomicznym. Gdy jednak biorą pod lupę koszty produkcji, analizują przede wszystkim koszty związane z doбором maszyn i oprzyrządowaniem, a nie półwyrobu. Tymczasem opracowanie optymalnego procesu technologicznego, zapewniającego uzyskanie produktu o wymaganej jakości przy możliwie małym koszcie jego wytworzenia, wymaga, aby projektowaną technologię i związane z nią koszty traktować na równi. Takie podejście wymaga też walidacji. Widać to we współczesnych przedsiębiorstwach produkcyjnych, gdzie do zespołu konstruktor–technolog dołącza specjalista z działu kontroli, dbający o ekonomikę procesu. Najczęściej odbywa się to w kolejnej fazie pracy nad dokumentacją technologiczną (wstępnie przygotowaną dokumentacją technologiczną łącznie z dokumentacją konstrukcyjną i jakościową półwyrobu). Specjalista dysponujący wiedzą na temat ekonomicznych realiów funkcjonowania przedsiębiorstwa jest dużym wsparciem przy poszukiwaniu najkorzystniejszych wariantów produkcji.

Obecnie, w dobie globalizacji produkcji, na rynku funkcjonuje wielu dostawców wyspecjalizowanych w wytwarzaniu określonych półwyrobów. W przypadku części z metali lekkich, produkowanych na potrzeby branży motoryzacyjnej, na ogół stosuje się półwyroby w postaci odlewów, odkuwek i profili wyciskanych (ekstrudowanych) [2]. Dzięki półwyrobom można zredukować zapotrzebowanie na materiały nawet o 90%, a także znacznie ograniczyć zakres realizowanych operacji obróbki ubytkowej. W ten sposób technologia staje się mniej energo- i materiałochłonna. Możliwość użycia specjalnych półwyrobów zależy od stopnia skomplikowania geometrii oraz wymagań w zakresie dokładności wymiarowo-kształtowej wyrobów końcowych [2].

* Inż. Kamila Wilkońska, kamila.wilkonska@zut.edu.pl – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, Polska
Mgr inż. Agata Biniak, agata.biniak@zut.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0002-8676-5607> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, Polska
Dr inż. Daniel Grochała, daniel.grochala@zut.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0003-2553-7739> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, Polska
Dr hab. inż. Mirosław Pajor, prof. ZUT, miroslaw.pajor@zut.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0002-7701-385X> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, Polska

Badania doświadczalne

Głównym celem autorów było przeprowadzenie badań symulacyjnych, na podstawie których zostanie oszacowany wpływ wykorzystywanego półwyrobu na ekonomikę całego procesu produkcji. W modelowaniu kosztów uwzględniono składniki stałe oraz zmienne, zależne od rodzaju użytego półwyrobu [3].

Badania doświadczalne przeprowadzono dla procesu produkcji tłoków aluminiowych, stosowanych w montażu głównego zaworu hamulcowego pneumatycznej instalacji hamulcowej w samochodach ciężarowych i autobusach (rys. 1). Jest to nowy projekt, którego okres wstępnie ustalono na pięć lat. Całkowita wielkość zamówień ma wynieść ok. 1,5 mln sztuk, dostarczanych w partiach po 5 tys. Zakładana wadliwość procesu produkcji nie powinna być wyższa niż 1,5% wielkości partii produkcyjnej.

Na potrzeby projektu planuje się zakup nowej obrabiarki, której cena bazowa została ustalona na poziomie 600 tys. zł. W kosztach produkcji uwzględniono również wartość amortyzacji miesięcznej, wyznaczoną metodą liniową [4].

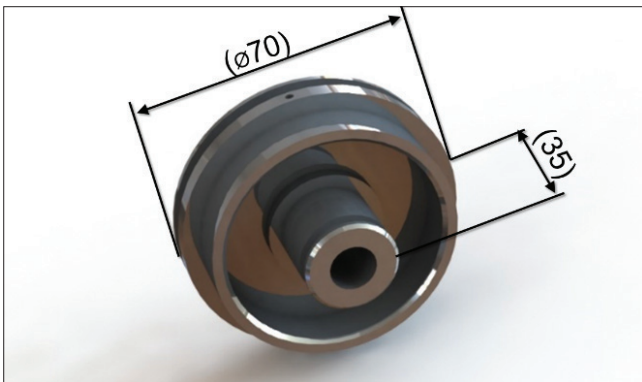


Fig. 1. Piston used in research
Rys. 1. Tłok wykorzystany w badaniach

Przedmiot wykorzystywany do badań ekonomiki produkcji odznaczał się tolerowaniem swobodnym. Wymiary funkcjonalne średnic oraz pozycje kanalików sterujących przepływem powietrza mieściły się w klasie dokładności IT6, a tolerancje pozostałych powierzchni obrabianych – w klasach od IT9 do IT12. W przypadku pozostałych wymiarów odchyłki określono zgodnie z normą PN-EN 22768-1 [5]. Chropowatości powierzchni zdefiniowane zgodnie z normą PN-EN ISO 1302 [6] mieściły się w przedziale APA Ra 1,6 ÷ APA Ra 3,2.

Do badań kosztów produkcji przyjęto dwa warianty procesu technologicznego (tabl. I).

Pierwszy wariant zakładał wykorzystanie półwyrobów w postaci powszechnie dostępnych prętów aluminiowych AlCu4MgSi(A), które po dostarczeniu do zakładu były cięte przez operatora za pomocą piły taśmowej na krążki o masie 415,63 g. Na centrum tokarskim DMG CTX 310 ECO prowadzono obróbkę tokarską w dwóch zamocowaniach na wszystkich powierzchniach, aż uzyskano żądane wymiary i kształt. W pierwszym zamocowaniu wykonywano 10 zabiegów, a po zmianie zamocowania – cztery zabiegi. W trakcie operacji tokarskich usunięto 319,8 g materiału. Ostatecznie po obróbce CNC masa gotowego wyrobu wyniosła 95,83 g.

W drugim wariantcie zastosowano odpowiednik stopu aluminiowego AlCu4MgSi(A) w postaci średnio przetworzonej – tj. odlewu ciśnieniowego. Zaprojektowany półwyrob w formie przygotówki odlewanej (z uwzględnieniem nadadatków oraz pochyłych odlewniczych) miał masę

162,88 g. Dokładność wymiarowo-kształtowa odlewu pozwalała na pominięcie obróbki wymiarów w klasie IT12 oraz częściową obróbkę wybranych powierzchni w klasie IT9. W tym przypadku proces obróbki wiórowej, realizowany na obrabiarce DMG CTX 310 ECO, również odbywał się w dwóch zamocowaniach. Na tokarce obrabiano wszystkie powierzchnie funkcjonalne, tolerowane w klasie IT6. W pierwszym zamocowaniu wykonano osiem zabiegów, a po zmianie zamocowania – cztery zabiegi. W efekcie obróbki w wióry zamieniono 67,76 g materiału odlewu. Ostateczna masa gotowego wyrobu wyniosła 95,12 g.

TABLE I. Framework plan of the technological process
TABLICA I. Ramowy plan procesu technologicznego

Numer operacji	Nazwa operacji	
	AlCu4MgSi(A) w postaci pręta	AlCu4MgSi(A) w postaci odlewu
10	Ciąć pręt	Obróbka CNC ze zmianą zamocowania
20	Obróbka CNC ze zmianą zamocowania	Myć
30	Myć	Kontrolować
40	Kontrolować	Pakować
50	Pakować	

W obu procesach obróbki wiórowej wartości technologicznych parametrów obróbki wykończeniowej były takie same. Wyznaczoną na podstawie dokumentacji technologicznej pracochłonność przedstawiono w tabl. II. Porównując oba przypadki, różnica objętości skrawanego materiału wynosiła 79%.

TABLE II. The evaluated time components on the basis of the work consumption for the technological operation

TABLICA II. Składowe czasu określane podczas ustalania pracochłonności operacji technologicznych

Składniki czasu produkcji	Półwyrob	
	AlCu4MgSi(A) w postaci pręta	AlCu4MgSi(A) w postaci odlewu
Czas główny t_g [s]	80	21,95
Czas pomocniczy t_p [s]	22	22
Czas uzupełniający t_u [s]	12	12
Czas wytworzenia t_w [s]	114,63	55,95

Koszt materiałów ustalono na podstawie zapotrzebowania w obróbce wiórowej. Do badania kosztów przyjęto ceny surowców na podstawie cen pochodzących z Giełdy Londyńskiej z 2 maja 2019 r. – wtedy jedna tona materiału osiągnęła wartość 1818,25 USD (rys. 2).

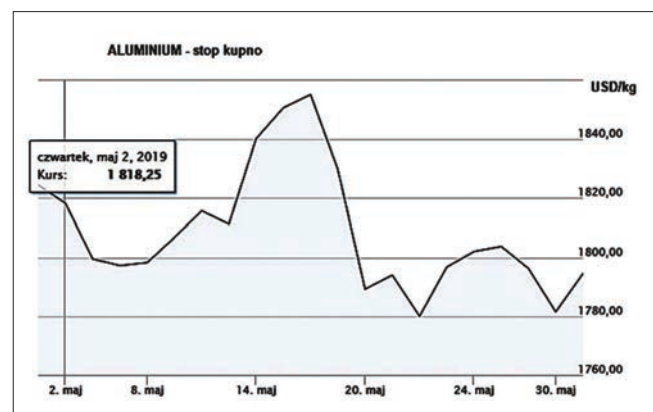


Fig. 2. Aluminum prices quotations in a monthly period [7]

Rys. 2. Notowania cen stopów aluminium w okresie miesięcznym [7]

Koszt materiałów przeliczono z dolarów amerykańskich na złotówki według średniego kursu NBP (3,82), obowiązującego 2 maja 2019 r. Przyjęta w analizach kosztów produkcji obliczeniowa cena kilograma stopu aluminium wynosiła 6,95 zł.

Cenę przetworzenia gąski aluminium do postaci gotowego odlewu z wykorzystaniem standardowych technik odlewniczych można oszacować po wstępnym przyporządkowaniu przygotówki do jednej z trzech grup. Grupy klasyfikacyjne najczęściej są definiowane na podstawie stosowanej techniki odlewniczej oraz poziomu technologicznego odlewni. Wyróżnia się tzw.:

- niskie przetwarzanie odlewnicze (w prostych formach piaskowych) – cena kilograma odlewu nie powinna przekraczać 30% ceny surowca,
- średnie przetwarzanie w złożonych formach piaskowych oraz nieskomplikowanych formach trwałych – cena kilograma odlewu jest zwykle powiększana o 30÷300% ceny surowca (w zależności od kosztów wykonania formy),
- wysokie przetwarzanie, najczęściej w formach trwałych poprzez odlewanie ciśnieniowe i odśrodkowe – cena odlewu może znacznie przekroczyć 300% ceny zakupu surowca.

Należy jednak pamiętać, że ceny odlewów można w każdym przypadku znacząco obniżyć przez użycie tzw. form wielogniazdowych [8].

W obliczeniach kosztów zastosowano średnio przetworzone półwyroby w formie odlewów pochodzących z wielogniazdowej (nieskomplikowanej – bez rdzeni) formy. Odlewy powstawały poprzez odlewanie ciśnieniowe. Z tego względu cenę surowca powiększono o dodatkowe 30%.

Zestawienie wyznaczonych cen materiałów przedstawiono w tabl. III.

Do obliczenia produktywności obu procesów przyjęto czas dostępności maszyny przypadający na jedną zmianę roboczą: 7h25' (zgodnie z normą VDI 3423) [9]. Na tej podstawie obliczono liczbę produkowanych wyrobów: 227 sztuk/zmianę – w przypadku toczenia z krążków, 466 sztuk/zmianę – w przypadku obróbki odlewów.

TABLE III. The calculated material consumption and the cost of the semi-finished products used

TABLICA III. Obliczone zapotrzebowanie na materiał oraz koszt wykorzystanych półwyrobów

	Pręt	Odlew
Masa przygotówki [g]	415,63	162,88
Wielkość serii [szt.]	5000	5000
Masa surowca [kg]	2078,15	814,40
Cena za materiał [zł/kg]	6,95	6,95
Cena materiału w serii [zł]	14443,14	7358,10

Do wyprodukowania serii w systemie dwuzmianowym w pierwszym wariantcie potrzeba 176 godzin pracy tokarki, a w drugim wariantcie – 86 godzin.

Po wyznaczeniu kosztów materiałów i kosztów zakupu obrabiarki oraz pracochłonności procesu wyznaczono koszt wytworzenia pojedynczego tłoka: 13,27 zł/szt. dla półwyrobu w postaci pręta oraz 6,65 zł/szt. dla odlewu.

Cena pojedynczego tłoka w przypadku produkcji z odlewu jest o połowę mniejsza niż w przypadku standardowo wykorzystywanych prętów, które są cięte na krążki – jest to efekt dwukrotnie krótszego czasu obróbki skrawaniem.

Jak widać, jest to czynnik determinujący jednostkowy koszt wytworzenia. Koszty produkcji w ciągu jednej zmiany w obu wariantach są bardzo zbliżone, lecz liczba wyprodukowanych wyrobów różni się dwukrotnie.

Podsumowanie i wnioski

Dobór odpowiedniej technologii i oprzyrządowania do obróbki ubytkowej to jeden z najważniejszych aspektów wdrażania nowych projektów w przemyśle motoryzacyjnym, który wymaga zapewnienia wysokiej dokładności geometrycznej produkowanych wyrobów. To sprawia, że technolodzy koncentrują się na poszukiwaniu nowych maszyn i narzędzi, spełniających surowe wymagania, a jednocześnie zapominają o wpływie używanych półwyrobów na ostateczne koszty produkcji. Ponadto należy zwrócić uwagę, że w przypadku nowych projektów koszty ich realizacji często są szacowane bez uwzględnienia perspektywy długoterminowej.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że w przypadku zastosowania określonej technologii, konkretnego oprzyrządowania i materiału można znacząco skrócić czas wytworzenia pojedynczej części oraz zwiększyć efektywność i dostępność maszyn (i tym samym wyprodukować więcej sztuk), jeżeli odpowiednio dobierze się półwyrob.

W niektórych sytuacjach uzasadnione wydaje się zastosowanie półwyrobów specjalnych, wykonywanych np. w technologii SLM (*selective laser melting*) czy SLS (*selective laser sintering*), które obecnie są jeszcze stosunkowo drogie.

LITERATURA

- [1] Fiorentino A. "Cost drivers-based method for machining and assembly costestimations in mould manufacturing". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 70, 5–7 (2014): 1437–1444.
- [2] Feld M. „Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn”. Wydanie 3. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2003.
- [3] Sobczyk G. „*Ekonomika małych przedsiębiorstw*”. Warszawa: Difin, 2004.
- [4] Skoczyła K. „Amortyzacja operacyjnych aktywów trwałych w koszczie wytworzenia”. *Autobusy*. 12 (2016): 1850–1852.
- [5] PN-EN 22768-1:1999 Tolerancje ogólne – Tolerancje wymiarów liniowych i kątowych bez indywidualnych oznaczeń tolerancji.
- [6] PN-EN ISO 1302:2004 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Oznaczanie struktury geometrycznej powierzchni w dokumentacji technicznej wyrobu.
- [7] <https://www.bankier.pl/inwestowanie/profile/quote.html?symbol=ALUMINIUM> (dostęp: 05.06.2019 r.).
- [8] Perzyk M. „*Odlewnictwo*”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2000.
- [9] VDI 3423:2011 Technical availability of machines and production lines. Terms and definitions, determination of time periods and calculation.