

Dr inż. Radosław WINICZENKO
Wydział Inżynierii Produkcji, SGGW w Warszawie
Mgr inż. Łukasz PIASECKI
Okręgowa Spółdzielnia Mleczarska (OSM Piątnica)

OPTYMALIZACJA PRACY PAKOWARKI AMPACK AMMANN MODEL AD8/42 ZA POMOCĄ ALGORYTMU EWOLUCYJNEGO®

W artykule przedstawiono optymalizację pracy pakowarki Ampack Ammann model AD8/2 za pomocą algorytmu ewolucyjnego. Celem optymalizacji było znalezienie takiej wydajności maszyny, dla której liczba i czasy przestojów oraz liczba awarii pakowarki byłyby minimalne.

WPROWADZENIE

Pojęcie „optymalizacja” spotkać można w większości nowoczesnych czasopism inżynierskich, ekonomicznych, matematycznych, fizycznych, medycznych, z zakresu zarządzania czy nauk społecznych. W czasie ostatnich lat znaczenie optymalizacji wzrosło jeszcze bardziej. Wiele zadań kombinatorycznych o dużej skali czy zadań inżynierskich z wieloma ograniczeniami można obecnie rozwiązać za pomocą odpowiednich programów tylko w sposób przybliżony. Optymalizacja jest również jednym z głównych obszarów zastosowań algorytmów ewolucyjnych, które zalicza się do klasy algorytmów probabilistycznych, łączących zarówno elementy przeszukiwania bezpośredniego i stochastycznego [9].

Celem artykułu jest prezentacja optymalizacji pracy pakowarki Ampack Ammann za pomocą algorytmów ewolucyjnych.

SPECYFIKACJA TECHNICZNA PAKOWARKI

Pakowarka Ampack Ammann model AD8/2 została wyprodukowana w 2007 roku i jest na wyposażeniu zakładu OSM Piątnica, specjalizującego się w produkcji mleczarskiej. Urządzenie zajmuje się pakowaniem następujących produktów mleczarskich:

- sera typu Cottage,
- niskotłuszczowego twarogu,
- owocowego twarogu,
- tłustego twarogu,
- jogurtu.

Parametry techniczne pracy pakowarki:

- masa równa 1300 kg,
- ciśnienie pracy w zakresach: minimalne od 0,6 MPa oraz maksymalne równe 1,0 MPa,
- napięcie elektryczne podczas produkcji produktów wynosi 230/400 V o częstotliwości 50 HZ,
- hałas urządzenia podczas jego pracy równy 70 dB.

Maszyna pakuje produkty o następujących pojemnościach: 175 ml, 230 ml oraz 500 ml. Produkt może być napełniany od pojemności 100 ml do 525 ml do jednego opakowania. Zdjęcie pakowarki przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Pakowarka Ampack Ammann model AD8/2 podczas transportu.

Źródło: Fotografia własna.

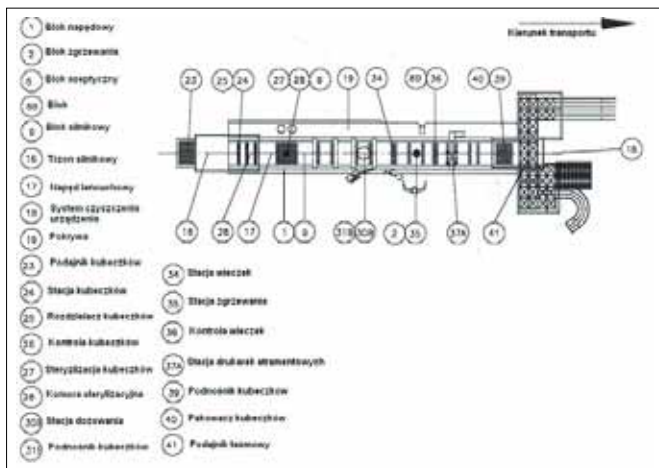
Wydajność pakowarki wynosi od 1 do 40 opakowań na minutę, w zależności od zawartości tłuszczów i wielkości granulek zawartych w pakowanym produkcie. Wydajność maksymalna maszyny wynosi 40 opakowań na minutę, co pozwala na zapakowanie 38 400 kubeczków produktu na godzinę.

Dla produktu twarogowego o maksymalnej wielkości granulek równej 12 mm i zawartości 5 % tłuszczu w produkcie, wydajność maszyny wynosi 38 sztuk na minutę. Daje to 36470 kubków na godzinę. Przy zawartości 3 % tłuszczu oraz maksymalnej wielkości granulek 18 mm wydajność maszyny może wynosić maksymalnie 37 sztuk opakowań na minutę. Dla tej wydajności przez godzinę produktem może być napełnionych 35 520 kubków. Dokładność dozowania produktu do kubeczka wynosi ± 2 g.

Pakowarka sterowana jest z panela operatora. Operator w czasie pracy ma przed sobą monitor, na którym określa parametry pracy pakowarki, a z tyłu panel służący do obserwowania i raportowania produkcji. Monitor operatora służy do określenia parametrów pracy pakowarki, poprzez ich ciągłą obserwację i zmianę w czasie pracy maszyny. Głównymi parametrami, które można regulować są: zmiana wydajności maszyny, ilość podawanego produktu, ilość pakowanego produktu, temperatura powietrza sterylnego (służy do sterylizacji kubeczków). Z kolei panel do raportowania produkcji za plecami operatora umożliwia szybki dostęp do informacji na temat ilości wyprodukowanego produktu, możliwych przestojów, awarii oraz kolejności zadań do wykonania.

OPIS PRACY PAKOWARKI

Pakowarka napelnia wybranym produktem opakowanie np. pakowanie sera typu cottage. Przebieg procesu pakowania dla sekcji przedstawiono zgodnie z kierunkiem transportu na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat jednej sekcji pakowarki AD8/2.

Źródło: Opracowanie własne.

Proces pakowania zaczyna się od podajnika kubeczków 23, skąd puste kubeczki rozpoczynają swoją drogę. Następnie transportowane są do sekcji kubeczków, gdzie są sprawdzane, myte, dezynfekowane i sterylizowane. W dalszym etapie trafiają do sekcji dozującej, gdzie są napełniane odpowiednią ilością produktu. Następnie są one podnoszone (ważone) po czym trafiają do sekcji wieczek. W sekcji tej naklejane są wieczka (zgrzewane) oraz naklejane są etykiety na kubeczki. Następnie trafiają do sekcji drukarek atramentowych, gdzie jest drukowana informacja o produkcie: data produkcji oraz data maksymalnego terminu do spożycia. Kubeczki wypełnione produktem, z naklejonym wieczkiem transportowane są podajnikiem do kartonów.

GŁÓWNE AWARIE PAKOWARKI ORAZ PRZYCZYNY ICH WYSTĘPOWANIA

Pakowarka jak każde urządzenie ulega awariom. Awaryje mogą wynikać z konstrukcji pakowarki, mogą być spowodowane nieprawidłową obsługą lub wynikać z czynników

losowych. W tabeli 1 przedstawiono zestawione w grupy wybrane rodzaje awarii.

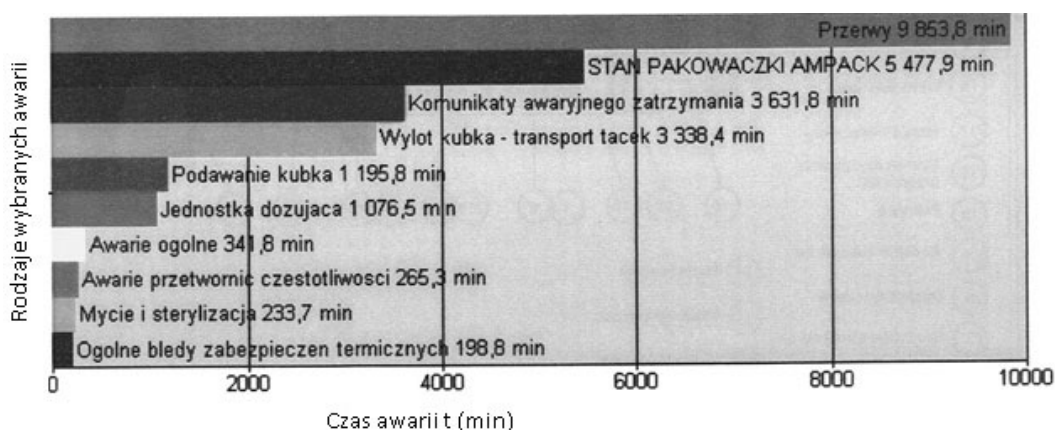
Ogólnie w ciągu miesiąca podczas pracy maszyny, przy wydajności 16 sztuk produktów na minutę wystąpiło 25867,8 min awarii i przestojów, (tj. 431h. tj. ok. 18 dni-przy pracy 24h/dobę) z czego 9853,8 min trwały przerwy związane z przestojami produkcyjnymi, przezbrajaniem maszyny, brakiem produktu w sekcji dozującej. Ponadto występują przerwy związane z przekazaniem zmiany, przerwy na przeglądy konserwacyjne, przestawienie asortymentu oraz przerwy na przygotowanie asortymentu do mycia i pakowania. Sam proces mycia i sterylizacji wliczony w ogólny czas przestojów trwał 233,7 minut. Stan pakowarki Ampack ujęty w Tabeli 1 obejmował czasy mycia, przestojów przejściowych oraz czasów sterylizacji, które zajęły 5 477,9 minut w ciągu miesiąca. Przy czym awarie produkcyjne (o których mowa poniżej) trwały 10 079 minut, co daje prawie 168 godzin przerw w pracy w miesiącu. Jest to zbyt duża ilość przerw, którą należałoby zmniejszyć.

Jak już wcześniej wspomniano, awaryje można pogrupować na wynikające bezpośrednio z przyczyn ludzkich, wynikające z konstrukcji maszyny i losowe. Błędy wynikające z przyczyn ludzkich można zminimalizować poprzez kontrolę i lepsze wyszkolenie pracowników, a liczbę awarii wynikających z przyczyn konstrukcyjnych maszyny zmniejszyć poprzez doskonalenie konstrukcji maszyny. Najtrudniej jest zmniejszyć liczbę awarii spowodowanych czynnikami losowymi.

Do najczęstszych awarii produkcyjnych należy zaliczyć:

- awarie ogólne:
 - błąd synchronizacji wypychacza,
 - błąd synchronizacji podnośnika ssawek kubka,
 - nie otwarcie hamulca łańcucha,
- awarie przetwornic częstotliwości,
- awarie zaworu ciśnienia,
- ogólne błędy drukarki,
- awaryjne jednostki dozującej,
- błędy serwołoka dozownika głównego,
- komunikaty awaryjnego zatrzymania drzwi podajnika wejściowego i wyjściowego, drzwi kłapki zgrzewania, drzwi drukarki, drzwi operatora oraz inne.

Tabela 1. Zestawienie poszczególnych awarii w okresie: 26.05.2009 do 26.06.2009



Źródło: Opracowanie własne.

SFORMUŁOWANIE FUNKCJI CELU

Funkcja celu (z ang. fitness function) zwana również funkcją dopasowania, w rozważanym zagadnieniu, jest matematycznym przedstawieniem problemu optymalizacji wydajności pakowarki oraz najważniejszym elementem algorytmu, gdyż od jej postaci będzie zależał końcowy efekt działania algorytmu ewolucyjnego.

Podstawowym parametrem, podczas pracy pakowarki jest jej wydajność, którą wyraża się liczbą wyprodukowanych wyrobów na jednostkę czasu. Urządzenie w ciągu minuty napelnia 36 opakowań produktu. Jedno opakowanie przy analizowanej produkcji zawiera 16 kubeczków. Do sformułowania funkcji celu brano pod uwagę czas trwania awarii przy danej wydajności maszyny, ilość wyprodukowanego asortymentu oraz czas bezawaryjnej pracy pakowarki. Zestawienie wszystkich danych o awariach potrzebnych do stworzenia funkcji celu przedstawiono w tabeli 2.

Aproksymując dane za pomocą funkcji Fishera w programie Statistica 7.0 uzyskano linię trendu przedstawioną wzorem (1).

$$F_1(x) = -484.1x^2 + 34294x - 58825 \quad (1)$$

gdzie:

x - wydajność pakowarki [szt/min],

$F_1(x)$ - czas pracy pakowarki [min].

Następnym etapem w formułowaniu funkcji celu było uwzględnienie łącznych czasów trwania awarii i przestojów przy danej wydajności pakowarki. W wyniku aproksymacji uzyskano linię trendu przedstawioną wzorem (2).

$$F_2(x) = 791x^{0.979} \quad (2)$$

gdzie:

x - wydajność pakowarki [szt/min],

$F_2(x)$ - czas pracy pakowarki [min].

Zsumowanie wzorów (1) i (2) pozwoliło na wygenerowanie funkcji celu optymalizowanego zagadnienia (wzór (3)), na podstawie której dokonuje się oceny przystosowania badanych osobników (rozwiązań) w każdym pokoleniu za pomocą algorytmów ewolucyjnych:

$$F(x) = -484.1x^2 + 34294x - 58825 + 791x^{0.979} \quad (3)$$

gdzie:

x - wydajność pakowarki [szt/min],

$F(x)$ -wartość funkcji celu [min].

ZASTOSOWANIE ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH JAKO NARZĘDZIA W OPTYMALIZACJI WYDAJNOŚCI PAKOWARKI AMPACK AMMANN AD8/2

Do optymalizacji pracy pakowarki wykorzystano algorytmy ewolucyjne, które cechuje duża uniwersalność oraz prostota procedur przeszukiwań „najlepszych rozwiązań” przy użyciu metody stochastycznej [2, 13, 14]. Algorytmy te zdobywają coraz szersze obszary zastosowań w środowiskach naukowych, inżynierskich i w kręgach biznesu. Algorytmy ewolucyjne stosuje się głównie w programowaniu komputerów, zagadnieniach optymalizacyjnych [10, 15-19], prognozowaniu, analizie obrazu, klasyfikowaniu obiektów oraz innych dziedzinach zarządzania i produkcji [4, 7, 8, 11]. Mogą one współpracować z innymi metodami sztucznej inteligencji, na przykład: sztucznymi sieciami neuronowymi (ang. *artificial neural network*) [5], systemami rozmytymi (*fuzzy system*) [6] oraz coraz częściej metodami eksploracji danych (ang. *data mining*) [3], tworząc z nimi hybrydowe metody obliczeniowe.

Algorytm ewolucyjny jest algorytmem probabilistycznym, który w danym pokoleniu t zarządza ściśle określoną populacją osobników $P(t) = \{ch_1(t), ch_2(t), \dots, ch_N(t)\}$. [1, 9, 12]. Każdy osobnik $ch_i(t)$ stanowi pewną strukturę danych S i reprezentuje potencjalne rozwiązanie danego problemu. Strukturę klasycznego algorytmu ewolucyjnego można przedstawić następująco:

```

Algorytm ewolucyjny
begin
  t:=0
  Utworzenie P(t)
  Ewaluacja P(t)
  while not (warunek zatrzymania ewolucji) do
  begin
    t:=t+1
    Selekcja P(t) z P(t-1)
    Rekombinacja P(t)
    Ewaluacja P (t)
  end
end

```

Do optymalizacji użyto narzędzia GADS (z ang. Genetic Algorithm and Direct Search), zaimplementowanego w programie do obliczeń numerycznych Matlab w wersji 7.8.

Tabela. 2. Zestawienie danych o awariach w okresie 26.06.2009 do 01.02.2010

Okres pracy pakowarki	Wydajność [szt/min]	Liczba awarii	Czas trwania w minutach wszystkich awarii i przestojów	Liczba wyprodukowanych opakowań	Liczba minut pracy pakowarki
od 01.01.2010 do 01.02.2010	34	12 773	25 199	615 135	18 092
od 26.05.2009 do 26.06.2009	36	13 214	25 868	680 519	18 903
od 01.10.2009 do 01.11.2009	37	13 659	27 593	660 691	17 856

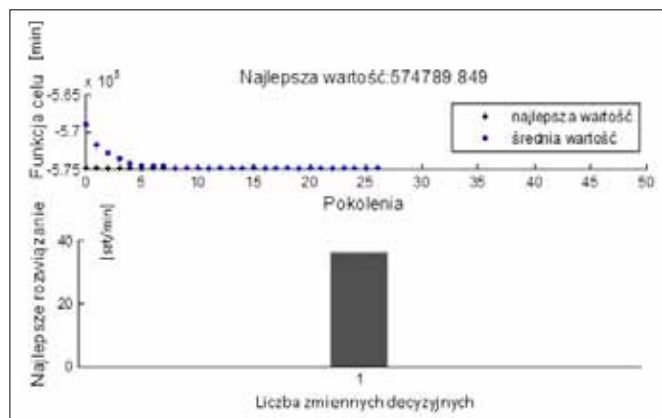
Źródło: Opracowanie własne.

Do optymalizacji użyto następujących parametrów algorytmów genetycznych:

- rozmiar populacji równy 50 osobników,
- liczba generacji równa 100,
- selekcja metodą turniejową,
- prawdopodobieństwo krzyżowania $p_k=0.8$,
- krzyżowanie jednopunktowe,
- prawdopodobieństwo mutacji $p_m=0.077$

Powyższe parametry algorytmu genetycznego zostały dobrane na podstawie wcześniejszych badań i przeglądu literatury.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki średniej wartości funkcji przystosowania uzyskane za pomocą algorytmu ewolucyjnego. Kolorem niebieskim oznaczono średnie a kolorem czarnym najlepsze wartości funkcji przystosowania w poszczególnych iteracjach działania algorytmu. W wyniku przeprowadzonych badań numerycznych za pomocą algorytmów ewolucyjnych najmniejsza wartość funkcji przystosowania wyniosła $f(x)_{\min}=574789.84$. Uzyskana została ona przy wydajności pakowarki 36 sztuk na minutę.



Rys. 3. Wyniki średniej wartości funkcji przystosowania uzyskanej za pomocą algorytmu ewolucyjnego.

Źródło: Opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano proces optymalizacji wydajności pakowarki Ampack Ammann typu AD8/2 za pomocą algorytmów ewolucyjnych. Na podstawie przeprowadzonej optymalizacji za pomocą algorytmu ewolucyjnego można stwierdzić, że maksymalna wydajność pakowarki może wynosić 36 sztuk opakowań dla ustalonej produkcji serka typu Cottage.

Wyniki przeprowadzonej symulacji komputerowej wskazują, iż uzyskana wydajność mieści się w zakresie ustalonym przez pracowników zakładu metodą prób i błędów (34-36 [sztuk/min]). Zatem algorytmy ewolucyjne okazały się skutecznym narzędziem optymalizacji w niniejszym zagadnieniu.

LITERATURA

- [1] ARABAS J. 2001. Wykłady z algorytmów ewolucyjnych, Warszawa, WNT.
- [2] COLEY D. 1999. *An introduction to genetic algorithms for scientists engineers*. Word Scientific, Singapore.

- [3] COX E. 2005. *Fuzzy Modeling and Genetic Algorithms for Data Mining and Exploration*. Elsevier, San Francisco.
- [4] CYTOWSKI J. 1996. Algorytmy genetyczne: podstawy i zastosowania, Warszawa, PLJ.
- [5] GEN M., CHENG R. 2000. *Genetic Algorithm and Engineering Optimization*, John Wiley & Sons, Inc.
- [6] GEN M., CHENG R., LIN L. 2008. *Network Models and Optimization*. Multiobjective Genetic Algorithm Approach, Springer.
- [7] GOLBERG D.E. 1998. Algorytmy genetyczne i ich zastosowanie, Warszawa, WNT.
- [8] KNOSALA R. 2002. Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji. Warszawa, WNT.
- [9] MICHAŁEWIC Z. 1999. Algorytmy genetyczne + Struktura danych = Programy ewolucyjne, Warszawa, WNT.
- [10] OSTANIN A. 2007. Informatyka z Matlabem, Rozprawy Naukowe Nr 147, Białystok.
- [11] PIASECKI Ł. 2011. Optymalizacja produkcji spożywczej za pomocą algorytmu ewolucyjnego, Praca magisterska, WIP, SGGW, Warszawa.
- [12] RUTKOWSKA D., RUTKOWSKI L., PILIŃSKI M. 1999. Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [13] SIVANANDAN S., DEEPA S. 2008. *Introduction to Genetic Algorithms*, Springer.
- [14] SPEARS W. 2000. *Evolutionary Algorithms. The Role of Mutation and Recombination*, Springer, Germany.
- [15] WINICZENKO R. 2008. *Algorytmy genetyczne i ich zastosowania*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, Nr 1, 107-110.
- [16] WINICZENKO R. 2008. *Zastosowanie algorytmów genetycznych w problemie diety*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, Nr 2.
- [17] WINICZENKO R. 2008. *Optymalizacja parametrów zgrzewania tarcowego za pomocą algorytmów genetycznych*. Inżynieria Rolnicza 2(100).
- [18] WINICZENKO R. 2009. *Zastosowanie algorytmów genetycznych w nieliniowym zagadnieniu transportowym*. Gospodarka Materiałowa i Logistyka Nr 6, PWE.
- [19] WINICZENKO R. 2009. *Optimization of friction welding parameters with the use of simulated annealing*. Annals of Warsaw University of Life Sciences, No 54.

OPTIMIZATION OF PACKAGER AMPACK AMMANN TYPE AD8/42 USING EVOLUTIONARY ALGORITHM

SUMMARY

The optimization of packager AMPACK Ammann Model AD8/2 using an evolutionary algorithm was conducted. The aim of optimization was to find the productivity of the machine for which the number and time of work stoppage and number of damages were minimal.