

Znaczenie fizyki i agrofizyki w doskonaleniu maszyn roboczych stosowanych w produkcji żywności

Streszczenie

W pracy ukazano znaczenie fizyki i agrofizyki w projektowaniu maszyn roboczych stosowanych w produkcji żywności. Zwrócono uwagę na skutki wprowadzania wytworów gospodarczej działalności człowieka do środowiska naturalnego. Opisano znaczenie właściwości fizycznych, modelowania matematycznego i symulacji komputerowej w procesie poszukiwania nowoczesnych koncepcji maszyn realizujących procesy robocze podczas produkcji żywności.

Słowa kluczowe: fizyka, agrofizyka, materiał biologiczny, właściwości fizyczne, proces technologiczny, modelowanie matematyczne, symulacja komputerowa, maszyna.

The importance of physics and agrophysics in perfecting working machines used in the production of food

Summary

In this paper the importance of physics and of agrophysics in design working machines used in the production of food was presented. Attention has been paid to the effects of the introduction of the products of human economic activity to the environment. The importance of the physical, mathematical modeling and computer simulation in the process of searching for a modern concept of machines performing work processes in the production of food was described.

Key words: physics, agrophysics, biological material, physical properties, technological process, mathematical modeling, computer simulation, machine

Wprowadzenie

Fizyka bada materialny świat i poszukuje prawdy, fundamentalnych właściwości materii, przy uwzględnieniu zasady jej jednorodności oraz powszechności praw fizyki. Stosując uniwersalne metody, pojęcia i prawa.

„Agrofizyka jest nauką traktującą o fizycznych właściwościach i procesach mających wpływ na produkcję roślinną. Głównym celem badań agrofizycznych jest transport masy (wody, powietrza, składników pokarmowych roślin) i energii (światła, ciepła) w układzie gleba-roślina-atmosfera i gleba-roślina-maszyna-produkty roślinne, żywność oraz sposób jego regulacji w celu otrzymania dużej ilości i wysokiej jakości biomasy z zachowaniem zrównoważonego środowiska. Znajomość zjawisk fizycznych w środowisku rolniczym pozwala również na obniżenie strat biomasy podczas jej zbioru, transportu, przechowywania i przetworstwa, a ponadto na efektywniejsze zużycie chemikaliów (nawozów sztucznych, herbicydów, pestycydów) i wody, niezbędnych dla jej produkcji” (Gliński i in., 2014).

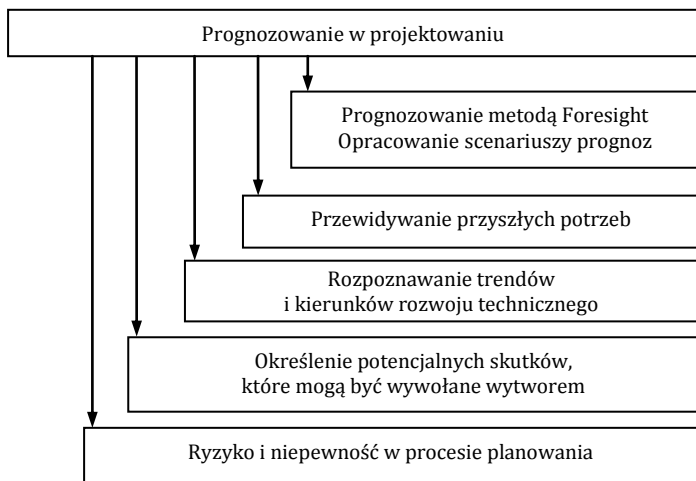
W projektowaniu maszyn dla zakładów produkujących żywność nauki fizyczne odgrywają rolę wspomagającą, rozwiązując złożone problemy związane z cechami fizycznymi gleby i surowców pochodzenia biologicznego oraz produktów żywnościowych. Posługując się metodami pomiaru wielkości fizycznych, opisu procesów, stosując zasady mechaniki, termodynamiki, optyki, elektrodynamiki, elektroniki, akustyki, fizyki atomu, cząsteczki i ciała stałego, biofizyki i prawa wielu innych współczesnych dzia-

łów fizyki. Agrofizyka jest nauką interdyscyplinarną i w rozwiązywaniu problemów agrofizycznych wykorzystuje wiele obszarów nauki, między innymi: fizykę, matematykę i ekonomię, nauki techniczne, o systemach, nauki rolnicze o zarządzaniu.

Projektowanie obiektów technicznych a środowisko naturalne

Projektowanie, należące do intelektualnych czynności człowieka dążącego do kompleksowego ujmowania problemów i zagadnień związanych z tworzeniem i ulepszaniem systemów technicznych, jest podstawową czynnością podczas tworzenia nowych, współczesnych technologii oraz maszyn roboczych stosowanych w produkcji żywności. Projektowanie polegające na wyciąganiu logicznych wniosków z empirycznych obserwacji, pomagających w tworzeniu sztucznych obiektów materialnych i systemów technicznych wprowadzanych do środowiska naturalnego, ma przynosić ludziom pożytek (Mieszkalski, 2011a). Zanim podejmie się prace projektowe, należy z dużym wyprzedzeniem czasowym opracować naukowe prognozy dotyczące przebiegu przewidywanych procesów produkcyjnych. Należy opracować scenariusze prognoz z udziałem specjalistów ściśle zainteresowanych problematyką agrofizyki oraz specjalistów z innych obszarów nauki.

Zastosowanie metody Foresight przy planowaniu nowych wyrobów gwarantuje dokładne określenie potrzeb, trendów rozwoju, skutków na środowisko i niepewności produkcji (rys.1).



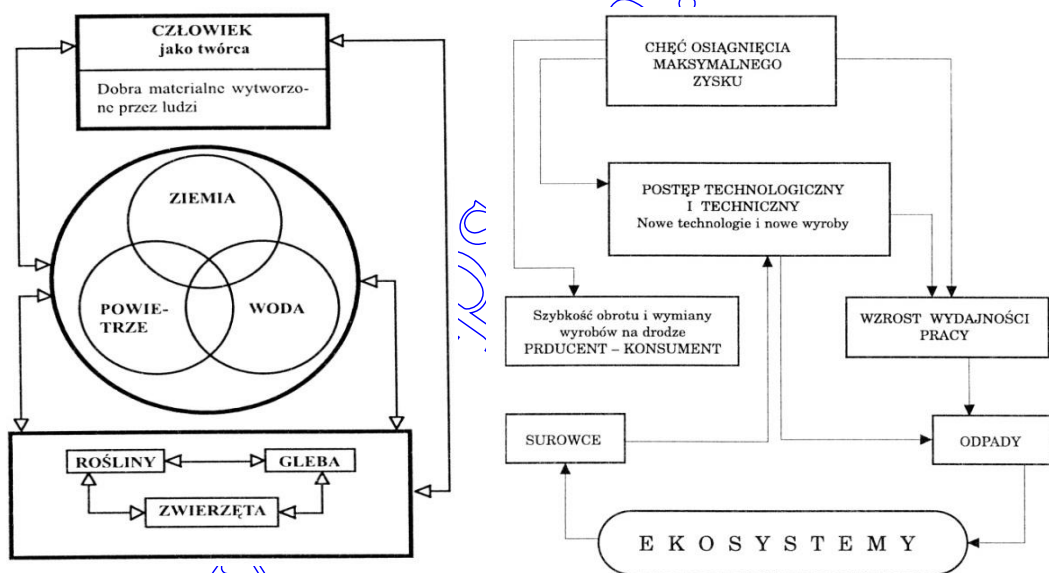
Rys. 1. Prognozowanie w procesie projektowania obiektów technicznych wykorzystywanych w inżynierii żywności

Fig. 1. Forecasting in the design of technical objects used in food engineering

Do środowiska naturalnego (systemu naturalnego) - relacje ziemia, powietrze, woda, a następnie gleba, rośliny i zwierzęta - ludzie, jako twórcy, wprowadzają wyprodukowane

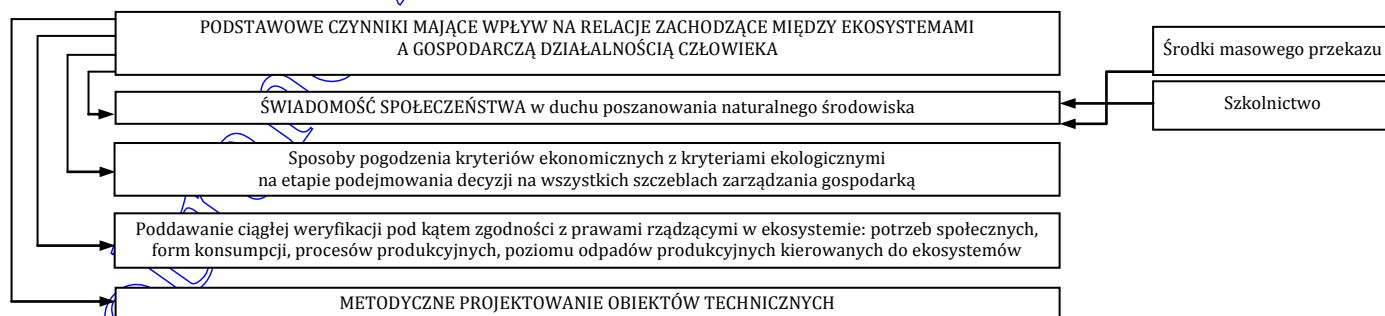
przez siebie wyroby (systemy sztuczne), które funkcjonują w środowisku naturalnym i na nie oddziałują (rys. 2). Zadaniem projektantów jest wybieranie rozwiązań systemowych, które realizują potrzeby ludzi, ale minimalizują czy wręcz eliminują negatywny wpływ na środowisko naturalne (Arvanitoyiannis i in., 2000; Ravertz, 2002). Należy pamiętać, by w technicznych zastosowaniach nowych odkryć z dziedziny fizyki, na pierwszym miejscu było szeroko pojęte dobro ludzi i niezanieczyszczone środowisko naturalne.

Działalnością człowieka steruje chęć rozwiązania konkretnych potrzeb, problemów życia materialnego, ale i chęć osiągnięcia zysku ekonomicznego, który jest swoistym motorem tworzenia postępu, szczególnie techniczno-technologicznego (Mieszkański, 1998a). W wyniku twórczej działalności człowieka są wprowadzane do jego otoczenia i wykorzystania przez niego nowe wyroby i technologie wytwarzania, inspirowane do nieustannego wzrostu wydajności pracy, wymuszające szybkość obrotu i wymianę wyrobów na drodze producent – konsument (rys. 3). Nowe wyroby ich różnorodność i nasycenie, a także nowe technologie wytwarzania są znaczącym źródłem wzrostu negatywnych oddziaływań na środowisko naturalne.



Rys. 2. Podstawowe elementy środowiska naturalnego i zysk ekonomiczny, jako jedna z przyczyn zagrożenia środowiska naturalnego

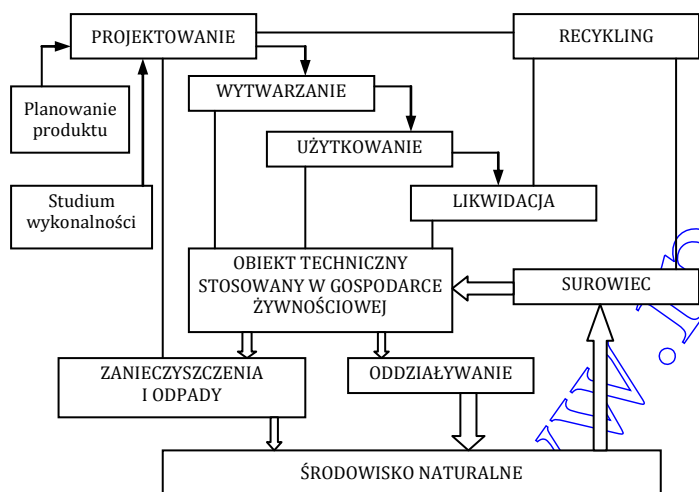
Fig. 2. Basic elements of the environment and economic profit as one of the causes of environmental hazards



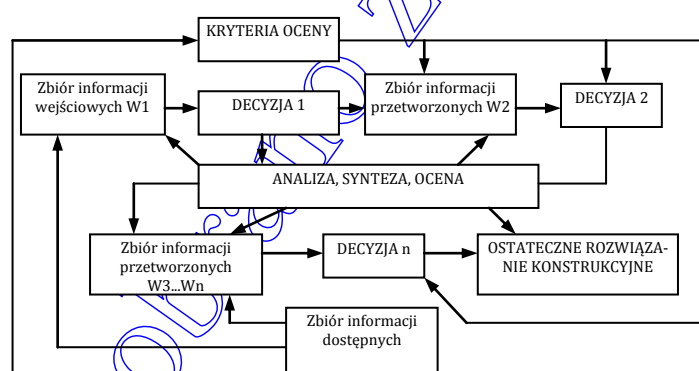
Rys. 3. Czynniki wpływające na zmniejszenie zagrożeń dla środowiska naturalnego

Fig. 3. Factors affecting the reduction of environmental risks

Na etapie projektowania maszyn technologicznych stosowanych w zakładach produkujących żywność zachodzi konieczność uwzględnienia wszystkich etapów istnienia maszyny roboczej (rys. 4). Maszyny robocze przez cały czas swego istnienia są ściśle powiązane ze środowiskiem. Ze środowiska naturalnego są pobierane nieodnawialne surowce, z których się wytwarza materiały konstrukcyjne. W wyniku wytwarzania, użytkowania i likwidacji maszyn stosowanych w zakładach produkujących żywność występuje oddziaływanie na obszary środowiska naturalnego objawiające się niekorzystnym wpływem na ludzi oraz kierowaniem do środowiska naturalnego odpadów i zanieczyszczeń (Park i Kim, 2009a, b, c). Ograniczeniu czy wręcz wyeliminowaniu przekazywania do środowiska likwidowanych zużytych maszyn roboczych oraz obniżeniu zapotrzebowania na surowce powinna w większym stopniu niż dotychczas służyć techniczna możliwość ponownego użycia materiałów w procesach przetwarzania. Nauki fizyczne i techniczne mogą pomóc w znalezieniu zarówno sposobów wykorzystania materiałów wtórnych w produkcji nowych wytworów, jak i skutecznych metod ochrony środowiska przed niebezpiecznymi skutkami zastosowania odkryć, także z obszaru fizyki, np. promienie gamma, X i wiele innych.



Rys. 4. Główne fazy istnienia maszyny roboczej stosowanej w rolnictwie i zakładach produkujących żywność i oddziaływanie jej na środowisko naturalne
Fig. 4. The main phase of the existence of the working machines used in agriculture and food factories and its impact on the environment

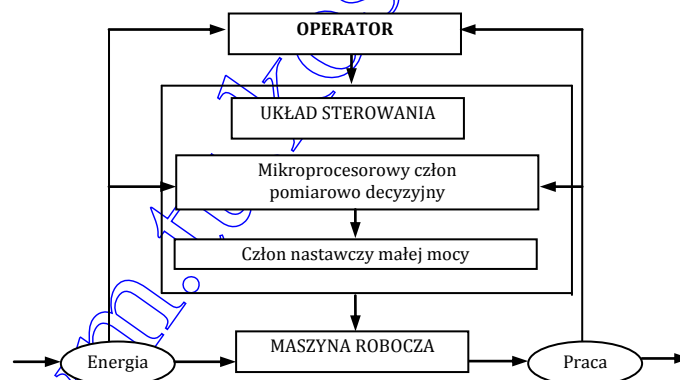


Rys. 5. Struktura szeregową decyzji projektowych
Fig. 5. Structure series of design decisions

Od jakości decyzji projektowych, mających strukturę szeregową (rys. 5), zależą cechy użytkowe maszyn roboczych, bezpieczeństwo operatorów i właściwe relacje ze środowiskiem naturalnym.

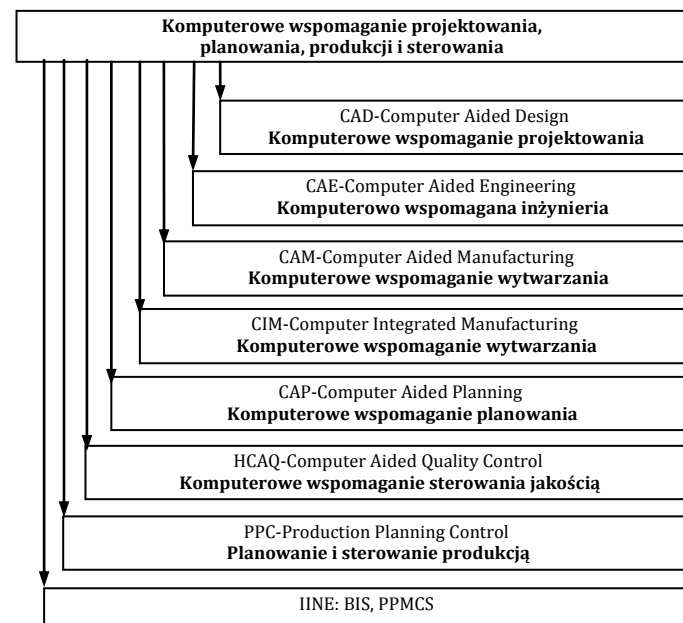
Procesy, technologie, maszyny robocze, jako cele projektowania

Maszyna robocza stanowiąca układ połączonych ze sobą elementów wykonujących określony ruch roboczy, przenoszących siły i momenty, wykonuje pracę użyteczną będącą efektem energetycznym oraz przekształceniem dowolnej energii w mechaniczną lub mechaniczną w inną. Współczesna maszyna robocza jest obiektem mechatronicznym (rys. 6).



Rys. 6. Maszyna robocza, jako obiekt mechatroniczny
Fig. 6. Working machine as an object of mechatronic

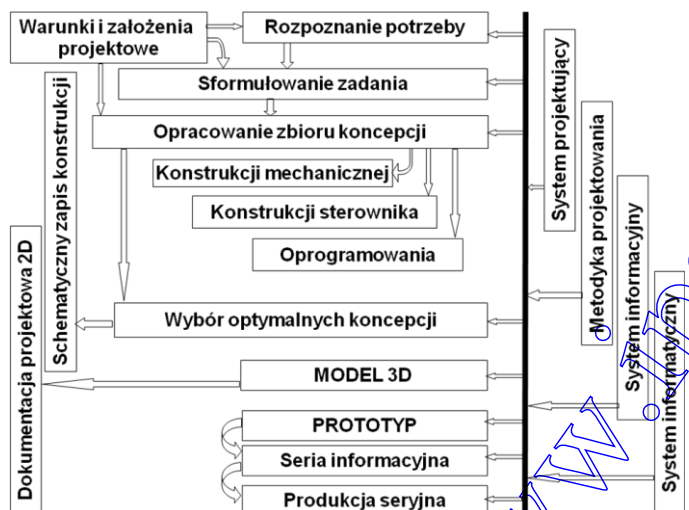
Dynamicznie rozwijające się metody numeryczne służące do przetwarzania danych, a także wirtualizacji procesów roboczych (Zhang i Wang, 2008; Fulton i in., 2009) znajdują zastosowanie w rolnictwie i technologiach produkcji żywności. Komputerowe wspomaganie projektowania i podejmowania decyzji projektowych (rys. 7) stało się podstawą komputerowo zintegrowanej produkcji (Przybylski i Deja, 2007).



Rys. 7. Systemy komputerowego wspomaganie projektowania i podejmowania decyzji produkcyjnych
Fig. 7. The computer-aided design systems and decision-making production

Różnorodność systemów komputerowego wspomaganie projektowania wymaga pełnej integracji i kompatybilności, umożliwiając przepływ informacji i zapewniając zarządzanie danymi dotyczącymi produktu. Komputerowe systemy wspomagające projektowanie wytwarzające dane dotyczące produktu muszą zapewnić pełną kontrolę nad danymi w całym okresie trwania produktu, gwarantując pełną wymianę informacji między poszczególnymi aplikacjami. Wymiana danych między aplikacjami pozwala nie tylko na zapis konstrukcji, ale i jej analizę kinematyczną, dynamiczną, wytrzymałościową (MES) i inne. Doskonalenie programów i systemów komputerowych zwiększa szybkość obliczeniową, stwarza warunki do gromadzenia i przechowywania informacji, ułatwia ich wydobycie, przetwarzanie, aktualizowanie, tworzenie uporządkowanych zbiorów, modelowanie, symulację i optymalizację.

Proces projektowania jest podzielony na kilka etapów (rys. 8), w którym rozpoznanie potrzeby społecznej, sformułowanie zadania, tworzenie koncepcji, konstruowanie stanowi podstawę działań dla systemów projektujących, informatycznych, inżynierskich i metodycznych.

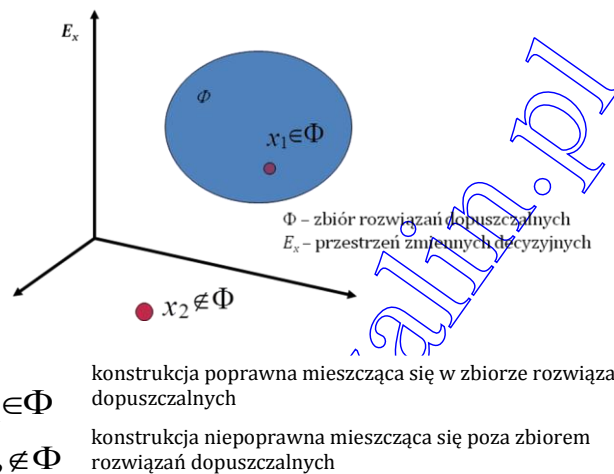


Rys. 8. Proces projektowania maszyn roboczych stosowanych w produkcji żywności

Fig. 8. Design process of working machines used in the production of food

W procesie projektowania podejmowane decyzje o różnym stopniu ogólności i złożoności podlegają optymalizacji. Decyzje są podejmowane na podstawie danych uzyskanych przez projektanta w procesie przetwarzania zbioru informacji przy przyjętych założeniach i kryteriach. W procesie decyzyjnym projektant poszukuje rozwiązań dopuszczalnych (rys. 9).

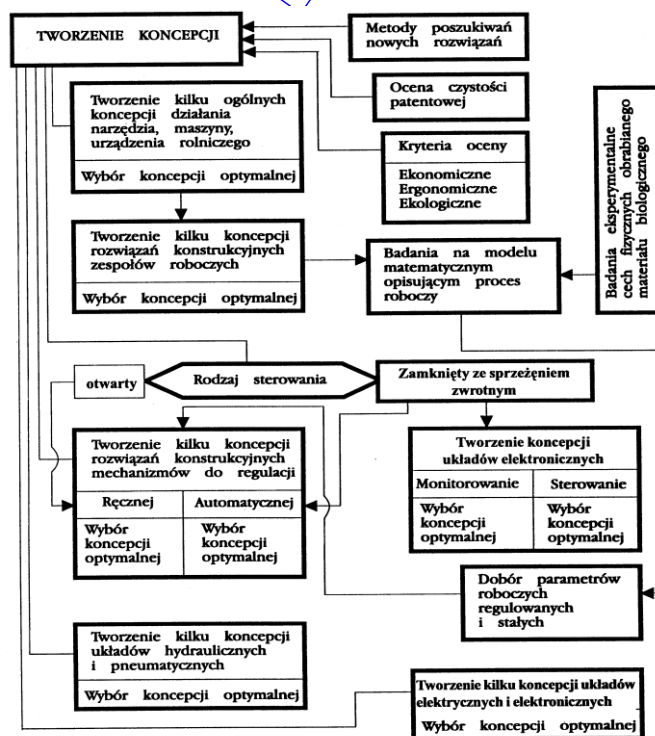
W poszukiwaniu nowych rozwiązań maszyn roboczych stosowanych do produkcji żywności, ze względu na ich złożoność proponuje się stosowanie algorytmu przedstawionego na rysunku 10. Jednym z ważniejszych zagadnień projektowych są we współczesnych maszynach roboczych układy sterowania. W fazie projektowania, oprócz układów sterowania, istotnym problemem do rozwiązania są również układy kontroli i monitoringu, a w zakresie obsługi zagadnienia ergonomiczne (Drakopoulos i Mann, 2008).



$x_1 \in \Phi$ konstrukcja poprawna mieszcząca się w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych
 $x_2 \notin \Phi$ konstrukcja niepoprawna mieszcząca się poza zbiorem rozwiązań dopuszczalnych

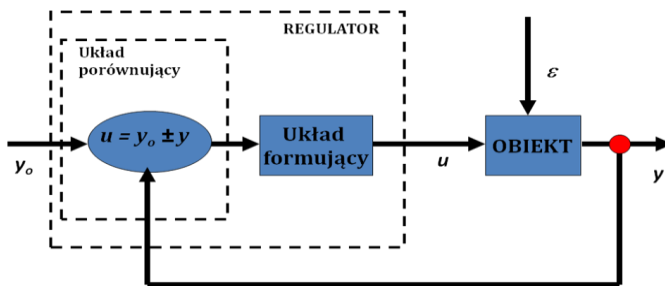
Rys. 9. Poszukiwanie rozwiązań dopuszczalnych

Fig. 9. The search for feasible solutions



Rys. 10. Schemat poszukiwania koncepcji rozwiązań konstrukcyjnych obiektów technicznych stosowanych w produkcji żywności

Fig. 10. Schematic design concept and the search for technical objects used in the production of food

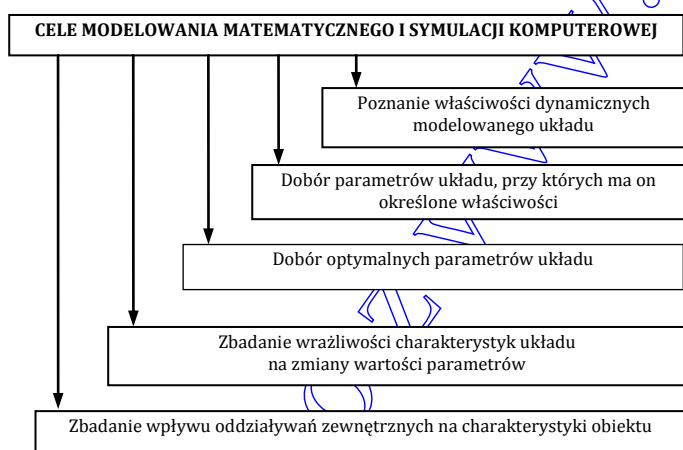


Rys. 11. Sprzężenie zwrotne kształtujące sygnał sterujący na podstawie różnicy wartości zadanej i wartości bieżącej

Fig. 11. Formative feedback control signal based on the difference of set point value and the current value

W zakładach wytwarzających żywność wprowadzane technologie produkcji ze sprzężeniem zwrotnym (rys. 11) są wyznacznikiem postępu techniczno-technologicznego. Mechanizmy, które zapewniają właściwy ruch roboczy, przenoszą siły i momenty, współpracują z układem sterowania. Układ sterowania utrzymuje parametry robocze w ustalonym przedziale (uchybie) regulacyjnym. Maszyna robocza, stanowiąca programowany system mechatroniczny (Mieszkalski, 1998a; 1998b), wyposażona w czujniki odbiera sygnały z otoczenia podczas realizacji procesu roboczego, a następnie, po ich przetworzeniu, interpretuje je i odpowiednio do sytuacji przy założonych uchybach regulacyjnych przesyła te sygnały do elementów wykonawczych w celu utrzymania właściwych parametrów roboczych maszyny, przekładających się na zoptymalizowane ruchy jej elementów w zespołach roboczych. Sterowany ze sprzężeniem zwrotnym proces roboczy zwalnia operatora z bezpośredniej kontroli parametrów roboczych (Karimi i in., 2008). Operator występuje w relacji z systemem mechatronicznym przez wprowadzanie do systemu informacji i kontroli przetworzonych oraz wyprowadzonych na zewnątrz systemu informacji o parametrach roboczych procesu. Czujniki w systemie mechatronicznym wytwarzają sygnały o wartościach wielkości fizycznych procesu roboczego, w którym uczestniczą maszyna i surowiec, a po przetworzeniu sygnały te są przekazywane do urządzeń wykonawczych zmieniających parametry robocze w pożądanym sposobie. Zaawansowane systemy sterowania w przetwórstwie spożywczym zostały opisane w pracy Flizikowskiego (2014).

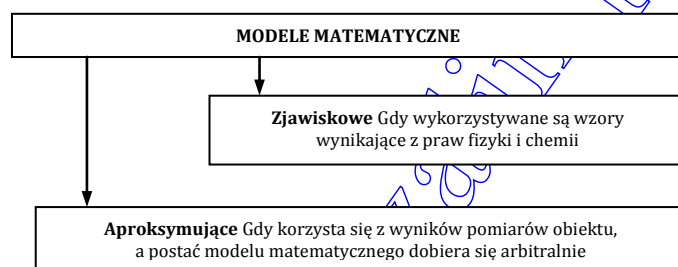
Znalezienie przez projektanta wartości parametrów roboczych właściwych dla procesu roboczego realizowanego przez zespoły robocze maszyny wymaga stosowania nowoczesnych narzędzi, np. modelowania matematycznego, symulacji komputerowych (rys. 12).



Rys. 12. Cele modelowania matematycznego i symulacji komputerowej
Fig. 12. The objectives of the mathematical modeling and computer simulation

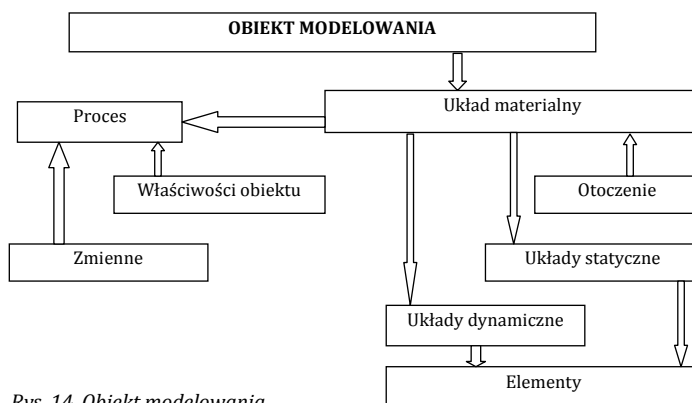
W projektowaniu nowych maszyn roboczych do produkcji żywności oraz procesów przetwórczych istotne znaczenie ma modelowanie matematyczne (rys. 13), które będzie się rozwijać wraz z rozwojem systemów informatycznych i komputerowych. Model matematyczny stosowany do opisu

zjawisk fizycznych w procesach stosowanych w inżynierii rolniczej i inżynierii żywności jest tym lepszy im szerszy jest zakres jego stosowalności i dokładności, a przede wszystkim, im dokładniej pozwala na przewidywanie zdarzeń.



Rys. 13. Ogólny podział modeli matematycznych
Fig. 13. The general division of mathematical models

Model matematyczny, jako przyjęta forma reprezentacji fragmentu rzeczywistości, służący do wyjaśniania i przewidywania zachowania się modelowanego obiektu w sposób adekwatny do celu rozważań, stanowi podstawę badań numerycznych. Adekwatność modelu do oryginału polega na reprezentatywności funkcjonalnej, oznaczającej możliwość wnioskowania o zachowaniu się oryginału w określonych warunkach na podstawie zachowania się modelu w podobnych warunkach. Obiektem modelowania są proces i elementy układu materialnego (rys. 14). Badania naukowe systemów biologicznych i technicznych bez modelu matematycznego mają mniejszą wartość poznawczą dla nauki, gdyż uzyskane wyniki są na ogół przedstawione w postaci formuł empirycznych, nie wyjaśniających zachodzących zjawisk i zdarzeń.

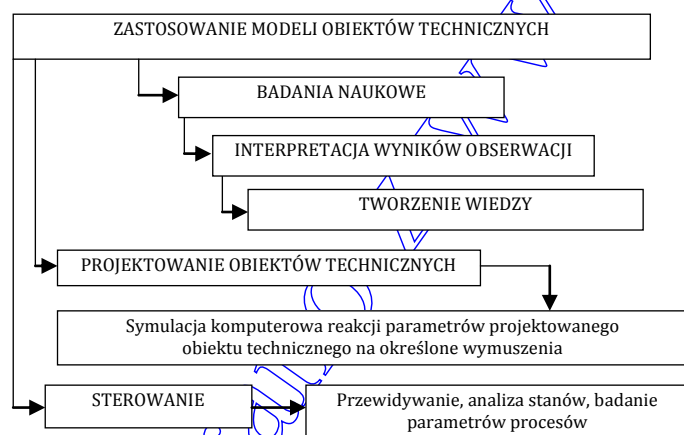


Rys. 14. Obiekt modelowania
Fig. 14. The object modeling

Modele matematyczne są wykorzystywane w badaniach naukowych, przy projektowaniu obiektów technicznych, symulacji komputerowej i sterowaniu (rys. 15). Elementarnym celem badań naukowych jest poznanie rozumiane jako proces naukowego wyjaśniania istoty struktur systemów empirycznych, sposobów i skutków ich działania oraz obserwowanych zjawisk. Poznanie istniejącego stanu rzeczy, czego następstwem jest formułowanie hipotez, twierdzeń naukowych, praw a także tworzenie teorii naukowych,

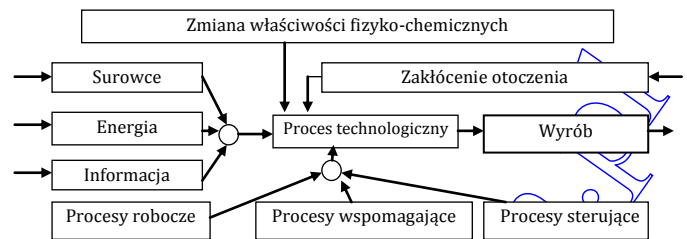
kończy się wnioskowaniem stanowiącym podstawę projektowania obiektów technicznych.

Symulacja komputerowa jest metodą badania systemu empirycznego, która ze względu na wybrany cel badania zastępuje eksperymenty naturalne, jakie byłyby potrzebne do uzyskania informacji o funkcjonowaniu badanego systemu empirycznego. Symulowany proces nie odzwierciedla procesu rzeczywistego, lecz go aproksymuje. Do przeprowadzenia symulacji komputerowej wykorzystuje się programy komputerowe opracowane według algorytmu umożliwiającego tworzenie historii stanów surowca przetwarzanego w produkt żywnościowy i stanów konstrukcji maszyny roboczej. Wykorzystując symulację komputerową, jako metodę badawczą w procesie projektowania procesu technologicznego i maszyny roboczej, dokonuje się wyboru sekwencyjnego układu zdarzeń, poddając symulacji procesy elementarne według przyjętego porządku. W badaniach symulacyjnych stosuje się metodę stałego kroku i kolejnych zdarzeń. Metoda stałego kroku polega na realizacji zdarzeń w chwilach zwiększających się o stałą wartość przyrostu czasu. W metodzie kolejnych zdarzeń czas jest przypisywany kolejnemu zdarzeniu, z zachowaniem warunku, że czas kolejnego zdarzenia będzie wzrastał. Obie metody znajdują zastosowanie w badaniach symulacyjnych maszyn stosowanych w produkcji żywności. Symulacja komputerowa, jako metoda badania maszyny roboczej stosowanej w produkcji żywności ma elementarne znaczenie podczas projektowania. Stopień dokładności symulacji komputerowej zależy przede wszystkim od szczegółowości i dokładności modelu matematycznego, opisu danych wejściowych, błędów i zastosowanych uproszczeń. W badaniach tego typu nauki fizyczne, techniczne i rolnicze mają dostarczać wiedzy naukowej i inżynierskiej. Stosując właściwe metody badawcze, teorie fizyczne i inne naukowe instrumenty poznawcze, można wyjaśnić, jakie wielkości fizyczne i ich wartości mają wpływ na zmianę istotnych dla procesu właściwości fizycznych surowców i produktów żywnościowych.



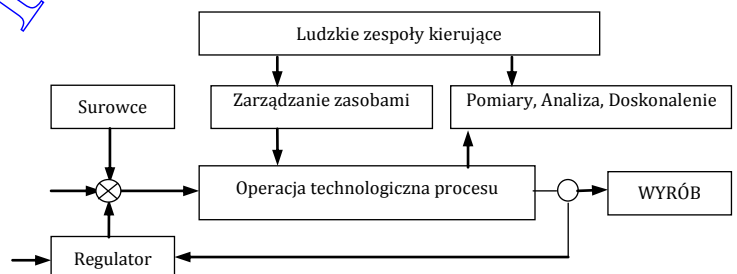
Rys. 15. Zastosowanie modeli obiektów technicznych
Fig. 15. Use of models of technical object

Proces technologiczny, jako układ dynamiczny z wejściem strumienia surowców, energii i informacji oraz z wyjściem w postaci strumienia produktów i odpadów przedstawiono schematycznie na rysunku 16.



Rys. 16. Proces technologiczny
Fig. 16. Technological process

W początkowej fazie projektowania duże znaczenie dla jakości wyrobu ma skrupulatne poznanie procesu technologicznego realizowanego przez zespoły robocze maszyny technologicznej oraz linii technologicznej produkcji tych maszyn jako całości, co stanowi punkt wyjścia do poszukiwań właściwych rozwiązań konstrukcyjnych maszyn roboczych stosowanych w rolnictwie i zakładach produkujących żywność. Dobrze zaprojektowany - z uwzględnieniem kryteriów ekonomicznych, ergonomicznych, ekologicznych i społecznych - proces technologiczny, jako zespół czynności, podczas których następuje zmiana właściwości fizyko-chemicznych, zmiana kształtu przetwarzanego surowca w wyrób żywnościowy, umożliwia poszukiwanie właściwych koncepcji rozwiązań konstrukcyjnych zespołów roboczych maszyn technologicznych stosowanych w produkcji żywności. Rozpoznanie procesu technologicznego i jego opis winny stanowić podstawę zainteresowań fizyki, inżynierii rolniczej i inżynierii żywności. Na rysunku 17 zamieszczono schemat blokowy operacji technologicznej procesu ze sprzężeniem zwrotnym i udziałem zarządzania zasobami ludzkimi i aparaturowymi.

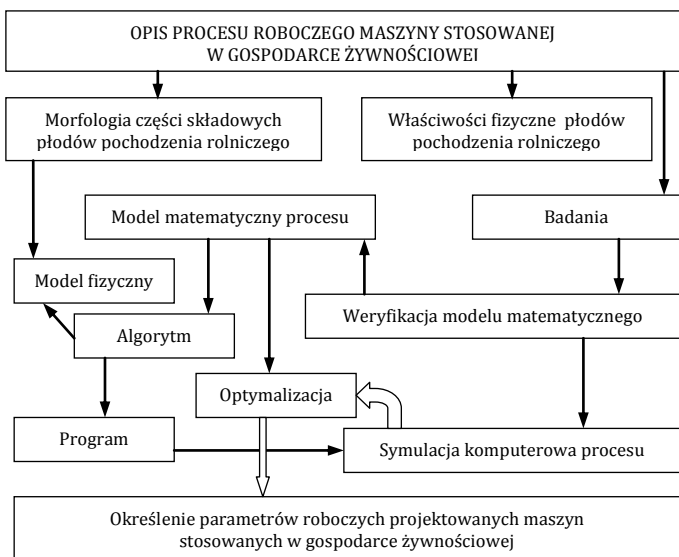


Rys. 17. Operacje technologiczne procesu
Fig. 17. Technological operations of the process

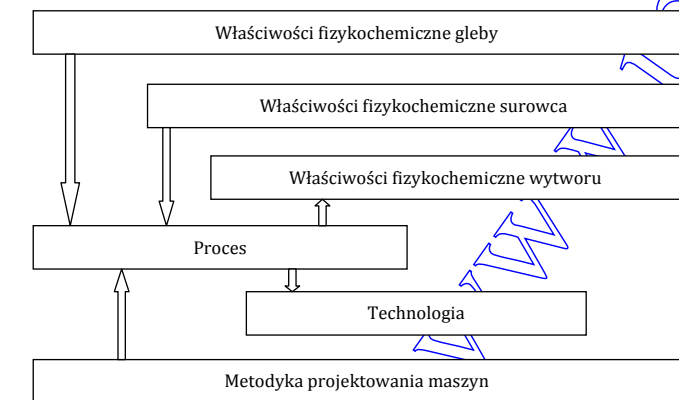
Każdy proces roboczy dotyczący produkcji żywności charakteryzuje się skomplikowanym wzajemnym oddziaływaniem wielu czynników. Wpływ tych czynników na przebieg procesu jest uzależniony nie tylko od stanu fizycznego obrabianego surowca biologicznego, ale także od parametrów kinematycznych i dynamicznych systemu technicznego, w którym ten proces jest realizowany. Algorytm opisu tworzenia procesu technologicznego maszyny przedstawiono na rysunku 18 (Mieszkański, 1998a).

Proces technologiczny maszyny roboczej biorącej udział w produkcji żywności jest całokształtem operacji składowych występujących podczas realizacji technologii rozumianej, jako procedura postępowania określona sekwencją

działań i środków niezbędnych do osiągnięcia zamierzonego celu. W procesie technologicznym maszyny roboczej surowiec przetwarzany w produkt żywnościowy ulega zmianom fizycznym i chemicznym (rys. 19), powstaje bowiem produkt o nowych właściwościach. Zmiany te i ich przebieg muszą być uwzględniane podczas projektowania procesu produkcyjnego, gdyż wówczas istnieje możliwość wpływania na jakość gotowego produktu żywnościowego (Brock i in., 2003; Blaha, 2001; Taylor, 2003).

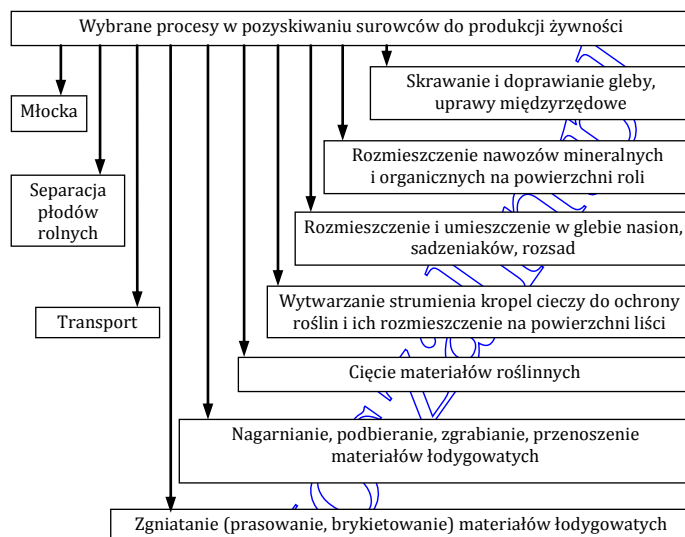


Rys. 18. Tworzenie procesu technologicznego maszyny dla przemysłu spożywczego
 Fig. 18. Creation of the technological process equipment for the food industry

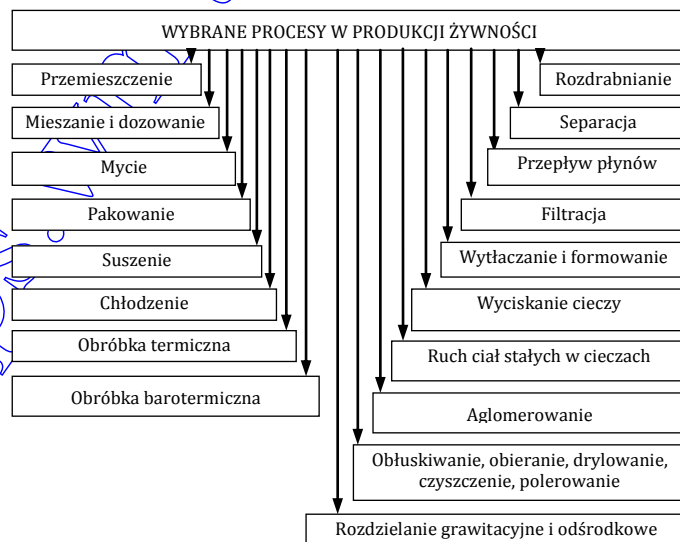


Rys. 19. Znaczenie procesu w metodyce projektowania maszyn roboczych
 Fig. 19. The importance of the process in the design methodology of working machines

W technologiach produkcji żywności można wyróżnić wiele procesów (rys. 20, 21) realizowanych przez maszyny robocze. Dokładne ich poznanie, z uwzględnieniem modelowania matematycznego opisującego relacje między materiałem biologicznym, a zespołami roboczymi maszyn roboczych, pozwala na badanie tych procesów przez wykorzystanie symulacji komputerowych. Stosowanie numerycznych metod badawczych na modelach matematycznych przyczynia się do obniżenia kosztów projektowania oraz zwiększa zakres i dokładność poznania procesów zbliżonych do ich rzeczywistych stanów.



Rys. 20. Wybrane procesy w pozyskiwaniu surowców do produkcji żywności
 Fig. 20. The chosen processes in obtaining raw materials for the production of food

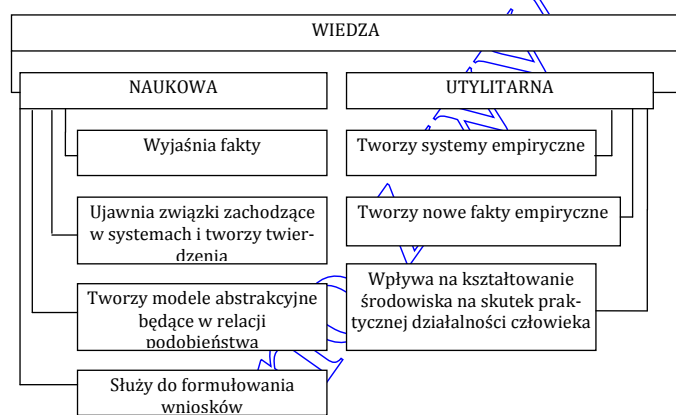


Rys. 21. Wybrane procesy w produkcji żywności
 Fig. 21. The chosen processes in food production

Głównymi procesami roboczymi w pozyskiwaniu surowców pochodzenia roślinnego do produkcji żywności są: skrawanie i doprawianie gleby, uprawy międzyrzędowe, rozmieszczanie w glebie nawozów mineralnych i organicznych na powierzchni pola, rozmieszczenie i umieszczanie w glebie nasion, sadzeniaków i rozsąd, wytwarzanie strumienia kropli cieczy do ochrony roślin i ich rozmieszczenie na powierzchni roślin, cięcie materiałów roślinnych, nagarnianie, podbieranie, przetrząsanie, zgrabianie, przenoszenie materiałów łodygowatych, zgniatanie materiałów łodygowatych, młocka, separacja owoców rolnych, transport. Podobnie długa lista procesów roboczych występuje w produkcji zwierzęcej. W produkcji żywności wyróżnia się takie procesy robocze, jak: rozdrabnianie, separacja, przepływ płynów, filtracja, wytłaczanie i formowanie, wyciskanie cieczy, ruch ciał stałych w cieczach i cieczy w cie-

czach, aglomerowanie, obłuskiwanie, obieranie, drylowanie, czyszczenie, podkiełkowanie, polerowanie, usuwanie części niejadalnych, rozdzielanie grawitacyjne i odśrodkowe, odciekanie, odstajanie, klasyfikacja, przemieszczanie, mieszanie i dozowanie, mycie, pakowanie, suszenie, destylacja, ekstrakcja i ługowanie, chłodzenie i zamrażanie, obróbka termiczna, obróbka baryczna, i inne.

Różnice właściwości materii żywej i nieżytwej wynikają z odmiennych wartości takich parametrów stanu, jak temperatura, ciśnienie, natężenie pól promieniowania, wilgotność. Występująca w żywych komórkach surowca do produkcji żywności różnorodna mikrostruktura wewnętrzna, ujawniająca skomplikowaną budowę i wynikające stąd specyficzne właściwości, procesy chemiczne i biologiczne jest rezultatem działania uniwersalnych praw fizyki. Prawa fizyki przypisane złożonym układom implikują różnorodne i złożone właściwości szczególne, które należy uwzględnić podczas projektowania maszyn przetwarzających surowce w produkty żywnościowe. Surowce i produkty żywnościowe mają określone cechy fizyczne, jak: rozciągalność, położenie, prędkość, masa, pęd, barwa, właściwości chemiczne i biologiczne. Poznanie za pomocą wnikliwych obserwacji i badań zjawisk fizycznych występujących w surowcach do produkcji żywności i produktach żywnościowych ma zasadnicze znaczenie przy doborze właściwych parametrów roboczych maszyn stosowanych w zakładach produkcji żywności. Zdobywanie wiedzy o zjawiskach fizycznych występujących w surowcach biologicznych znajdujących się w trudnych do określenia warunkach staje się wyzwaniem współczesnej fizyki i agrofizyki, które powinny nie tylko analizować zachodzące procesy, gromadzić dane i powiększać zasób wiedzy, ale dzięki swoim dokonaniom i odkryciom rozbudowywać intelektualną sferę dziedzin technicznych i przyczyniać się do rozwiązywania problemów w obszarze spożywczym. Wiedza naukowa powinna mieć także walor praktyczny, służyć zaspokajaniu żywnościowych potrzeb człowieka (rys. 22).



Rys. 22. Charakterystyczne cele wiedzy

Fig. 22. The characteristic knowledge targets

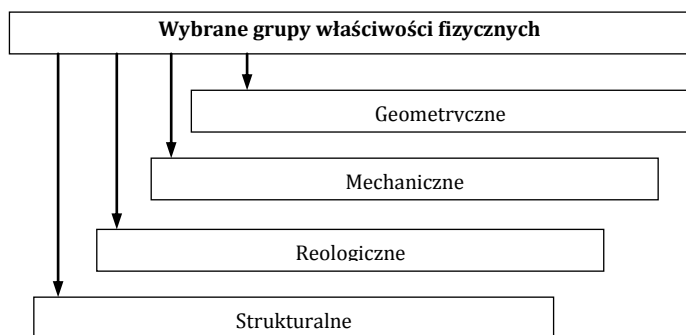
W budowie maszyn technologicznych do produkcji żywności duże znaczenie, w procesie przetwarzania surowca, ma związek ruchu z siłami działającymi na poszczególne elementy jego struktury wewnętrznej. W opisie ruchu istotnymi wielkościami są składowe wektora położenia zmieniają-

cego się w czasie, a przypisanego dyskretnym elementom morfologicznym obiektu biologicznego. Istotnymi wielkościami są np. odległość, kąty i czas. Do powiązania ze sobą tych wielkości jest stosowany zapis matematyczny. W technologiach produkcji żywności występuje wiele zjawisk fizycznych, między innymi: pola i promieniowanie, na które zmysły człowieka nie reagują. Wyniki pomiaru w układzie dyskretnym są zapisane w formie skończonego zbioru liczb, którym są przypisane informacje ilościowe. W badanych procesach występują zjawiska powtarzające się, zachodzą związki będące prawami fizycznymi, na których podstawie można zbudować określone struktury teoretyczne i z nich wyprowadzić wiele użytecznych zastosowań. Prawa fizyczne są zapisywane w postaci relacji matematycznych między symbolami reprezentującymi poszczególne wielkości. Znajdowanie nowych potwierdzonych praw fizycznych zapisanych równaniami czy nierównościami pozwala w ramach teorii fizycznych na badanie i analizowanie różnych wynikających z nich konsekwencji. Stosowanie teorii fizycznych w technice, w budowie maszyn roboczych, w tym również maszyn dla zakładów produkujących żywność, ma znaczenie przy opracowywaniu technologii przetwarzania.

Podstawowymi wielkościami fizycznymi w odniesieniu do cząstki badanej struktury wewnętrznej surowca lub produktu są masy cząstek, wektory położenia i sił działających na te cząstki. Jeżeli wielkości te są znane w określonym czasie, to znane są prędkości, przyspieszenia przemieszczających się mas cząstek pod wpływem sił na nie działających. Można też uzyskać informacje o pędach i momentach sił.

W budowie projektowanych maszyn roboczych stosowanych w produkcji żywności, przy wykorzystaniu praw fizyki opisujących ogólne związki odnoszące się do wielu fizycznie dopuszczalnych sytuacji, należy poszukiwać konkretnej sytuacji fizycznej, w znanym czasie, która ma być uwzględniona i realizowana. W inżynierii żywności występują różnorodne obiekty, np. cząstki elementarne, atomy, komórki, tkanki, jony, molekuly, oraz układy cząstek mikro- i makroskopowych, a także pola. Jednym z wielu zadań inżynierii żywności jest stosowanie teorii fizycznych, a więc zapisanych w postaci matematycznej praw fizycznych w ściśle określonych warunkach stosowalności, odnoszących się do maszyn roboczych stosowanych w produkcji żywności, a także do surowców oraz uzyskanych z nich produktów żywnościowych. Warunkiem przydatności teorii fizycznej do rozwiązywania problemów technicznych jest zgodność ilościowa przewidywań z uzyskanymi faktami doświadczalnymi. Problemem jest to, że podczas prac projektowych nie zawsze istnieje możliwość jednoznacznego zastosowania znanych teorii fizycznych, które zazwyczaj mają tu ograniczony zasięg stosowalności i dokładności, mimo ich ogólnego charakteru. W takiej sytuacji konieczne jest dostosowanie tych teorii do określonej sytuacji fizycznej, aby osiągnąć większą dokładność i zgodność z rzeczywistością. Podczas rozwiązywania określonych problemów technicznych w procesie produkcji żywności, ogromne znaczenie ma doświadczenie pozwalające często odkrywać nowe zjawiska fizyczne, nowe właściwości przypisane obiektowi technicznemu lub biologicznemu (Shao i in., 2009; Semos i Kontogeorgos, 2007). Pomiaru, na których podstawie są tworzone charakterystyki wielkości

cech fizycznych badanych surowców i produktów żywnościowych (rys. 23), przyczyniają się do odkrywania reguł, korelacji, struktur i związków.

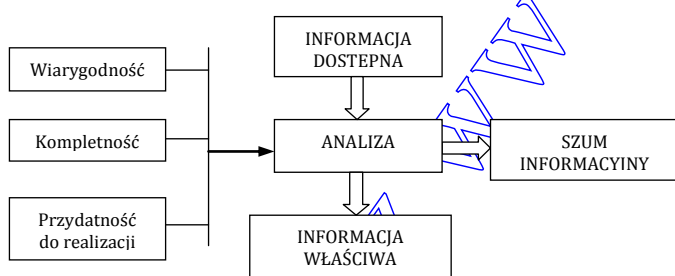


Rys. 23. Wybrane grupy właściwości fizycznych

Fig. 23. The chosen groups of physical properties

Metodologicznie przeprowadzone operacje doświadczalne i myślowe umożliwiają tworzenie nowych pojęć, konstrukcji myślowych, nowych koncepcji teoretycznych, wykrywanie istotnych zjawisk dla badanych obiektów biologicznych, dynamicznych związków przyczynowych. Zdobyta w ten sposób wiedza o surowcach i produktach żywnościowych, zapisana w formie matematycznej (Mieszkalski, 2011b; 2011c; 2012a; 2012b; 2013), pozwala badać i wyznaczać skutki zmian ich cech fizycznych na podstawie różnych przyczyn (różnych uwarunkowań), poddawać je krytycznej ocenie i formułować konstruktywne wnioski. Opracowana teoria fizyczna, nie zawierająca logicznych oraz matematycznych sprzeczności, jest bazą do tłumaczenia powiązanych przyczynowo znanych faktów i pozwala przewidywać nowe, jeszcze nieznanne.

W produkcji żywności wiele problemów daje się rozwiązać z wykorzystaniem uznanej już istniejącej wiedzy naukowej, a polega to na wydobyciu potrzebnej informacji ze znanego zbioru wiedzy (rys. 24).



Rys. 24. Selekcja informacji

Fig. 24. Selection of information

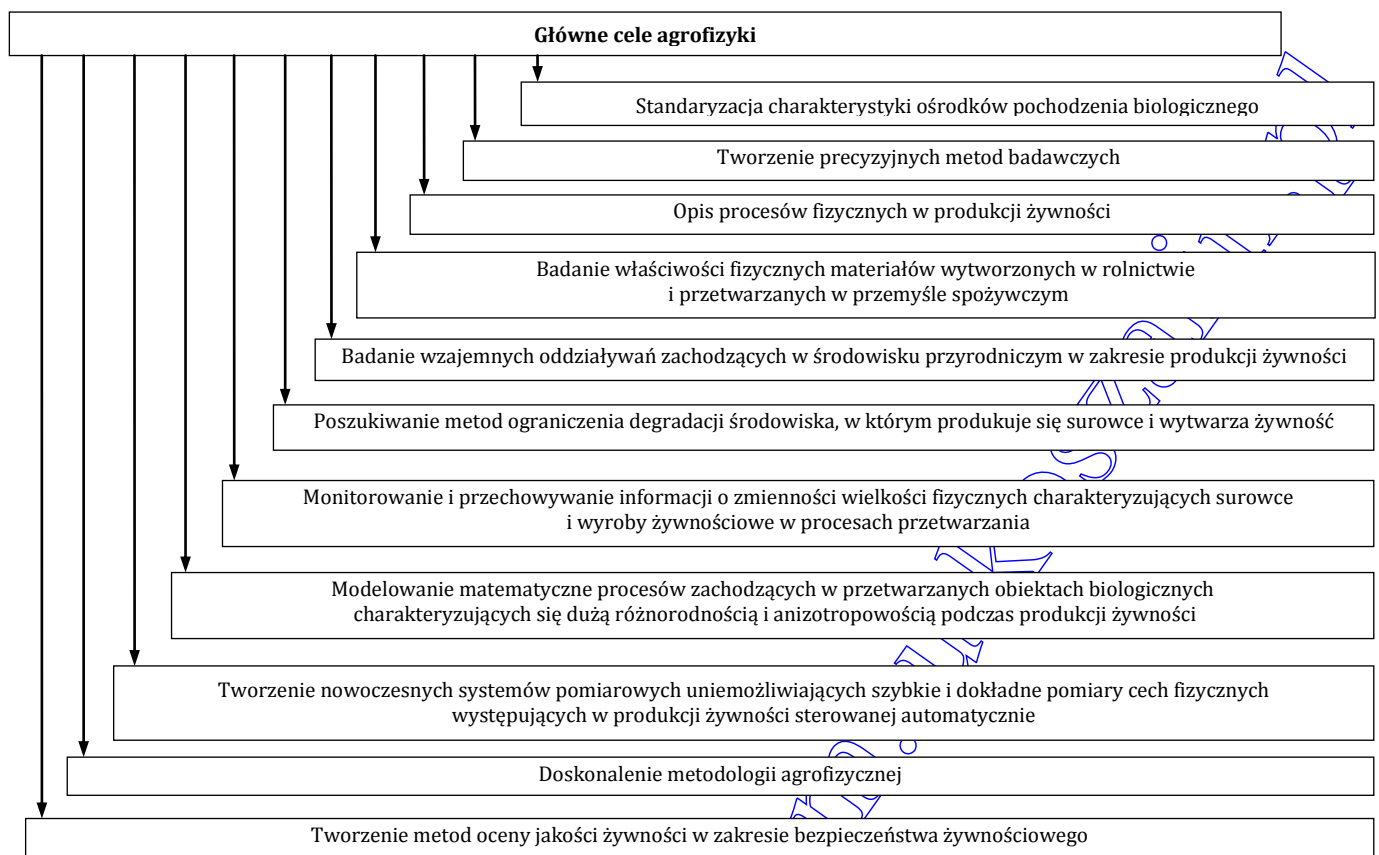
Do zaprojektowania nowej maszyny roboczej na potrzeby produkcji żywności są potrzebne informacje nie tylko o właściwościach fizycznych surowców i produktów żywnościowych, ale również znane teorie naukowe i prawa fizyczne. Obiekty biologiczne należą do grupy obiektów złożonych, mają bowiem skomplikowaną strukturę. Właściwości obiektów złożonych wynikają z praw i właściwości odnoszących się do ich części składowych. Struktura geometryczna wynika z budowy powłok części morfologicznych

obiekty biologicznego. Fizyka i jej teorie mają ścisły związek z naukami przyrodniczymi, dlatego są stosowane w inżynierii rolniczej i inżynierii żywności, zwłaszcza przy opisie procesów roboczych oraz tworzeniu nowych technologii i maszyn. Po powstaniu dobrej teorii cząstek elementarnych należy spodziewać się odkrycia nowych zjawisk i praw, które będą wykorzystywane do projektowania procesów przetwarzających surowiec o określonych właściwościach w produkt żywnościowy o zamierzonych właściwościach fizycznych. Istotną rolę w fizycznym opisie rzeczywistego stanu maszyny roboczej stosowanej w produkcji żywności i obiektu biologicznego odgrywa matematyka - jako nauka często racjonalna, zajmująca się tworzeniem języków formalnych służących do dokładnego opisu abstrakcyjnych pojęć i relacji. Z wielu proponowanych przez matematykę rozwiązań równań opisujących zjawisko wybiera się te, które spełniają warunki fizyczne. Wybiera się te zdania, pojęcia, twierdzenia, które znajdują zastosowanie w technice do budowy modeli maszyn roboczych, a także projektowania modelowych procesów roboczych w produkcji żywności (Mieszkalski, 1996; 1997; Hardin i Searcy, 2009). Wiele obiektów biologicznych można opisać modelami geometrycznymi traktując je jako struktury dyskretne (Mieszkalski, 2013; 2014a; b; c). Modelem surowca i produktu żywnościowego może być układ odpowiednio przestrzennie rozmieszczonych (o różnych odległościach) cząstek masowych. Odległości między cząstkami masowymi ulegają zmianie pod wpływem działających sił. Do określenia wielkości fizycznych związanych z przemieszczeniem w czasie stosuje się mechanikę, termodynamikę i wiele innych znanych teorii. Empiryczna wiedza o rozmieszczeniu przestrzennym cząstek o złożonym kształcie przyczynia się do tworzenia bardziej precyzyjnych modeli tych cząstek, a tym samym teorii mających zastosowanie praktyczne w inżynierii rolniczej i inżynierii żywności (Entwistle, 2000; Danilatos, 1982; Inoue, 1986; Konstankiewicz i Zdunek, 2005).

Cele agrofizyki

Agrofizyka, której obiektem badawczym są ekosystemy i uczestniczące w procesach przetwarzania obiekty biologiczne kształtowane przez działalność gospodarczą człowieka, badane i opisywane pod względem matematycznym, fizycznym i chemicznym metodami nauk ścisłych, może mieć korzystny wpływ na rozwój badań żywności (rys. 25).

Związek między fizyką, agrofizyką a inżynierią rolniczą i inżynierią żywności występuje na płaszczyźnie dostarczania informacji pochodzących z badań podstawowych, a niezbędnych do opracowywania nowych procesów produkcji, utrwalania i przechowywania żywności, projektowania nowych maszyn i urządzeń, tworzenia metod badawczych oraz przyrządów i aparatury badawczej. Rola fizyki i agrofizyki w rozwoju inżynierii rolniczej i inżynierii żywności będzie wzrastać, ponieważ sukcesywne zmniejszanie bezpośrednio zatrudnionych pracowników w produkcji rolniczej wymusi konieczność automatyzacji, robotyzacji produkcji, modernizacji i rozbudowy przedsiębiorstw i instytucji obszarów wiejskich pracujących na rzecz gospodarki żywnościowej.



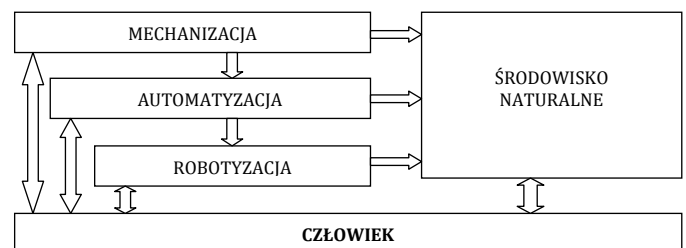
Rys. 25. Główne cele agrofizyki

Fig. 25. The main objectives of agrophysics

Komputerowe wspomaganie projektowania 4D, uwzględniające, oprócz zasad modelowania 3D, czynnik czasu, pozwoli nie tylko modelować, ale i symulować kinematykę ruchu mechanizmów oraz dynamikę zmian zachodzących w maszynach, surowcach i produktach żywnościowych pod wpływem czasu.

Na poprawę jakości życia ludzi w XX wieku według National Academy of Engineering, oprócz takich dyscyplin technicznych, jak elektryfikacja, pojazdy samochodowe, samoloty, dystrybucja wody pitnej, elektronika, radio i telewizja, komputery, telefon, drogi, statki kosmiczne, Internet, technika medyczna, przetwórstwo ropy naftowej, lasery i światłowody, techniki jądrowe, nowoczesne materiały, miały istotny wpływ również mechanizacja rolnictwa (7. miejsce w rankingu), klimatyzacja i chłodnictwo (10. miejsce w rankingu) oraz urządzenia gospodarstwa domowego (15. miejsce w rankingu) (Świat Nauki, 2000). XX wiek kończy etap mechanizacji. Obecny stan rozwoju techniki pozwala na budowę maszyn roboczych, które prawie w całości mogą zastąpić pracę fizyczną ludzi. Należy przypuszczać, że w XXI wieku dynamicznie będą się rozwijać takie dyscypliny, jak: informatyka, biotechnologia, mechatronika, które powodują rozwój automatyzacji i robotyzacji procesów produkcyjnych również w rolnictwie i przetwórstwie spożywczym (rys. 26). Ważną rolę w tym rozwoju będą odgrywać fizyka i agrofizyka. Kraje rozwinięte gospodarczo wchodzi w nowy etap rozwoju technicznego, tzn. w automatyzację i robotyzację produkcji i usług (Liu i in., 2009). W dynamicznym rozwoju techniczno-technologicznym, jaki się obecnie dokonuje, nie

można zaniedbywać przyrodę, która ma podstawowy wpływ na jakość życia ludzi na Ziemi. Jak racjonalnie i skutecznie tworzyć właściwe relacje między środowiskiem naturalnym a systemami sztucznymi, które człowiek w postaci wytworów do tego środowiska wprowadza i jak na nie oddziaływać? Odpowiedzi na to pytanie może udzielić agrofizyka.



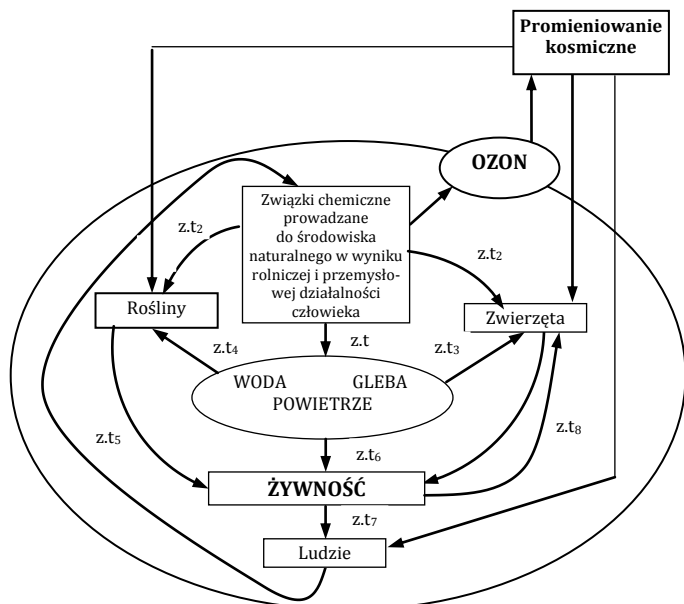
Rys. 26. Etapy rozwoju technicznej modernizacji rolnictwa i przetwórstwa spożywczego

Fig. 26. Stages of development of technical modernization of agriculture and food processing

Wyzwania, jakie stoją przed agrofizyką, inżynierią rolniczą i inżynierią żywności, to racjonalne, pragmatyczne rozpatrzenie potrzeb, systematyczne prowadzenie badań i tworzenie, na podstawie wyników obserwacji i eksperymentów oraz wnioskowania, konkretnych systemów teoretycznych i rzetelnej, a także użytecznej, wiedzy, możliwej do zastosowań utylitarnych, kończących się wdrożeniem. Dobra wiedza to m.in. taka, która przynosi praktyczne efekty i przyczynia się do poprawy jakości życia ludzi. Jak roz-

wiązywać problemy związane z nowymi technologiami w rolnictwie i maszynami stosowanymi w rolnictwie i produkcji żywności, które spełniają potrzebę społeczną i dają się wdrożyć?

Jakie technologie należy opracować, by do minimum ograniczyć negatywne skutki chemizacji produkcji żywności i produkcji w ogóle (rys. 27)? Co zrobić, by nie degradować środowiska naturalnego i nie pogarszać warunków życia ludzi?



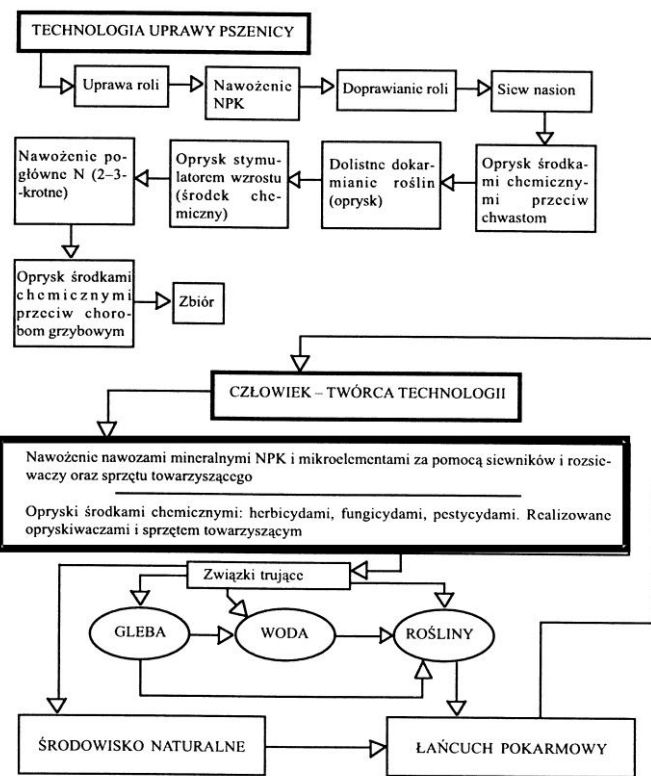
Rys. 27. Obieg związków trujących (z.t) w środowisku w wyniku rolniczej i przemysłowej działalności człowieka

Fig. 27. The circuit of toxic compounds (z.t) in the environment as a result of agricultural and industrial human activity

Trudnym problemem do rozwiązania jest zanieczyszczenie środowiska naturalnego przez czynniki fizyczne, chemiczne i biologiczne stosowane zarówno w technologiach produkcji rolniczej, jak i w przemysłowej produkcji żywności. Na przykład w technologii produkcji ziarna pszenicy wielokrotnie są stosowane środki chemiczne (rys. 28), a w produkcji owoców i warzyw stosuje się ich jeszcze więcej. Projektanci stoją przed koniecznością projektowania maszyn i urządzeń, które takie technologie realizują. Z problemem nadmiernej chemizacji mamy do czynienia również w technologiach produkcji żywności. Stosowane obecnie technologie ochrony roślin i nawożenia nawozami mineralnymi charakteryzują się tym, że środki toksyczne są wprowadzane do gleby i roślin systematycznie i równomiernie na dużych obszarach. Godne uwagi jest zastosowanie optycznych sensorów w elektronicznym systemie kontroli rozwoju chwastów i ich wybiórcze opryskiwanie na plantacji (Celen i in., 2008). Okresy karencji, które często nie są przestrzegane i kontrolowane, nie zabezpieczają gleby i rośliny, jej nasion oraz owoców przed zaleganiem w nich trujących związków. W konsekwencji dostają się one do łańcucha pokarmowego człowieka i zwierząt (rys. 27).

Zadaniem wielu dyscyplin naukowych, w tym również inżynierii żywności, inżynierii rolniczej, agrofizyki i fizyki, jest poszukiwanie skutecznych metod produkcji zapewnia-

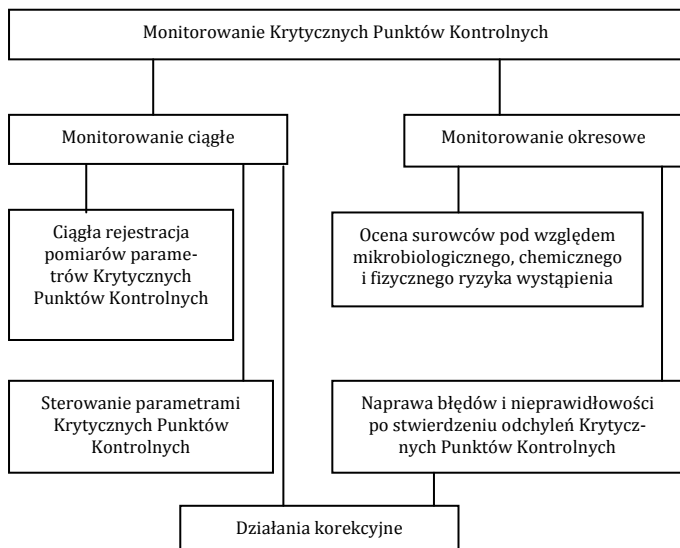
jących bezpieczeństwo nowych rodzajów żywności, dotychczas niestosowanych na masową skalę. System bezpieczeństwa żywności funkcjonuje na podstawie monitorowania wartości parametrów w krytycznych punktach kontrolnych produkcji mających bezpośredni związek z jej jakością. Stosowany jest monitoring ciągły parametrów oraz monitoring okresowy z wykorzystaniem zasad statystyki matematycznej (rys. 29). Ciągłe monitorowanie parametrów umożliwia prowadzenie produkcji ze sprzężeniem zwrotnym. Wiele czynności jest realizowanych na liniach sterowanych automatycznie. Przykładem może być automatyczny system pomiaru właściwości, testowany na szczepionych rozsadach pomidorów, mający zastosowanie do monitorowania cech zewnętrznych podczas wzrostu rozsady (Chiu i in., 2008). Zastosowanie tak zwanego maszynowego widzenia do klasyfikacji rolniczych owoców pozwala określić takie wielkości fizyczne, jak: długość, średnica, krzywizna, kolor, uszkodzenie powierzchni, i inne (Chong i in., 2008).



Rys. 28. Przykładowa technologia produkcji pszenicy

Fig. 28. Example of wheat production technology

Coraz częściej w produkcji żywności są stosowane roboty (rys. 30). Nowe roboty ze złożonymi układami kinematycznymi, urządzeniami sensorycznymi oraz układami wizyjnymi i złożonymi algorytmami sterowania coraz częściej znajdują zastosowanie w przemyśle spożywczym do takich czynności, jak chwytanie ze sterowanym naciskiem i przenoszenie, pakowanie, paletyzacja, prace na taśmie produkcyjnej (np. rozbiór tusz), prace w chłodniach itp. Przede wszystkim rolnicze mobilne roboty są wprowadzane w szklarniach (González i in., 2009).

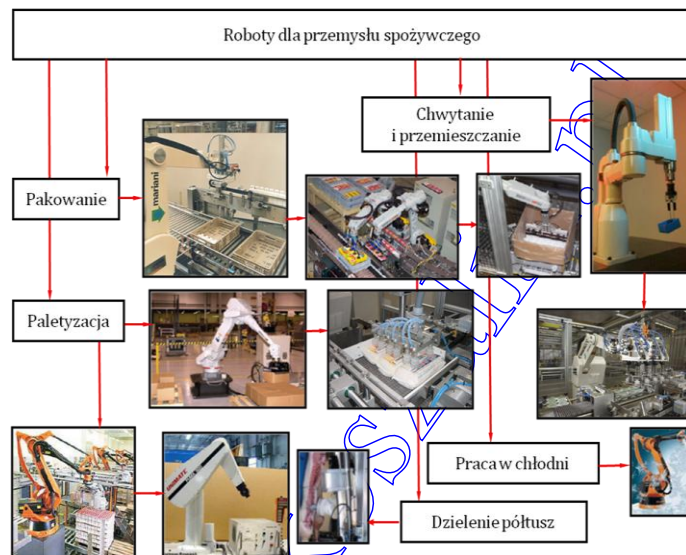


Rys. 29. Monitorowanie wielkości fizycznych i parametrów roboczych podczas procesu technologicznego

Fig. 29. Monitoring of the physical and operational parameters during the production process

Obecnie, gdy dynamicznie tworzy się nowa kultura świata i nadaje ona nową wartość ludzkiemu życiu – coraz bardziej dominują w nim polityka, prawa rynku, konsumpcjonizm, doraźność, zalew informacji usypiających uwagę, nowe technologie zmieniają strukturę naszych zainteresowań, oczekiwań – naukowcy powinni wnikliwie badać związki, relacje przyczynowo-skutkowe zjawisk, decyzji, zadawać określone pytania i szukać na nie odpowiedzi. Nowość, nowoczesność, ekonomia nie mogą wypierać jakości zarówno na poziomie osobistym, jak i w sferze ogólnej również problemów technologicznych. Dla agrofizyki, inżynierii rolniczej i inżynierii żywności najpilniejszym wyzwaniem powinno się stać poszukiwanie odpowiednich sposobów produkcji jakościowo dobrych surowców i skutecznych metod produkcji jakościowo dobrych produktów żywnościowych. Wiele problemów czeka na rozwiązanie. Do najważniejszych, należą: standaryzacja charakterystyk ośrodków pochodzenia biologicznego, opis przestrzennych właściwości strukturalnych gleby, surowców i produktów żywnościowych, metody zabezpieczeń produkcji żywności przed skutkami negatywnymi, modelowanie i symulacja komputerowa procesów występujących w produkcji żywności, tworzenie skutecznych metod oceny jakości żywności, tworzenie nowych systemów pomiarowych umożliwiających monitorowanie, przechowywanie, obróbkę danych i podejmowanie decyzji w różnych fazach produkcji żywności.

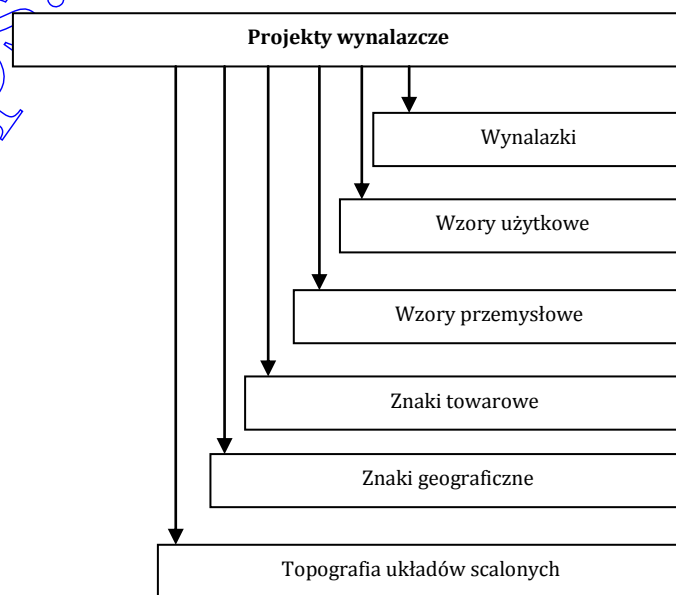
Czy specjaliści od produkcji surowców i produktów żywnościowych podejmą odpowiedzialnie – z wrażliwością, otwartością i wyobraźnią – ten wysiłek? Zależać to będzie od ich zaangażowania w rozwiązywanie tych trudnych problemów. W okresie wzmoczonej produkcji, wzrostu wydajności pracy, wysiłku technologicznego należy refleksyjnie i racjonalnie spojrzeć na postęp technologiczny i jego wartościowość: „wytwarzać tak, by nie szkodzić sobie i przyrodzie”.



Rys. 30. Przykład stosowania robotyzacji produkcji żywności

Fig. 30. Example of the use of robotics in food production

Dzisiaj przy tworzeniu nowych maszyn wykorzystuje się informacje z wielu dyscyplin naukowych, analizuje się projekty wynalazcze (rys. 31). Duże znaczenie w tym procesie mają fizyka i agrofizyka w zakresie poszukiwania nowych materiałów konstrukcyjnych, metod określania fizycznych cech materiałowych i przemieszczeń cząstek elementarnych występujących w materiale pod wpływem sił wewnętrznych i zewnętrznych.



Rys. 31. Rodzaje projektów wynalazczych

Fig. 31. Mode of the inventive projects

Zadania fizyki

Zadaniem fizyki, agrofizyki i nauk technicznych oraz rolniczych jest poszukiwanie nowych mechanizmów oraz nowych metod analiz kinematycznych i dynamicznych. W zakresie kinematyki mechanizmów istotne znaczenie ma określanie torów, prędkości i przyspieszeń jego członów oraz poszukiwanie ruchów realizujących założone warunki

kinematyczne. Dynamika ma również elementarne znaczenie w budowie maszyn rolniczych i spożywczych, gdyż obejmuje metody określania zmieniających się w czasie nacisków i sił podczas pracy maszyny, wyznacza wzajemne związki między ruchem a działającymi na jej elementy siłami zmieniających się w czasie. Zmienność obciążeń zespołów roboczych maszyn wynika z niejednorodności obrabianego materiału biologicznego. Obciążenia działające na elementy maszyn roboczych stosowanych w produkcji żywności mają charakter złożony, często nieliniowy. Poszukiwanie metod przewidywania zachowań części maszyn i ich zespołów pod wpływem zmiennych i stochastycznych obciążeń jest dużym wyzwaniem dla współczesnej fizyki i agrofizyki. Zachodzi więc potrzeba poszukiwania nowych teorii naukowych z zakresu dynamiki układów nieliniowych. Proces roboczy maszyny technologicznej biorącej udział w produkcji żywności zachodzi w wyniku złożonych relacji, jakie występują między maszyną, jej operatorem i środowiskiem, w którym ona pracuje. Fizyka i agrofizyka odgrywa ważną rolę w poszukiwaniu optymalnych relacji dla maszyn, człowieka oraz środowiska.

Podsumowanie

Przy budowie maszyn roboczych stosowanych w produkcji żywności podstawowe znaczenie mają informacje o właściwościach fizykochemicznych gleby, surowca, produktu żywnościowego, procesu technologicznego i metodyki projektowania maszyn. Fizyka i agrofizyka w dużym stopniu przyczyniają się do poznania właściwości fizycznych gleby, surowców i produktów żywnościowych i opisu zjawisk fizycznych występujących w procesie przetwarzania surowca w produkt żywnościowy.

Bibliografia

- Arvanitoyiannis, I.S., Eustratiades, M.M., Boudouropoulos, I.D. (2000). *ISO 9000 and ISO 14000. Presentation-Analysis of Models of Quality Assurance and Environmental Management, Adaptation to the Food and Drink Industry*. Saloniki: University Studio Pres, ISBN 960-12-08 10-0.
- Błaha, T. (2001). *Pre-harvest food safety and quality management from agricultural primary production to retail*. Konstancja: Tierärztliche Umschau Terra - Verlag GMBH, 283 – 290.
- Brock, W.J., Rodricks, J.V., Rulis, A., Dellarco, V.L., Szary, G.M., Lane, R.W. (2003). Food safety: Risk assessment methodology and decision-making criteria. *International Journal of Toxicology*, 22(6), 435-451.
- Celen, I.H., Kilic, E., Durgut, M.R. (2008). Technical Note: Development of an automatic weed control system for sunflower. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(1), 23-27, DOI 10.13031/2013.24154.
- Chiu, Y.C., Chang, M.Y., Wu, G.J., Chen, C.C. (2008). Development of an automatic outward-feature properties measurement system for grafted tomato seedlings. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(1), 101 – 113.
- Chong, V.K., Kondo, N., Ninomiya, K., Nishi, T., Monta, M., Namba, K., Zhang, Q. (2008). Features extraction for eggplant fruit grading system using machine vision. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(5), 675 – 684.
- Danilatos, G.D., Postle, R. (1982). The environmental scanning electron microscope and its applications. *Scanning Electron Microscopy*. IL 60666, 1 – 16.
- Drakopoulos, D., Mann, D.D. (2008). A mathematical equation for quantifying control functionality in agricultural tractors. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 14(4), 377 – 389.
- Flizikowski, J. (2014). Kognitywne monitorowanie przetwórstwa. *Inżynieria Przemysłu Spożywczego*, 2/4(10), 5 – 12.
- Entwistle, A. (2000). Confocal microscopy: an overview with a biological and fluorescence microscopy bias. *Quekett Journal of Microscopy*, 38, 445-456.
- Fulton, J.P., Sobolik, C.J., Shearer, S.A., Higgins, S.F., Burks, T.F. (2009). Grain yield monitor flow sensor accuracy for simulated varying field slopes. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(1), 15 – 21.
- Gliński, J., Horabik, J., Lipiec, J., Sławiński, C.(red). (2014). *AGROFIZYKA procesy, właściwości, metody*. Lublin: Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie, ISBN 978-83-89969-34-7.
- González, R., Rodríguez, F., Sánchez-Hermosilla, J., Donaire, J.G. (2009). Navigation techniques for mobile robots in greenhouses. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(2), 153 – 165.
- Hardin, R.G., Searcy, S.W. (2009). Searcy modeling of seed cotton viscoelastic properties. *Transactions of the ASABE*. 52(3), 707 – 714, DOI: 10.13031/2013.27387.
- Inoue, S. (1986). *Video microscopy*. New York: Plenum Press, ISBN 0-306-42120-8.
- Karimi, D.D., Mann, D., Ehsani, R. (2008). Modeling of Straight-line driving with a guidance aid for a tractor-driving simulator. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(4), 403 – 408.
- Konstankiewicz, K., Zdunek, A. (2005). *Micro-structure analysis of plant tissues*. IA PAN. ISBN 83-89969-25-4.
- Liu, L.T., Crowe, G., Roberge, M. (2009). Sensor-based scouting algorithms for automatic sampling tasks in rough and large unstructured agricultural fields. *Transactions of the ASABE*, 52(1), 285 – 294.
- Mieszkalski, L. (1996). Mathematical models of the faba bean seed hulling process. *Annual Review of Agricultural Engineering*, 1(1), 111 – 117.
- Mieszkalski, L. (1997). The role of the physical properties of seeds in the design of hullers. *International Agrophysics*, 11, 283 – 291.
- Mieszkalski, L. (1998a). *Metodyka projektowania maszyn rolniczych*. Olsztyn: Wydawnictwo ART. ISBN 83-87443-44-1.
- Mieszkalski, L. (1998b). *Elementy matematycznego opisu wybranych zespołów narzędzi i maszyn rolniczych*. Olsztyn: Wydawnictwo ART. ISBN 83-87443-66-2.
- Mieszkalski, L. (2011a). Agriculture and food machinery, application of physics for improving. Gliński J., Horabik J., Lipiec J. (edited by). *Encyclopedia of Agrophysics*. Institute of Agrophysics Polish Academy of Sciences. Lublin, Poland, Springer. ISBN 978 – 90 – 481 - 3584 – 4, 14 – 26.
- Mieszkalski, L. (2011b). Metoda matematycznego modelowania kształtu bryły ziarna pszenicy za pomocą parametrycznej krzywej przestrzennej i czterowęzłowej siatki. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 41 – 45.

- Mieszkalski, L. (2011c). Komputerowe wspomaganie matematycznego modelowania kształtu cebuli za pomocą krzywej przestrzennej. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2, 52 – 57.
- Mieszkalski, L. (2012a). A mathematical model for the garlic (*Allium sativum*) bulb solid shape represented by parametric surface. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture*, 59, 71 – 76.
- Mieszkalski, L. (2012b). A mathematical model for the garlic (*Allium sativum*) bulb solid shape expressed with space curve. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture*, 59, 77 – 82.
- Mieszkalski, L. (2013). Computer-aiding of mathematical modeling of carrot (*Daucus carota* L.) root shape. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture*, 61, 17 – 23.
- Mieszkalski, L. (2014a). Mathematical model of the shape of broad bean seed. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture*, 63, 41 – 48.
- Mieszkalski, L. (2014b). Mathematical modelling of hen's egg shape by rotation curve. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture*, 63, 59 – 64.
- Mieszkalski, L. (2014c). Bezier curves In modeling the shapes of biological objects. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture*, 64, 117 – 128.
- Park, Y.J., Kim, K.U. (2009a). Reduction of Rattle Noise of a Direct Engine-PTO Driveline of Agricultural Tractors: Part I. Measurement and Analysis of PTO Rattle Noise. *Transactions of the ASABE*. 52(1), 15 – 20. [DOI 10.13031/2013.25937](https://doi.org/10.13031/2013.25937).
- Park, Y.J., Kim, K.U. (2009b). Reduction of Rattle Noise of a Direct Engine-PTO Driveline of Agricultural Tractors: Part II. Causes of PTO Rattle Noise. *Transactions of the ASABE*. 52(2), 357 – 368. [DOI 10.13031/2013.26820](https://doi.org/10.13031/2013.26820).
- Park, Y.J., Kim, K.U. (2009c). Reduction of Rattle Noise of a Direct Engine-PTO Driveline of Agricultural Tractors: Part III. Reduction of PTO Rattle Noise by a Torsional Damper. *Transactions of the ASABE*. 52(2), 369-374, [DOI 10.13031/2013.26820](https://doi.org/10.13031/2013.26820).
- Przybylski, W., Deja, M. (2007). *Komputerowo wspomaganie wytwarzanie maszyn. Podstawy i zastosowania*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, ISBN 978-83-204-3296-1.
- Ravertz, J.R. (2002). Food safety, quality, and ethics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 15, 255-265.
- Semos, A., Kontogeorgos, A. (2007). HACCP implementation in northern Greece: food companies' perception of costs and benefits. *British Food Journal*, 109(1), 5 – 19.
- Shao, Y.C., Zhao, Y., He, Y.B. (2009). Application of infrared spectroscopy technique and chemometrics for measurement of components in rice after radiation. *Transactions of the ASABE*. 52(1), 187 – 192.
- Świat Nauki. (2000). *Od elektryfikacji do rajstop*. 9(109).
- Taylor, S.L. (2003). *Safety assessment of foods produced through agricultural biotechnology*. Waszyngton, North America: Nutrition Reviews. Int. Life Sciences Inst. 135 – 140.
- Zhang, H., Wang, J. (2008). Identification of stored-grain age using electronic nose by ann. *Applied Engineering in Agriculture*. 24(2), 227 – 231.

Leszek Mieszkalski

Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
e-mail: leszek_mieszkalski@sggw.pl