



# ZASTOSOWANIE LOGIKI ROZMYTEJ DO SZEREGOWANIA ZLECEŃ PRODUKCYJNYCH

Andrzej Jardzioch, Weronika Witkowska

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Polska

**Corresponding author:**

Andrzej Jardzioch

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

al. Piastów 19, 70-310 Szczecin

phone: (+91) 449 49 89

e-mail: andrzej.jardzioch@zut.edu.pl

---

## APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR SCHEDULING PRODUCTION ORDERS

**ABSTRACT**

The article presents an algorithm that allows using fuzzy logic to determine the effective arrangement of production orders in the production system. The main criterion used to rate was the total cost related to delayed implementation of production orders. In addition, the sum of delays of all orders and the total time of order execution were assessed. The elaborated algorithm uses fuzzy inference and allows us to estimate dynamically the effectiveness of selecting the next order from orders awaiting execution. As a result, the computational complexity of the proposed algorithm is linear. The research was conducted to assess the usefulness of the proposed algorithm. To illustrate the possibilities of the proposed algorithm, the obtained rankings were compared with those obtained using typical heuristic rules (FIFO, EDD, Johnson's algorithm, and min changeover time). The obtained results confirmed the benefits of the proposed algorithm for scheduling production orders. The developed algorithm was implemented in Matlab and research was carried out for different series of production orders.

**KEYWORDS**

Production process, scheduling of production, minimal costs of delays.

---

## 1. Wprowadzenie

W kontekście globalizacji i rosnącej konkurencji między firmami produkcyjnymi szczególnie ważne jest prawidłowe zarządzanie kolejnością realizacji zleceń produkcyjnych [1, 2]. Jest to istotne zarówno dla małych jak i średnich firm produkcyjnych, ponieważ są one częścią rozległego łańcucha dostaw i realizują równocześnie wiele niewielkich zleceń produkcyjnych. W łańcuchu tym, rozpoczynającym się od dostawców surowców, a kończącym na kliencie, kluczowym parametrem jest terminowe realizowanie zleceń produkcyjnych. Znaczenie terminowej dostawy zlecenia produkcyjnego wynika z następujących powodów [3–5]:

- Konieczność budowania platformy zaufania z klientem. Zaplanowane, ale niedotrzymane terminy dostaw wzbudzają wątpliwości co do wiarygodności dostawcy. Często też opóźnienie w dostawie skutkuje dodatkowymi kosztami związanymi z karami umownymi za opóźnienia w dostawie, co w najgorszym przypadku może skutkować rozwiązaniem umowy i koniecznością wypłaty odszkodowania.
- Z powodu opóźnienia dostawy klient ponosi dodatkowe koszty. Opóźniona dostawa może skutkować pojawieniem się przestoju maszyn w przedsiębiorstwie klienta. Nowoczesne koncepcje produkcyjne, takie jak „Just-in-time” lub „zintegrowane zarzą-

dzanie łańcuchem dostaw”, koncentrują się na minimalizacji zapasów podczas produkcji. Z tego powodu nowoczesne systemy produkcyjne są szczególnie wrażliwe na zakłócenia w terminach dostaw [9].

- Współpraca z dostawcami o mniejszej pewności dotrzymania terminów dostaw wymaga zaplanowania dodatkowego czasu na ewentualne opóźnienia w dostawach, co może skutkować wydłużeniem terminów realizacji zamówień.
- Koszty związane z tworzeniem zapasów bezpieczeństwa. Współpraca z dostawcami o niskiej pewności terminu dostawy wymaga planowania dodatkowych zapasów części potrzebnych do realizacji produkcji w przypadku opóźnień w dostawach, co może prowadzić do wzrostu kosztów produkcji [10, 11].

W artykule przedstawiono algorytm pozwalający na zastosowanie logiki rozmytej do wyznaczenia efektywnego uszeregowania zleceń produkcyjnych w systemie dwumaszynowym. Jako główne kryterium, według którego oceniano uszeregowania, przyjęto całkowity koszt związany z nieterminową realizacją zleceń produkcyjnych. Dodatkowo oceniano sumę opóźnień wszystkich zleceń oraz całkowity czas realizacji wszystkich zleceń. Opracowany algorytm wykorzystuje wnioskowanie rozmyte i pozwala na dynamiczną ocenę efektywności wyboru kolejnego zlecenia ze zleceń oczekujących na wykonanie. Dzięki takiemu podejściu czas wygene-

rowania suboptymalnego rozwiązania jest stosunkowo krótki, a złożoność obliczeniowa proponowanego algorytmu jest liniowa. Przeprowadzono badania oceniające przydatność proponowanego algorytmu. W celu lepszego zobrazowania możliwości zaproponowanego algorytmu otrzymane uszeregowania porównano z uszeregowaniami uzyskanymi za pomocą typowych reguł heurystycznych (FIFO, EDD, algorytm Johnsona, minimalnego czasu przezbrojeń). Uzyskane wyniki potwierdzały przydatność proponowanego algorytmu do szeregowania zleceń produkcyjnych. Opracowany algorytm zaimplementowano w programie Matlab oraz przeprowadzono badania dla różnych zestawów zleceń produkcyjnych. Artykuł kończy się podsumowaniem, w którym zawarto najważniejsze wnioski z przeprowadzonych prac oraz wskazano problemy planowane do rozwiązania w toku dalszych badań.

## 2. Przedstawienie problemu

Szeregowanie zleceń produkcyjnych realizowane jest w przedsiębiorstwach przez wyspecjalizowane komórki planistyczne z wykorzystaniem systemów klasy ERP (*Enterprise Resource Planning*) oraz współpracującymi z nimi systemami klasy APS (*Advanced Planning and Scheduling*) [6, 7]. Systemy te pozwalają na zbieranie informacji produkcyjnych, śledzenie stopnia realizacji zleceń produkcyjnych, zarządzanie stanami magazynowymi, wspomaganie decyzji planistycznych oraz harmonogramowanie produkcji i monitorowanie kosztów produkcji. Systemy APS są jednak bardzo kosztowe i nie wszystkie przedsiębiorstwa mogą sobie pozwolić na ich wdrożenie [8]. W artykule przedstawiono algorytm szeregowania zleceń produkcyjnych, w który zastosowano wnioskowanie za pomocą sterownika rozmytego. Celem prowadzonych badań było sprawdzenie, czy zaproponowany algorytm poprawi jakość generowanych uszeregowania w stosunku do powszechnie stosowanych reguł heurystycznych. Jako obiekt badawczy wybrano system produkcyjny składający się z magazynu wejściowego, dwóch obrabiarek CNC oraz magazynu wyjściowego (rys. 1).



Rys. 1. Dwumaszynowy system produkcyjny wraz z zestawem zleceń produkcyjnych.

W magazynie wejściowym znajduje się zestaw zleceń produkcyjnych, który powinien zostać wykonany w systemie. Obróbka wszystkich zleceń odbywa się w sposób przepływowy. Czasy obróbki poszczególnych zleceń podane są w tabeli 1. Dodatkowo każde zlecenie posiada przypisany wymagany czas realizacji zlecenia  $T_{wym}(i)$  oraz współczynnik kary za niedotrzymanie terminu realizacji zlecenia  $Kop(i)$ . W celu realizacji zleceń konieczne jest przygotowanie poszczególnych maszyn. Czasy przezbrojeń poszczególnych maszyn zależą od tego, ja-

kie zlecenie było wykonywane bezpośrednio wcześniej (tabela 2). Często przygotowanie maszyny do wykonania kolejnego zlecenia związane jest tylko ze zmianą narzędzia i wgraniem nowego programu obróbkowego. Wtedy czas potrzebny na przezbrojenie jest stosunkowo krótki. Zdarzają się jednak sytuacje, iż trzeba wymienić uchwyt, wymienić wszystkie narzędzia i dodatkowo zdefiniować parametry technologiczne. W takich przypadkach czas przezbrojenia może wynosić nawet kilkadziesiąt minut. W celu uproszczenia badań przyjęto, iż nie występują przerwy w pracy maszyny oraz w dostarczaniu zleceń do produkcji (w momencie rozpoczęcia produkcji wszystkie zlecenia znajdują się w magazynie wejściowym).

Tabela 1  
Dane dla wszystkich zestawów zleceń.

Numer zestawu	Numer zlecenia	T M1 [s]	T M2 [s]	Wymagany termin wykonania [s]	Kara za opóźnienie [€/s]
1	z1	120	120	400	0.01
	z2	180	250	700	0.05
	z3	200	120	800	0.3
	z4	500	600	2000	0.08
	z5	360	120	550	0.03
	z6	65	30	2200	0.1
	z7	60	180	800	0.04
	z8	30	60	1400	0.06
	z9	150	100	300	0.07
	z10	700	300	1500	0.25
2	z1	120	120	400	0.01
	z2	180	250	700	0.05
	z3	200	120	800	0.3
	z4	500	600	2000	0.08
	z5	360	120	550	1
	z6	65	30	2200	0.1
	z7	60	180	800	0.85
	z8	30	60	1400	0.06
	z9	150	100	300	0.07
	z10	700	300	1500	0.8
3	z1	120	120	400	0.01
	z2	180	250	700	0.05
	z3	200	120	800	0.3
	z4	500	600	2000	0.08
	z5	360	120	550	0.03
	z6	65	30	2200	0.1
	z7	60	180	100	0.7
	z8	30	60	1400	0.06
	z9	150	100	300	0.07
	z10	700	300	1500	0.25
4	z1	120	120	400	0.01
	z2	180	250	700	0.05
	z3	200	120	800	0.3
	z4	500	600	2000	0.08
	z5	360	120	550	0.03
	z6	65	30	2200	0.1
	z7	60	180	800	0.04
	z8	30	60	1400	0.06
	z9	150	100	300	0.07
	z10	700	300	1500	0.25

Tabela 2  
Czasy przebrojeń dla zestawu nr 1 zależne od kolejności obróbki zleceń w formacie mm:ss.

	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9	z10
–	15:00	10:00.	22:00	15:00	20:00	35:00	25:00	9:00	12:00	30:00
z1	0	10:00.	5:00	20:00	22:00	14:00	25:00	15:00	10:00	10:00
z2	20:00	0	7:00	35:00	15:00	20:00	22:00	12:00	15:00	15:00
z3	22:00	12:00	0	15:00	20:00	25:00	12:00	15:00	12:00	12:00
z4	15:00	15:00	10:00	0	30:00	10:00	5:00	20:00	22:00	8:00
z5	30:00	18:00	6:00	20:00	0	12:00	25:00	9:00	21:00	21:00
z6	25:00	24:00	12:00	22:00	14:00	0	30:00	34:00	15:00	22:00
z7	10:00	30:00	15:00	21:00	40:00	15:00	0	22:00	8:00	13:00
z8	8:00	5:00	18:00	17:00	45:00	8:00	6:00	0	14:00	40:00
z9	5:00	7:00	25:00	40:00	8:00	28:00	15:00	21:00	0	35:00
z10	35:00	16:00	15:00	21:00	10:00	30:00	20:00	10:00	30:00	0

### 3. Algorytm

Do budowy sterownika logiki rozmytej wykorzystano program Matlab. Obliczenia wykonano zgodnie z typem wnioskowania rozmytego Mamdani, którego reguły wnioskowania rozmytego mają strukturę „JEŚLI... TO ...”. Wyostrzenia dokonano za pomocą metody wyznaczania środka ciężkości (CoG). Na rys. 2 przedstawiono algorytm pozwalający na zastosowanie logiki rozmytej do wyznaczenia efektywnego uszeregowania zleceń produkcyjnych w systemie dwumaszynowym. Głównym elementem tego algorytmu jest sterownik Fuzzy Logic, który ocenia stopień ważności poszczególnych zleceń produkcyjnych. Jako główne kryterium, według którego oceniano uszeregowania przyjęto całkowity koszt związany z nieterminową realizacją zleceń produkcyjnych. Dodatkowo oceniano sumę opóźnień wszystkich zleceń oraz całkowity czas realizacji wszystkich zleceń. Opracowany algorytm wykorzystuje wnioskowanie rozmyte i pozwala na dynamiczną ocenę efektywności wyboru kolejnego zlecenia ze zleceń ocze-

kujących na wykonanie. Aby sterownik mógł ocenić stopień ważności zlecenia należy wprowadzić zmienne wejściowe. Zmiennymi wejściowymi są: kara za opóźnienie, termin wykonania zlecenia oraz czas przebrojenia. Zmienną wyjściową natomiast jest stopień ważności zlecenia i to według ważności zlecenia (od zlecenia z największą liczbą punktów do zlecenia z najmniejszą liczbą punktów) szeregowane są zlecenia produkcyjne.

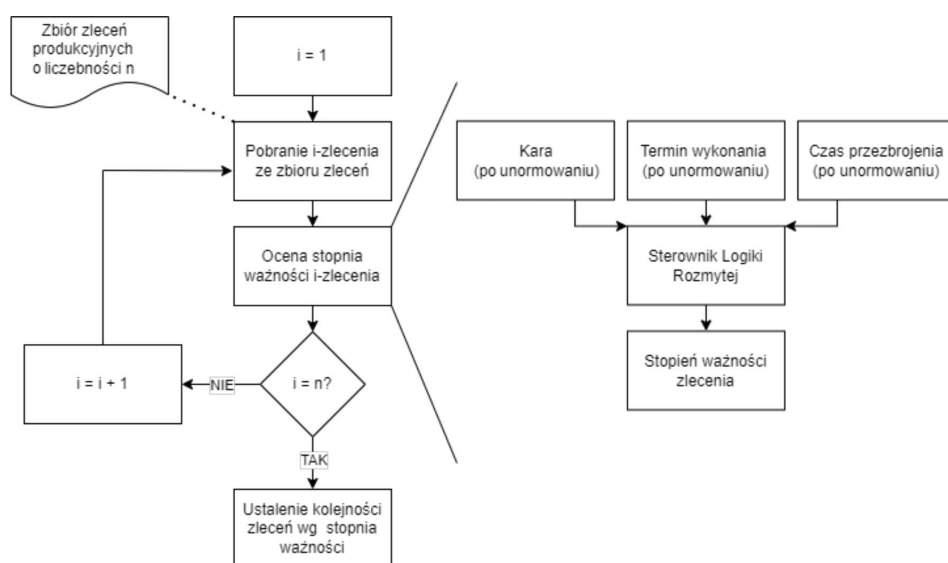
Zarówno zmienne wejściowe jak i zmienna wyjściowa zostają unormowane do skali od 1–10, a normowanie przebiega zgodnie z poniższymi wzorami:

$$\text{unormowany wsk. kary} = \text{wskaźnik kary} * \text{NK},$$

$$\text{unormowany wsk. wykonania} = \text{termin wykonania} * \text{NWT},$$

$$\text{unormowany wsk. przebrojenia} = \text{czas przezb.} * \text{NCB},$$

gdzie NK – najwyższa kara w badanym zestawie zleceń, NWT – najpóźniejszy termin wykonania w badanym zestawie zleceń, NCB – najdłuższy czas przebrojenia w badanym zestawie zleceń.



Rys. 2. Algorytm pozwalający na zastosowanie logiki rozmytej do wyznaczenia efektywnego uszeregowania zleceń produkcyjnych w systemie dwumaszynowym.

#### 4. Opis badań symulacyjnych oraz ocena uzyskanych wyników

W celu sprawdzenia działania opracowanego algorytmu zbudowano model symulacyjny procesu produkcyjnego oraz przeprowadzono badania oceniające wpływ zastosowanej reguły szeregowania na parametry eksploatacyjne systemu produkcyjnego. Jako główne kryterium, według którego oceniano uszeregowania, przyjęto całkowity koszt związany z nieterminową realizacją zleceń produkcyjnych.

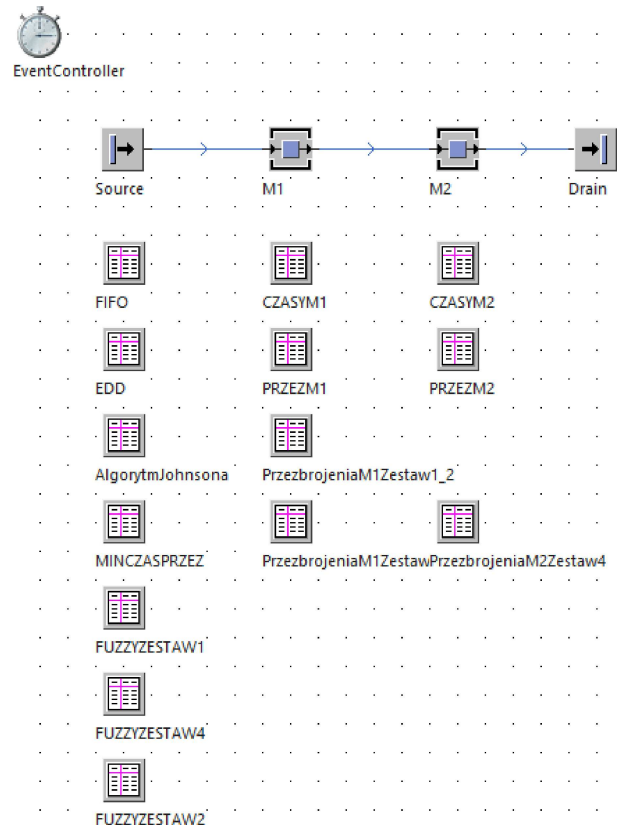
Funkcję celu wykorzystywaną w procesie poszukiwania optymalnego uszeregowania przedstawia wzór:

$$F_c = \sum_{i=1}^n \max \{0, [t_r(i) - t_t(i)] \cdot k(i)\},$$

gdzie  $F_c$  – funkcja celu związana z kosztem opóźnień wykorzystywana w problemie szeregowania zleceń produkcyjnych,  $t_r(i)$  – rzeczywisty termin wykonania  $i$ -tego zlecenia,  $t_t(i)$  – wymagany termin wykonania  $i$ -tego zlecenia,  $k(i)$  – wskaźnik kosztu opóźnienia  $i$ -tego zlecenia,  $n$  – liczba zleceń produkcyjnych.

Dodatkowo oceniano sumę opóźnień wszystkich zleceń oraz całkowity czas realizacji wszystkich zleceń. Przeprowadzono badania oceniające przydatność proponowanego algorytmu. W celu lepszego zobrazowania możliwości zaproponowanego algorytmu otrzymane uszeregowania porównano z uszeregowaniami uzyskanymi za pomocą typowych reguł heurystycznych (FIFO, EDD, algorytm Johnsona i reguły minimalnego czasu przebrojeń).

Na rys. 3. przedstawiono zbudowany model symulacyjny. Model symulacyjny zbudowano z wykorzystaniem systemu Tecnomatix Plant Simulation firmy Siemens. Obrabiarki (M1 i M2) realizujące proces technologiczny zostały zamodelowane z wykorzystaniem obiektu „Station”. Obiekt ten pozwala na wprowadzenie tabeli czasów obróbki poszczególnych zleceń, tabeli czasów przebrojeń oraz prawdopodobieństwa uszkodzenia maszyny. Do budowy modelu magazynu wejściowego wykorzystano obiekt „Source”. Obiekt ten pozwala zdefiniować zestawy zleceń produkcyjnych wraz z wymaganymi czasami realizacji i przypisanymi wskaźnikami kosztów za opóźnione wykonania zleceń. Magazyn wyjściowy zbudowano z wykorzystaniem obiektu „Drain”. W obiekcie tym magazynowane są wszystkie obrabione przedmioty wraz z danymi statystycznymi dotyczącymi realizowanego procesu produkcyjnego, terminu wykonania poszczególnych zleceń, średniego czasu przebywania zleceń w systemie produkcyjnym, taktu oraz uzyskanej wydajności. Do sterowania procesem symulacji wykorzystany został obiekt „EventController”. W obiektach typu „Data Table” przechowywane są zestawy zleceń uszeregowane według różnych reguł (FIFO, EDD, Algorytm Johnsona (AJ), reguła minimalnego czasu przebrojenia (MCP), Fuzzy 1, Fuzzy 2, Fuzzy 3).

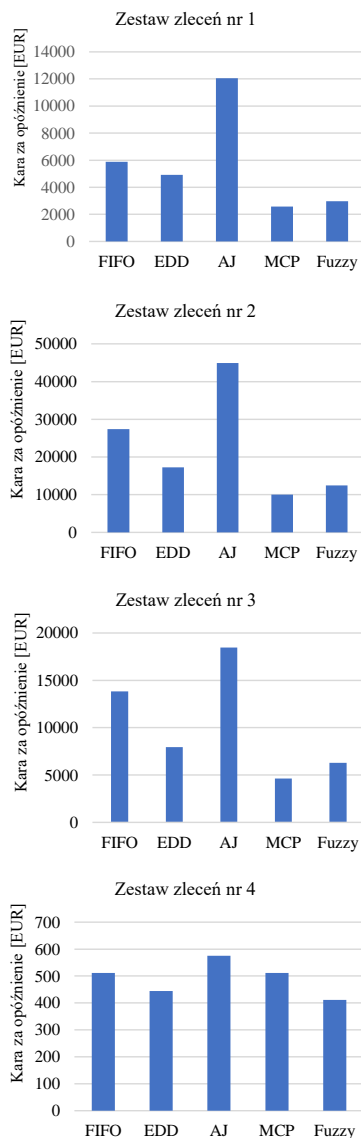


Rys. 3. Model systemu produkcyjnego wykonany w programie Plant Simulation.

Badania symulacyjne przeprowadzono z wykorzystaniem czterech zestawów zleceń produkcyjnych, w każdym zestawie znajdowało się dziesięć zleceń wraz ze zdefiniowanymi indywidualnymi wymaganymi terminami wykonania, karami za opóźnienie i czasami przebrojeń. Dane dotyczące wszystkich zestawów zleceń przedstawiono w tabeli nr 1. Przyjęto, iż czas przebrojeń jest zależny od tego, jakie zlecenie było wcześniej obrabiane na maszynie. Dla każdego zestawu zleceń przygotowano tabelę przebrojeń, która definiuje czasy przebrojeń w zależności od kolejności zleceń przekazywanych do produkcji. Dla przykładu w tabeli 2 przedstawiono czasy przebrojeń dla zestawu zleceń nr 1. Zgodnie z danymi zawartymi w tej tabeli, jeżeli jako pierwsze będzie wykonywane zlecenie nr 1, to czas przebrojenia maszyny M1 w celu realizacji zlecenia nr 2 wynosić będzie 10 min. Jeżeli natomiast jako pierwsze będzie wykonywane zlecenie nr 5, to czas przebrojenia maszyny M1 potrzebny do realizacji zlecenia nr 7 będzie wynosił 25 min. Zróżnicowanie czasów przebrojeń w zależności od kolejności wykonywanych zleceń pozwala na uwzględnienie różnych zakresów prac koniecznych do przygotowania maszyny do wykonania różnych serii przedmiotów. Przyjęto, iż zlecenia zawarte w zestawie nr 4 nie potrzebują przebrojeń (dla każdego zlecenia czas przebrojeń wynosi 0 s.).

Na rys. 4 porównano wpływ różnych reguł szeregujących zlecenia na kwotę jaką należałoby zapłacić za opóźnione wykonanie zleceń. W przypadku zestawu nr 4, gdzie nie występował czas przebrojeń, najkorzyst-

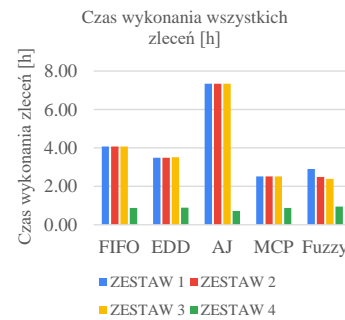
niejszą metodą szeregowania zleceń okazała się metoda polegająca na zastosowaniu opracowanego algorytmu wnioskowania rozmytego (sterownik logiki rozmytej „Fuzzy”). W przypadku zestawów 1, 2 i 3 regułą pozwalającą na uszeregowanie zleceń z najmniejszą karą za opóźnienie jest reguła szeregująca zlecenia według minimalnego czasu przebrojenia. Szeregowanie zleceń za pomocą opracowanego algorytmu szeregujący zlecenia z wykorzystaniem wnioskowania rozmytego pozwoliło na uzyskanie bardzo zbliżonego wyniku. W przypadku poszukiwania optymalnego uszeregowania ze względu na koszty opóźnienia stosowanie algorytmu Johnsona generuje najgorsze rozwiązania i największe kary za opóźnienia. Związane to jest z tym, iż algorytm Johnsona pozwala na znalezienie optymalnego uszeregowania zleceń produkcyjnych, ale tylko ze względu na całkowity czas realizacji wszystkich zleceń i tylko w przypadku braku czasów przebrojeń.



Rys. 4. Porównanie efektywności reguł ze względu na karę za opóźnienie.

Na rys. 5 przedstawiono wpływ różnych reguł szeregujących zlecenia (FIFO, EDD, Algorytm Johnsona

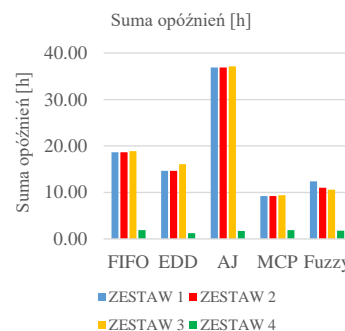
(AJ), Minimalny czas przebrojenia (MCP), Fuzzy) na całkowity czas wykonania wszystkich zleceń.



Rys. 5. Porównanie efektywności reguł ze względu na czas wykonywania wszystkich zleceń.

W zestawie nr 4, w którym nie było czasu przebrojeń, najlepszy okazał się algorytm Johnsona. W pozostałych zestawach, w których występowały czasy przebrojeń, najlepsze wyniki uzyskano stosując regułę minimalnego czasu przebrojenia lub algorytm ze sterownikiem Fuzzy Logic. Na przykład w zestawie nr 3 najkrótszy czas obróbki uzyskano stosując regułę „Fuzzy” ( $T_c = 2,38$  h), natomiast reguła minimalnego czasu przebrojenia spowodowała uzyskanie nieco dłuższego czasu wykonania ( $T_c = 2,51$  h).

Rysunek 6 przedstawia wyniki szeregowania zleceń pod kątem sumy opóźnień. W przypadkach, gdy realizacja zleceń wymaga przebrojeń (zestawy nr 1, 2, 3), bardzo dobrze działa reguła „minimalnego czasu przebrojenia” oraz reguła ze sterownikiem Fuzzy Logic. W przypadku braku przebrojeń najlepsze wyniki uzyskano przy zastosowaniu reguły EDD, polegającej na szeregowaniu zleceń zgodnie z ich terminem wykonania (suma opóźnień wyniosła tylko 1,26 h).



Rys. 6. Porównanie efektywności reguł ze względu na sumę opóźnień.

## 5. Wnioski

Prawidłowe uszeregowanie zleceń produkcyjnych pozwala na znaczne obniżenie czasów opóźnień wykonania poszczególnych zleceń oraz związanych z tym kosztów. W artykule przedstawiono sposób budowy oraz działanie algorytmu pozwalającego na wykorzystanie do szeregowania zleceń produkcyjnych sterownika bazującego na logice rozmytej. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano, że największą skuteczność opracowa-

ny algorytm wykazuje w przypadku, gdy wytwarzanie poszczególnych zleceń nie wymaga zastosowania przebrojeń. W przypadku, gdy występują czasy przebrojenia, proponowany algorytm ustępuje regule „minimalnego czasu przebrojenia”. Jest to szczególnie widoczne w przypadkach, gdy czasy przebrojenia są znacznie dłuższe niż czasy maszynowe. Proponowany algorytm odznacza się dużą elastycznością. We wszystkich analizowanych przypadkach efektywność jego działania przewyższała działanie reguł FIFO, EDD oraz algorytmu Johnsona. W ramach dalszych badań planowane jest rozbudowanie bazy reguł lingwistycznych w celu poprawy działania proponowanego algorytmu w przypadku występowania długich czasów przebrojeń oraz zastosowania predykcji parametrów nowych zleceń produkcyjnych.

*Prezentowane badania były wspierane przez projekt Szkoła Orłów ZUT, koordynowany przez dr. hab. inż. Piotra Sulikowskiego, prof. ZUT w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki (Grant nr MNiSW/2019/391/DIR/KH, POWR.03.01.00-00- P015/18), współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego, kwota dofinansowania 2.634.975,00 zł.s*

## Literatura

- [1] Gola A., Jasiulewicz-Kaczmarek M., *Maintenance 4.0. Technologies for Sustainable Manufacturing – an Overview*, IFAC-PapersOnLine, 52, 10, 91–96, 2019.
- [2] Jarczoch A., Skobiej B., *Zastosowanie algorytmu wsadowego do szeregowania zadań produkcyjnych*, Podstawy Foundations of Computing and Decision Sciences, 36, 3–4, 207–217, 2011.
- [3] Jarczoch A., Marczak W., Skobiej B., *Zastosowanie logiki rozmytej w monitorowaniu stabilności procesu produkcyjnego*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, s. 391–404, 2019.
- [4] Krystek J., Kozik M., *Analiza działania systemu gniazdowego z uwzględnieniem transportu i czasów przebrojeń*, Automatyka 2009, 13, 391–400, 2009.
- [5] Kujawińska A., Żywicki K., Hamrol A., Pająk E., *System sterowania przepływem i jakością produkcji*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 28, 2, 95–106, 2008.
- [6] Nahavandi S., Solomona P., *Application of Fuzzy Logic to Shopfloor Scheduling*, Proceedings, Second New Zealand International Two-Stream Conference on Artificial Neural Networks and Expert Systems, s. 365–368, 1995.
- [7] Nouroz Islam M., *Fuzzy optimisation of multi-objective job shop scheduling based on inventory information*, Int. J. Services and Operations Management, 15, 2, 2013.
- [8] Oke S.A., Charles-Owaba O.E., *Application of fuzzy logic control model to Gantt charting preventive maintenance scheduling*, International Journal of Quality & Reliability Management, 23, 4, 441–459, 2006.
- [9] Skołod B., Wosik I., *Algorytmy immunologiczne w szeregowaniu zadań produkcyjnych*, Zarządzanie Przedsiębiorstwem, 11, 1, 47–56, 2008.
- [10] Wang Z.-Y., Lu C., *An integrated job shop scheduling and assembly sequence planning approach for discrete manufacturing*, Journal of Manufacturing Systems, 61, 27–44, 2021.
- [11] Zemczak M., Krenczyk D., *Koncepcja szeregowania zleceń produkcyjnych dla systemu produkcji wielowersyjnej i wieloasortymentowej*, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, pp. 34–40, 2011.