

# KOMPUTEROWE METODY WSPOMAGANIA DECYZJI W MODELOWANIU PROCESÓW WYTWARZANIA W PRZEDSIĘBIORSTWACH ROLNYCH

Waldemar Lech BOJAR

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono uwarunkowania modelowania procesów produkcji rolnej z wykorzystaniem komputerowych metod wspomaganie decyzji. Przedstawiono zalety i ograniczenia metod symulacyjnych i sztucznej inteligencji na tle metod programowania. Wskazano m. in. na większą elastyczność narzędzi klasy SI w dostosowywaniu się do potrzeb użytkownika, jak również lepszy jego wgląd w strukturę analizowanego problemu poprzez użycie modułu wyjaśnień. W efekcie stwierdzono, że systemy ekspertowe wykazują większą skuteczność w procesie modelowania procesów wytwórczych w przedsiębiorstwach rolnych, a ich doskonalenie powinno być ukierunkowane na wykorzystanie hybrydowości.

**Słowa kluczowe:** modelowanie, procesy produkcyjne, mechanizacja, SWD, przedsiębiorstwa rolne, systemy ekspertowe.

## 1. Wstęp

W warunkach gospodarstw polskich problem inwestycji w środki mechanizacji produkcji rolnej należy do zagadnień o znaczeniu kluczowym, ponieważ istnieje konieczność odtworzenia przestarzałego technologicznie sprzętu generującego wysokie koszty utrzymania, wysokie koszty wykonywanych zabiegów oraz niską jakość efektów pracy, co nie pozwala spełniać norm jakości produktów rolniczych [1]. Do innych niekorzystnych skutków eksploatacji przestarzałego sprzętu należy nierespektowanie wymogów ochrony środowiska oraz warunków bezpiecznej i komfortowej pracy, co jest konieczne do modernizacji i rozwoju oraz podniesienia konkurencyjności podmiotów gospodarczych w Polsce. Obserwowane trendy światowego rozwoju techniki rolniczej polegające na stosowaniu dużych, wydajnych i uniwersalnych maszyn rolniczych gwarantujących wysoką jakość, bezpieczeństwo i komfort pracy, jak również niską energochłonność potwierdzają konieczność podobnego ukierunkowywania zmian w wyposażeniu gospodarstw również przez polskich menedżerów rolnictwa [2]. W tym celu niezbędne jest podejmowanie trafnych decyzji inwestycyjnych, których ranga i złożoność wymaga zastosowania zaawansowanych narzędzi klasy SWD.

## 2. Znaczenie metod planowania i wykorzystania sprzętu zmechanizowanego w procesach produkcyjnych przedsiębiorstw rolnych

Czynnikiem krytycznym dla ekonomiki produkcji rolniczej jest wybór odpowiedniego zestawu maszyn do produkcji roślinnej dla odpowiedniej skali działalności. Ze względu na sezonowy charakter prac polowych maszyny są użytkowane w krótkich okresach sezonu wegetacyjnego. Dlatego też w produkcji roślinnej niezbędne są maszyny o dużej

wydajności, które mogą wykonać wszystkie zabiegi polowe w okresach agrotechnicznych. Krótki czas rocznego wykorzystania powoduje, że maszyny muszą być zwykle amortyzowane w ciągu niewielkiej liczby godzin użytkowania w roku. Z drugiej strony, z uwagi na wysokie potencjalne koszty opóźnień zabiegów polowych lub ich niewykonanie, maszyny muszą być tak zaprojektowane, aby uzyskiwać wysoką efektywną wydajność [3,4]. Jednocześnie powinny być one maksymalnie wykorzystane w ciągu roku, aby zminimalizować jednostkowe koszty utrzymania. Ze względu na fakt, że większość rodzinnych gospodarstw rolnych w Polsce nie przekracza powierzchni 20 ha użytków rolnych, koszty związane z użytkowaniem maszyn są bardzo wysokie. W latach 90ych wynosiły one średnio w Polsce od 50 do 70% całkowitych nakładów (zł) ponoszonych na produkcję rolną. Wójcicki [5] uważa, że w obliczu współczesnych wyzwań każde towarowe gospodarstwo rolne musi podjąć odpowiednie decyzje produkcyjne na okres 5-10 lat, aby zmodernizować swój potencjał wytwórczy. Ostatnio zgodnie z opracowaną prognozą przewidywany rozwój gospodarczy (corocznie 3-6% PKB), wzrost popytu zewnętrznego i wewnętrznego na żywność i nieżywnościowe produkty rolnicze oraz dopływ środków z UE spowodował wzrost środków na inwestycje odtworzeniowe, a także rozwojowe [5].

Trafna analiza ich efektywności wymaga opracowania odpowiednich modeli pozwalających symulować problem wyboru środków mechanizacji, który z uwagi na uwarunkowania przyrodnicze, techniczno-organizacyjne i społeczne determinujące organizację i ekonomikę produkcji rolnej ma charakter złożony i słabo ustrukturalizowany. Liczba zmiennych, które trzeba uwzględnić w modelach służących do rozwiązania tego problemu jest duża, a ich wpływ i wzajemne interakcje trudne do precyzyjnego ujęcia. Dlatego też metody analizy decyzji dotyczących wykorzystania środków mechanizacji w procesach wytwórczych przedsiębiorstw rolnych powinny być oparte o narzędzia klasy SWD. Powinny one wspomagać decyzje menedżerów zajmujących się produkcją rolną. Dla lepszego zobrazowania współczesnych osiągnięć w tym obszarze badań zostaną zaprezentowane niektóre osiągnięcia w rozwoju tych metod na przestrzeni dziesięcioleci.

### **3. Rozwój metod modelowania procesów produkcyjnych produkcji rolnej ze szczególnym uwzględnieniem ich mechanizacji**

Na wczesnym etapie rozwoju znaczącą rolę w procesach wspomagania decyzji dotyczących mechanizacji produkcji rolnej pełniły metody bilansowe i kalkulacyjne lub mieszane z udziałem obu ww. technik, a także metody wskaźnikowe i czynnikowe. Prostota obliczanych wskaźników i mierników nie wymagała wówczas stosowania złożonych technik obliczeniowych, jednak problem oceny ekonomiczno-organizacyjnej stosowanych technologii produkcji był traktowany wówczas wycinkowo i niekompleksowo w relacji do konieczności holistycznego ujęcia tego zagadnienia w przedsiębiorstwie rolnym. Metodę technologiczną (kompleksową) polecano jako przydatną w procesie projektowania m. in. poszczególnych technologii produkcji roślinnej na podstawie zaprojektowanych kart technologicznych [6].

Wraz z rozwojem metod i środków informatyki pojawiła się możliwość zastosowania metod numerycznych do optymalizacji użyteczności funkcji celu, przy jednoczesnym spełnieniu wielu ograniczeń i rozwiązywaniu różnorodnych problemów ekonomiczno-społecznych. W 1968 roku Zelent [7] opracował metodę optymalnego planowania wyboru maszyn i ciągników, która w odróżnieniu od metody wskaźnikowej i współczynnikowej umożliwiała znalezienie optymalnego zestawu maszyn. Następnie Muzalewski [8]

zapropował metodę optymalizacji wyposażenia gospodarstw i optymalnego wyboru usług mechanicznych opartą na komputerowym modelu decyzyjnym. Podstawowe założenie procedury obliczeń oparte zostało na porównaniu własnych kosztów mechanizacji z analogicznymi kosztami usług. W roku 1994 kompleksową metodę oceny wykorzystania maszyn rolniczych w gospodarstwach chłopskich – MSERVICE opracował Borkowski [9]. Uwzględnił on w modelu programowania liniowego wiele zmiennych i umożliwił rozliczanie usług międzysąsiedzkich i zbilansowanie zakupywanych, jak i świadczonych usług. Wielokryterialny model symulacyjny MSERVICE obejmujący zależności występujące w grupach podobnych gospodarstw rolnych, pozwolił określić optymalną strukturę parku maszynowego przy różnych formach wykorzystania sprzętu rolniczego. W modelu zostały uwzględnione także aspekty organizacyjne planowania prac polowych poprzez rozliczanie ponoszonych na te prace nakładów w okresach agrotechnicznych. Opracowane algorytmy obliczania amortyzacji i kosztów napraw pozwoliły ustalić koszty mechanizacji i zbilansować nakłady pracy z uwzględnieniem wszystkich złożonych powiązań zestawów środków mechanizacji, ciągników i pracowników, które zachodzą w gospodarstwie w okresie roku.

Wraz z rozwojem metod programowania i języków obiektowych, a także algorytmów symulacyjnych pojawiły się możliwości wykreowania przestrzenno-przedziałowych modeli symulacyjnych w dobrze odwzorowujących procesy rzeczywiste. Prekursorami rozwoju takich modeli, uwzględniających również podejście ekspertowe, byli m. in. Kehrberg i Reisch, Eisgruber, Audsley, Hesselbach [2]. Işik i Say [10] opracowali system ekspertowy dla potrzeb optymalnego wyboru ciągników rolniczych w specyficznych warunkach gospodarstw rolnych. Nozdrovicky i Marhavy [11] są autorami systemu wspomagania decyzji RACION, obejmującego swoim zakresem tworzenie ekspertyz technologicznych i ekonomicznych dla potrzeb planowania i zarządzania innowacjami technologicznymi w produkcji roślinnej. Próbę kompleksowego określenia strategii wyposażenia gospodarstw rolnych w kombajny zbożowe podjął Izdebski [12], który posługując się matematycznymi metodami symulacyjnymi dla ustalenia kosztów zbioru kombajnem zbożowym badał czynniki wpływające na efektywność wykorzystania tych maszyn. Wykazał on, że zmienne otoczenie przyrodniczo-ekonomiczne gospodarstw rolnych ma znaczący wpływ na koszty kombajnowego zbioru zbóż i roślin technologicznie podobnych. W określaniu strategii wyposażenia w kombajny zbożowe uwzględnił m. in. tak ważne czynniki otoczenia gospodarstw, jak rynek usług maszynowych i rynek ziarna zbóż. W modelu tym poziom rocznego wykorzystania maszyn, struktura uprawianych roślin oraz koszty eksploatacji środków technicznych i opłata pracy ludzkiej okazały się ważnymi czynnikami wpływającymi na efektywność wykorzystania kombajnów zbożowych i decydującymi o strategiach modernizacji procesów produkcyjnych zbóż.

Symulacyjne modele przedziałowe zastosowano także do symulacji rzeczywistych systemów produkcji rolnej, wiernie odzwierciedlając zachodzące w nich procesy [13]. Modele tej klasy pozwoliły również w pewnym stopniu uniknąć tzw. „przekleństwa nieskończoności” („curse of infinity”) związanego z analizą procesów w nieskończenie wielu punktach zmiennej czasowej, a charakterystycznego w programowaniu systemów dynamicznych. Stało się to możliwe w modelu przedziałowym, ponieważ czynnik czasu ograniczono w nim do wybranych punktów analizy (wyznaczanych granicami przedziałów) [14]. Skomplikowana postać takich modeli, z uwagi na wierne i szczegółowe odzwierciedlenie w nich procesów rzeczywistych, sprawia, że do ich rozwiązania potrzebna jest duża liczba danych wejściowych, co podnosi znacznie pracochłonność przygotowania, a równocześnie ogranicza możliwości zastosowania w praktyce [4]. Symulacyjny model

przedziałowy IMAG-ORSPEL zaadaptowano do specyfiki rolnictwa polskiego i zastosowano z powodzeniem w przedsiębiorstwach rolnych w Polsce do oceny trafności decyzji dotyczących wyboru maszyn dla zróżnicowanego obszaru upraw, zmian technologii produkcji, zakupu lub sprzedaży usług, wpływu współwłasności środków mechanizacji na koszty mechanizacji, czy też korzystnych lub niekorzystnych warunków pogodowych na bilans czasów dyspozycyjnych i rzeczywistych nakładów czasu [14]. Opracowane wcześniej systemy SWD FINDS oraz FARMSYS [15] oparte na metodach programowania liniowego (LP), nie pozwalały ocenić rzeczywistych możliwości wykorzystania maszyn i pracowników w takim samym stopniu jak model IMAG-ORSPEL z uwagi na fakt, że w metodach tych symulowany wybór zabiegów oraz maszyn i pracowników następuje poprzez korzystanie ze stałych zasobów dostępnych ciągle w tym samym stopniu. Tymczasem zasobów czasu dyspozycyjnego w okresach agrotechnicznych ulega w miarę realizacji zabiegów polowych. Procedura obliczeń modelu LP nie jest w tym zakresie dostatecznie precyzyjna. Tę samą niedogodność stwierdzono w modelu MSERVICE, w którym wystąpił problem zmienności liniowej amortyzacji w okresach agrotechnicznych i nieliniowej w roku z uwagi na konieczność podziału czynnika czasu jako czynnika z założenia ciągłego. W metodach symulacyjnych można łatwo zagwarantować odpowiednią sekwencję zabiegów (np. podorywka po zbiorze) [9]. W modelu LP ten warunek nie może być spełniony w obrębie okresów, a jedynie między okresami.

Innym ograniczeniem metod optymalizacyjnych i symulacyjnych są małe możliwości strukturalizacji problemu i w związku z tym trudności w komunikacji z aktywną częścią systemu wspomagania decyzji, jaką stanowi użytkownik. Słabość strukturalizacji rozwiązywanego problemu wyjaśniona jest najlepiej pojęciem „czarna skrzynka” (black-box), które dotyczy braku możliwości zaprezentowania użytkownikowi symulacyjnych czy optymalizacyjnych procedur przetwarzania danych, gdyż ma on wgląd tylko w moduł danych wejściowych i wyjściowych. Moduł przetwarzania jest niedostępny.

Wskazane wyżej cechy instrumentów zastosowanych dotychczas do rozwiązywania problemu modelowania mechanizacji procesów produkcji rolnej uwidaczniają ograniczenia, które powinny być pokonywane. Jedną z możliwości w tym zakresie może być zastosowanie narzędzi klasy SI – systemów ekspertowych do opracowania innej metody.

#### **4. Analiza porównawcza modelowania metodami programowania, symulacyjnymi oraz sztucznej inteligencji SI**

W tabeli 1 zaprezentowano cechy charakterystyczne metod modelowania sytuacji decyzyjnych, uwzględniając rozwiązania oparte na metodach symulacyjnych, programowania liniowego oraz sztucznej inteligencji – systemów ekspertowych. Z wymienionych w tabeli cech na uwagę zasługują różnice i podobieństwa poszczególnych narzędzi wskazujące na ich wady i zalety z punktu widzenia użytkowników rozwiązań modelowych.

Szybkość działania procedur i algorytmów mogą być ważne dla użytkowników, ponieważ dłuższy czas wykonywania procesu przetwarzania zwiększa czas oczekiwania na rozwiązanie.

Tabela 1. Cechy charakterystyczne metod modelowania procesów decyzyjnych

Pozycje	Metody modelowania			
	programowanie liniowe MSERVICE	symulacyjne		sztuczna inteligencja MOWM
		IMAG-ORSPEL	MASZYNY	
1	2	3	4	5
Przygotowanie danych wejściowych	kilkadziesiąt godzin	kilkadziesiąt godzin	kilkanaście godzin	kilka godzin
Procedura – algorytm	simplex, całkowitoliczbowe i inne	strategia heurystyczna	strategia heurystyczna	algorytmy oparte na funkcjach i ich argumentach, reguły wnioskowania
Liczba kroków – etapów obliczeń	jeden	jeden w każdym przedziale	jeden w każdym przedziale	kilkanaście
Optymalizacja	znalezienie optimum – perfekcyjna informacja	rozwiązania suboptymalne – strategia krótkowzroczna	rozwiązania suboptymalne – strategia krótkowzroczna	rozwiązanie satysfakcjonujące użytkownika
Wykonalność	czas obliczeń – brak sekwencji chronologicznej	sekwencja chronologiczna przyjęta arbitralnie	sekwencja chronologiczna przyjęta arbitralnie	sekwencja logiczna wg struktury rozwiązywanego problemu – menu użytkownika
Zagregowana wykonalność	straty z powodu zakłóceń przepływu danych	arbitralna kolejność i zuniformizowane – równe przedziały	arbitralna kolejność i zuniformizowane – równe przedziały	wymuszona strukturą problemu
Procedury Poszukiwanie rozwiązania	standardowy algorytm	unikalne rozwiązania	unikalne rozwiązania	unikalne rozwiązania
Model	nierówności	sieć	sieć	struktura rozgałęziona
Rozwiązanie	optymistyczne	sub-optymalne	satysfakcjonujące	satysfakcjonujące
Wielkość modelu	ograniczona	ograniczona	brak ograniczeń	brak ograniczeń
Akceptowana wielkość	zagregowana	Zagregowana lub nie – w praktyce także uproszczenia – zagregowanie pól	zagregowana lub nie – w praktyce także uproszczenia – zagregowanie pól	zagregowana lub nie – w praktyce także uproszczenia zagregowanie pól
Strukturyzacja problemu	niewielki stopień	średni stopień	średni stopień	wysoki stopień
Otwartość modelu na dane zewnętrzne	niewielki stopień	niewielki stopień	niewielki stopień	wysoki stopień
Pracochłonność	wysoka	wysoka	średnia	średnia

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

W tym kontekście algorytmy oparte na modelach stricte matematycznych wymagają większych mocy obliczeniowych i dłuższego czasu przetwarzania niż metody symulacyjne, czy też metody sztucznej inteligencji. Potwierdzeniem tego faktu jest porównanie metody MSERVICE, w której czas oczekiwania na uzyskanie rozwiązań mieścił się w przedziale od kilku do kilkunastu godzin, z modelami symulacyjnymi IMAG-ORSPPEL i MASZYNY [16], gdzie czas procedur przetwarzania wynosił od kilku do kilkunastu minut, oraz w systemie ekspertowym MOWM, gdzie czas ten mieścił się w przedziale od kilku do kilkunastu sekund. Obecnie ranga tego problemu spadła z uwagi na znaczący postęp technologiczny osiągnięty w szybkości przetwarzania.

Znacznie bardziej pracochłonnym procesem w modelowaniu sytuacji decyzyjnych jest proces przygotowania danych wejściowych, polegający we wszystkich omawianych metodach na implementacji i dostosowaniu danych standardowych do specyficznych warunków modelowanych przedsiębiorstw. Zasadniczą rolę w tym procesie odgrywa z jednej strony szczupłość dostępnych danych normatywnych związana z kosztami ich pozyskiwania z uwagi na czynnik przyrodniczy podnoszący zmienność warunków w produkcji rolnej, a z drugiej strony interfejs użytkownika oraz metoda prezentacji rozwiązywanych problemów decyzyjnych. We wszystkich omawianych podejściach proces przygotowywania danych tworzących specyficzny model firmy użytkownika jest dość długi, jednak został on znacznie skrócony w metodzie MASZYNY i MOWM w porównaniu z MSERVICE i IMAG-ORSPPEL (tabela 1). Było to możliwe dzięki wprowadzeniu zagregowanych, standardowych wielkości obniżających pracochłonność przygotowania danych, np. sekwencji zabiegów (operacji) procesów technologicznych.

Na podkreślenie zasługuje także problem kompletności danych i sposób jego rozwiązania w różnych wariantach rozwiązań. W MSERVICE musi być wykreowana kompletna główna baza danych, w metodach MASZYNY i MOWM bazy danych i baza wiedzy, jednak w przypadku tych narzędzi w trakcie realizacji procedur poszukiwania rozwiązań generowane są odpowiednie komunikaty informujące użytkownika, o jakie dane należy uzupełnić model dla uzyskania rozwiązania, jeśli ich brakuje.

Liczba kroków (etapów) w procedurze poszukiwania rozwiązań ma aspekt dwuwymiarowy. Przetwarzanie w procedurach LP zastosowane w MSERVICE przebiega jednoetapowo, dlatego proces odzwierciedlenia przebiegu prac polowych w okresach agrotechnicznych komplikuje się, natomiast w modelach wieloprzedziałowych odbywa się to w sposób naturalny, gdyż symulacja procesów rzeczywistych odbywa się sekwencyjnie, tak jak następują kolejne okresy agrotechniczne (w roku). Stąd IMAG-ORSPPEL i MASZYNY lepiej symulują procesy pracy w produkcji rolnej niż MSERVICE.

Odrębne kryterium trzeba zastosować do metod sztucznej inteligencji reprezentowanych przez SE MOWM, gdzie istnieje kilkanaście odrębnych procedur przetwarzania, które każdorazowo musi zainicjować użytkownik. Jest to niewątpliwie wada w stosunku do automatycznych procedur inicjacji procesu przetwarzania w metodzie MASZYNY i MSERVICE. Zaletą jest fakt, że istnieje pełna możliwość kontroli i wglądu użytkownika w generowane rozwiązania w całym procesie modelowania gospodarstwa na każdym etapie procedury poszukiwania rozwiązania i wyjaśniania mu, w jaki sposób doszło do uzyskania określonych wyników.

Kolejne kryterium analizy porównawczej badanych metod dotyczy problemu optymalności uzyskiwanych rozwiązań. W modelu MASZYNY i MOWM nie ma de facto procedur optymalizacyjnych, istnieje jednak możliwość łatwego wariantowania rozwiązań w zależności od zmienianych parametrów decyzyjnych. Z tego punktu widzenia użytkownik może badać wrażliwość uzyskanego rozwiązania na zmieniane parametry

i na tej podstawie interpretować wyniki tak długo, aż nie uzyska rozwiązania satysfakcjonującego. Jest to ważne w kontekście wzrostu adekwatności SWD do potrzeb użytkowników, która, jak wynika z najnowszych badań, w ostatnich latach maleje na skutek niezrozumienia przez twórców SWD wymagań odbiorców generowanych informacji [18]. Najlepsze rozwiązanie wybrane spośród wielu wariantów także może być określane mianem optymalnego i w takim ujęciu MASZYNY i MOWM również należą do metod optymalizacyjnych. Metody LP także z założenia uwzględniają generowanie kilku rozwiązań, ale z uwagi na pracochłonność przeliczeń złożonego modelu sprawdzenie kolejnego scenariusza decyzyjnego jest w praktyce bardziej czasochłonne niż metodami symulacyjnymi i sztucznej inteligencji pozwalającymi uzyskać kolejny wynik wielokrotnie szybciej. Struktura modeli determinuje wykonalność, co się ściśle wiąże z liczbą etapów procedur przetwarzania. Sekwencja chronologiczna przyjęta arbitralnie w IMAG-ORPSEL i w MASZYNACH, a uwarunkowana procesami przyrodniczymi zachodzącymi w produkcji rolnej, w MSERVICE musiała być rozwiązana w sposób bardziej skomplikowany, gdyż w modelu LP ten warunek nie może być spełniony w obrębie okresów, a jedynie między okresami. W MOWM zastosowana została logiczna sekwencja zgodna ze strukturą rozwiązywanego problemu.

Zagregowana wykonalność dotyczy konieczności dokonania przybliżeń i uproszczeń pewnych wielkości. W metodzie LP straty przepływu danych występują na etapie zamiany wartości ułamkowych na całkowitoliczbowe lub na skutek konieczności zachowania poprawności uzyskanych rozwiązań modelu. Równe przedziały zastosowane w modelach przedziałowych MASZYNY i IMAG-ORSPEL są też wielkościami arbitralnymi, niekoniecznie odzwierciedlającymi rzeczywiste okresy wykonania zabiegów. W MOWM agregowanie jest również wymuszane strukturą samego modelu, determinowaną przez problem decyzyjny. Standardowe procedury programowania liniowego zastosowane w MSERVICE ułatwiają budowę, natomiast unikalne procedury i funkcje oraz reguły wnioskowania zastosowane w MASZYNACH, IMAG-ORSPEL i w MOWM raczej utrudniają pracę projektantom SWD. Unikalne procedury przetwarzania zastosowane w instrumentach symulacyjnych i sztucznej inteligencji oparte są na pewnych funkcjach standardowych (np. języka SQL, pętlach, warunkach, podprogramach itp.), ale trzeba je ustrukturyzować i zintegrować w celu zaimplementowania w procesach wspomaganie decyzji.

Sztynność struktur modeli determinowana założeniami procedur przetwarzania powoduje, że istnieją pewne ograniczenia, co do ich wielkości w metodach MSERVICE i IMAG-ORSPEL, a nie występują one w metodach MASZYNY i MOWM.

Praktyczna wielkość modeli jest bardziej zdeterminowana długością etapu przygotowania danych wejściowych i modelowania firmy. Mimo to jednak, bardziej otwarta i elastyczna struktura modeli MASZYNY i MOWM daje potencjalnie większe możliwości zastosowania niż MSERVICE i IMAG-ORSPEL. Świadczy o tym fakt, że w MOWM wprowadzenie innego algorytmu obliczeniowego dla ustalenia amortyzacji (np. funkcji wykładniczej – nieliniowej) nie pociąga za sobą konieczności innej konstrukcji całego modelu, gdyż nie występuje w tej metodzie problem zmienności liniowej amortyzacji w okresach agrotechnicznych i nieliniowej w roku, jak w MSERVICE. W MOWM występuje, zatem mniej determinantów usztywniających metodę obliczeń amortyzacji środków mechanizacji. Dlatego do ustalenia poziomu kosztów amortyzacji użytkownik SWD może wykorzystać 3 rodzaje algorytmów – opartych na metodzie czasowej, zmodyfikowanej czasowej lub zmodyfikowanej metodzie regresyjnej. Łatwość

wprowadzania różnych algorytmów obliczeniowych zwiększa możliwości wariantowania rozwiązań w opracowanej metodzie, co podnosi jej użyteczność.

Ważną cechą MOWM jest otwartość na dane zewnętrzne i bezpośrednia możliwość ich implementowania w modelu. Pod tym względem oferowana metoda stanowi rozwiązanie otwarte na integrację z różnymi standardami wykorzystywanych danych źródłowych. Interfejs użytkownika zapewnia połączenia z witrynami zawierającymi informacje o aktualnych stopach oprocentowania kapitału czy cenach maszyn, a także konwersję wybranych wartości z innych platform sprzętowo-programowych do modelu.

Jeszcze większe możliwości w zakresie doskonalenia SWD w modelowaniu procesów produkcji rolnej stwarzają rozwiązania hybrydowe, które według Matsatsinisa i Samarasa [18] wspierają interpretację rezultatów z modeli matematycznych, pomagają w ich zastosowaniu do generowania wariantów decyzyjnych i w lepszym ich zrozumieniu przez menedżerów. Mogą one stwarzać efekty synergiczne z połączenia systemu eksperckiego i modeli symulacyjnych. Dlatego rozwijane są badania nad pozyskiwaniem i reprezentacją wiedzy, transferem technologii, weryfikacją i walidacją modeli w kontekście zintegrowanych, hybrydowych systemów inteligentnych [19].

## 5. Wnioski

Wśród zasadniczych uwarunkowań problemu modelowania procesów produkcji rolnej z wykorzystaniem komputerowych metod wspomagania decyzji należy wyróżnić kompleksowy i słabo ustrukturalizowany charakter decyzji dotyczących obszaru ekonomiki i organizacji mechanizacji procesów wytwarzania. Wynika on z oddziaływania mało przewidywalnego i trudnego do zwymiarowania czynnika przyrodniczego oraz przestrzennego charakteru procesów pracy w rolnictwie, jak również interakcji wymienionych elementów z czynnikami eksploatacyjno-technicznymi oraz wykonawczo-społecznymi. Dlatego też na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej można stwierdzić, że szczególnie preferowane do rozwiązywania takich problemów są metody oparte na narzędziach sztucznej inteligencji, a w szczególności systemy ekspertowe. Jednak także nowoczesne metody symulacyjne oparte na modelach przedziałowych (compartment models) pozwalają na obniżenie pracochłonności przygotowywania danych wejściowych i skrócenie procesu generowania wyników w porównaniu z metodami programowania.

Ograniczeniem metod optymalizacyjnych są małe możliwości strukturalizacji problemu i w związku z tym trudności w komunikacji z aktywną częścią systemu wspomagania decyzji, jaką stanowi użytkownik.

W wykonanym studium stwierdzono także większą elastyczność narzędzi klasy SI w dostosowywaniu się do potrzeb użytkownika, jak również lepszy jego wgląd w strukturę analizowanego problemu poprzez użycie modułu wyjaśnień. Pewnym ograniczeniem jest mniejszy stopień automatyzacji obsługi oprogramowania w systemach ekspertowych na skutek większej interaktywności tych systemów z użytkownikiem niż ma to miejsce w przypadku metod programowania czy symulacyjnych.

Podsumowując, można stwierdzić, że systemy ekspertowe oraz metody symulacyjne wykazują większą efektywność w procesie modelowania procesów wytwórczych w przedsiębiorstwach rolnych niż metody oparte li tylko na modelach matematycznych.

Jednym z ważnych obecnie trendów doskonalenia SWD, w tym także dotyczącym modelowania procesów produkcji rolnej, jest hybrydowość, która pozwala łączyć zalety metod symulacyjnych, eksperckich oraz programowania.



## Literatura

1. Wasilewski M., Jakość produktów i środków do produkcji w gospodarstwach rolniczych. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej* 2, 2004. 56-64.
2. Bojar W. Studium wyboru maszyn w gospodarstwach rolniczych w świetle rozwoju systemów wspomagania decyzji. *Rozprawy nr 114. Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy* 2005, 105-109.
3. Hunt D., Siła ekonomiczna gospodarstw w świetle zarządzania wyposażeniem gospodarstwa. *American Society of Agricultural Engineering University of Illinois USA*, 1995.
4. Bojar W. Problemy zastosowań metod wspomagania decyzji (DSS) do racjonalnego gospodarowania maszynami rolniczymi w gospodarstwach rolnych. *Post. Nauk Roln.* 4(97), 1997. 77-89.
5. Wójcicki Z. Modernizacja rozwojowych gospodarstw rodzinnych. *Prace Nauk. AE we Wrocławiu* 983, 2003. 537, 541, 543.
6. Szeptycki A., Wójcicki Z. Postęp technologiczny i nakłady energetyczne w rolnictwie. *IBMER Warszawa*. 2003.
7. Zelent M. Optymalizacja parku ciągników, maszyn i środków transportowych z punktu widzenia kosztów eksploatacji (praca doktorska). *SGGW Warszawa*, 1968.
8. Muzalewski A. Model optymalizacyjny mechanizacji gospodarstw rolniczych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 408(93), 1993. 195-199.
9. Borkowski B. Metoda racjonalnego wykorzystania maszyn rolniczych w gospodarstwach chłopskich z zastosowaniem pakietu programowego MSERVICE/4. *Rozprawy naukowe i monografie, Wyd. SGGW Warszawa*, 1994.
10. Işik A., Say S.M. An expert system for tractor selection according to farm conditions. *The Conference Proceedings XXVIII on CIOSTA-C.I.G.R. V International Congress Work Sciences in Sustainable Agriculture, Wageningen Pers Edition Denmark*, 2001. 192-200.
11. Nozdrovicky I., Marhavy I. Computer-based decision system or management of technological innovations in crop production. *The Conference Proceedings XXVIII on CIOSTA-C.I.G.R. V International Congress Work Sciences in Sustainable Agriculture, Wageningen Pers Edition Denmark*, 2001. 208-213.
12. Izdebski W. Strategie wyposażenia gospodarstw rolnych w kombajny zbożowe. *Rozprawy naukowe i monografie, Wyd. SGGW w Warszawie, Warszawa* 2003.
13. Thysen I. Decision support in agriculture under uncertainty. *The 2nd Workshop proceedings on Artificial Intelligence in Agriculture, Wageningen, Netherlands, Engineering Research Journal* 59, 1995. 173-179.
14. Bojar W., Kroeze G.H. Decision effects simulation to extent farm land area under Polish farming circumstances. (ATR-KERI & IMAG – DLO). *IMAG – DLO Wageningen, Netherlands* 1994.
15. Freeman S.A., Whittaker A.D. Object-oriented methodology for analyzing and allocating resources for field operation. *Applied Engineering in Agriculture* 8, 1992. 525-535.
16. Bojar W. The cost budgeting in the crop production connected with organizational schemes. *Proceedings XXIX CIOSTA-C.I.G.R. V Congress titled: Farm work science facing challenges of the XXI century, Wageningen Pers Edition, Krakow, Poland*, 2001. 45-50.

17. Matthews, K.B.; Schwarz, G.; Buchan, K.; Rivington, M.; Miller, D.. Computers & Electronics in Agriculture, Vol. 61 Issue 2. 2008. 11, 149-159.
18. Matsatsinis Nikolaos F., Samaras Andreas P., Brand choice model selection based on consumers' multicriteria preferences and experts' knowledge, Computers & Operations Research 27 (2000).
19. Power, D. J., Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers, Westport, CT: Greenwood/Quorum Books, 2002.

Dr hab. inż. Waldemar Lech BOJAR prof. nadzw. UTP  
Wydział Zarządzania Katedra Inżynierii Zarządzania  
Uniwersytet Technologiczno – Przyrodniczy w Bydgoszczy  
85-796 Bydgoszcz ul. Prof. S. Kaliskiego 7 bud.3.1  
tel. (0-52)-340-81-81, fax 340-81-92  
e-mail: Waldemar.Bojar@utp.edu.pl