

Prof. dr inż. Daniel DUTKIEWICZ
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Dr hab. inż. Bronisław SŁOWIŃSKI, Prof. PK
Katedra Inżynierii Produkcji
Politechnika Koszalińska

SYSTEMOWA INTEGRACJA ZRÓŻNICOWANIA SUROWCÓW, MASZYN I APARATÓW PRZETWÓRSTWA SPOŻYWCZEGO®

Inżynieria procesów przetwórstwa spożywczego, powstała w wyniku integracji teorii naukowych oraz dorobku praktyki produkcyjnej wielu jej branż. Wymaga ona uporządkowania tego procesu w ujęciu systemowym. W artykule przedstawiono klasyfikację maszyn i aparatów przetwórstwa spożywczego, uwarunkowania w ich powstawaniu oraz relacje z surowcami i ich właściwościami.

Słowa kluczowe: przetwórstwo spożywcze, klasyfikacja wyposażenia technologicznego, podejście systemowe.

WPROWADZENIE

Ciągły rozwój przetwórstwa surowców spożywczych i coraz bardziej złożonych maszyn oraz aparatów w nim stosowanych, powoduje szybki wzrost zasobów wiedzy i jej znaczne rozdrobnienie. Bez systematyzacji wiedzy, opartej na naukowo uzasadnionych klasyfikacjach, ich poznanie – a szczególnie zrozumienie podstaw ich powstawania – staje się niezwykle trudne. Problem wynika z wielkiej liczby rodzajów surowców i znacznie większej liczby ich różnorodnych właściwości, ważnych nie tylko w procesie projektowania wyposażenia technologicznego, ale również rosnącego poziomu jego automatyzacji oraz hybrydyzacji. Różnorodność ta wpływa na podziały branżowe przetwórstwa spożywczego i utrudnia transfer wiedzy pomiędzy dziedzinami.

W nauczaniu inżynierii procesowej przetwórstwa spożywczego, do opisu procesów jednostkowych oraz klasyfikacji maszyn i aparatów właściwym staje się stosowanie podejścia systemowego. W tych klasyfikacjach systemotwórcze relacje pomiędzy właściwościami surowców a odpowiadającymi im strukturami konstrukcyjnymi, zdaniem autorów, nie są przedstawiane odpowiednio do ich znaczenia. Relacje te pozwalają zrozumieć istotę procesu jednostkowego i w dalszej konsekwencji ułatwiają pracę inżyniera – jako twórcy nowych technologii i urządzeń. W inżynierii (od łac. *ingenium* – wynalazczość) ujęcie systemowe sprzyja rozwijaniu określonego rodzaju myślenia, którego wynikiem jest nowy wyrób, lub proces wytwarzania doskonalszy od poprzedniego [10].

W odróżnieniu od podejścia redukcjonistycznego, którego istotą jest ujęcie „od szczegółu do ogółu”, podejście systemowe określane jest, jako postępowanie „od ogółu do szczegółu”. W takim podejściu następuje, odchodzenie od podziałów branżowych i tworzone są syntezы ułatwiające postrzeganie istoty złożonych zagadnień. Częściej też doprowadza ono do tworzenia oryginalnych rozwiązań technicznych [2].

W procesie poznawania istniejących struktur przetwórstwa spożywczego oraz projektowania nowych, powinny być

szeroko stosowane funkcjonalne, strukturalne i parametryczne analizy systemowe. Wynika z nich, że właściwości przetwarzanych surowców, z reguły, stanowią decydujący czynnik, określający sposób działania, strukturę i parametry pracy urządzeń.

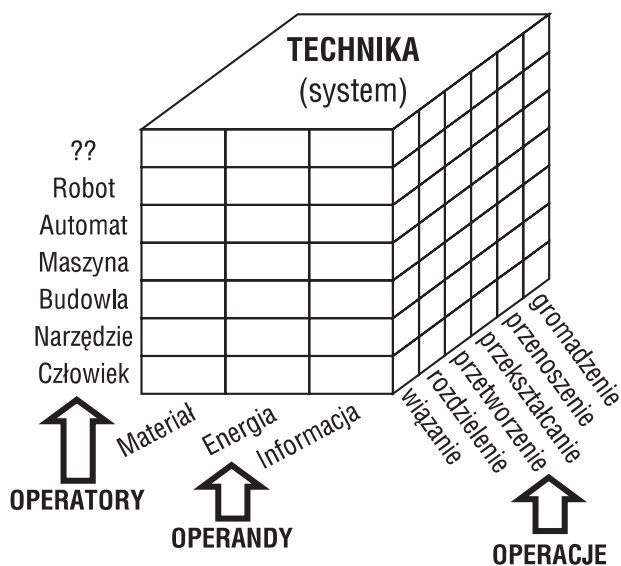
Celem artykułu jest podkreślenie znaczenia właściwości surowców przetwórstwa w tworzeniu sposobów działania maszyn i aparatów a także roli surowców i ich właściwości w charakterze cech systemotwórczych klasyfikacji procesów oraz struktur wyposażenia technologicznego przetwórstwa spożywczego. Przedstawiono propozycję klasyfikacji procesów i struktur stosowanych do ich realizacji według systemotwórczej cechy, jaką może stanowić podział surowców spożywczych na roślinne i zwierzęce.

Pojęcie struktury obejmuje wszystkie stworzone przez człowieka byty materialne (w tym: maszyny, aparaty, urządzenia) oraz umysłowe. Do bytów umysłowych należą systemy, które w rzeczywistości nie istnieją, gdyż stanowią jedynie ujęcia metodyczne – modele uporządkowanego widzenia danej całości [10].

W klasyfikacjach struktur (maszyn i aparatów), realizujących mechaniczne i aparaturowe procesy jednostkowe, właściwości fizyczne, chemiczne i biochemiczne surowców najczęściej nie występują w charakterze klasyfikatora systemowego. Zdaniem autorów pomijanie, a nawet brak powiązania (relacji) tych właściwości surowca z funkcjami i strukturami maszyn, nie ułatwia zrozumienia istoty ich działania. W mniejszym stopniu dotyczy to procesów aparaturowych, których liczba rodzajów jest wielokrotnie mniejsza niż rodzajów maszyn. W procesach tych fizyczna lub fizykochemiczna istota procesów podstawowych jest niezależna od charakteru przerabianego surowca lub uzyskanych produktów a także od rodzaju dostarczanej energii [5].

Przykład integracji systemowej w odniesieniu do całej techniki przedstawiono na rys.1. Autor pracy [4], z której pochodzi przedstawiony opis, rozpatrując systemowo sposoby wytwarzania wskazuje, że w każdej technice mamy do czynienia z czynnościami i obiektami. Obiekty służą do wykonywania jakichś czynności. Czynności te zwykle nazywane są *operacjami*; obiekty za pomocą których czynności są

przekształcane w pożądaną stan – *operandami*, a obiekty, za których pomocą wykonywane są te czynności – *operatorami*. Każdy proces techniczny można przedstawić, jako pożądaną relację między operandem (materiał, energia lub informacja) i operatorem (człowiek, maszyna, automat). Tego typu ujęcie generuje nowy sposób myślenia, które jest określane, jako „*podejście systemowe*” [10]. Podejście to stanowi podstawę integracji procesów i struktur wytwarzania w przetwórstwie spożywczym. Rodzaj przetwarzanego materiału, jakim są surowce spożywcze z ich specyficznymi właściwościami, wyróżnia inżynierię przetwórstwa spożywczego z ogólnego pojęcia techniki wytwarzania.



Rys. 1. Zintegrowane ujęcie techniki jako systemu.
Fig. 1. Integrated including the technique as the system.
Źródło: Gawrysiak M. 1998 [4]

POWIĄZANIA SUROWCÓW, MASZYN I APARATÓW PRZETWÓRSTWA SPOŻYWCZEGO

Inżynieria przetwórstwa spożywczego, jak cała nauka, rozwija się od poszczególnych doświadczeń do szerokich uogólnień. Celem procesów przetwórstwa spożywczego jest nadanie surowcom pożądanym (nowych lub zmienionych) właściwości, cech i charakterystyk przy pomocy maszyn i aparatów. Podział wyposażenia technologicznego na maszyny i aparaty, wynika z rodzajów występujących w nich procesów podstawowych i znajduje wyraz w niektórych podręcznikach. W maszynach występuje oddziaływanie mechaniczne na surowce, które zmienia ich formę, wymiary i inne fizyko-mechaniczne charakterystyki. W aparatach występują natomiast procesy wymiany ciepła i masy, fizyko-chemiczne, biochemiczne i inne.

Do zaprojektowania tych urządzeń niezbędnym było poznanie i następnie wykorzystanie wielu różnorodnych właściwości surowców spożywczych, wśród nich właściwości fizycznych [2, 3]. Pierwsze scalenie, wcześniej niezwykle rozproszonej, tak (ważnej w inżynierii procesowej) wiedzy o fizycznych, a także innych właściwościach, tych surowców znalazło po raz pierwszy swój wyraz w monografii [7],

wydanej w USA w drugiej połowie XX wieku. Występuje w niej podział właściwości na: geometryczne, mechaniczne, cieplne, akustyczne, elektryczne, magnetyczne, kolorymetryczne i wiele innych.

Jeden z pierwszych podręczników z zakresu inżynierii przetwórstwa spożywczego [1], w którym (według rozważań autorów) przedstawiono próby powiązania fizycznych właściwości surowca ze sposobami działania i konstrukcją maszyn przetwórstwa spożywczego, został wydany również w tym kraju. Wyrazem przedstawianych w nim związków była abstrakcyjna forma zapisu, która określała, że „*dogodność S*” surowców spożywczych, determinująca sposoby przetwarzania i rozwiązania konstrukcyjne maszyn i aparatów, zależy od jednej lub kilku możliwych do wykorzystania właściwości surowca, mieszczących się w ich zbiorze i oznaczonych, jako {a, b, c, d, ...}.

W pierwszej połowie XX wieku występował proces oddzielania się od pnia nauki, (wcześniej tak mocno nierozczłonkowanej), odrębnych gałęzi wiedzy w postaci monodyscyplin: młynarstwa, piekarnictwa, mleczarstwa, browarnictwa, przetwórstwa mięsa, drobiu, ryb, owoców, warzyw i wielu innych.

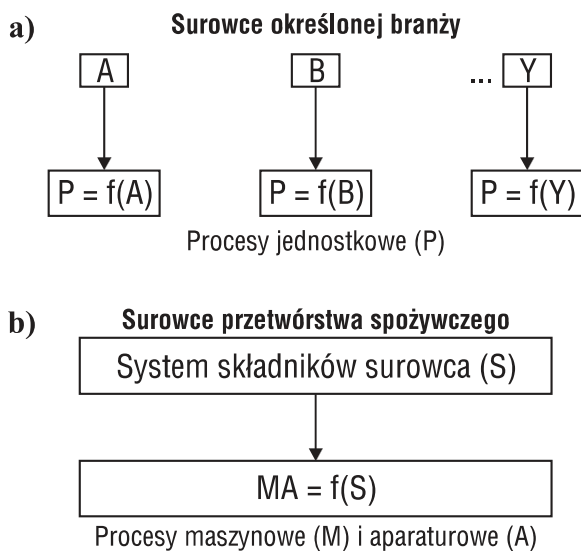
Pierwsze klasyfikacje wyposażenia technologicznego odnoszono do rodzajów surowców (zboż, mięsa, drobiu, ryb, owoców i warzyw oraz innych). Taki podział wyodrębnił ponad 30 branż, z powiązaniem typu redukcjonistycznego: *surowiec-procesy-wyposażenie technologiczne*. Powiązanie to określa przystosowanie maszyn i aparatów do jednego rodzaju surowca. Stosowana przez wieki postawa myślowa określana, jako „*myślenie redukcjonistyczne*” traktuje cały świat, jako „*klasyfikację oddzielnych zamkniętych jednostek*”.

Podział „*świata surowców spożywczych*” na oddzielne zamknięte jednostki znajduje nadal swój wyraz w różnych współczesnych podręcznikach inżynierii procesowej w ujęciu branżowym. Schemat takiego podejścia przedstawia rys. 2a. Ukazuje on relacje między rodzajem przetwarzanego w branży surowca a odpowiadającymi mu procesami podstawowymi i jednostkowymi (funkcjami struktur) oraz wyposażeniem technologicznym.

Podejście redukcjonistyczne (branżowe) było i nadal jest dobrym narzędziem poznania w przypadku projektowania urządzeń dla poszczególnych surowców. Jednakże, gdy ilość badanych właściwości surowców lub określonych na nich relacji przekracza poziom naszej percepcji, redukcjonizm staje się nieużyteczny. Ponadto, w świecie przyrodniczym żadne oddzielone od siebie elementy nie występują. W takim przypadku właściwym staje się podejście systemowe, u którego podstawy leży integrowanie rzeczy ze sobą. Tego rodzaju podejście, w odniesieniu do surowców przemysłu spożywczego, przedstawiono na rys. 2b. Takie łączne ujęcie poszczególnych surowców występuje w podręczniku Singha P. i Heldmana D. [9] i innych, do których zaliczyć należy również wydany w Polsce podręcznik pod red. P. Lewickiego [6].

Począwszy od lat dwudziestych XX wieku, rozpoczęto stosowanie klasyfikacji wyposażenia technologicznego na grupy, w których nie ma odnoszenia do rodzajów przetwarzanego surowca, według procesów podstawowych [6]. Na niższym poziomie znajdują się procesy jednostkowe, od

których tworzone są nazwy ich funkcji, a także nazwy rodzajowe maszyn i aparatów. Zgodnie z tą klasyfikacją, wyodrębniane są następujące procesy podstawowe: mechaniczne, hydromechaniczne, wymiany ciepła, wymiany masy, chemiczne, biochemiczne oraz mikrobiologiczne. Nie występują w nich relacje z surowcami i rzadko z ich właściwościami. Za podstawę klasyfikacji przyjęto prawa natury i fenomenologiczne podejście, poznane naukowymi metodami wykorzystywanymi w projektowaniu urządzeń.



Rys. 2. Powiązanie surowców z procesami w przetwórstwie spożywczym: a) ujęcie redukcjonistyczne (branżowe), b) ujęcie systemowe (integrujące).

Fig. 2. Connecting raw materials with processes in the food processing: a) reductionist presentation (branches), b) system presentation (integrating).

Źródło: Lewicki P. 2005 [6], Singh P., Heldman D. 1984 [9]

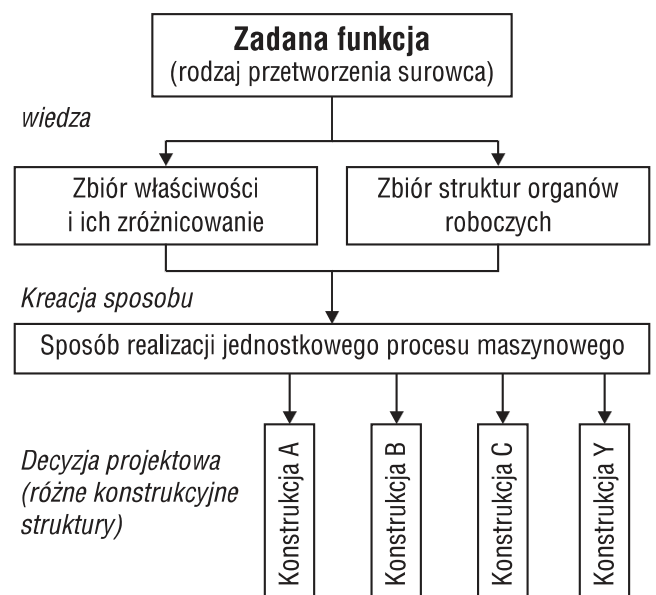
Coraz częściej w jednej strukturze realizowanych jest kilka procesów jednostkowych (funkcji), należących do różnych procesów podstawowych, co zaciera kryteria podziału wyposażenia technologicznego na maszyny i aparaty. Przykładowo w jednej strukturze występują procesy: biotechnologiczne, cieplne, dyfuzyjne i mechaniczne. Takie struktury o charakterze hybrydowym, a także wielofunkcyjne, które będą stanowiły rozszerzającą się część wyposażenia technologicznego, dotychczas nie znajdują odzwierciedlenia w klasyfikacjach.

W podejściu systemowym ważnym jest uświadomienie sobie istnienia relacji pomiędzy elementami danego zbioru. W danym układzie rzeczywistym potrafimy zbudować tyle systemów, ile potrafimy wyznaczyć (wymyślić) klasyfikatorów. Przykładowo, oprócz już wymienionych, występują podziały urządzeń według: kierunku przepływu potoków, rodzaju pracy (ciągła, okresowa), rozwiązań konstrukcyjnych, stopnia automatyzacji, kierunku transportu surowca i środków jego realizacji, narzędzi roboczych, sposobu doprowadzenia ciepła, poziomu ciśnienia w komorze reakcyjnej i jeszcze wielu innych. Występuje również podział urządzeń na specjalistyczne i uniwersalne, określające ich zastosowanie tylko do jednego lub wielu rodzajów surowca.

SYSTEMOWE RELACJE WŁAŚCIWOŚCI SUROWCÓW ZE STRUKTURAMI WYPOSAŻENIA TECHNOLOGICZNEGO PRZEWÓRTWA SPOŻYWCZEGO

Nie trzeba szerzej uzasadniać, że to nie rodzaje przetwarzanych surowców tylko ich różnorodne właściwości, przedstawione w ujęciu statycznym i dynamicznym, tworzą bazę danych, wykorzystywanych do obliczeń w procesie modelowania i projektowania. Stanowią one również podstawę tworzenia sposobów działania urządzeń [2].

W miarę jak przetwórstwo surowców rolniczych zmieniło się z ręcznego rzemiosła w coraz bardziej skomplikowany przemysł, stawało się oczywiste, że nie jest możliwe racjonalne projektowanie procesów technologicznych oraz maszyn i aparatów bez gruntownej znajomości właściwości surowca, który poddawany jest przetwarzaniu [5]. Bez ich znajomości, wyrażonej liczbowo, nie mogą być dokonane najważniejsze obliczenia projektowe, co znajduje odpowiedni wyraz w literaturze. Rzadziej natomiast jest przedstawiana inna ważna rola właściwości surowców, która polega właśnie na tym, że stanowią one (a uściślając różnice ich wartości odniesione do poszczególnych składników surowca) podstawę tworzenia nowych sposobów działania zarówno maszyn jak i aparatów. Przykład konkretyzacji powyższego stwierdzenia może stanowić wykorzystywanie różnic ciężarów właściwych do rozdziału składników, czy też różnic wartości jednostkowych sił cięcia mięsa i kości w maszynach do ich separacji. Tę ich rolę najczęściej dostrzegamy w zapisach zastrzeżeń patentowych wynalazków nowych sposobów i urządzeń na nich opartych.



Rys. 3. Struktura systemowa tworzenia maszynowych procesów jednostkowych przetwórstwa spożywczego.

Fig. 3. System structure of creating machine individual processes of the food processing.

Źródło: Opracowanie własne

Wiedzę o niej winniśmy czerpać nie tylko z publikacji naukowych i podręczników, w których nie znajduje ona szerszego odzwierciedlenia, lecz również z zapisu zastrzeżeń patentowych wynalazków, stanowiących pierwotne źródło informacji o postępach w rozwoju technik wytwarzania. Próbę graficznego wyrazu relacji systemowej pomiędzy maszynami i właściwościami przetwarzanych w nich surowców przedstawiono na rys. 3.

W danym procesie tworzenia maszyn i aparatów funkcję, jaką ma spełniać nowe wyposażenie znamy. Najczęściej rozwiązanie problemu polega na wykorzystaniu znanej właściwości fizycznej surowca (jednej lub kilku), a częściej różnic ich wartości w składnikach surowca, przez już znany lub wynaleziony organ roboczy (narzędzie) maszyny. W myślowym procesie rozwiązania problemu koncipowany jest sposób obróbki bądź przetworzenia surowca, wyrażający relacje między nimi.

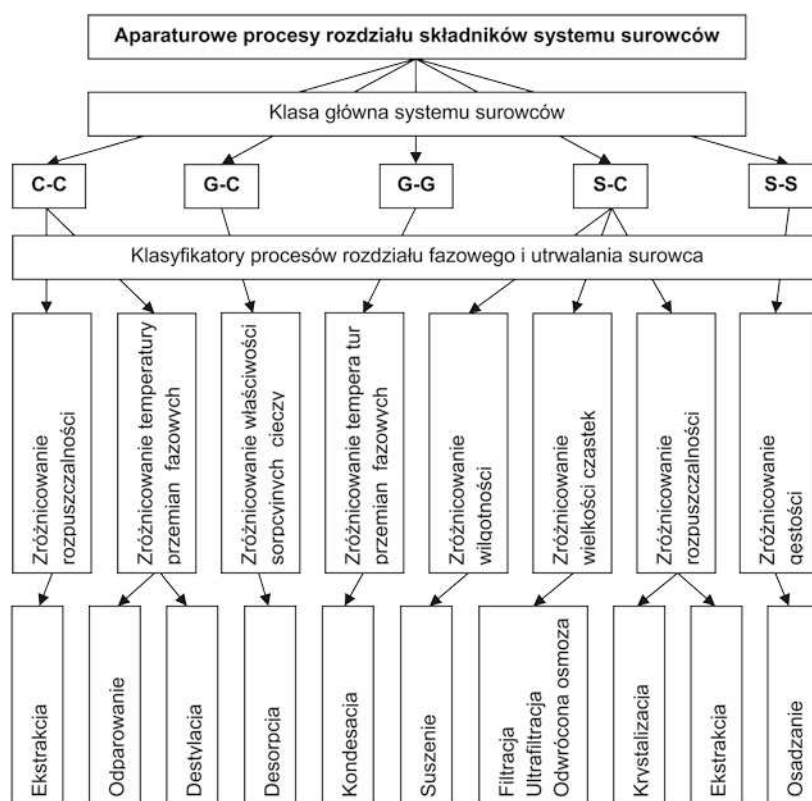
Procesy twórcze podobnie, jak i inne intelektualne operacje, nie poddają się formalizacji i algorytmizacji. Działania tego typu mogą być realizowane przez człowieka, co najwyżej z komputerową bazą danych. Ważnym jest podkreślenie, że ten sam sposób może być realizowany przez wiele rozwiązań konstrukcyjnych maszyn i aparatów w sensie fizycznym i informacyjnym (sterowania parametrami).

Synteza wiedzy o zróżnicowanych rodzajowo surowcach pochodzenia biologicznego i produktach spożywczych została doprowadzona do takiego poziomu integracji, że mogą one być rozpatrywane, jako systemy, ponieważ składają się z wielu specyficznych struktur, elementów i sposobów ich powiązań (relacji). W ujęciu systemowym, ważnymi właściwościami fizycznymi są stany ich skupienia (fazy), a w nich znajdują się składniki, które w „czystej” postaci występują, jako stan stały, ciekły i gazowy.

Heterogeniczne, czyli niejednorodne (dyspersyjne) materiały, składają się z kilku faz lub składników, oddzielonych jeden od drugiego powierzchniami rozdziału. Przechodząc przez nie zmieniają się one skokowo. Do takich dyspersyjnych materiałów, stanowiących surowce spożywcze, zaliczyć można np.: mięso, ryby, warzywa, owoce, zboża, a także zawiesiny, emulsje, pyły i inne.

Biorąc pod uwagę te fazy lub składniki, surowce spożywcze (jednorodne bądź niejednorodne) mogą być traktowane, jako systemy [8]. Do rozdziału takich systemów na składniki, wykorzystywanych jest wiele zróżnicowań właściwości: fizycznych, chemicznych i biochemicznych oraz różnorodnych zjawisk: fizycznych, chemicznych i biochemicznych. Zróżnicowanie umożliwia tworzenie procesów realizowanych przez wyposażenie technologiczne zakładów przetwórstwa spożywczego, tj. maszyny i aparaty.

Systemową klasyfikację aparatowych procesów rozdziału składników surowców jednorodnych i niejednorodnych, według pracy [9], przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Struktura systemowa aparatowych procesów jednostkowych przetwórstwa spożywczego.

Fig. 4. System structure of creating apparatus individual processes of the food processing.

Źródło: Singh P., Heldman D. 1984 [9]

Na schemacie tym klasa węzłowa wynika z podziału na procesy maszynowe i aparatowe. Klasy główne powstają z relacji między składnikami systemu surowców, jakimi są fazy: stała (S), ciekła (C) i gazowa (G). Tych klas jest pięć i mogą być typu: C-C (*ciecz-ciecz*), G-C (*gaz-ciecz*), G-G (*gaz-gaz*), S-C (*ciało stałe-ciecz*), S-S (*ciało stałe-ciało stałe*).

W ramach tych klas występuje podział na szeregi klasyfikacyjne. Klasyfikatorem są tu różnice charakterystycznych właściwości składników, tj.: rozpuszczalności cieczy w cieczach, temperatur przejść fazowych składników, rozpuszczalności ciał stałych w cieczach, właściwości sorpcyjnych cieczy, zdolności przenikania przez membrany.

W procesie odchodzenia od branżowych i pozostałych podziałów, wyłoniła się propozycja stosowania klasyfikacji procesów jednostkowych oraz realizujących je maszyn i aparatów na dwie grupy, przyjmując w charakterze klasyfikatora (cechy podziału) ich funkcje, czyli cel działania. Przyjęto, że wiedza o wzajemnych powiązaniach i zależnościach, wiodących procesów i stosowanych w nich struktur, stanowi system; uzasadniono wydzielenie w nim dwóch podsystemów. Pierwszy integruje funkcje *rozdziału* poszczególnych surowców spożywczych na ich autonomiczne części (składniki), a drugi podsystem integruje ich różnego rodzaju *łączenia*. W pierwszym występuje proces analizy w drugim syntezy. Podział ten wyraża istotę a zarazem specyfikę procesów i stosowanych urządzeń. W niedalekiej przyszłości może okazać się uzasadnionym wyodrębnienie z tego systemu

kolejnego (trzeciego) podsystemu, który będzie obejmował procesy i struktury stosowne do pakowania surowców i produktów spożywczych.

W klasycznej konwencji biologiczne surowce przetworstwa spożywczego, ze względu na źródła pochodzenia, są dzielone tylko na dwie wielkie grupy – pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Charakteryzują się one istotnie różnymi właściwościami: technologicznymi, funkcjonalnymi, fizycznymi, chemicznymi, morfologicznymi, reologicznymi i innymi. Dotychczas nie były one brane pod uwagę, jako podstawa do stworzenia, integrujących w znacznie większym stopniu niż w ujęciu branżowym, klasyfikacji procesów podstawowych, jednostkowych oraz wyposażenia technologicznego.

Zdaniem autorów krokiem w pożądanym kierunku integrowania wiedzy o procesach, maszynach i aparatach przetworstwa spożywczego byłaby systematyka, w której klasę węzłową stanowiłby podział surowców spożywczych pod względem pochodzenia właśnie na roślinne i zwierzęce.

PODSUMOWANIE

Przetwórstwo spożywcze to coraz bardziej złożony system. Jego ważnymi elementami w sferze pojęciowej i technologicznej są surowce a ściślej ich właściwości, procesy i wyposażenie technologiczne. Podejście systemowe jest swego rodzaju uproszczeniem, które uwypukla to, co uznaje się za istotne w danych rozważaniach, ułatwia zdobycie wiedzy i pozwala na zwiększenie skuteczności działań. W nauczaniu inżynierii procesów przetworstwa spożywczego podejście systemowe, do których należy przedstawiony zarys zagadnień, stało się niezbędne, gdy uzmysłowimy sobie liczbę, różnorodność surowców, maszyn i aparatów przetworstwa spożywczego oraz wzrastającą ich złożoność.

LITERATURA

- [1] **BRENNAN J.G., BUTTERS J.R., COWEL N.D. 1990.** Food engineering operations. Wydanie III, London and New York, Elsevier Applied Science.
- [2] **DUTKIEWICZ D. 2005.** *Znaczenie właściwości fizycznych surowców spożywczych w mechanizowaniu przetworstwa na przykładzie obróbki ryb.* Postępy Techniki Przetworstwa Spożywczego. Nr 1, 44-46.
- [3] **DUTKIEWICZ D. 2012.** *Systemowej holistycznej aspektu integrowania wiedzy dla potrzeb nauczania inżynierii procesowej przetworstwa spożywczego.* Inżynieria Przetworstwa Spożywczego, Nr 3/4, 11-14.
- [4] **GAWRYSIAK M. 1998.** Edukacja metatechniczna. Radom, Monografia Nr 32, Wydanie Politechniki Radomskiej.
- [5] **HAMAN J. 1989.** *Właściwości fizyczne surowców a problemy projektowania maszyn spożywczych.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 355 PWN.
- [6] **LEWICKI P. 2005.** Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. Warszawa, Wydanie WNT.
- [7] **MOHSENIN NURI N. 1980.** Thermal Properties of Food and Agricultural Materials. New York. Gordon and Breach Science Publishers.
- [8] **PLASKIN J.M., MAŁACHOW N.N., ŁARIN B.A. 2005.** Procesy i aparaty piszczewych proizwodztw. Moskwa, Wydanie Kołos C.
- [9] **SINGH P., HELDMAN D. 1984.** Introduction to Food Engineering. Orlando USA, Academic Press.
- [10] **SŁOWIŃSKI B. 2011.** Inżynieria eksploatacji maszyn. Koszalin, Wydanie Politechniki Koszalińskiej.

SYSTEM INTEGRATION OF DIVERSIFYING RAW MATERIALS, MACHINES AND APPARATUSES OF THE FOOD PROCESSING

SUMMARY

Engineering of processes of the food processing, came into existence as a result of integration of scientific theories and achievements of the production practice many of her branches of food industry, requires the continuation of this process in the systemic approach. In the article a ranking of machines and apparatuses of the food processing was presented, of conditioning in their coming into existence and relations with raw materials and their properties.

Key words: food processing, ranking of the technological equipment, system approach.