

AGROFIZYCZNE MONITOROWANIE I MODELOWANIE PROCESÓW WYTWARZANIA ŻYWNOSCI

Ryszard T. Walczak, Andrzej Bieganowski

Institut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: biegan@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. Wytwarzanie żywności pochodzenia roślinnego obejmuje cały kompleks aktywności człowieka, który schematycznie może być przedstawiony poprzez sekwencję (czasami pętle) następujących procesów: wybór stanowiska do uprawy roślin, nawożenie, przygotowanie gleby, siew, zabiegi ochrony roślin, zabiegi uprawowe, zbiór, transport, przechowywanie oraz przetwórstwo. Do skutecznej i efektywnej realizacji tych procesów niezbędne są odpowiednie zasoby materialne, np. nawozy, nasiona, sprzęt rolniczy, itp. oraz informacja, np. wyniki pomiarów: gleb, warunków agrometeorologicznych, strat w czasie zbioru itp. W każdym praktycznie z przytoczonych powyżej etapów produkcji żywności, jak również w procesach przygotowania odpowiednich zasobów materialnych i informacji, znajduje zastosowanie agrofizyka poprzez: wzbogacenia nauk rolniczych w odpowiednie metody badawcze; pomoc w interpretacji wyników; modelowanie zjawisk i procesów dostarczając informacji, które są podstawą do podejmowania decyzji. W pracy podano konkretne przykłady zastosowań agrofizyki w procesach produkcji żywności, w tym zbioru oraz oceny jakości plodów rolnych.

Słowa kluczowe: agrofizyka, bezpieczna żywność, metrologia agrofizyczna

WSTĘP

Wymagania dotyczące żywności produkowanej na rynek Unii Europejskiej są bardzo rygorystyczne. Najważniejszym z nich, i trudnym do przecenienia, jest zapewnienie, aby żywność była bezpieczna (w kontekście zdrowotnym) dla konsumentów. W tym krótkim stwierdzeniu zawiera się ogromny wysiłek ludzi zaangażowanych na wszystkich etapach produkcji żywności. Wysiłek ten nie polega jedynie na opracowaniu odpowiednich procesów produkcyjnych, ale również na udowodnieniu, że te procesy są skuteczne.

Wielopłaszczyznowość problematyki bezpieczeństwa zdrowotnego żywności powoduje, że zagadnienie to podejmowane jest przez liczne zespoły, reprezen-

tujące różne dyscypliny naukowe. Jedną z nauk zaangażowanych w tę problematykę jest agrofizyka.

Agrofizyka jest interdyscyplinarną nauką wykorzystującą metody opracowane przez fizykę (i chemię) do badania właściwości materiałów i produktów rolniczych oraz procesów zachodzących w :

- układzie gleba-roślina-atmosfera,
- układzie gleba-roślina-maszyna-płody rolne (surowiec),
- zrównoważonej produkcji roślinnej i zwierzęcej,
- nowoczesnych technologiach przetwórczych ze szczególnym uwzględnieniem jakości surowców i produktów żywnościowych.

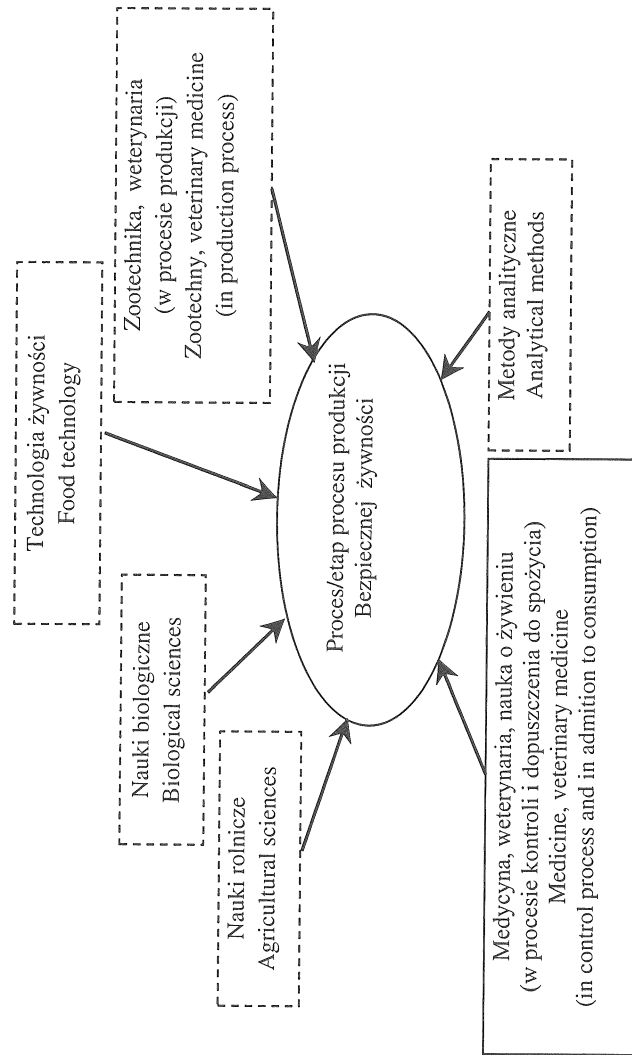
Etymologia słowa *agrofizyka* wskazuje na obiekt badań (gleby, rośliny oraz materiały pochodzenia roślinnego i zwierzęcego) oraz wykorzystywany warsztat naukowy (metody zaczerpnięte z fizyki, chemii i innych nauk przyrodniczych i technicznych). W oparciu o wspomniane metody i w odniesieniu do opisanych obiektów agrofizyka ściśle definiuje badane wielkości, realizuje ich pomiary i/lub monitorowanie, analizuje i interpretuje otrzymane wyniki, a w końcu modeluje procesy i obiekty [3,7,21,27].

ZADANIA AGROFIZYKI W PROCESACH WYTWARZANIA ŻYWNOŚCI

Agrofizyka będąc integralną częścią fizyki środowiska zajmuje się m.in. badaniami związanymi z rolniczym wykorzystaniem terenu oraz produkcją żywności roślinnej. Zadania te są szczególnie istotne, gdyż dotyczą 10-cio procentowej, najintensywniej użytkowanej części Ziemi (grunty rolne). Konsekwencją intensyfikacji rolnictwa są negatywne z punktu widzenia środowiska zjawiska erozji, zanieczyszczenia chemicznego itp.

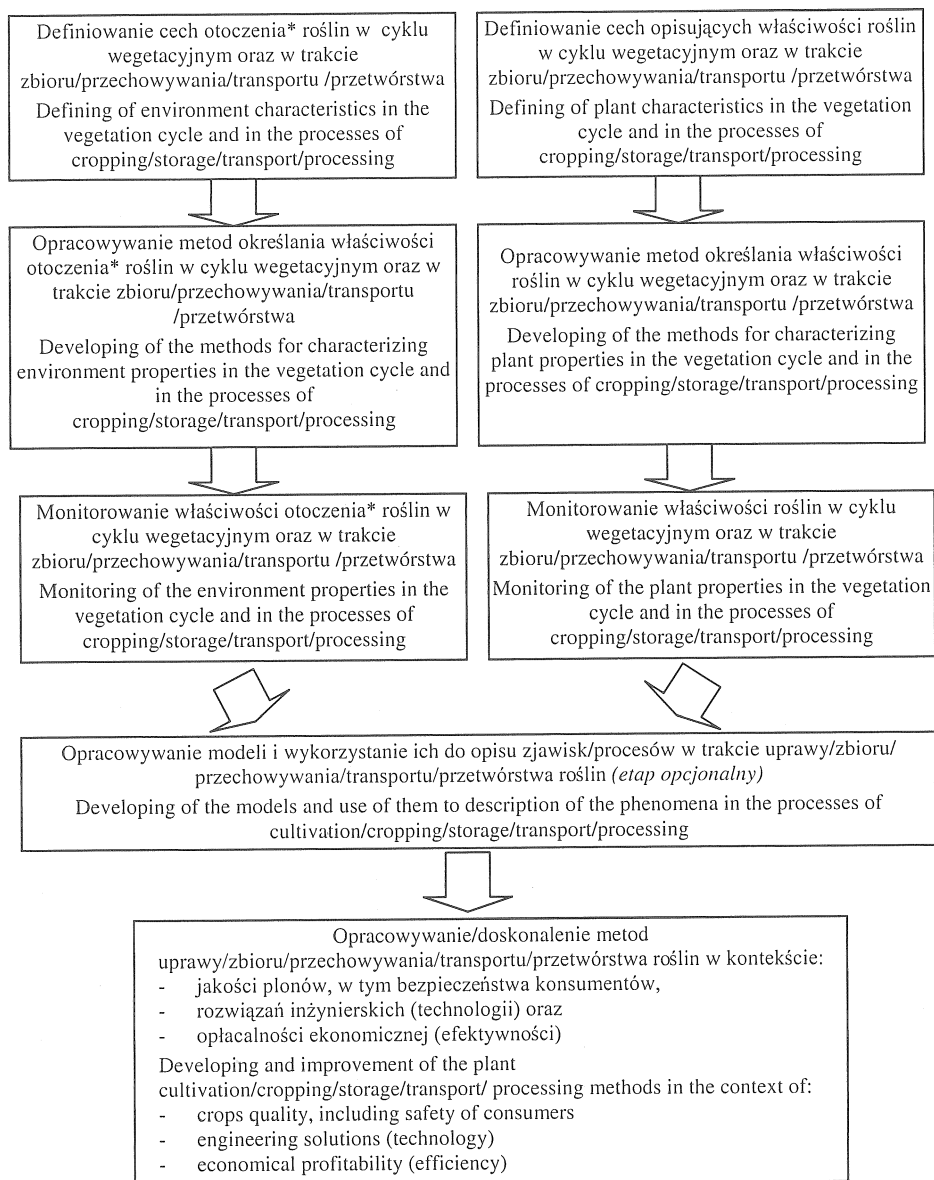
Nauki przyrodnicze (w tym rolnictwo) i przemysł (w tym spożywczy) bardzo często stają przed koniecznością poszukiwania interpretacji wzajemnie powiązanych oddziaływań zachodzących w środowisku przyrodniczym. Stąd wspólne zaangażowanie zespołów reprezentujących wiele różnych nauk. Dlatego też agrofizyka, która sama stała się płaszczyzną współpracy biologów, rolników, fizyków, chemików, matematyków, geografów, techników, informatyków, żywieniowców, i in. chętnie korzysta z wiedzy i doświadczeń innych nauk (poza wymienionymi powyżej także z medycyny i weterynarii) [3,10,12]. Schematycznie można to przedstawić tak, jak na rysunku 1.

Podstawowe zadania, jakie są stawiane przed agrofizyką w kontekście produkcji bezpiecznej żywności zaprezentowano schematycznie na rysunku 2.



Rys. 1. Nauki wnoszące swój wkład w proces doskonalenia produkcji bezpiecznej żywności. Linia przerywaną zaznaczono te nauki, z którymi bezpośrednio współpracują agrofizycy [3]

Fig. 1. Disciplines of science giving their contribution to the process of improvement of safe food production. Dashed line marks these disciplines which are the subject of co-operation with agrophysicists [3]



* środowisko wzrostu i rozwoju roślin-materiał siewny/sadzonki, nawozy, środki ochrony roślin, maszyny i in.
environment of plant growth-sowable material/cuttings, fertilizers, plant protection agents, machines and others.

Rys. 2. Zadania agrofizyki w kontekście produkcji bezpiecznej żywności

Fig. 2. Tasks of agrophysics in the context of safe food production

DEFINIOWANIE CECH I OPRACOWYWANIE METOD BADAWCZYCH

Rośliny, materiały pochodzenia roślinnego, a w szczególności środowisko wzrostu i rozwoju roślin są bardzo trudnym, z metodycznego punktu widzenia, obiektem badań, ponieważ ulegają ciągłym zmianom zarówno w czasie jak i przestrzeni.

Bezpośrednie przeniesienie metod pomiarowych z chemii lub fizyki jest bardzo często praktycznie niemożliwe do realizacji, ponieważ uzyskiwane w ten sposób wyniki nie mogą być interpretowane. Dlatego też często pierwszym etapem pracy agrofizyka jest zdefiniowanie cech opisujących roślinę/otoczenie tj. określenie wielkości fizycznej, jej jednostki oraz sposobu jej pomiaru.

Przykładem trudności, jakie może napotkać agrofizyk jest pomiar natlenienia, a w szczególności parametru określającego dostępność tlenu dla korzeni roślin. Z fizycznego punktu widzenia parametr ten (w agrofizyce nazywany wydatek dyfuzji tlenu – ODR lub gęstość strumienia tlenu – OFD) jest tożsamy ze strumieniem tlenu wyrażonym w jednostkach $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

W fizykochemii pomiar realizowany jest metodami elektrochemicznymi: amperometryczną lub voltamperometryczną. Metody te znane są i szeroko stosowane w chemii roztworów. Zastosowanie tych metod do pomiarów w glebach wymaga rozwiązania wielu problemów, które w dotychczasowych zastosowaniach nie występowały (np. zakresy wilgotności, przy których otrzymane wyniki mogą być interpretowane w kategoriach pomiaru gęstości strumienia tlenu w glebie) [8,17,19].

MONITOROWANIE WŁAŚCIWOŚCI ROŚLIN/OTOCZENIA

Przedmiotem badań agrofizyków są obiekty materialne (zarówno ożywione, np. rośliny, gleba, itp., jak i nieożywione, np. materiały pochodzenia roślinnego/zwierzęcego, materiał glebowy, nawozy, środki ochrony roślin, itp.) oraz procesy zachodzące w roślinach i otoczeniu (np. przepływ masy i energii w układzie gleba-roślina-atmosfera, zjawiska uszkodzeń ziaren zbóż podczas zbioru mechanicznego, procesy zachodzące podczas przechowywania owoców, itp.).

W oparciu o opracowane i/lub zmodyfikowane (ze względu na specyfikę badanych obiektów) metody pomiarowe prowadzone są badania wspomnianych powyżej obiektów agrofizycznych. Bezpośrednim celem prowadzonych badań jest określenie cech/właściwości badanego obiektu oraz poznanie i zrozumienie mechanizmów procesów zachodzących w roślinie oraz pomiędzy rośliną i jej otoczeniem.

Zwłaszcza ten drugi cel wymaga dokonywania wielu pomiarów w czasie i przestrzeni. Dlatego ważnym polem działania agrofizyków jest opracowywanie/doskonalenie systemów monitorowania właściwości roślin i ich otoczenia [28].

Przykładem konkretnego zastosowania systemów monitorowania może być wykorzystanie termografii do określenia obszarów deficytu wody lub obszaru roślin zakażonych szkodnikami. Metoda ta wykorzystuje zjawisko, w którym rośliny posiadające optymalne warunki wilgotności lub rośliny zdrowe (nie zakażone) charakteryzują się innym niż rośliny przesuszone lub zakażone natężeniem emitowanego przez nie promieniowania podczerwonego [1,6].

Innym przykładem, dotyczącym monitorowania środowiska wzrostu i rozwoju roślin, może być wykorzystanie techniki TDR (time domain reflectometry) do określenia i monitorowania wilgotności oraz zasolenia gleby i ewentualnego sterowania systemem nawadniania [18,20].

OPRACOWYWANIE MODELI I WYKORZYSTYWANIE ICH DO OPISU ZJAWISK/PROCESÓW

Agrofizyka na przestrzeni swojego rozwoju zgromadziła bardzo bogaty materiał empiryczny z zakresu oddziaływań fizycznych zachodzących w obiektach biologicznych. Coraz większe zapotrzebowanie na badania teoretyczne oraz interdyscyplinarną interpretację wzajemnie powiązanych oddziaływań zaowocowało w ostatnich latach intensywnymi poszukiwaniami modeli procesów, które zachodzą w układach fizycznych, chemicznych i biologicznych związanych z materiałami rolniczymi oraz modeli struktury tych obiektów.

Modelowanie, jako przybliżone odwzorowanie rzeczywistości, dokonuje pewnej idealizacji rozpatrywanego układu rzeczywistego uwzględniając w tworzonym modelu tylko te oddziaływania, które odgrywają według nas istotną rolę. Z punktu widzenia zastosowanego narzędzia badawczego – fizyki oraz przeznaczenia wyników – rolnictwa, istotnym elementem procesów fizycznych zachodzących w rolniczych obiektach badań, jest właściwa ocena i wybór najistotniejszych oddziaływań i właściwości. Wiąże się to na ogół z koniecznością znacznego uproszczenia rozważanych zagadnień. Uproszczenia te muszą uwzględniać między innymi kompromis pomiędzy dokładnością odwzorowania a jego wykonalnością.

W badaniach materiałów rolniczych najczęściej stosowane są modele teoretyczne i metody badawcze wypracowane przez fizykę oraz inne szczegółowe nauki

przyrodnicze (np. agrofizyka, biofizyka, geofizyka) korzystające z dorobku fizyki. Przyjmowane uproszczenia muszą brać pod uwagę granice stosowalności metod badawczych i związanych z nimi formalizmów matematycznych opracowanych dla możliwie najprostszycy obiektów.

Przykładem mogą być modele procesów wymiany masy i energii w systemie gleba-roślina-atmosfera wymagające równoczesnego uwzględnienia wielu zjawisk. Modele ruchu wody, substancji chemicznych, gazów i ciepła oraz zjawisk międzyfazowych w środowisku glebowym i materiałach biologicznych (w tym żywności) umożliwiają sterowanie procesami, które decydują o warunkach wzrostu i rozwoju roślin oraz o racjonalnym gospodarowaniu wodą [12,29,30].

OPRACOWYWANIE/DOSKONALENIE METOD UPRAWY, ZBIORU, PRZECHOWYWANIA, TRANSPORTU ORAZ PRZETWÓRSTWA ROŚLIN I PŁODÓW ROLNYCH

Praktycznie wszystkie wyżej przedstawione zadania agrofizyki były elementami składowymi procesu (lub służyły procesom) opracowywania i/lub doskonalenia metod uprawy, przechowywania, transportu oraz przetwórstwa roślin oraz płodów rolnych. Szczególnie ważnym kryterium brany pod uwagę podczas realizacji tych procesów jest jakość wytworzonej żywności.

Przykładem kompleksowego podejścia do całego cyklu produkcyjnego jednego z produktów żywnościowych są badania dotyczące technologii zbioru, transportu, przechowalności i przerobu rzepaku [24,25,26]. Przeprowadzony cykl zawierał w sobie badania podstawowe, technologiczno-polowe, a w końcu prace wdrożeniowe. Pozwoliło to na opracowanie nowej technologii umożliwiającej ograniczenie strat ilościowych i jakościowych nasion w trakcie zbioru kombajnowego i obróbki pozbiorowej. Opracowana nowa technologia została bardzo pozytywnie oceniona przez producentów rzepaku, a w konsekwencji wdrożona i rozpowszechniona w całym kraju.

Innymi przykładami zastosowania agrofizyki do oceny jakości płodów rolnych i/lub żywności są:

- metoda porozymetryczna wyznaczania porowatości i powierzchni właściwej w ekstrudatach skrobiowych (z kukurydzy, pszenicy i ryżu) [13,14];
- badania właściwości mechanicznych roślin i płodów rolnych przy pomocy aparatury INSTRON [4,5];

- wykorzystanie mechaniki materiałów ziarnistych do charakterystyki sypkich surowców i produktów spożywczych [11];
- wykorzystanie chemometrii widm odbiciowych do badania jakości jabłek [15];
- zastosowanie termografii do oceny jakości nasion [2];
- ocena podatności na uszkodzenia wewnętrzne ziaren poddanych działaniu czynników destrukcyjnych [31];
- analiza uszkodzeń wewnętrznych ziaren zbóż metodą rentgenowską [9,22];
- ocena odporności nasion fasoli na uszkodzenia mechaniczne [23].

PODSUMOWANIE

Agrofizyka ma znaczący udział w opracowywaniu/doskonaleniu na różnych etapach procesów produkcji żywności:

1. opracowywanie metod określania właściwości roślin/otoczenia roślin w całym cyklu wegetacyjnym oraz w trakcie zbioru, przechowywania, transportu, przetwórstwa,

2. monitorowanie właściwości roślin i ich otoczenia w całym cyklu wegetacyjnym oraz w trakcie zbioru, przechowywania, transportu, przetwórstwa,

3. opracowywanie modeli i wykorzystanie ich do opisu zjawisk/procesów w trakcie uprawy, zbioru, przechowywania, transportu, przetwórstwa roślin,

4. opracowywanie oraz doskonalenie metod uprawy, zbioru, przechowywania, transportu, przetwórstwa roślin w aspekcie:

- jakości plonów, w tym bezpieczeństwa zdrowotnego dla konsumentów,
- rozwiązań inżynierskich (technologii procesów),
- opłacalności ekonomicznej (efektywności procesów).

PIŚMIENNICTWO

1. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.:** Wykorzystanie techniki zobrażeń termalnych w badaniach rolniczych. *Acta Agrophysica* 72, 7-14, 2002.
2. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.:** Obserwacje termograficzne nasion we wstępnej fazie ich pęcznienia. V Konferencja Krajowa Termografia i Termometria w Podczzerwieni, Ustroń, 2002.
3. **Bieganowski A., Baranowski P., Walczak R.T.:** Agrofizyczne systemy monitorowania procesu produkcji bezpiecznej żywności. *Acta Agrophysica*, 84, 21-29, 2003.
4. **Dobrzański jr. B., Rybczyński R.:** Właściwości mechaniczne i optyczne gruszek jako parametry oceny ich dojrzałości. *Acta Agrophysica*, 45, 61-68, 2001.

5. **Dobrzański jr. B., Szot B.:** Mechanical properties of pea seed. Agricultural Engineering and Rural Development. A Pergamon-CNPIEC Joint Venture, Beijing, China, II,D,12-16, 1992.
6. **Duchesne J.:** Detection par radiothermometrie d'une attaque de pietin-verse sur cereale. ENSA de Rennes. Chaire de Genie Rural, Hydraulique et Climatologie Agricoles, Rapport 1987.
7. **Gliński J., Grundas S., Nawrocki S., Walczak R.T.:** Stan obecny i perspektywy badań agrofizycznych w Polsce. Acta Agrophysica, 60, 5-12, 2002.
8. **Gliński J., Stępniewski W.:** Soil aeration and its role for plants. CRC Press Inc., Florida, USA, 1985.
9. **Grundas S., Velikanov L., Archipov M.:** Importance of wheat grain orientation for the detection of internal mechanical damage by the X-ray method. Int. Agrophysics, 13, 355-361, 1999.
10. **Haman J.:** Znaczenie badań agrofizycznych i ich upowszechnienie. Szkoła „Fizyka z elementami agrofizyki”, Lublin, 15-21, 1997.
11. **Horabik J., Molenda M.:** Properties of Grain for Silo Strength Calculation. Physical Methods in Agriculture: Approach to Precision and Quality. Part 2. Properties and Quality. Kluwer Academic/Plenum Publishers, 195-217, 2002.
12. **Horabik J., Walczak R.T.:** Rola fizycznych metod badań środowiska naturalnego i żywności. Acta Agrophysica 60, 71-90, 2002.
13. **Jamroz J., Hajnos M., Sokółowska Z.:** Use of the mercury porosimetry technique to the porosity study of the wheat flour extrudates. Int. Agrophysics, 13, 445-449, 1999.
14. **Jamroz J., Sokółowska Z., Hajnos M.:** Moisture sorption hysteresis in potato starch extrudates. Int. Agrophysics, 13, 451-455, 1999.
15. **Kuczyński A., De Baedemaeker J., Oszmiański J.:** An optical reflectance method for studying the enzymatic browning reaction in apple. Int. Agrophysics, 8, 421-425, 1994.
16. **Lipiec J., Hatano R.:** Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. Geoderma, 116, 107-136, 2003.
17. **Malicki M.A., Bieganowski A.:** Chronovotammetric determination of oxygen flux density in the soil. International Agrophysics, 13, 273-281, 1999.
18. **Malicki M., Plagge R., Renger M., Walczak R.:** Application of time-domain reflectometry (TDR) soil moisture microprobe for determination of unsaturated soil water characteristics on standard undisturbed soil cores. Irrigation Sci., 13, 65-72, 1992.
19. **Malicki M., Walczak R.:** A gauge of the redox potential and the oxygen diffusion rate in the soil, with an automatic regulation of cathode potential. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 220, 447-451, 1983.
20. **Malicki M., Walczak R.:** Evaluating soil salinity status from bulk electrical conductivity and permittivity. European Journal of Soil Sci., 50, 505-514, 1999.
21. **Nalborczyk E.:** Dobór i wykorzystanie nowoczesnej aparatury kontrolno-pomiarowej w doświadczałnictwie polowym. Część I. Oznaczenie wymiany gazowej, struktury przestrzennej i bilansu energii fotosyntetycznej czynnej radiacji roślin w łanie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 447, 81-90, 1996.
22. **Niewczas J., Grundas S., Ślipek Z.:** The analysis of the increments of internal damage to wheat grain affected by dynamic loading. Int. Agrophysics, 8, 283-287, 1994.
23. **Sosnowski S.:** Ocena wpływu niektórych zespołów młójących na poziom mechanicznych uszkodzeń nasion fasoli. Rozprawa habilitacyjna Nr 162, Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, Kraków 1991.
24. **Szot B., Stępniewski A.:** Significance of the investigation of physical properties of plant raw material for food industry. Int. Agrophysics. 13, 411-415, 1999.

25. **Szot B., Szpryngiel M., Grochowicz M., Tys J., Rudko T., Stępniewski A., Żak W.:** Optymalna technologia pozyskiwania nasion rzepaku. Instrukcja wdrożeniowa, Fundacja Rozwoju Nauk Agrofizycznych, Lublin, 1996.
26. **Tys J., Rybacki R.:** Rzepak – jakość nasion procesy zbioru, suszenia, przechowywania. *Acta Agrophysica*, 44, 2001.
27. **Walczak R.T.:** Dobór i wykorzystanie nowoczesnej aparatury kontrolno-pomiarowej w doświadczalnictwie polowym. Część II. Monitoring parametrów fizycznych profilu glebowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 447, 91-100, 1996.
28. **Walczak R.T., Horabik J.:** Fizyczne i matematyczne metody badań w agrofizyce. *Acta Agrophysica*, 37, 253-275, 2001.
29. **Walczak R.T., Sławiński C., Sobczuk H.A., Gliński J.:** Aspekt hydrologiczny w modelu Euro-Access (Agroclimatic Change and European Soil Sustainability). *Acta Agrophysica*, 9, 1998.
30. **Walczak R.T., Witkowska-Walczak B., Sławiński C.:** Comparison of correlation models for the estimation of the water retention characteristic of soil. *Int. Agrophysics*, 16, 1, 79-82, 2002.
31. **Woźniak W., Niewczas J., Kudra T.:** Internal damage vs. mechanical properties of micro-wave-dried wheat grain. *Int. Agrophysics*, 13, 259-268, 1999.

AGROPHYSICAL MONITORING AND MODELLING OF FOOD PRODUCTION PROCESSES

Ryszard T. Walczak, Andrzej Bieganski

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: Biegan@demeter.ipan.lublin.pl

Abstract. The production of plant origin food covers the whole complex of human activity, which can be schematically presented as a sequence (or sometimes as a loop) of the following processes: selection of the site for plant growth, fertilization, preparation of the soil, sowing, protective measures, management practices, harvesting, transport, storage and processing. To realize these processes efficiently and effectively, sufficient material sources are indispensable, e.g. fertilizers, seeds, farm machines, etc., as well as the information, such as the results of measurements of: soils, agrometeorological conditions, losses during harvest, etc. Practically, in each of the above mentioned stages of the food production as well as the processes of preparation of sufficient material and information sources, agrophysics is applicable by: enriching the agricultural sciences in proper research methods, supporting the interpretation of results, modeling of phenomena and processes providing the information, which is the base for decision making. This paper presents concrete examples of the application of agrophysics in the processes of food production, including harvesting and evaluation of quality of agricultural products.

Key words: agrophysics, safe food, agrophysical metrology