



Statystyczna analiza wielkości partii produkcyjnej w kontekście Przemysłu 4.0 na przykładzie Fabryki Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle

Statistical analysis of the production batch size in the context of Industry 4.0 on example of the Nowy Styl Office Furniture Factory in Jasło

Jacek Wilkowski^{a,*}, ORCID 0000-0001-5798-6761
Łukasz Adamik^{a,b}, ORCID: 0009-0005-6399-6129

^aSzkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Nauk Drzewnych i Meblarstwa,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, Polska

^bNowy Styl sp. z o.o., ul. Pużaka 49, 38-400 Krosno, Polska

*Osoba do korespondencji: jacek_wilkowski@sggw.edu.pl

Streszczenie

Zadysponowana do produkcji ilość wyrobów określonego rodzaju lub konstrukcji stanowi partię produkcyjną. W produkcji masowej, charakteryzującej się małym asortymentem, występują duże wielkości partii produkcyjnej, co obniża koszty jednostkowe wytworzenia produktu i zwiększa przewagę konkurencyjną przedsiębiorstwa. Jednak współczesna gospodarka coraz częściej stawia przed fabrykami nowe wyzwania. Wielkość partii produkcyjnej często ulega znacznemu zmniejszeniu. Produkuje się w krótkich seriach, pod indywidualne zamówienia odbiorców, które mają być niepowtarzalne, dostosowane do wymagań i potrzeb klientów detalicznych. To cecha charakteryzująca elastyczną produkcję będącą wyznacznikiem Przemysłu 4.0. W artykule poddano analizie statystycznej wielkość partii produkcyjnej płytowych elementów meblarskich wyprodukowanych w Fabryce Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle, przedstawiciela jednego z nielicznych wdrożeń Przemysłu 4.0 w branży meblarskiej w Polsce. Na podstawie danych produkcyjnych wyznaczono statystyki opisowe i histogramy rozkładów wielkości partii. Uzyskane wyniki wskazują na bardzo wysoką elastyczność produkcji. Zaproponowano wykorzystanie centralnego twierdzenia granicznego (CTG) do oceny średniej wielkości partii produkcyjnej i przedziału ufności estymowanej zmiennej.

Abstract

The quantity of products of a specific type or design intended for production constitutes a production batch. In mass production, characterized by a small assortment, large production batch size occur, which reduces the unit costs of product production and increases the company's competitive advantage. However, the modern economy increasingly poses new challenges for factories. The production batch size is often significantly reduced. It is produced in short series, to individual customer orders, which are to be unique and tailored to the requirements and needs of retail customers. This is a feature that characterizes flexible production, which is a determinant of Industry 4.0. The article statistically analyzed the production batch size of plate furniture elements produced in the Nowy Styl Office Furniture Factory in Jasło, a representative of one of the few implementations of Industry 4.0 in the furniture industry in Poland. Descriptive statistics and histograms of batch size distributions were determined based on production data. The results obtained indicate very high production flexibility. The use of the central limit theorem (CLT) was proposed to assess the average size of production batch and the confidence interval of the estimated variable.

Słowa kluczowe: Przemysł 4.0, przemysłowa produkcja mebli, wielkość partii produkcyjnej, analiza statystyczna

Keywords: Industry 4.0, industrial furniture production, production batch size, statistical analysis

Wprowadzenie

Już od lat 80-tych XX wieku produkcja przemysłowa mebli wykorzystuje zdobycze trzeciej rewolucji przemysłowej (zwanej również Przemysłem 3.0 lub z ang. *Industry 3.0*) w postaci obrabiarek sterowanych numerycznie (CNC, ang. *Computerized Numerical Control*) i innych mechanizmów czy urządzeń automatyki przemysłowej, a także w późniejszym okresie robotów przemysłowych. Usprawniły one proces produkcyjny, przejmując powtarzalne zadania umożliwiające masową, a jednocześnie elastyczną produkcję wyrobów meblarskich.

Równocześnie trzecia rewolucja przemysłowa zwiększyła znaczenie jakości produkcji. Powszechna dostępność do informacji (internet) zintensyfikowała przepływ technologii i szybką utratę przewagi konkurencyjnej, co w efekcie skutkowało zwiększoną dynamiką zachodzących zdarzeń, a to przekładało się na zmienność i niepewność sytuacji przedsiębiorstw. Komunikacja w systemie produkcyjnym Przemysłu 3.0 przebiega jednokierunkowo, od centralnego systemu kontrolnego do poszczególnych obrabiarek. Dalszy wzrost produktywności zaczął być hamowany przez wzmożoną tendencję do personalizacji wyrobów, tzw. kliento-centriczność, przy jednoczesnej ograniczonej zdolność

systemów, w tym ludzi będących ich częścią do podejmowania szybkich decyzji (Baranowski i in., 2023).

Odpowiedzią na wskazane powyżej mankamenty miał być Przemysł 4.0 (ang. *Industry 4.0*), którego założenia po raz pierwszy zaprezentowano na Targach Hannover Messe w 2011 roku (Vogel-Heuser i Hess, 2016). Głównymi wyznacznikami czwartej rewolucji przemysłowej jest głęboka integracja maszyn i systemów informatycznych z dwukierunkową transmisją danych (od maszyn do systemu sterowania oraz do maszyn od systemu sterowania) i tworzenie rozproszonych systemów sterowania i kontroli, będących odpowiedzią na wady scentralizowanego systemu produkcyjnego (Xu i in. 2021). Wytwarzanie w Przemysle 4.0 charakteryzuje wysoka elastyczność wynikająca ze wspomnianej wcześniej personalizacji wyrobów, a co za tym idzie, krótki cykl wytwarzania, zwiększony asortyment produktów, a przede wszystkim krótkie serie produkcyjne przy wysokiej produktywności (Rüßmann i in. 2015) i jakości wyrobów (Kaczmarek i in. 2023).

Wielkość partii produkcyjnej jako zmienna procesu wytwarzania jest bardzo ważnym parametrem charakteryzującym przemysłowy proces produkcji, który powinien podlegać ocenie i poddawać się statystycznym przewidywaniom, a w efekcie powinien być poddany adekwatnym technikom optymalizacji (Taleizadeh i in., 2011).

Niniejszy artykuł przedstawia analizę statystyczną wielkości partii produkcyjnej, na przykładzie Fabryki Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle, czyli reprezentanta rzeczywistego wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0 w branży produkcji mebli w Polsce.

Cel i zakres pracy

Celem niniejszej pracy była analiza statystyczna wielkości partii produkcyjnej płytowych elementów meblarskich wyprodukowanych w Fabryce Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle. Na podstawie rzeczywistych danych przemysłowych wyznaczono statystyki opisowe i histogramy rozkładów wielkości partii. Wykorzystano centralne twierdzenie graniczne (CTG) do wyznaczenia rozkładu średnich liczebności z prób, celem oceny średniej wielkości partii produkcyjnej i przedziału ufności estymowanej zmiennej.

Materiały i metodyka badań

W badaniach wykorzystano 442694 wartości liczbowe oznaczające wielkości partii produkcyjnej, wyrażone w sztukach formatek meblarskich, pozyskanych z 10 miesięcy pracy Fabryki Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle. Powyższe dane stanowiły zmienną przeprowadzonych analiz statystycznych. Na podstawie wszystkich pozyskanych danych wyznaczono podstawowe statystyki opisowe oraz rozkład statystyczny (histogram) badanej zmiennej.

W kolejnym kroku wykorzystano centralne twierdzenie graniczne znane też pod nazwą twierdzenia Lindeberga-Lévy'ego, które mówi, że jeśli zmienna nie ma rozkładu normalnego lub jej rozkład jest nieznan, kształt rozkładu z próby dla średniej jest w przybliżeniu normalny, o ile liczebność próby n jest wystarczająco duża (co najmniej 30). Im większa

liczebność z próby n , tym rozkład średnich z prób będzie bliższy rozkładowi normalnemu (Benjamin i Cornell, 1977).

Na podstawie rozkładu częstości badanej zmiennej stosując CTG można wnioskować (estymować) parametry populacji (populacja w tym przypadku oznacza, wszystkie, przeszłe i przyszłe wielkości partii produkcyjnej realizowane w fabryce):

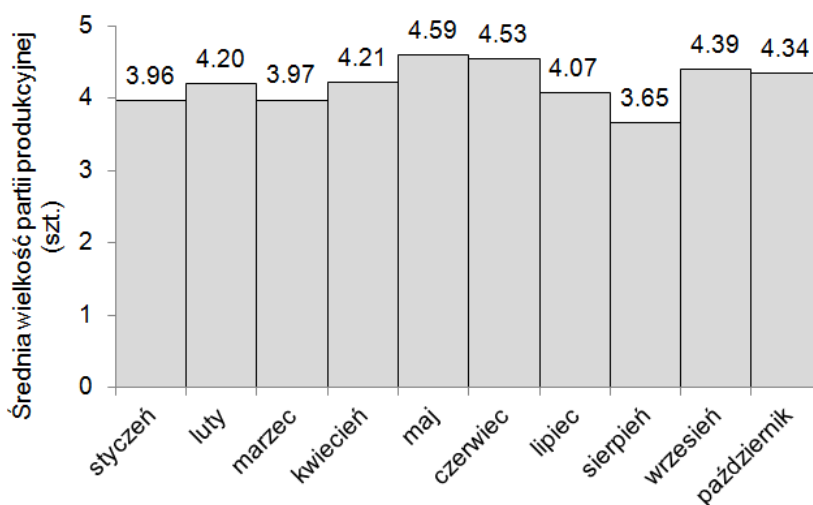
- średnia z rozkładu średnich z prób jest taka sama, jak średnia populacji,
- odchylenie standardowe rozkładu średnich z prób (znane również jako błąd standardowy średniej) jest równe odchyleniu standardowemu populacji, podzielonemu przez pierwiastek kwadratowy wielkości próby.

Należy zauważyć, że centralne twierdzenie graniczne nie mówi nic o populacji. Wskazuje jedynie, że jeśli wielkość próby jest wystarczająco duża, rozkład średnich z prób jest normalny z określonymi parametrami, opisanymi powyżej. W populacji, z której dobrano próby, rozkład nie musi być normalny (tak sytuacja będzie w tych badaniach), aby centralne twierdzenie graniczne było prawdziwe.

Analizy kończy wyznaczenie zakresu przedziału ufności dla przyjętego poziomu ufności równego 95%. Wyrażony w procentach poziom ufności, wyznacza poziom pewności, że na podstawie próby prawidłowo oszacowano wartość estymowanego parametru.

Wyniki i dyskusja

Na Rys. 1 przedstawiono średnie wielkości partii produkcyjnej w kolejnych 10 miesiącach pracy fabryki. Najmniejsza średnia wielkość wystąpiła w sierpniu o wartości 3,65, a najwyższa w maju i wyniosła 4,59. Analiza średnich miesięcznych nie pokazuje zmienności badanej cechy w zebranych danych, a jedynie wyrównany rozkład średniej miesięcznej. Dlatego zdecydowanie więcej informacji o analizowanej zmiennej przyniosły statystyki opisowe (Tabela 1).



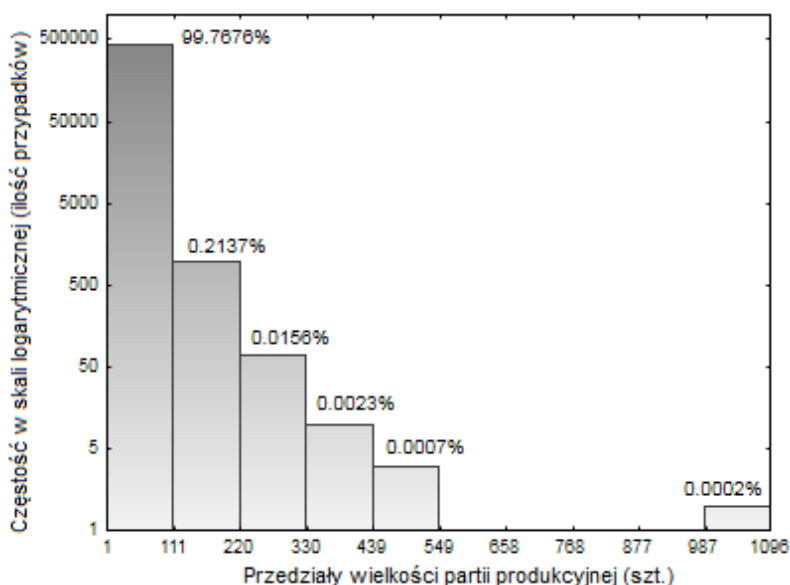
Rys. 1. Średnia wielkość partii produkcyjnej w kolejnych 10 miesiącach roku
Fig. 1. Average production batch size in the next 10 months of the year

Widoczna jest wyraźna dysproporcja między wartością średnią wielkości partii produkcyjnej, a medianą, czyli wartością środkową. Średnia wynosiła 4,18 szt., natomiast mediana była równa wartości 1 szt. i była to zarazem wartość najczęstsza w analizowanych danych. Rozstęp, czyli różnica pomiędzy wartością maksymalną i minimalną wskazuje na dużą zmienność wielkości partii, choć miary zmienności, zarówno odchylenie standardowe, jak i współczynnik zmienności nie wskazują na aż tak dużą rozpiętość danych.

Tabela 1. Statystyki opisowe wielkości partii produkcyjnej
Table 1. Descriptive statistics of production batch size

Średnia (szt.)	Mediana (szt.)	Modalna (szt.)	Odchyl. stand. (szt.)	Wsp. zmienności (%)	Min. (szt.)	Rozstęp (szt.)
4,18	1	1	11,80	282	1	1095

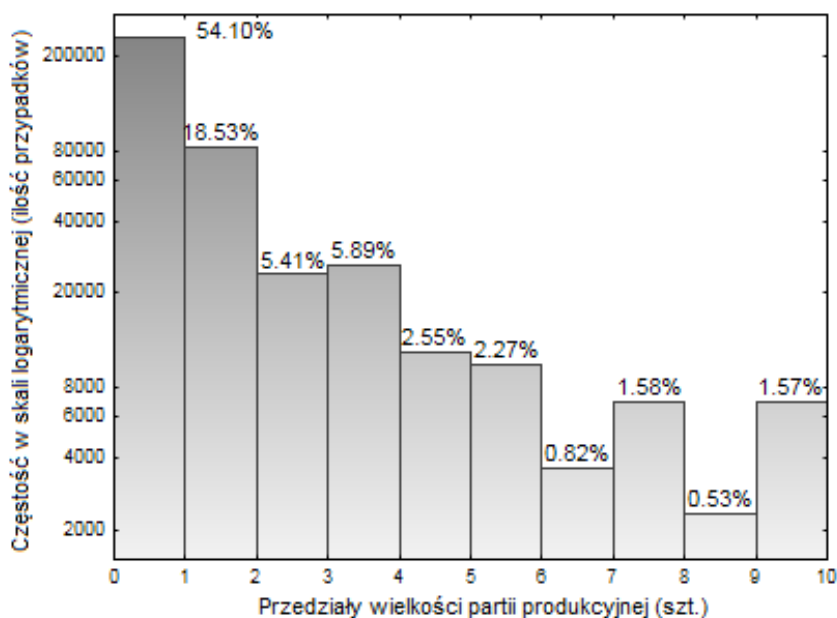
Dopiero rozkład częstości zmiennej w postaci histogramu rozkładu (Rys. 2) szczegółowo obrazuje uzyskane wyniki. Należy zwrócić uwagę, że wartości częstości na osi rzędnych OY są przedstawione w skali logarytmicznej, czyli słupek dla najmniejszych wielkości partii z przedziału od 1 do 111 szt. jest najwyższy i stanowi ponad 99% udziału wszystkich badanych wielkości partii produkcyjnej. Częstości wykładniczo spadają wraz ze wzrostem wartości wielkości partii do wartości 549, a przedział o wielkościach najwyższych z zakresu (987;1096) stanowi bardzo niewielki ułamek procenta udziału częstościowego (0,0002%). Warto zwrócić uwagę, że w przedziale wielkości partii produkcyjnej (549;987) nie zrealizowano żadnej produkcji.



Rys. 2. Histogram rozkładu wielkości partii produkcyjnej wytworzonej w technologii Przemysłu 4.0
Fig. 2. Histogram of the production batch size distribution a manufactured in Industry 4.0 technology

Na Rys. 3 przedstawiono histogram rozkładu wielkości partii produkcyjnej w zakresie najwyższej częstości i jak widać są to zarazem przedziały o wielkościach jednostkowych od

1 do 10 szt.. Ponad 50% analizowanych wielkości partii w tym zakresie to pojedyncze formatki. Taki rozkład jest wyraźnym dowodem na bezapelacyjną dominację krótkich serii w systemie wytwarzania, a to charakterystyczna cecha elastycznej produkcji (Rüßmann i in. 2015).

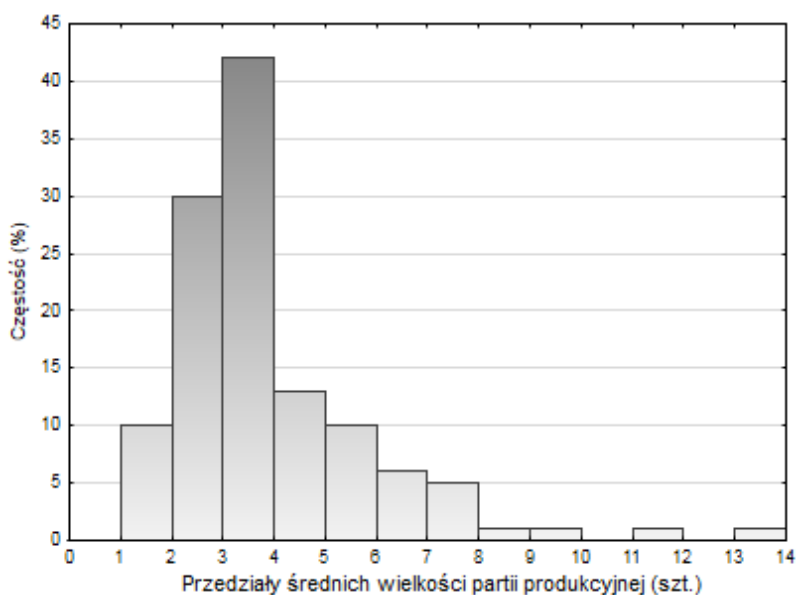


Rys. 3. Histogram rozkładu wielkości partii produkcyjnej w zakresie najwyższej częstości
Fig. 3. Histogram of the production batch size distribution in the highest frequency range

Oczywiście przedstawiony na Rys. 2 histogram rozkładu nie jest rozkładem normalnym, ani jakimkolwiek znanym, czy popularnym rozkładem zmiennej losowej. Zatem, nie jest możliwe odnoszenie się do przewidywalnego, statystycznego modelu opisanego funkcją matematyczną w celu wyciągnięcia wniosków o np. wartości średniej z populacji na podstawie analizowanej próby i znanego rozkładu zmiennej.

W takim przypadku zdecydowano się na zastosowanie centralnego twierdzenia granicznego celem estymacji średniej wielkości partii produkcyjnej z populacji (populacja w tym przypadku oznacza, wszystkie, przeszłe i przyszłe wielkości partii produkcyjnej realizowane w fabryce) na podstawie rozkładu średnich z prób o liczebności każdej próby, równej $n = 30$. Na rys. 4 przedstawiono histogram rozkładu średnich wielkości partii produkcyjnej z prób zbudowany w oparciu o CTG. Do zbudowania poniższego rozkładu wykorzystano 120 takich prób. Widzimy, że tym razem rozkład ma wyraźne cechy rozkładu normalnego ze skośnością prawostronną (widoczny „ogon” rozkładu z prawej strony).

Histogram prawoskośny potwierdzony jest również relacją średniej arytmetycznej i mediany w tym rozkładzie. W tabeli 2 przedstawiono statystyki opisowe rozkładu średnich wielkości partii produkcyjnej ze 120 prób o liczebności każdej próby równej 30. Wartość średniej arytmetycznej jest wyższa od wartości mediany, co potwierdza skośność prawostronną rozkładu zmiennej (Tabela 2).



Rys. 4. Histogram rozkładu średnich wielkości partii produkcyjnej z prób
Fig. 4. Histogram of the distribution of average production batch sizes from samples

Na podstawie centralnego twierdzenia granicznego, znając rozkład średniej wielkości partii produkcyjnej z prób, można wyciągnąć wniosek o średniej arytmetycznej z całej populacji, gdyż jest ona taka sama jak średnia z rozkładu średnich z prób, czyli w przypadku tych badań wynosi 3,96 szt.

W kolejnym kroku należy obliczyć odchylenie standardowe populacji mnożąc odchylenie standardowe rozkładu średnich z prób (Tabela 2) przez pierwiastek kwadratowy wielkości próby ($n = 30$), co daje wartość odchylenia równą 10,51 szt.

Tabela 2. Statystyki opisowe rozkładu średnich wielkości partii produkcyjnej z prób

Table 2. Descriptive statistics of the distribution of average production batch sizes from Samales

Średnia (szt.)	Mediana (szt.)	Modalna (szt.)	Odchyl. stand. (szt.)	Wsp. zmienności (%)	Min. (szt.)	Rozstęp (szt.)
3,96	3,48	3,10	1,92	48	1,60	11,83

Ostatnim etapem analizy statystycznej jest wyznaczenie przedziału ufności estymowanej zmiennej dla przyjętego poziomu ufności równego 95%. W tym celu należy wykorzystać wzór na przedział ufności dla średniej z populacji przy znanym odchyleniu standardowym populacji:

$$\bar{x} \pm z^* \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

gdzie \bar{x} oznacza średnią z próby (w tym przypadku jest równa średniej z populacji), σ to odchylenie standardowe populacji, n jest liczebnością próby, a wartość z^* otrzymuje się ze standardowego rozkładu normalnego dla pożądanego poziomu ufności, w przypadku tych badań poziom ten wyniósł 95%, a zatem z^* jest równe 1,96.

Podstawiając obliczone uprzednio wartości do wzoru nr 1 otrzymujemy przedział ufności badanej zmiennej, czyli średniej wielkości partii produkcyjnej w Fabryce Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle: $3,96 \pm 3,76$, a zatem zakres przedziału ufności mieści się w granicach od 0,20 do 7,72 szt.

Wnioski

Przeprowadzona analiza statystyczna zmiennej w postaci wielkości partii produkcyjnej w Fabryce Mebli Biurowych Nowy Styl w Jaśle potwierdza produkcję w krótkich, jednostkowych seriach z zakresu liczebności od 0,20 do 7,72 szt., co charakteryzuje elastyczne wytwarzanie przy zachowaniu wysokiej produktywności zgodnie z założeniami Przemysłu 4.0. Otrzymane wyniki mogą być podstawą prognozowania prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń rzadkich (wielkości partii produkcyjnej z poza przedziału ufności) lub mogą być wykorzystane w narzędziach symulacyjnych i technikach optymalizacyjnych.

Literatura

Baranowski M., Kordowska M., Pisarek J., Ziemacki Z., Hetmańczyk M., Pollak A., 2023: Przemysł 4.0. Identyfikacja trendów technologicznych. Raport NCBR, Warszawa

Benjamin J.R., Cornell C.A., 1977: Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa

Kaczmarek W., Panasiuk J., Borys S., Dyczkowski R., Siwek M.: Robotyzacja i automatyzacja. Przemysł 4.0. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa

Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M., 2015: Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.

Taleizadeh A., Widyadana G., Wee H., Biabani J., 2011: Multi products single machine economic production quantity model with multiple batch size. International Journal of Industrial Engineering Computations 2, 213-224

Vogel-Heuser B., Hess D., 2016: Guest Editorial Industry 4.0-Prerequisites and Visions. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. DOI: 10.1109/TASE.2016.2523639

Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L., 2021: Industry 4.0 and Industry 5.0 - Inception, conception and perception. J Manuf Syst 61, 530–535. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.10.006

Artykuł recenzowany / Reviewed paper

Zgłoszony / Submitted: 26.12.2023

Opublikowany online / Published online: 25.03.2024