

# ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA WYBRANYCH METOD SZEREGOWANIA ZADAŃ W ROLNICTWIE

Adrian KNAPCZYK, Sławomir FRANCIK

**Streszczenie:** W pracy dokonano analizy możliwości zastosowania metod szeregowania zadań w rolnictwie. Zrealizowano dwa zadania badawcze: Określono stan badań naukowych dotyczących metod szeregowania zadań w zakresie dyscypliny rolnictwo, na podstawie analizy bibliograficznej. Przeanalizowano problemy decyzyjne w produkcji rolniczej w Polsce w aspekcie możliwości ich rozwiązania za pomocą metod szeregowania zadań. Wyniki przeprowadzonej analizy bibliometrycznej wykazały, że badania dotyczące wykorzystania metod szeregowania zadań w produkcji rolniczej nie były dotychczas prowadzone na szeroką skalę (opublikowano jedynie 101 prac indeksowanych w Web of Science Core Collection). Stwierdzono wzrost zainteresowania tą tematyką po 2008 roku (wzrost liczby publikacji naukowych). W przeanalizowanych publikacjach, wykorzystanie metod szeregowania dotyczyło głównie produkcji roślinnej (optymalizacja harmonogramowania pracy maszyn, nawadniania oraz zbioru roślin). Analiza problemów decyzyjnych w produkcji rolniczej wykazała możliwość ich rozwiązania za pomocą metod szeregowania zadań.

**Słowa kluczowe:** szeregowanie zadań, metody szeregowania, rolnictwo

## 1. Wstęp

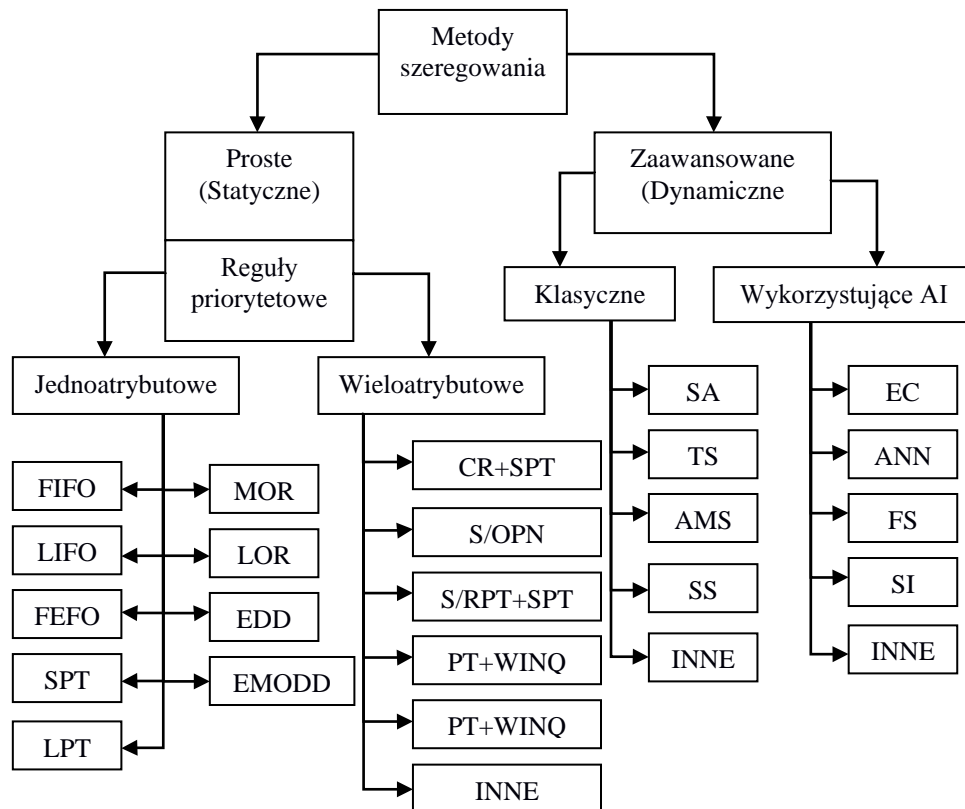
Zagadnienie szeregowania zadań jest wciąż aktualnym problemem optymalizacyjnym w wielu branżach - informatyce, wytwarzaniu, transporcie i innych. W informatyce zaawansowane algorytmy szeregowania są wykorzystywane do zoptymalizowania wykorzystania mocy obliczeniowej [1]. Współczesny przemysł z powodzeniem wykorzystuje różne metody szeregowania zadań w procesie harmonogramowania produkcji. Przeprowadzane są również symulacje, w których sprawdza się skuteczność działania poszczególnych metod [2]. Nie mniej ważnym zagadnieniem jest transport. Przykładem może być transport lotniczy, w którym to do układania harmonogramów lotniczych wymagane jest wykorzystanie modeli szeregujących [3]. W procesach logistycznych trzeba skoordynować bardzo wiele operacji, przy czym operacje obsługi magazynów są jednymi z kluczowych. Problemem jest różna data przydatności różnych partii tego samego produktu (np. data przydatności do spożycia dla produktów spożywczych). W takim przypadku metody optymalizacyjne wykorzystywane są do odpowiedniego dobierania partii produktów z różnych magazynów, tak aby wykonać zamówienie, a jednocześnie nie doprowadzić do zepsucia się produktów [4].

W rozwiązywaniu problemów szeregowania zadań wykorzystywane są różne narzędzia obliczeniowe (metody badań operacyjnych, sztucznej inteligencji i in.). Główną trudnością jest brak możliwości zaprojektowania uniwersalnego algorytmu szeregującego, który potrafiłby rozwiązać wszystkie możliwe przypadki. Wiąże się to ze specyfiką różnych branż produkcyjnych. Można zauważyć tendencję do opracowywania algorytmów szeregowania dla konkretnych grup zagadnień/problemów o podobnych cechach oraz

podobnym poziomie komplikacji. Postępowanie takie pozwala wykorzystać różne metody szeregowania dla konkretnych grup problemowych, bądź różnych fragmentów większego systemu [5].

## 2. Przegląd metod szeregowania

Problem harmonogramowania jest klasyfikowany według różnych kryteriów. Najczęściej spotykanym jest podział ze względu na rodzaj systemu produkcyjnego, w którym wyróżnia się: problem przepływowy (flow-shop), problem gniazdowy (job-shop)



Legenda: FIFO (First in first out), LIFO (Last in first out), FEFO (First expired first out), SPT (Shortest procesing time), LPT (Longest processing time), MOR (Most operations remaining), LOR (Least operations remaining), EDD (Earliest due date), EMODD (Earlies modified operational due date), CR+SPT (Critical ratio + the shortest process time), S/OPN (minimum Slack time per remaining Operation), S/RPT+SPT (Slack per remaining process time + the shortest process time), PT+WING (Process time + work in the next queue), PT+PW (Process time + wait time), SA (Simulated Annealing), TS (Tabu Search), AMS (Adaptive Memory Search), SS (Scatter Search), EC (Evolutionary Computation), ANN (Artificial Neural Networks), FS (Fuzzy Systems), SI (Swarm Intelligence)

Rys. 1. Klasyfikacja metod szeregowania zadań

oraz problem otwarty (open-shop). Problemy harmonogramowania są również klasyfikowane ze względu na zmiany procesu produkcyjnego (podział na dynamiczne

i statyczne), ze względu na analizę procesu produkcyjnego (podział na teoretyczne i praktyczne) oraz ze względu na uczestnictwo czynnika losowego (podział na deterministyczne i probabilistyczne) [6].

Odpowiedzią nauki na pojawiające się problemy harmonogramowania jest opracowywanie metod szeregowania zadań, które podlegają ciągłemu doskonaleniu (modyfikowane są metody klasyczne i opracowywane nowe). Podstawowym jest podział metod szeregowania ze względu na poziom zaawansowania, w którym możemy wyróżnić metody proste (statyczne) oraz zaawansowane (dynamiczne) - (rysunek 1).

Styczne metody szeregowania (reguły priorytetowe) wykorzystują algorytmy o skończonej liczbie kroków. Najczęściej są one wykorzystywane do mniej skomplikowanych problemów. Do ich zastosowania nie jest konieczne wykorzystanie zaawansowanych narzędzi obliczeniowych. Reguły priorytetowe są dzielone na jednoatrybutowe i wieloatrybutowe (rysunek 1).

Reguły priorytetowe działają na zasadzie nadawania poszczególnym zleceniom odpowiednich priorytetów. Następnie podczas realizacji harmonogramu wykonywane są zadania w kolejności od najwyższego do najniższego priorytetu. Najczęściej stosowane są trzy reguły jednoatrybutowe: FIFO (reguła ta realizuje jako pierwsze zadania, które weszły do procesu szeregowania jako pierwsze), LIFO (reguła ta realizuje jako pierwsze zadania, które weszły do procesu szeregowania jako ostatnie), FEFO (reguła stosowana przy występowaniu terminów ważności produktów; jako pierwsze wykonywane są zlecenia o najkrótszej dacie ważności). Pozostałe reguły jednoatrybutowe cechuje większy poziom wyspecjalizowania. SPT i LPT szeregują produkty biorąc pod uwagę czas produkcji. W metodzie SPT jako pierwsze do obsługi brane są produkty o najkrótszym czasie obsługi, z kolei w LPT o najdłuższym. Kolejne dwie reguły szeregują operacje ze względu na ilość operacji pozostałych do wykonania i tak reguła MOR szereguje od największej liczby pozostałych operacji, a LOR od najmniejszej. Ostatnie dwie reguły jednoatrybutowe (EDD, EMODD) jako czynnik decyzyjny biorą pod uwagę termin realizacji zlecenia. EDD najwyższy priorytet przypisują zleceniom, które mają najkrótszy termin realizacji, natomiast EMODD najwyższy priorytet przypisuje zleceniom o najkrótszym operacyjnym terminie wykonania zadania i najkrótszym czasie operacji na danym stanowisku [2, 7, 8].

Reguły wieloatrybutowe biorą pod uwagę wiele czynników, a przez to są bardziej elastyczne. Do ich poprawnego wykorzystania niezbędne są zaawansowane narzędzia informatyczne. Na rysunku 1 przedstawiono klasyczne metody wieloatrybutowe. Reguła CR+SPT nadaje najwyższy priorytet zleceniom, które mają najmniejszy krytyczny czas pozostały do wykonania oraz ma najkrótszy czas wykonywania operacji na danym stanowisku. Reguła S/RPT+SPT realizuje jako pierwsze zadania, które mają najkrótszy czas wykonywania zadania wraz z najmniejszym opóźnieniem jego wykonywania. PT+WINQ nadaje najwyższy priorytet zleceniom, które mają najkrótszy czas wykonywania na danym stanowisku oraz na stanowisku kolejnym. Natomiast reguła PT+PW obsługuje jako pierwsze zlecenia z najkrótszym łącznym czasem wykonania wraz z czasem jego oczekiwania [2, 9].

Dynamiczne metody szeregowania operacji wykorzystują zaawansowane modele matematyczne. Dzięki nim możliwe jest wykonywanie eksperymentów obliczeniowych o wyższym poziomie skomplikowania. Wymagają skorzystania z zaawansowanych narzędzi informatycznych. Daje to możliwość tworzenia harmonogramów dla dużej liczby produktów. Dynamiczne metody w praktyce wykorzystywane są do wspomagania procesu szeregowania zadań w przypadku niemożności zastosowania metod prostych. Dynamiczne metody szeregowania dzieli się na metody wykorzystujące metody sztucznej inteligencji

(AI - Artificial Intelligence) i klasyczne, nie wykorzystujące AI (rysunek 1). Poniżej opisano najczęściej stosowane dynamiczne metody szeregowania.

Metody wykorzystujące AI charakteryzują się zdolnością adaptacyjną, a ich modele dają większe możliwości zastosowania. Pierwszą z omawianych metod są algorytmy genetyczne wchodzących do grupy obliczeń ewolucyjnych (EC - Evolutionary Computation). Bazują one na naturalnej selekcji, która na skutek kolejnych ewolucji stopniowo wytwarza najoptymalniejsze rozwiązania. Harmonogram zostaje zakodowany w „materiale genetycznym”, który później na skutek użycia tego algorytmu kolejkuje zadania [10]. Kolejną metodą szeregowania zadań są sztuczne sieci neuronowe (ANN - Artificial Neural Networks). ANN w swej budowie wzorują się na neuronach ludzkiego mózgu. W tej metodzie buduje się model dla każdego rozwiązania. Odpowiednio dobrane kryteria oraz zbiory uczący i testujący pozwalają na uzyskiwanie optymalnych rozwiązań [5]. Szeregowanie wykorzystujące systemy rozmyte (FS - Fuzzy Systems) używane jest najczęściej do kolejgowania nowych produktów, dla których brak jest danych historycznych. Proces ten wykorzystuje teorię zbiorów rozmytych. [5, 9, 11]. Kolejną metodą jest algorytm mrówkowy (ACS - Ant Colony System), który należy do grupy metod inteligencji grupowej (SI - Swarm Intelligence). Metoda ta bazuje na kolonii sztucznych mrówek (ACS). Po zdefiniowaniu kryterium optymalizacji (np. minimalizacja całkowitego czasu wykonywania zadań) ACS ewolucyjnie opracowuje optymalny harmonogram. Każda ze zbioru sztucznych mrówek próbuje niezależnie odnaleźć najkrótszą drogę. W miarę upływu czasu populacja wspólnie opracowuje zbiór najlepszych rozwiązań [12].

Pierwszą metodą zaawansowaną nie wykorzystującą AI (rysunek 1) jest symulowane wyżarzanie (SA - Simulated Annealing). Algorytm jest podzielony na określone etapy. Każdy etap ma ustalone granice funkcji celu, do którego dąży. Stopniowo z każdym etapem następuje tzw. studzenie, czyli zbliżanie się do ostatecznej funkcji celu. Drugą metodą jest poszukiwanie z zakazami (TS - Tabu Search). Algorytm działania rozpoczyna przeszukiwanie od konkretnego rozwiązania i poprzez sprawdzanie kolejnych kroków wyznacza najbardziej optymalną trajektorię. Błędne kroki zapisywane są w pamięci krótkotrwałej, która nazywana jest listą zakazów. Operacja ta uniemożliwia przeszukiwanie tych samych ścieżek. Kolejną metodą jest poszukiwanie z pamięcią adaptacyjną (AMS - Adaptive Memory Search). Metoda ta jest rozszerzoną metodą TS. Obszar poszukiwań rozwiązań został tutaj znacznie rozszerzony. Algorytm szeregowania wykorzystuje zwiększoną pamięć i nowe elementy strategiczne. Metoda ta jest uznawana za bardziej efektywną niż TS. Ostatnią metodą nie wykorzystującą AI jest poszukiwanie rozproszone (SS - Scatter Search). Operacje przeprowadzane są na zbiorach rozwiązań referencyjnych. Wyniki te stanowią poprawne rozwiązania z wykonywanych obliczeń. Algorytm ten generuje zbiór rozwiązań rozproszonych mieszczący się w obszarze poszukiwań [5].

### **3. Cel pracy i metodyka badań**

Celem pracy była analiza możliwości zastosowania metod szeregowania zadań w rolnictwie – określenie problemów decyzyjnych w produkcji rolniczej, które można rozwiązać wykorzystując metody szeregowania.

Aby osiągnąć założony cel pracy zrealizowano dwa zadania badawcze:

1. Określenie stanu badań naukowych dotyczących metod szeregowania zadań w zakresie dyscypliny rolnictwo, na podstawie analizy bibliograficznej.

2. Analiza problemów decyzyjnych w produkcji rolniczej w Polsce w aspekcie możliwości ich rozwiązania za pomocą metod szeregowania zadań.

Pierwsze zadanie badawcze zrealizowano w pięciu etapach, wykorzystując elementy technik bibliometrycznych:

- 1.a. Utworzenie zbioru dokumentów na podstawie wyszukiwania pozycji indeksowanych w bazie Web of Science Core Collection (WoS-CC), dla następującego zapytania: TOPIC: ("schedu\* algorithm") OR TOPIC: ("schedu\* problem") OR TOPIC: ("schedu\* metho\*") OR TOPIC: ("farm workschedu\*") OR TOPIC: ("farm work plan\*") OR TOPIC: ("farm workflow") Wyszukiwanie przeprowadzono od 1945 do 2016 roku dokumentów w języku angielskim.
- 1.b. Wydzielenie dokumentów (ARTICLE, PROCEEDINGS PAPER, BOOK CHAPTER, NOTE, REVIEW) w obszarach badawczych (RESEARCH AREAS): AGRICULTURE, PLANT SCIENCES, BIODIVERSITY CONSERVATION.
- 1.c. Weryfikacja zgodności tematyki dokumentów z zakresem niniejszej pracy - utworzenie zbioru dokumentów do dalszych analiz. Klasyfikacja dokumentów na odpowiednie grupy według przyjętego kryterium podziału:
  - A. problem badawczy mieści się w obszarze rolnictwa,
  - B. dokument porusza problem szeregowania zadań,
  - C. wykorzystywane są sklasyfikowane metody szeregowania zadań.Utworzono grupy:
  - Ścisłe odpowiadające zakresowi niniejszej pracy - spełnione warunki: A, B, C.
  - Częściowo odpowiadające - spełnione warunki: A, B.
  - Nie odpowiadające - nie spełniony żaden z warunków.
- 1.d. Analiza ilościowa utworzonego zbioru dokumentów w aspekcie: liczby publikacji i liczby cytowań, afiliacji uczelni oraz twórców dokumentów.
- 1.e. Analiza tematyczna dla dokumentów ściśle odpowiadających zakresowi pracy. Przeprowadzono analizę treści dokumentów pod względem:
  - tematyki,
  - obszaru zastosowania,
  - wykorzystanych metod szeregowania.

Drugie zadanie badawcze zrealizowano w trzech etapach:

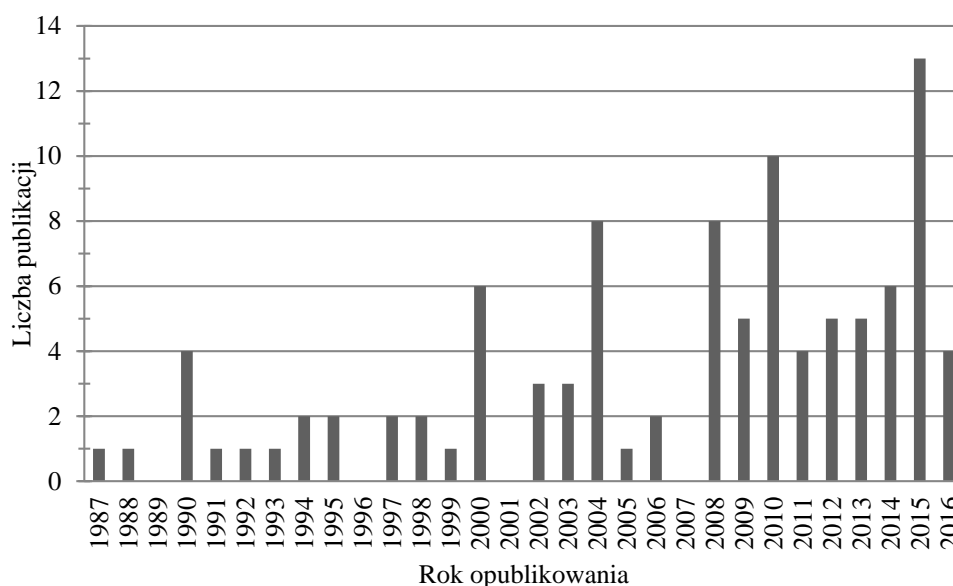
- 2.a. Przyjęcie do celów niniejszej pracy klasyfikacji systemów produkcji rolniczej.
- 2.b. Identyfikacja (na podstawie posiadanej wiedzy, opinii ekspertów, analizy literatury) potencjalnych problemów decyzyjnych w wydzielonych obszarach produkcji rolniczej oraz krótka charakterystyka tych problemów.
- 2.c. Przeprowadzenie analizy pozwalającej przypisać poszczególne problemy harmonogramowania do grup metod.

#### **4.1. Wyniki przeprowadzonych badań - pierwsze zadanie badawcze**

Podzbiór dokumentów w obszarach badawczych AGRICULTURE, PLANT SCIENCES, BIODIVERSITY CONSERVATION liczy 111 dokumentów, w tym 74 artykuły, 27 materiały pokonferencyjnych, 1 rozdział w monografii oraz 1 artykuł przeglądowy.

Weryfikacja zgodności tematyki dokumentów z zakresem niniejszej pracy (publikacje związane z problemem szeregowania zadań) pozwoliły na utworzenie zbioru dokumentów

do dalszych analiz. Stwierdzono, że 24 dokumenty spełniały warunki A, B, C (ściśle odpowiadały zakresowi pracy), 77 dokumentów spełniało warunki A i B (częściowo odpowiadały zakresowi pracy). Natomiast 6 dokumentów nie spełniało żadnych warunków, a 4 dokumenty z powodu braku dostępnych danych nie zostały sklasyfikowane. Do dalszych analiz wykorzystano zbiór 101 dokumentów.



Rys. 2. Liczba publikacji naukowych w bazie Web of Science-CoreCollection w poszczególnych latach

Bibliometryczna **analiza ilościowa** obejmowała zestawienie liczby opublikowanych dokumentów i liczby ich cytowań w poszczególnych latach. Analiza zbioru dokumentów w szczególności pozwala wyróżnić kilka okresów (Rysunek 2):

- pierwszy: 1987-1999 - średnia roczna liczba publikacji wynosi = 1,38,
- drugi: 2000-2007 - średnia roczna liczba publikacji wynosi = 2,88,
- trzeci: 2008-2016 - średnia roczna liczba publikacji wynosi = 6,67.

Zauważa się znaczny wzrost średniej rocznej liczby publikacji w każdym kolejnym okresie.

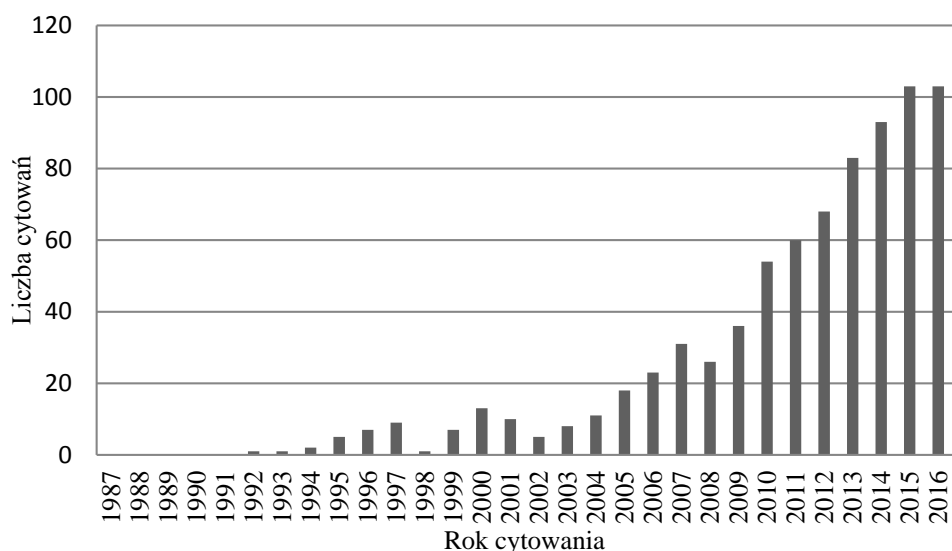
Analiza liczby cytowań zbioru dokumentów pozwala zauważyć znaczny wzrost liczby cytowań po roku 2002. Świadczy to o wzroście zainteresowania tematyką wykorzystania metod szeregowania zadań w obszarze rolnictwa.

Najwięcej dokumentów posiadało afiliacje instytucji naukowych z USA (42), Hiszpanii (10) oraz Japonii (6) i Australii(6). Do najbardziej aktywnych uczelni w USA poruszających tematykę odpowiadającej zakresowi pracy należą: United States Department of Agriculture USDA (12), State University System of Florida(8), University of Florida (8), North Dakota StateUniversity Fargo (6).

Spśród wydzielonej grupy dokumentów największą liczbę cytowań posiadają poruszające tematykę wykorzystania metod szeregowania w nawadnianiu (tabela.1).

Świadczy o tym również zestawienie obszarów badawczych, w których oprócz AGRICULTURE część (37dokumentów) należało do obszaru WATER RESOURCES.

Autorami największej liczby publikacji, w analizowanym zbiorze dokumentów, byli: Anwar A. (7), Steele D. (6), Nakamura M. (4), Shikanai T. (4).



Rys. 3. Liczba cytowań publikacji naukowych w bazie Web of Science-CoreCollection w poszczególnych latach

Tab. 1. Zestawienie dokumentów o najwyższej liczbie cytowań z zakresu wykorzystania metod szeregowania w dyscyplinie rolnictwo w latach 1987-2016 TC- całkowita liczba cytowań, AVC - średnia liczba cytowań publikacji

Autorzy	Tytuł	Czasopismo	TC	AvC
Goldhamer, DA; Feres, E	Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors	IRRIGATION SCIENCE	4	5,29
Acevedo-Opazo, C.; Ortega-Farias, S.; Fuentes, S.	Effects of grapevine ( <i>Vitisvinifera</i> L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation	AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT	9	6,12
Wanjura, DF; Upchurch, DR; Mahan, JR; Burke, JJ	Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation	AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT	8	3
Maes, W. H.; Steppe, K.	Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review	JOURNAL OF EXPERIMENTAL BOTANY	2	7

Wyniki **analizy tematycznej** dla dokumentów ściśle odpowiadających zakresowi pracy (24 dokumenty) zestawiono w Tabeli 2. Wśród 24 dokumentów, jest 21 artykułów, 3

materiały pokonferencyjne i 1 rozdział w monografii. Wzrost zainteresowania zastosowaniem klasycznych i nowych metod szeregowania zadań w odniesieniu do rolnictwa nastąpił po roku 2000 (wcześniej tylko jedna publikacja z 1991r.).

W analizowanym zbiorze 24 dokumentów wyróżniono cztery główne grupy tematyczne: nawadnianie (13 dokumentów), planowanie produkcji rolniczej (7 dokumentów), produkcja (3 dokumenty) oraz systemy wspomaganie decyzji (1 dokument). Zdecydowana większość autorów w swoich pracach wykorzystuje zaawansowane metody szeregowania zadań (23 dokumenty), a najczęściej zastosowanie znajdują algorytmy genetyczne (8 dokumentów) oraz logika rozmyta (2 dokumenty).

Pierwszym wydzielonym obszarem spośród dokumentów ściśle odpowiadających poruszanej tematyce było nawadnianie. Harmonogramowanie procesu nawadniania jest istotne z dwóch powodów. Po pierwsze ponieważ woda jest niezbędna do zachowania procesów życiowych roślin. Drugim powodem jest optymalizacja wykorzystania zasobów wodnych. Szczególnie drugi aspekt jest istotny z powodu ograniczonych zasobów wodnych na świecie. Jednymi z najczęściej wykorzystywanych metod szeregowania są GA [14, 18, 23, 27, 28], SA [18] oraz TS [18]. Z kolei Lee i in. [22] wykorzystali procesy Markowa, co połączeniu z dynamicznym programowaniem pozwoliło na budowę modelu optymalizacyjnego, który pozwala na opracowanie prostych, jednodniowych harmonogramów.

Drugą najczęściej poruszaną tematyką było planowanie produkcji rolniczej, które, ze względu na swoją specyfikę (zmienne warunki pogodowe, różna zasobność gleby i in.), wymaga szczególnego modelu. Jedną z metod zaproponowanych do rozwiązania problemu szeregowania zadań w planowaniu są sieci Petriego. Wyniki eksperymentów symulacyjnych wykazały, że metoda ta może być z powodzeniem stosowana w niektórych korporacjach rolniczych [16]. Kolejnymi metodami wykorzystanymi do wspomaganie procesu planowania były SA oraz GA. Obie te metody w połączeniu z hybrydowymi sieciami Petriego pozwoliły na zwiększenie wykorzystania zasobów w produkcji trzciny cukrowej [35]. Problem optymalnego zbioru roślin jest jednym z kluczowych zagadnień produkcyjnych w rolnictwie. Przykładem może być trzcina cukrowa, która jest jedną z głównych roślin uprawianych w Tajlandii. Zagadnienie szeregowania w tym aspekcie dotyczyło optymalizacji planowania na poziomie taktycznym i operacyjnym. Planowanie na poziomie taktycznym miało na celu maksymalizację zysku (maksymalizacja plonu trzciny cukrowej i uzyskanego z niej cukru). Na poziomie operacyjnym optymalizowano zbiory na poszczególnych polach. Wykorzystano tutaj ANN oraz TS do określenia najbardziej odpowiedniego harmonogramu zbioru trzciny cukrowej dla danego zbioru pól uprawnych [25]. Kolejnym problemem decyzyjnym w ramach planowania w rolnictwie jest ułożenie harmonogramów dla poszczególnych operacji (zabiegów agrotechnicznych) i wykorzystania maszyn rolniczych. Konieczne jest uwzględnienie takich czynników jak gotowość pola oraz dostępne zasoby produkcyjne. Wykorzystanie metody TS oraz AMS pozwoliło na stworzenie harmonogramu prac dla poszczególnych agregatów rolniczych [29].



Tab. 2. Zestawienie dokumentów o tematyce spełnione warunki: A, B, C

Dokument	Rok	Odnosnik literatury	Typ dokumentu	Tematyka	Obszar zastosowania	Grupa metod	Metoda	TC
Steppe i in.	2008	13	A	N	A/WR	Z	I	43
Wardlaw i in.	2004	14	A	N	A/WR	Z	GA	19
Parthanadee i in.	2010	15	A	P	A/P	P	RP	16
Guan i in.	2008	16	A	PPR	A	Z	P	16
Brown i in.	2010	17	A	N	A/WR	Z	I	16
Haq i in.	2010	18	A	N	A/WR	Z	I	12
Guan i in.	2009	19	A	PPR	A	Z	SA/ GA	11
de Vries i in.	2004	20	A	N	A/WR	Z	I	11
Anwar i in.	2004	21	A	N	A/WR	Z	I	6
Lee i in.	1991	22	A	N	A/WR	Z	I	7
Anwar i in.	2013	23	A	N	A/WR	Z	GA	5
Berruto i in.	2006	24	A	P	A/P	Z	I	2
Thuankaewsing i in.	2015	25	A	PPR	A	Z	ANN	1
Bussi i in.	2013	26	A	N	A/WR	Z	I	1
Ul Haq i in.	2008	27	A	N	A/WR	Z	GA	1
Anwar i in.	2016	28	A	N	A/WR	Z	GA	0
Edwards i in.	2015	29	A	PPR	A	Z	TS	0
AI-Ghobari i in.	2014	30	A	N	A/WR	Z	I	0
Patel i in.	2014	31	A	N	A/WR	Z	FS	0
Peng i in.	2014	32	PP	SWD	A	Z	I	0
Jadhav i in.	2012	33	A	P	A	Z	FS	0
Guan i in.	2010	34	A/BC	PPR	A	Z	GA	0
Guan i in.	2009	35	PP	PPR	A	Z	GA	0
Ohdoi i in.	2009	36	PP	PPR	A	Z	GA	0

Legenda:

**Typ dokumentu:** A- Article, PP- Proceeding paper, BC- Book chapter, R- Review

**Tematyka:** N- nawadnianie, P- produkcja, PPR- planowanie produkcji rolniczej, SWD- systemy wspomagania decyzji

**Obszar zastosowania:** A- Agriculture, WR- Water resources, P- Production

**Grupa metody szeregowania:** P- proste, Z- zaawansowane

**Metody:** GA- Genetic Algorithms, TS- Tabu Search, FS- Fuzzy Systems, ANN- Artificial Neural Networks, SA- Simulated Annealing, RP- reguły priorytetowe

**TC (Total Citation)-** całkowita liczba cytowań

Kolejnym obszarem planowania w rolnictwie jest zarządzanie pracą gospodarstw rolniczych, które posiadają, bądź dzierżawią pola o dużym rozproszeniu geograficznym. Wykorzystano tutaj SA oraz GA. Wykonana aplikacja pozwoliła na stworzenie długoterminowego harmonogramu prac, który może być wdrożony w dużych gospodarstwach rolnych. System ma postać aplikacji mobilnej. Dzięki połączeniu z internetem oraz korzystaniu z technologii GPS możliwe jest aktualizowanie danych, a przez to stworzonych harmonogramów [34]. Oprócz ogólnego harmonogramu prac możliwe jest również rozplanowanie trasy przejazdu maszyn. Przedmiotem optymalizacji było wyrównanie czasu prac maszyn oraz skrócenie ich tras transportowych. Metodą wspomagającą ten proces były GA [36].

Kolejną grupą tematyczną była produkcja spożywcza. Przykładem jest produkcja owoców w puszkach. Do rozwiązania problemu szeregowania zadań zostały wykorzystane jednoatributowe reguły priorytetowe. Skuteczność harmonogramowania zależała w tym przypadku od właściwego przyporządkowania priorytetów dla operacji. System wykazywał różną skuteczność w zależności od warunków (rodzaj surowca, system dyspozytorski) [15]. Następnym rozwiązywanym problemem szeregowania było butelkowanie wina w nowoczesnych winnicach. Do wspomaganie planowania wykorzystano programowanie liniowe. Zaprojektowany system uwzględnia takie parametry jak: rodzaj wina, wielkość produkcji, poziom składowania oraz koszty robocizny i przechowywania. Algorytm zapewnia satysfakcjonujący poziom planowania dla okresu 4 tygodni [24]. W produkcji spożywczej z powodzeniem wykorzystuje się FS do wspomaganie procesu harmonogramowania. Metoda ta daje satysfakcjonujące efekty w sytuacjach, w których występuje niepewna wiedza, bądź niepewnym środowisku produkcyjnym. Zaprojektowany system tworzy optymalny harmonogram produkcji przy minimalnych kosztach [33].

Oddzielną grupą tematyczną poruszaną w wydzielonym podzbiorniku dokumentów są systemy wspomaganie decyzji. Naukowcy opracowali system o nazwie PSA (Prediction Scheduling Algorithm) wykorzystujący algorytmy predykcyjne do zrównoważenia wydajności oraz zasobów. Aplikacja komputerowa wykonuje obliczenia w chmurze [32].

#### **4.2. Wyniki przeprowadzonych badań - drugie zadanie badawcze**

Współczesne rolnictwo można podzielić wg różnych kategorii w zależności od przyjętych kryteriów. W niniejszej pracy wybrano podział w ujęciu ekonomicznym na system produkcji roślinnej, system produkcji zwierzęcej [37]. Zakwalifikowanie gospodarstwa rolniczego do danego systemu zależy od udziału danej produkcji w ogólnej strukturze gospodarstwa. Bardzo często występują gospodarstwa mieszane, w których ciężko jest wyodrębnić jeden system produkcji.

W produkcji roślinnej wybrano następujące grupy upraw: rośliny polowe, zioła, rośliny energetyczne, sadownicze oraz uprawy pod osłonami. Wszystkie cztery grupy roślin mają bardzo wiele podobieństw, lecz różnią się zasadniczo w sposobie uprawy, a przez to w planowaniu produkcji. Uprawa klasycznych roślin polowych takich jak np. rośliny zbożowe, okopowe itp. wymaga planowania strategicznego. Kluczowymi aspektami są tutaj zasobność gleb, płodozmian, jak również możliwości finansowe samego gospodarstwa. W tego typu produkcji systemem wspomaganie szeregowania można objąć takie operacje jak: dobór maszyn do zabiegów, optymalne zaplanowanie płodozmienu, optymalizacja zabiegów nawożenia i oprysku, zbiór roślin. Kolejną odmianą produkcji roślinnej jest produkcja ziół. Ma ona bardzo wiele cech wspólnych z uprawą polową, lecz kluczowym aspektem są tutaj operacje występujące na końcu procesu technologicznego, a

mianowicie zbiór i suszenie. Uprawia się je ze względu na występowanie w nich substancji biologicznie czynnych takich jak: olejki eteryczne, garbniki, związki fenolowe, kwasy organiczne, gorycze i śluzy [38]. Ich ilość w materiale roślinnym decyduje o jakości produktu. Optymalizacja w tym aspekcie możliwa jest przez lepsze dobranie operacji technologicznych. Dzięki zastosowaniu reguł priorytetowych można zautomatyzować proces suszenia, a przez to uzyskać produkt końcowy o najwyższej jakości.

Uprawa roślin energetycznych jest specyficznym rodzajem produkcji roślinnej. Cykl takiej produkcji w zależności od rośliny jest często kilku, bądź kilkunastoletni. Założenie plantacji wiąże się z podstawowymi zabiegami analogicznymi do produkcji roślin uprawnych. Kluczowymi elementami są tutaj zabiegi zabezpieczające przed chorobami roślin oraz zbiór i przechowywanie. Dzięki wykorzystaniu zaawansowanych metod takich jak np. ANN, możliwe byłoby optymalizowanie zbioru roślin według ich optymalnej dojrzałości. Z kolei zastosowanie reguł priorytetowych umożliwiłoby optymalne dobranie czasu przechowywania.

Następną branżą jest sadownictwo. Produkcja ta daje większe zyski w porównaniu do klasycznych upraw polowych, ale wiąże się z większym ryzykiem. Metody szeregowania można tutaj zastosować do optymalizacji zabiegów kształtowania sadów drzewiastych i krzewiastych, jak również do przechowywania.

Ostatnim analizowanym rodzajem produkcji roślinnej są uprawy pod osłonami. W tej technologii produkowane są takie produkty jak: kwiaty, warzywa, owoce. Dzięki wykorzystaniu najnowszych technologii możliwe jest pełne kontrolowanie parametrów produkcyjnych. Zaawansowane metody szeregowania można wykorzystać do optymalnego nawadniania, nawożenia, naświetlania i in. Możliwa jest też w pewnym zakresie regulacja okresu cyklu rozwoju roślin (produkcja kwiatów).

Drugim obszarem produkcji rolniczej jest produkcja zwierzęca. Dla różnych gatunków zwierząt operacje wykonywane w gospodarstwach są bardzo podobne. Różnice w procesie technologicznym występują głównie w systemie otwartym i zamkniętym. Otwarty system produkcyjny wiąże się z wykonywaniem części operacji poza budynkiem inwentarskim (chów otwarty, wolny wybieg in.). W przypadku zamkniętego systemu, cały cykl produkcyjny odbywa się w budynku inwentarskim. W produkcji zwierzęcej metody szeregowania można zastosować w takich aspektach jak: optymalizacja karmienia i pojenia zwierząt, usuwanie odchodów, planowanie cyklu dezynfekcji budynku, optymalizacja dojenia zwierząt, klasyfikacja zwierząt do uboju.

W obszarach produkcji roślinnej i zwierzęcej można wyróżnić działalność usługową. Usługi wiążą się najczęściej z wykonywaniem zabiegów technologicznych dla innych gospodarstw rolniczych oraz z przetwarzaniem płodów rolnych. W pierwszym przypadku harmonogramowaniu mogą podlegać takie same zabiegi, jak w produkcji roślinnej (harmonogramowanie pracy agregatów rolniczych). W przypadku harmonogramowania procesów przetwórczych metody szeregowania można wykorzystać do optymalizacji doboru maszyn, optymalizacji parametrów technologicznych, jak również do obsługi magazynu.

W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono, że większość problemów decyzyjnych związanych z opracowywaniem harmonogramów w produkcji rolniczej może być rozwiązywana przy wykorzystaniu statycznych metod szeregowania zadań. Występują też nieliczne problemy, które wymagają zastosowania dynamicznych metod szeregowania (tabela 3).

Tab. 3. Możliwości zastosowania metod szeregowania zadań w rolnictwie

Metoda szeregowania zadań	Zastosowanie w rolnictwie
Styczne metody szeregowania	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dobór maszyn do zabiegów</li> <li>- planowanie płodozmianu</li> <li>- dobór parametrów upraw (nawadnianie, nawożenie, środki ochrony roślin, światło in.)</li> <li>- optymalizacja zabiegu suszenia ziół</li> <li>- planowanie zabiegów kształtowania roślin drzewiastych i krzewiastych</li> <li>- regulacja cyklu rozwoju roślin</li> <li>- czas przechowywania</li> <li>- harmonogramowanie karmienia i pojenia zwierząt</li> <li>- harmonogramowanie usuwania odchodów</li> <li>- planowanie zabiegów dezynfekcji budynku inwentarskiego</li> </ul>
Dynamiczne metody szeregowania	<ul style="list-style-type: none"> <li>- optymalizacja procesu doju</li> <li>- zbiór roślin</li> <li>- dobór zwierząt do uboju</li> </ul>

## 5. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonej analizy bibliometrycznej wykazały, że badania dotyczące wykorzystania metod szeregowania zadań w produkcji rolniczej nie były dotychczas prowadzone na szeroką skalę (opublikowano jedynie 101 prac indeksowanych w WoS-CC).

W ostatnich 8 latach można zauważyć stopniowy wzrost liczby dokumentów związanych z zakresem tematycznym niniejszej pracy (średnia roczna liczba publikacji w okresie 2008-2016 wynosi 6,67). Tą samą tendencję można zauważyć w przypadku liczby cytowań. Głównym obszarem tematycznym w ramach wydzielonych dokumentów był problem nawadniania.

Małe zainteresowanie naukowców tą problematyką badawczą wynika prawdopodobnie z trudności wdrożenia wyników badań w praktyce. Jest to spowodowane dużym zróżnicowaniem podmiotów, które mogłyby stosować metody szeregowania w produkcji rolniczej (małe rodzinne gospodarstwa, duże gospodarstwa, wielkie przedsiębiorstwa rolne), a także bardzo różny profilem produkcji rolniczej, co powoduje duże zróżnicowanie potrzeb odnośnie tego typu narzędzi wspomagania decyzji. Dodatkowym problemem jest niewystarczająca wiedza rolników w zakresie zarządzania produkcją. Rolnik musi wykazywać się wiedzą z zakresu fizjologii roślin i zwierząt, agrotechniki i zootechniki oraz wykorzystywać najnowsze technologie informatyczne i mechatroniczne (np. systemy wykorzystujące technologię GPS). W porównaniu do firm produkcyjnych, gdzie za planowanie bardzo często odpowiadają odrębne komórki organizacyjne, w gospodarstwie właściciel podejmuje wszystkie decyzje. Brak odpowiedniego zarządzania wiedzą oraz zewnętrznego wspomagania procesu decyzyjnego może powodować nieoptymalne wykorzystanie zasobów produkcyjnych. Producent rolny zamiast wykorzystywać najnowsze narzędzia, bazuje na wiedzy ukrytej, przekazywanej przez innych producentów.

Analiza bibliometryczna wykazała, że metody szeregowania zadań można z powodzeniem stosować do harmonogramowania wykonywanych operacji przez ciągniki i

maszyny rolnicze, nawadniania, zbioru roślin jak również w przypadku systemów wspomaganie decyzji. W przeanalizowanych publikacjach, wykorzystanie metod szeregowania dotyczyło głównie produkcji roślinnej. Do rozwiązywania problemów decyzyjnych wykorzystywano w większości zaawansowane metody szeregowania zadań.

Przeprowadzona analiza problemów decyzyjnych występujących w produkcji rolniczej w Polsce (drugie zadanie badawcze) wykazała istnienie wielu możliwych zastosowań metod szeregowania zadań w różnych obszarach działalności rolniczej: agrotechniki (dobór maszyn, planowanie produkcji, płodozmianu, nawadniania, nawożenia i ochrony oraz zbioru roślin,), zootechniki (harmonogramowanie karmienia i pojenia zwierząt, usuwania odchodów, dezynfekcji budynku inwentarskiego, optymalizacja procesu doju, dobór zwierząt do uboju) oraz innych (np. optymalizacja suszenia oraz przechowywania produktów rolniczych). Stwierdzono, że wykorzystywane mogą być zarówno metody statyczne, jak również dynamiczne.

Wyniki obu zadań badawczych pokazały, że wykorzystanie metod szeregowania zadań w produkcji rolniczej jest zasadne. Narzędzia te mogą być elementem systemów wspomaganie decyzji, które coraz częściej są wykorzystywane przez producentów rolnych.

Badania zostały sfinansowane z dotacji przyznanej przez MNiSW na działalność statutową.

## Literatura

1. Buchalski Z.: Algorytm heurystyczny do optymalizacji rozdziału programów w wieloprocesorowym systemie informatycznym. (w:) Knosala R. (red.): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Oficyna Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2012
2. Vinod V. Sridharan R.: Simulation modeling and analysis of due-date assignment methods and scheduling decision rules in a dynamic job shop production system, *International Journal of Production Economics*, no 129, 2011, s. 127-146
3. Kwasiborska A., Skorupski J.: Metody szeregowania zadań jako narzędzie rozwiązywania problemu sekwencjonowania samolotów, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, z. 101, 2013, s. 55-62.
4. East A. E.: Accelerated libraries to inform batch sale scheduling and reduce postharvest losses of seasonal fresh produce, *Biosystems Engineering*, I. 09, 2011, s. 1-9
5. Smutnicki C.: Algorytmy szeregowania zadań, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2012.
6. Pawlak M.: Algorytmy ewolucyjne jako narzędzie harmonogramowania produkcji, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999
7. Chen B., Matis T. I.: A flexible dispatching rule for minimizing tardiness in job shop scheduling, *International Journal of Production Economics*, no 141, 2013, s. 360-365
8. Jardzioch A., Bulwan K.: The prioritisation of production orders under the bee colony algorithm, *Versita*, nr 37, 2013, s. 49-59
9. Wiśniewski T.: Rozprawa doktorska: Zastosowanie priorytetów dynamicznych do optymalizacji wieloproduktowych systemów produkcyjnych w poligrafii. Szczecin, 2014.
10. Harsora V., Shah A.: A Modified Genetic Algorithm for Process Scheduling in Distributed System, *Artificial Intelligence Techniques - Novel Approaches & Practical Applications*, no. 1, 2011, s. 36-40

11. Klimek M. Rozprawa doktorska: Predyktyno-reaktywne harmonogramowanie produkcji z ograniczoną dostępnoscia zasobow, AGH Krakow, 2010.
12. Filo G.: Zastosowanie algorytmow mrówkowych w rozwiązywaniu problemu szeregowania zadani, *Mechanika - Czasopismo techniczne*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Zeszyt 7, 2011, s. 135-140
13. Steppe K., De Pauw D., Lemeur R.: A step towards new irrigation scheduling strategies using plant-based measurements and mathematical modelling. *Irrigation Science*, Vol. 26, I. 6, 2008, s. 505-517
14. Wardlaw R., Bhaktikul K.: Application of genetic algorithms for irrigation water scheduling. *Irrigation And Drainage*, Vol. 53, I. 4, 2004 s. 397-414
15. Parthanadee P., Buddhakulsomsiri J.: Simulation modeling and analysis for production scheduling using real-time dispatching rules: A case study in canned fruit industry. *Computers And Electronics In Agriculture*. Vol. 70, I. 1, 2010, s. 245-255
16. Guan S., Nakamura M., Shikanai T., Okazaki T.: Hybrid Petri nets modeling for farm work flow. *Computers And Electronics In Agriculture*. Vol. 62, I. 2, 2008, s. 149-158
17. Brown P. D., Cochrane T. A., Krom T. D.: Optimal on-farm irrigation scheduling with a seasonal water limit using simulated annealing. *Agricultural Water Management*. Vol. 97, I. 6, 2010, s. 892-900
18. Haq Z. U., Anwar A. A.: Irrigation Scheduling with Genetic Algorithms. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering-Asce*. Vol. 136, I. 10, 2010, s. 704-714
19. Guan S., Nakamura M., Shikanai T., Okazaki T.: Resource assignment and scheduling based on a two-phase metaheuristic for cropping system. *Computers And Electronics In Agriculture*. Vol. 66, I. 2, 2009, s. 181-190
20. de Vries T. T., Anwar A. A.: Irrigation scheduling. I: Integer programming approach. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering-Asce*. Vol. 130, I. 1, 2004, s. 9-16
21. Anwar A. A., de Vries T. T.: Irrigation scheduling. II: Heuristics approach. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*. Vol. 130, I. 1, 2004, s. 17-25
22. Lee E., Raju K., Biere A.: Dynamic irrigation scheduling with stochastic rainfall. *Agricultural Water Management*. Vol. 19. I. 3, 1991, s. 253-270
23. Anwar A. A., Ul-Haq Z.: Genetic algorithms for the sequential irrigation scheduling problem. *Irrigation Science*. Vol. 31, I. 4, 2013, s. 815-829
24. Berruto R., Tortia, C., Gay P.: Wine bottling scheduling optimization. *Transactions Of The Asabe*. Vol. 49, I. 1, 2006, s. 291-295
25. Thuankaewsing S., Khamjan S., Piewthongngam K.; Pathumnakul S.: Harvest scheduling algorithm to equalize supplier benefits: A case study from the Thai sugar cane industry. *Computers And Electronics In Agriculture*. Vol. 110, 2015, s. 42-55
26. Bussi C., Plenet D.: Effect of three different irrigation regimes on young apricot (*Prunus armeniaca* L. Batsch) trees. *Journal Of Horticultural Science & Biotechnology*. Vol 88, I. 5, 2013, s. 519-524
27. Ul-Haq Z., Anwar, A. A., Clarke D.: Evaluation of a Genetic Algorithm for the Irrigation Scheduling Problem. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*. Vol. 134, I. 6, 2008, s. 737-744
28. Anwar A. A., Ul-Haq, Z.: Arranged-Demand Irrigation Scheduling with Nonidentical Discharges. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*. Vol. 142, I. 9, 2016
29. Edwards G., Sorensen C. G., Bochtis D. D., Munkholm, L. J.: Optimised schedules for sequential agricultural operations using a Tabu Search method. *Computers And Electronics In Agriculture*. Vol. 117, 2015, s. 102-113

30. Al-Ghobari H. M., El Marazky M. S.: A. Effect of smart sprinkler irrigation utilization on water use efficiency for wheat crops in arid regions. *International Journal Of Agricultural And Biological Engineering*. Vol. 7, I. 1, 2014, s. 26-35
31. Patel J., Patel H., Bhatt C.: Generalized Calibration of the Hargreaves Equation for Evapotranspiration under Different Climate Conditions. *Soil And Water Research*. Vol. 9, I. 2, 2014, s. 83-89
32. Peng C., Tan X. C., Sha Z. Y., Liu Q., Gao M., Yao Y. Y.: Scheduling Algorithm Research For Spatial Information Service Under Cloud Environment. *International Conference on Agro-Geoinformatics*. 2014, s. 459-464
33. Jadhav V. S.; Bajaj V. H.: Flow Shop Scheduling Problem Using Fuzzy Approach. *International Journal Of Agricultural And Statistical Sciences*. Vol. 8, I. 2, 2012, s. 405-413
34. Guan S. Nakamura M., Shikanai T.: A methodology for resource assignment and scheduling in uncertain environment and its applications to farm work management. *Agriculture Issues and Policies*. 2010, s. 83-137
35. Guan S. L., Nakamura M., Shikanai T., Okazaki T.: A two-phase metaheuristic for farm work scheduling. *Computer And Computing Technologies In Agriculture II*. Vol. 3, 2009, s. 1999-2009
36. Ohdoi K.; Oida A.: A study on an optimization of farm-work schedules. *Proceedings Of The International Agricultural Engineering Conference*. 2000, s. 110-115
37. Zimny L.: Definicje i podziały systemów rolniczych. *Acta Agrophysica*, 10(2), 2007, s. 507-518.
38. Kazimierczak R., Hallmann E., Sokołowska O., Rembiałkowska E.: Bioactive substances content in selected species of medical plants from organic and conventional production. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. Vol. 56, no 3, 2011, s. 200-205

Mgr inż. Adrian KNAPCZYK  
Dr hab. inż. Sławomir FRANCIK  
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki  
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie  
ul. Balicka 120, 30-149 Kraków  
e-mail: a.knapczyk@ur.krakow.pl  
sfrancik@ar.krakow.pl