

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI, INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ**

Praca dyplomowa

*Opracowanie heurystyk do optymalizacji problemów dyskretnych z wieloma ograniczeniami*

*Metaheuristics for multi-constrain discrete optimization problems*

Autor: *Maciej Morgalla*

Kierunek studiów: Automatyka i Robotyka

Opiekun pracy: *dr hab. inż. Wojciech Chmiel*

Kraków, 2023

# Spis treści

# 1.Wstęp

## 1.1. Wprowadzenie

Rozwój cywilizacji i napędzający ją postęp technologiczny stwarza każdemu człowiekowi szansę, na życie lepsze niż życie jego przodków. Postępująca industrializacja i mechanizacja, a w ostatnim czasie automatyzacja procesów produkcyjnych pozwoliła na zaoszczędzenie materiałów, czasu, energii i pieniędzy przy produkcji wyrobów znanych od dekad, oraz na wytwarzanie zupełnie nowych, o wyższej złożoności, jak na przykład mikroprocesory. Niestety przy tej okazji należy podkreślić, że często obniżenie kosztów produkcji towarzyszy obniżeniu jakości towarów. Kiedyś produkty AGD były droższe i produkowane w mniejszej ilości, ale jednocześnie były bardziej trwałe niż te produkowane w dzisiejszych czasach. Być może należałoby podnieść jakość obecnie produkowanych urządzeń, a ich ceny zmniejszać poszukując innych sposobów.

Proces produkcyjny zazwyczaj składa się choć z kilku operacji, które wykonuje się w określonym czasie, miejscu i kroku produkcji. Wobec tego usprawnienie przebiegu produkcji mogłoby ograniczyć znacząco czas, koszty, straty energii i inne jego parametry. Nie jest to jednak łatwe, szczególnie w przypadku dużej elastyczności parku maszynowego i dużej ilości procesów.

## 1.2. Cel i zakres pracy

# 2. Rozważany problem i metody jego rozwiązania

## 2.1. Produkcja i jej ograniczenia

## 2.2. Metody optymalizacji produkcji

# 3. Opis przyjętego modelu matematycznego

## 3.1. Procesy

Kluczowym elementem stworzonego modelu matematycznego jest proces produkcyjny. W celu wytworzenia danego produktu lub półproduktu konieczne jest przeprowadzenie odpowiedniego procesu przez wszystkie jego kroki. Wobec tego, kiedy fabryka otrzymuje zamówienie na określone towary, bądź konieczne jest uzupełnienie asortymentu, zleca się wykonanie określonych procesów.

Każdy proces ma inny charakter, gdyż jego wynikiem jest wyprodukowanie innego towaru. Mogą się składać z zaledwie kilku operacji, jak również z kilkunastu czy nawet kilkudziesięciu, w przypadku bardzo skomplikowanych procesów. Czyni to każdy z nich unikalnym. Dlatego niektóre procesy mogą być wykonywane przez nieskończenie długi czas, gdyż upływ czasu nie wpływa na jakość produktów. Niektóre jednak, jak na przykład procesy, w których kluczową rolę odgrywa obróbka cieplna, muszą zostać wykonane w skończonym czasie.

Sam proces składa się z określonej liczby operacji wykonywanych w ściśle określonym porządku. Większość informacji o operacjach znajduje się w kolejnym podrozdziale. Przy okazji procesów należy jednak podkreślić, że w niektórych przypadkach wymagane jest wykonanie operacji przed lub po pewnym czasie od zakończenia poprzedniej operacji. Może to być czas potrzebny np. na ostudzenie półproduktu, bądź czas, w którym półprodukt zachowuje jeszcze swoje właściwości potrzebne w kolejnej operacji, czy też jakość półproduktu nie pogarsza się. Zachowanie limitów czasowych może być kluczowe w produkcji, dlatego należy zawsze spełniać takie wymogi czasowe, gdyż ich niedotrzymanie może skutkować stworzeniem towaru o niewystarczającej jakości, niespełniających wymogów właściwościach lub mającego złe parametry.

Ze względu na różne właściwości procesów tj. ich długość trwania, miejsce w strategii firmy, odbiorca itp. mogą one posiadać określony priorytet, który odzwierciedla ich ważność wobec innych procesów. Jeśli proces posiada wyższy priorytet od innych, powinien zgodnie z założeniami zostać wykonany w pierwszej kolejności. Tutaj jednakże należy zwrócić również uwagę na to, że symulowana produkcja posiada w założeniach ograniczenie czasowe wynoszące jedną dobę. Zakłada się bowiem, iż zleca się wykonanie tylko tych procesów, które muszą zostać wykonane w danym dniu. Dlatego zachowanie priorytetu nie należy do najważniejszych determinant rozwiązania końcowego. Mimo to może być okolicznością zbliżającą rozwiązanie do perfekcyjnego.

## 3.2. Operacje

Jak już zostało wspomniane w poprzednim podrozdziale, pojedyncza operacja stanowi część procesu. Tak jak wynikiem procesu jest wytworzenie danego produktu lub półproduktu, tak wynikiem wykonania operacji jest półprodukt o określonej strukturze i określonych właściwościach. Przykładem operacji może być nalewanie soku do butelek, czy też podgrzewanie cieczy do określonej temperatury

Kluczowym parametrem wykonywania operacji jest czas. O ile ważne jest wspomniane w poprzednim rozdziale zachowanie przedziałów czasowych pomiędzy operacjami, tak i same operacje wykonywane są w danym czasie. Ze względów praktycznych czas może się różnić w zależności od maszyny czy też stanowiska, na którym jest wykonywana. Wiąże się to z różnymi właściwościami maszyn (na przykład mocą), poziomem doświadczenia pracowników itp.. Więcej na ten temat znajduje się w kolejnym podrozdziale.

Każda operacja potrzebuje do wykonania określony produkt lub półprodukt (czasem w liczbie mnogiej), zaś po jej wykonaniu otrzymuje się inne, wymagane w kolejnych operacjach. Dlatego niezwykle ważnym elementem symulowania procesu produkcji jest sprawdzanie ciągłości dostaw określonych surowców w odpowiedniej ilości. Jednakże sposób wytwarzania nowych produktów może mieć dwa scenariusze. W pierwszym scenariuszu wszystkie produkty operacji są gotowe do dalszego użycia dopiero w momencie zakończenia operacji. Przykładem takiej operacji może być wspomniane wcześniej podgrzewanie cieczy. Przy odpowiednim mieszaniu temperatura powinna osiągnąć zadaną wartość w całym naczyniu dopiero po upływie pewnego czasu. Nawet jednak jeśli weźmie się pod uwagę nierównomierne nagrzewanie się cieczy, to oddzielenie cieczy o mniejszej temperaturze od tej o odpowiedniej temperaturze w dużej większości przypadków jest niemożliwe, a w dodatku nie zapewnia, że nie zostanie pobrana niegotowa doza. Jednakże w drugim scenariuszu pewna ilość produktów jest gotowa do dalszej obróbki jeszcze podczas trwania operacji. Doskonałym przykładem takich operacji są działania wykonywane na taśmach produkcyjnych, gdzie gotowe produkty zjeżdżają co określony czas. Stworzony model matematyczny zapewnia ustawienie nieregularnego wypuszczania produktów, co pozwala na symulowanie produkcji nie opierających się na maszynach, a na stanowiskach, obsługiwanych przez pracowników, oraz na dowolne pobieranie gotowych produktów niezależnie od produkcji.

Dodatkowo do modelu matematycznego zaimplementowana została możliwość pauzowania wykonywania operacji. Jednakże jej używanie jest niepraktyczne z powodu wykorzystywanych algorytmów, bowiem algorytm Johnsona opiera się w tym przypadku na przydzielaniu operacji do maszyn w odpowiednim czasie i kolejności, bez uwzględniania przerw, zaś algorytm genetyczny opiera się na harmonogramowaniu operacji i przerw w działaniu pomiędzy operacjami. Dodanie możliwości pauzowania pozwoliłoby na ogromny bałagan w potencjalnych rozwiązaniach i choć zapewne dążyłoby do optymalnych obszarów, to utrudniałoby poszukiwanie, nie mówiąc już o ich utracie przy korzystaniu z algorytmu Johnsona.

## 3.3. Maszyny

Choć operacja i jej właściwości są niezwykle ważne w kontekście poszukiwania rozwiązań problemu, to jednak dużo istotniejsze są obsługujące je maszyny. Pod pojęciem maszyny kryje się wiele sposobów przetwarzania produktów, od stacji roboczej, na której obróbkę wykonują pracownicy ludzcy, przez zautomatyzowane stanowiska, aż po produkcję taśmową. Z uwagi na tak dużą różnorodność, na potrzeby tej pracy, używa się tylko ogólnego nazewnictwa.

Maszyny mogą różnić się między sobą, chociażby wykonywalnymi operacjami. Proces toczenia czy gwintowania byłby niemożliwy do zrealizowania na stanowisku przystosowanym tylko do malowania. Dlatego każda maszyna posiada swój własny zbiór operacji, które jest w stanie wykonać. Ponadto czas wykonywania tej samej operacji na dwóch różnych maszynach może się różnić. Powodem takiego stanu rzeczy może być różnica w konstrukcji maszyn, czy też doświadczenia kadry pracowniczej. Wobec tego możliwe jest optymalizowanie czasu produkcji, poprzez przydzielanie operacji do maszyn, które wykonują ją najszybciej. Jednocześnie pojawia się zagrożenie, bowiem może istnieć jedna supermaszyna, która może wykonać wszystkie operacje i w dodatku w najkrótszym czasie. Jednakże wykonanie wszystkich operacji może zająć jej więcej czasu, niż gdyby niektóre operacje przejęły inne maszyny. To daje duże pole manewru dla algorytmów.

Inną właściwością maszyn może być konieczność jej przekalibrowania, w momencie zakończenia operacji jednego typu, w celu wykonania kolejnej operacji, drugiego typu. Przykładem może być maszyna nalewająca soki do kartonów. Oczywiste jest, że gdy zmienia się nalewany sok z jabłkowego na porzeczkowy, konieczna jest zmiana opakowań, do których nalewa się soki, oraz oczyszczenie maszyny z resztek poprzedniego soku. Czas ten może się znacząco różnić nawet przy wyjściu z jednej operacji, gdyż następujące operacje mogą posiadać zupełnie inny charakter.

## 3.4. Poszczególne moduły, a obliczenia symulacji

Model matematyczny, zbudowany z wymienionych i opisanych wyżej modułów, jest niemalże gotowy do symulacji. Dokonuje się tego poprzez obliczanie

# 4. Stosowane algorytmy

## 4.1. Algorytm genetyczny

## 4.2. Schemat działania algorytmu genetycznego

## 4.3. Algorytm Johnsona

## 4.4. Wykorzystanie algorytmu Johnsona

## 4.5. Utworzone heurystyki

# 5. Opis aplikacji

## 5.1. Środowisko programistyczne

## 5.2. Proces powstawania i testowania kodu

# 6. Wybrane scenariusze testowe

## 6.1. Scenariusz 1

# 7. Podsumowanie

# 8. Bibliografia