

ROZWÓJ BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH
MATERIAŁÓW ROŚLINNYCH
W INSTYTUCIE AGROFIZYKI PAN W LUBLINIE

B. Szot

Instytut Agrofizyki PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: beszot@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono rys historyczny rozwoju badań właściwości fizycznych materiałów roślinnych w Instytucie Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN w Lublinie. Zaprezentowano główne kierunki i zakres badań roślin zbożowych, strączkowych grubonasiennych, rzepaku, owoców i warzyw, uwzględniając ich cechy geometryczne, właściwości mechaniczne i optyczne, a także podstawowe charakterystyki fizyczne. Zwrócono uwagę na bardzo duży zakres zmienności powodowanej różnymi czynnikami, a przede wszystkim warunkami glebowymi, cechami odmianowymi, agrotechniką, stanem dojrzałości i zróżnicowaną wilgotnością badanego materiału.

Słowa kluczowe: materiały roślinne, właściwości fizyczne, rys historyczny badań.

Instytut Agrofizyki PAN (wówczas Zakład) został powołany uchwałą Prezydium PAN z dnia 4 października 1968 roku, dzięki inicjatywie i owocnym wysiłkom wybitnego uczonego prof. dr hab. dr h. c. Bohdana Dobrzańskiego. W początkowym okresie działalność naukowa koncentrowała się na badaniach właściwości fizycznych i fizykochemicznych gleb. Z dniem 1 grudnia 1970 roku prof. B. Dobrzański zaproponował mi przejście z Akademii Rolniczej do nowo utworzonej placówki PAN i powierzył zorganizowanie od podstaw bazy laboratoryjnej i badań z zakresu właściwości fizycznych roślin i produktów rolnych. Zapoczątkowało to prace przygotowawcze, gromadzenie literatury, opracowywanie założeń konstrukcji aparatury prototypowej, wstępne poznawanie zakresu

zmienności cech fizycznych, itp. Już 15 stycznia 1971 roku Rada Naukowa Zakładu Agrofizyki zaakceptowała realizację tematu pt. „Określenie właściwości fizycznych roślin uprawnych” pod moim kierownictwem. W tym też roku oraz na początku 1972 trwały intensywne prace metodyczne oraz opracowywanie aparatury i urządzeń prototypowych. Skonstruowano optyczny przyrząd do określania wymiarów geometrycznych nasion, zestawy sit do określania grubości i szerokości nasion, rejestrator odkształceń ziarna, symulator osypywania ziarna, elektroniczną mikrozrywarę, miernik przekroju łodygi i elektrodynamometr polowy. Aparaty te i urządzenia przyczyniły się do opracowania wielu publikacji metodycznych i patentów oraz zyskały duże uznanie również poza naszą placówką. W ramach rozszerzonej produkcji trafiły do wielu laboratoriów uczelni rolniczych, instytutów resortu rolnictwa i stacji doświadczalnych.

Należy w tym miejscu podkreślić, że kadrę młodych pracowników naukowych wzmocnili absolwenci wydziałów fizyki, mechaniki, elektroniki, techniki rolniczej, którzy wspólnie z absolwentami wydziału rolniczego tworzyli zespół interdyscyplinarny, wprowadzający do nauk rolniczych nowoczesne metody fizyczne. Dzięki temu w krótkim czasie opracowywano wspólnie aparaturę prototypową i nowe metody badawcze, które w pełnym tego słowa znaczeniu były agrofizyczne.

Z uwagi na dosyć długi cykl wydawniczy w ówczesnych latach, pierwsze prace metodyczne ukazały się w latach 1972-74 i dotyczyły one badań podatności zbóż na osypywanie nasion, odporności ziarna na obciążenia mechaniczne, pomiarów siły wiążącej ziarno z kłosem, określenia podstawowych wymiarów ziarna, oceny porowatości warstwy ziarna, wpływu gleby na dorodność ziarna zbóż [25, 70, 80, 81, 83, 84, 102, 110]. Przedmiotem badań były podstawowe gatunki zbóż. W pracach tych potwierdzono przydatność i dokładność aparatury prototypowej oraz stwierdzono występującą zmienność materiału w zależności od gatunku, odmiany, pochodzenia, dorodności, wilgotności i warunków glebowych. Ukazały się też pierwsze prace o charakterze przeglądowym [28, 69, 86, 88].

Decyzją Rady Naukowej Zakładu Agrofizyki PAN z dnia 2 czerwca 1972 roku powołano Pracownię Fizyki Roślin i Płodów Rolnych, w której od 1973 roku realizowano 2 tematy w ramach problemu resortowego PAN-42: „Określenie rozkładu cech mechanicznych roślin zbożowych” oraz „Wpływ czynników glebowych na zmienność właściwości fizycznych roślin zbożowych”. W tym okresie bowiem z uwagi na skromną bazę lokalową, aparaturę prototypową, jak również odpowiednie rozeznanie literaturowe, zajmowano się przede wszystkim badaniami właściwości fizycznych roślin zbożowych. Określano podatność poszczególnych gatunków i odmian na

wyleganie poprzez charakterystyki wytrzymałościowe źdźbła w czasie wegetacji roślin, właściwości mechaniczne słomy oraz cechy geometryczne i zmienność właściwości fizycznych ziarna w zależności od różnych czynników. Nieoceniona wówczas okazała się współpraca z Instytutem Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Tam korzystaliśmy z nowoczesnej stacji lizymetrów oraz unikalnych mikropoletek z różnymi rodzajami gleb. Prowadzone w Puławach doświadczenia z licznymi odmianami zbóż, które były nam udostępnione, a następnie z rzepakiem, umożliwiły określić nie tylko pełny zakres zmienności tego materiału, ale przede wszystkim uchwycić wszystkie istotne czynniki, które tę zmienność powodowały [71, 74, 99]. Od tego czasu można datować rozszerzenie na większą skalę badań relacji gleba – roślina, które w późniejszym okresie rozwinęły się, przechodząc do układu gleba – maszyna – roślina. Obszerny i zróżnicowany materiał badawczy otrzymywaliśmy również z 10 Stacji Doświadczalnych Oceny Odmian na terenie południowo – wschodniej Polski, dzięki wieloletniej współpracy z tymi placówkami.

W roku 1972 rozpoczęliśmy bardzo owocną współpracę naukową z Katedrą Fizyki Uniwersytetu Rolniczego w Pradze, z Zakładem Badawczym w Bratysławie – Rovince na Słowacji oraz z Uniwersytetem Rolniczym w Gödöllő na Węgrzech. Nawiązanie tych kontaktów znacznie wzbogaciło naszą wiedzę szczególnie w zakresie opracowywanych metod badawczych, jak też walczyło przyczyniło się do realizacji przez wiele lat wspólnych tematów badawczych.

Rozpoczęliśmy też efektywną współpracę naukową z Instytutem Genetyki i Hodowli Roślin AR w Lublinie. Wspólne badania wykazały jednoznacznie, że opracowane metody badania właściwości fizycznych materiałów roślinnych, wykorzystane do oceny zmienności i odziedziczalności ważnych cech genotypów, mogą być niezwykle przydatne w pracach hodowlanych [42, 43, 44, 97, 107]. Wnioski te w pełni potwierdziły się w późniejszych pracach, które zaowocowały uzyskaniem nowych form i odmian o żądanych właściwościach fizycznych, odpowiadających przydatności do zbioru mechanicznego przy zachowaniu wysokiej jakości plonu oraz minimalnych stratach ilościowych i jakościowych. Opracowane metody były też wykorzystywane w ramach współpracy przez Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie.

Zakupiona w 1974 roku uniwersalna aparatura INSTRON model 1253, umożliwiła znaczne rozszerzenie zakresu badań właściwości mechanicznych roślin i szerokiej gamy płodów rolnych. Dało to możliwość dalszego rozwinięcia współpracy naukowej z wieloma placówkami zagranicznymi i krajowymi. Była to wówczas jedyna aparatura tego typu w krajach Europy środkowo – wschodniej używana do badań rolniczych.

Niejako podsumowaniem 5-letniej działalności naukowej było zorganizowanie przez nas w 1976 roku I Międzynarodowej Konferencji pt. „Fizyczne właściwości materiałów roślinnych”. Na tej Konferencji pracownicy naszego Zakładu wygłosili 10 referatów w tym 2 podsumowujące pierwszy etap współpracy z Czechami i Słowakami i 2 prezentujące wspólne wyniki badań z lubelskimi hodowcami roślin z Akademii Rolniczej [22, 23, 27, 54, 65, 72, 73, 82, 85, 107].

Aktywny udział naszych pracowników naukowych, jak też bardzo duże zainteresowanie uczestników zagranicznych tą problematyką, uzupełniającą poważną lukę między naukami rolniczymi i technicznymi sprawiły, że konferencje dotyczące tematyki agrofizycznej weszły na stałe do kalendarza międzynarodowych imprez naukowych. Kolejna VII Konferencja tego typu odbyła się w sierpniu 2001 r. w Pradze.

W późniejszych latach udział naszej placówki w realizacji międzyresortowych i centralnych programów badawczych przyczynił się do znacznego rozszerzenia zakresu badań właściwości fizycznych materiałów roślinnych.

Oprócz kontynuacji i pogłębiania charakterystyk zmienności właściwości fizycznych ziarna zbóż [4, 16, 17, 50, 51, 75, 92, 113, 114] określano wpływ następczy uszkodzeń mechanicznych nasion na kiełkowanie wzrost, rozwój i plonowanie podstawowych zbóż [66, 67, 68, 111].

Rozszerzono badania ukierunkowane na wykorzystanie znajomości cech fizycznych do oceny jakościowej ziarna zbóż, a przede wszystkim pszenicy. Nowoczesna aparatura umożliwiła dokładną charakterystykę makro – i mikrouszkodzeń, a także uszkodzeń wewnętrznych i twardości ziarna przy jednoczesnym określeniu przyczyn i skutków tych zjawisk [111-114]. W tym zakresie wiele uwagi poświęcono wpływowi wilgotności i zróżnicowaniu międzyodmianowemu. W efekcie tych badań oceniono wartość technologiczną i użytkową poszczególnych form i odmian pszenicy oraz sformułowano wnioski o charakterze poznawczym i praktycznym [18, 19, 20, 21, 39, 40, 41, 45, 46, 106, 114].

Opracowano również metody i określano parametry mechaniczne źdźbła zbóż i łodyg rzepaku pod kątem oceny wylegania roślin i zapobiegania temu zjawisku [59, 60, 61, 94], jak też charakteryzowano właściwości mechaniczne słomy wymienionych gatunków [5, 6, 52, 53], a także brykietów ze słomy ryżowej [14, 15].

W innych zadaniach badawczych zdefiniowano mechanizmy powstawania uszkodzeń nasion roślin strączkowych (bobik, bób, groch, fasola, soja). W oparciu o opracowane oryginalne metody badawcze i koncepcje teoretyczne zaproponowano modele powstawania naprężeń niszczących. Przeprowadzone badania eksperymentalne umożliwiły zweryfikowanie założeń modelowych dotyczących deformacji

nasion oraz rozciągania i skurczu okrywy nasiennej, co pozwoliło wyjaśnić przyczyny powstawania uszkodzeń podczas zbioru, omłotu, suszenia i czyszczenia nasion roślin strączkowych. Uwzględniając zróżnicowaną wilgotność nasion udowodniono, że mechanizm ich uszkodzenia przy niskiej wilgotności związany jest z przekroczeniem zakresu odkształceń sprężystych, zaś przy wyższych wilgotnościach z przekroczeniem granicy wytrzymałości na rozciąganie okrywy nasiennej lub deformacją postaciową. Stwierdzono też, że nieprawidłowe suszenie nasion prowadzi do skurczu okrywy, naprężeń rozciągających i uszkodzeń. Uzyskane wyniki pozwoliły sprecyzować praktyczne wnioski i podać fizyczne parametry dla poszczególnych procesów (zbiór, suszenie), które zapewniają wymaganą jakość nasion [7, 8, 13].

Należy też podkreślić rozwinięcie na szeroką skalę badań z zakresu mechaniki roślinnych ośrodków sypkich wraz z modelowaniem i opisem teoretycznym wielu zjawisk, w tym dotychczas nieznanych. Niezwykle pomocne w tych poczynaniach okazały się unikalne stanowiska pomiarowe, skonstruowane w oparciu o własne koncepcje i założenia merytoryczne. Określono właściwości fizyczne nasion różnych gatunków roślin uprawnych, istotne z punktu widzenia projektowania i eksploatacji urządzeń do magazynowania oraz utrzymania wysokiej jakości materiału. Szczególną uwagę zwrócono na gęstość materiałów, lepko-sprężystość, kąt tarcia wewnętrznego, współczynnik tarcia o materiały konstrukcyjne, oraz napór, proces formowania się warstwy ścinania podczas dużych odkształceń postaciowych, a także dużą zależność właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich od wilgotności i praktyczne tego konsekwencje [29-32, 47-49, 86].

Do podobnych osiągnięć zaliczyć można skonstruowanie baterii zbiorników, w których zastosowano oprzyrządowanie elektroniczno-techniczne, umożliwiające symulację różnych warunków przechowywania nasion (zróżnicowane ciśnienie, wilgotność, temperatura), co jest porównywalne z warunkami w silosach przemysłowych. Dzięki takim założeniom poznaje się zmienność jakości nasion i poszukuje optymalnych parametrów dla projektowania najbardziej korzystnych rozwiązań w kierunku zachowania i zagwarantowania wysokiej jakości nasion w wybranych okresach przechowywania. Dotychczas uzyskano bardzo cenne wyniki badań dotyczące przechowywania nasion rzepaku [105].

Przedmiotem badań były również inne rośliny, które ze względu na swoją wartość odżywczą lub paszową wchodzi w Polsce do coraz szerszej uprawy. Scharakteryzowano zmienność właściwości fizycznych roślin i nasion amarantusa, soczewicy, lędzwanu i łubinu [76, 90, 91, 93, 95, 105].

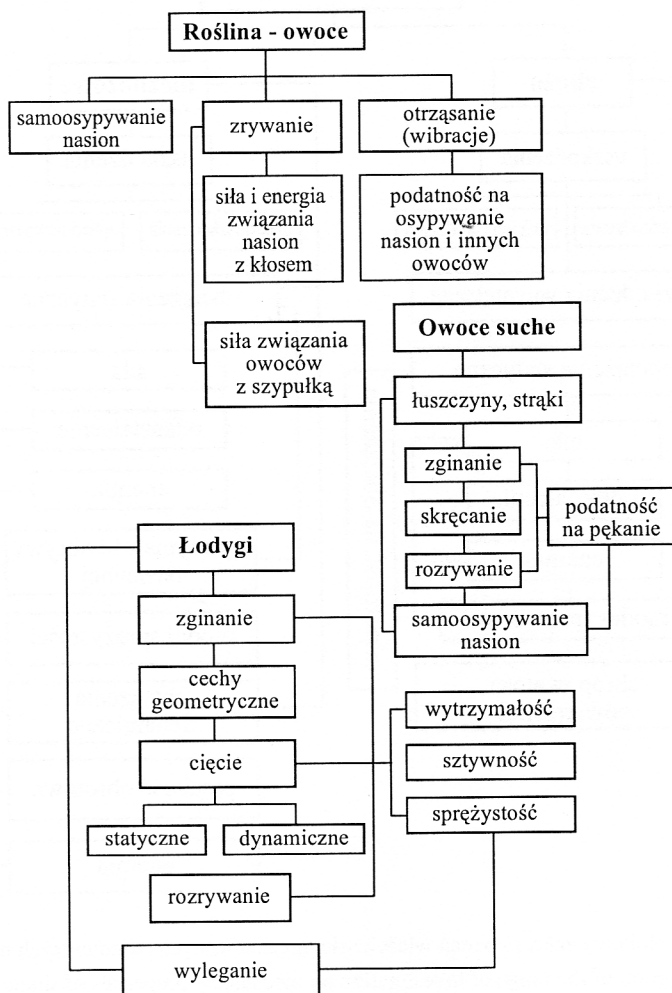
Nowym zagadnieniem wymagającym opracowania metod badawczych było określanie właściwości fizycznych wysoko uwodnionych płodów rolnych. Modelowym obiektem badań były truskawki. W tym przypadku zaproponowano jednocześnie pomiar jędrności i wybarwienia tych owoców, a zastosowany komputerowy system umożliwia obiektywną ocenę badanego materiału w wybranym dowolnie stadium dojrzałości [37]. Z kolei badania właściwości mechanicznych owoców maliny i wiśni w czasie dojrzewania umożliwiły nie tylko charakterystykę agrofizyczną, ale też przyczyniły się do oceny stanu dojrzałości pod kątem przydatności poszczególnych odmian do zbioru mechanicznego [57, 58].

Nowe metody pomiarowe umożliwiły określenie parametrów wytrzymałościowych skórki, warstwy przypowierzchniowej i miąższu jak również całych jabłek i gruszek, łącznie z wyznaczeniem deformacji i modułów sprężystości. Określano różnice międzyodmianowe oraz wpływ okresu i temperatury przechowywania na zmienność właściwości mechanicznych i optycznych owoców pod kątem wyboru optymalnego terminu zbioru i okresu przechowywania, jak również podniesienia wartości handlowej [10, 11, 12, 56]. Uzupełnieniem tej problematyki jest powiązanie właściwości mechanicznych z optycznymi dla uchwycenia zależności i powiązania ze składem chemicznym owoców oraz zmianami biochemicznymi zachodzącymi podczas uszkodzeń i przygotowywania półproduktów (cięcie, ciemnienie enzymatyczne). Jest to jednocześnie powiązane z ustaleniem warunków przechowywania oraz z oceną wartości żywieniowej owoców i wytworzonych z nich produktów. Opracowane metody pozwalają obiektywnie klasyfikować jakość owoców i ich przydatność do przetwórstwa, a także kontrolować kolejne procesy poczynając od zbioru, opisując je za pomocą parametrów fizycznych [9, 10, 33-36, 38]. Sporo uwagi poświęcono pracom metodycznym i szeroko zakrojonym badaniom korzeni marchwi, uznanej jako najczęściej spożywane i najdłużej przechowywane warzywo w Polsce. Poznano zmienność właściwości mechanicznych korzeni w zależności od odmian, nawożenia różnych okresów i temperatury przechowywania. Wyznaczono parametry wytrzymałościowe, moduły sprężystości, naprężenia krytyczne dla kory i rdzenia oraz całych korzeni. Wyznaczono wartości graniczne strat ilościowych i jakościowych w czasie zbioru, transportu i przechowywania. W niektórych pracach określono zależność między właściwościami fizycznymi, a składem chemicznym korzeni [1, 2, 26, 77-79, 87].

Pełny zakres badań prowadzonych w Zakładzie przedstawiono na Rys. 1-5, zaznaczając wzajemne powiązania i zależności parametrów, cech czy zespołów właściwości. Schematy te stanowią niejako bazę merytoryczną realizacji tematów

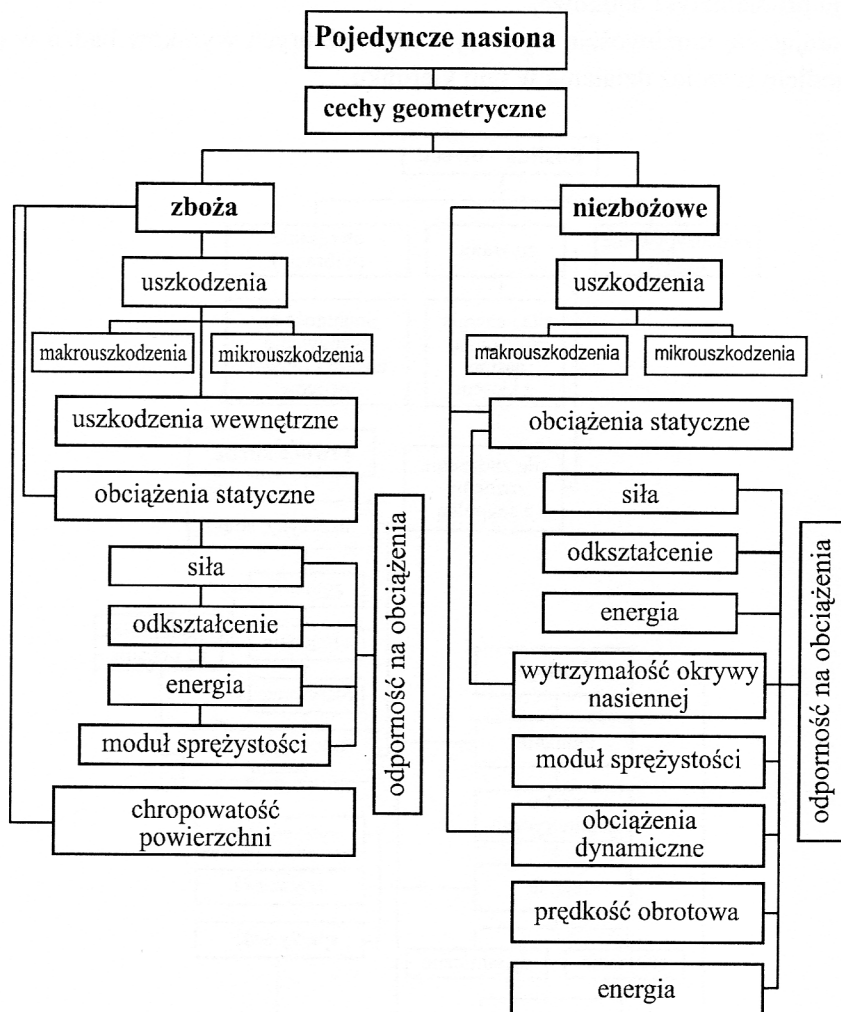
badawczych, która jest systematycznie uzupełniana i rozszerzana w miarę rozwoju problematyki naukowej.

Kierując się możliwością wykorzystania niektórych wyników badań w praktyce, podjęto również działania w tym kierunku.



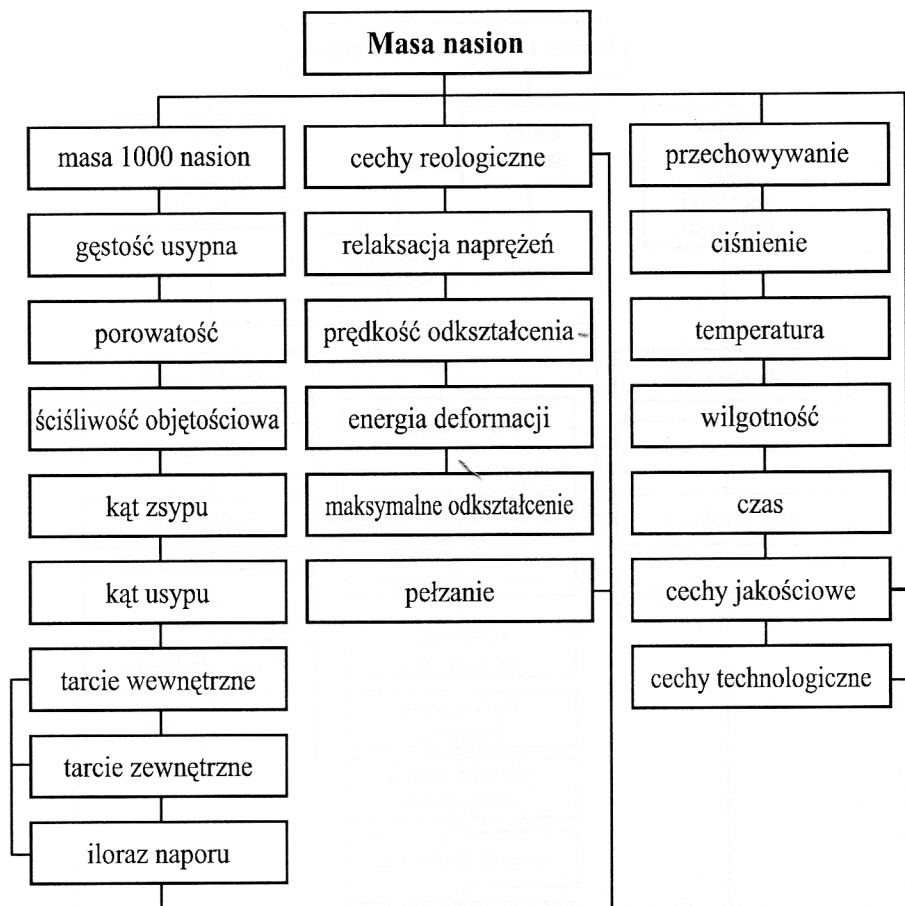
Rys. 1. Schemat blokowy zakresu badań właściwości fizycznych relacji roślina – owoce – łodygi.

Fig. 1. Block diagram of the range of investigation on physical properties of the plant – fruits – stems relation.



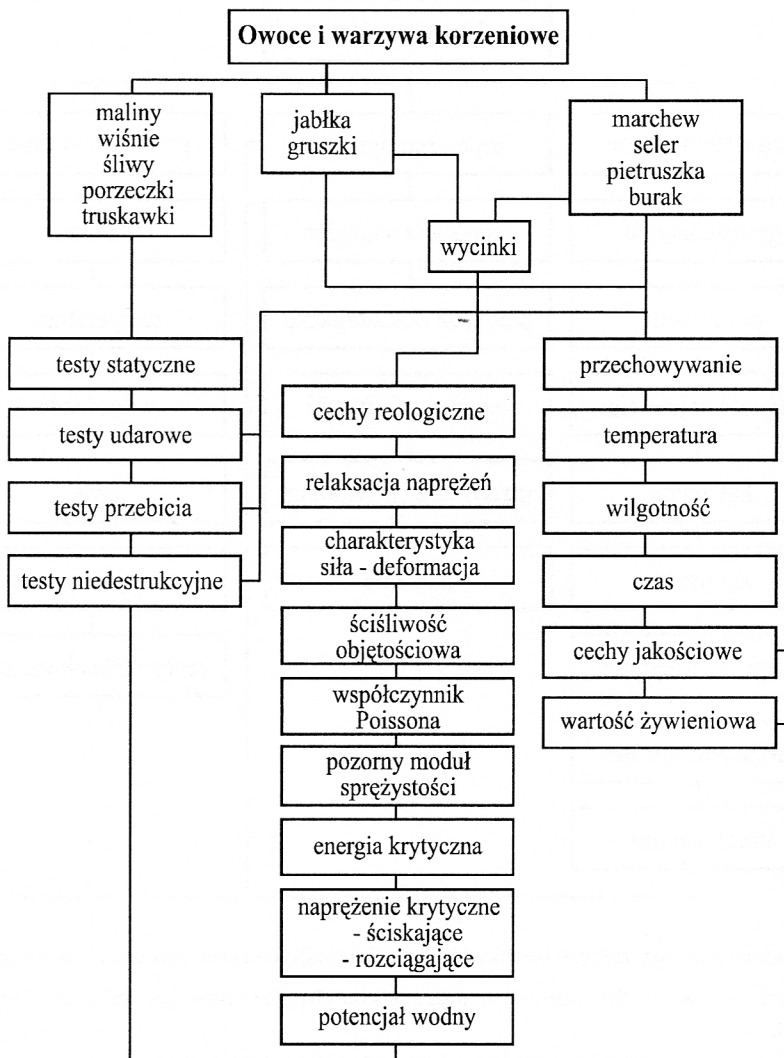
Rys. 2. Schemat blokowy zakresu badań właściwości mechanicznych pojedynczych nasion.

Fig. 2. Block diagram of the range of investigation on mechanical properties of single seed.



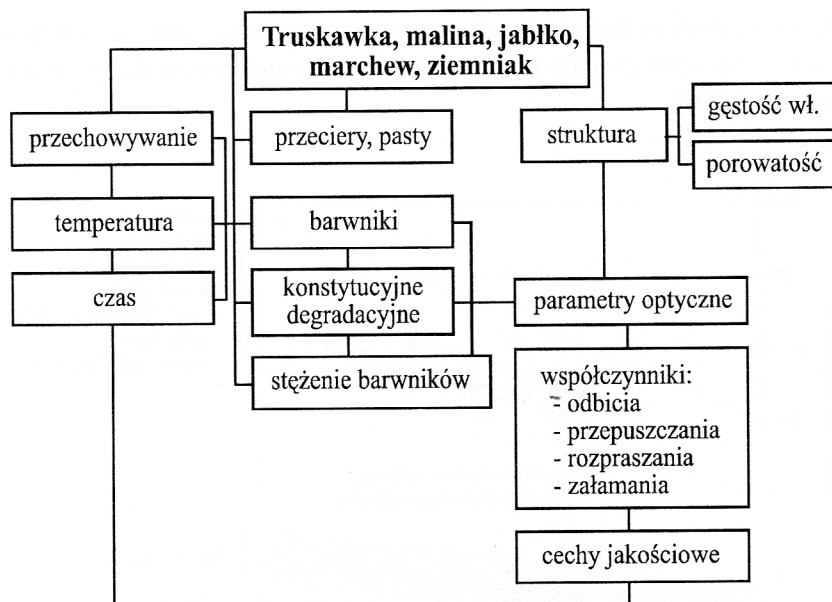
Rys. 3. Schemat blokowy zakresu badań właściwości fizycznych i cech jakościowych masy nasion.

Fig. 3. Block diagram of the range of investigation on physical properties and quality features of seed in bulk.



Rys. 4. Schemat blokowy zakresu badań właściwości fizycznych i cech jakościowych owoców i warzyw.

Fig. 4. Block diagram of the range of investigation on physical properties and quality features of fruits and vegetables.

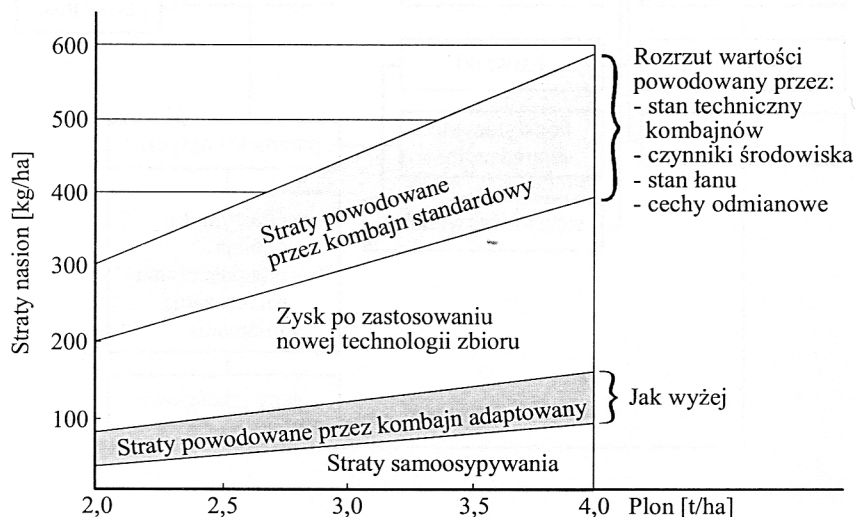


Rys. 5. Schemat blokowy zakresu badań właściwości optycznych owoców i warzyw.

Fig. 5. Block diagram of the range of investigation on optic properties of fruits and vegetables.

W latach 80. oraz na początku 90. przeprowadzono na bardzo szeroką skalę kompleksowe badania rzepaku ozimego, poczynając od badań podstawowych (łuszczyń, nasion i łodyg), poprzez technologiczno – polowe do prac wdrożeniowych w celu maksymalnego ograniczenia strat ilościowych i jakościowych nasion w czasie zbioru i obróbki pozbiorowej [3, 55, 62-64, 89, 98, 100, 101, 103, 108]. Uwzględniając wszystkie możliwe czynniki wpływające na zmienność badanych cech (agrotechnika, odmiany, wilgotność, termin zbioru, stosowane preparaty itp.) oraz po dokładnym określeniu przyczyn i źródeł powodujących straty, a także opracowaniu założeń konstrukcyjnych i wykonaniu adaptacji i regulacji kombajnów osiągnięto pełny sukces, przekazując praktyce jednoznaczne rozwiązania. Opracowana nowa technologia pozyskiwania nasion rzepaku została wdrożona i rozpowszechniona w całym kraju, zyskując bardzo wysokie oceny producentów, dzięki uzyskiwanym – wymiernym – korzyściom ekonomicznym (Rys. 6). Podsumowaniem wielu publikacji i patentów z tego zakresu było wydanie w formie monograficznej obszernej instrukcji wdrożeniowej [96]. Niejako kontynuacją tego typu działań było wykorzystanie dla praktyki następnych wyników badań,

związanych z jakością nasion rzepaku w procesach zbioru, suszenia i przechowywania. Obszerne opracowanie tych zagadnień o charakterze aplikacyjnym zostało już wdrożone [109].



Rys. 6. Zależność między stratami nasion, a plonem rzepaku ozimego przed i po zastosowaniu nowej technologii zbioru.

Fig. 6. Relation between seed losses and yield of winter rapeseed before and after application of new harvest technology.

Rozszerzenie tematyki badawczej pociągnęło za sobą znaczący rozwój współpracy z placówkami naukowymi w Belgii, Francji, Niemczech, Rosji, Włoszech, Szwecji, Finlandii, Japonii, Kanadzie i Stanach Zjednoczonych. Realizowaliśmy wspólne tematy, młodzi pracownicy odbywali długoterminowe staże naukowe, braliśmy udział w wielu międzynarodowych kongresach i konferencjach naukowych. Pracownicy naszego Zakładu, który obecnie nosi nazwę: Zakład Fizycznych Podstaw Oceny i Ulepszania Materiałów Roślinnych, publikowali i publikują swoje prace w różnych uznanych czasopismach w 22 krajach Europy, Ameryki Północnej, Azji i Australii.

W latach 1972-2001 opublikowaliśmy ogółem 884 prace i uzyskaliśmy 24 patenty i wzory użytkowe.

Pracownicy Zakładu oprócz realizacji trzech tematów w ramach działalności statutowej (łącznie 12 zadań badawczych), kierowali 20 projektami badawczymi, zamawianymi i celowymi finansowanymi przez KBN.

W połowie lat 90. w Zakładzie Mechaniki Materiałów Rolniczych naszego Instytutu zastosowano metodę emisji akustycznej do wykrywania i badania procesów pęknięcia tkanek roślinnych, powstających pod wpływem sił zewnętrznych. Szczegółowe badania, przeprowadzone na tkance bulwy ziemniaka wykazały, że próbki pobrane z rdzenia wewnętrznego, o mniejszych komórkach, mają wyższą wytrzymałość niż tkanki z rdzenia zewnętrznego. Zastosowana metoda uzupełnia informacje zawarte w klasycznych charakterystykach mechanicznych o nowe elementy, trudne do uzyskania przy pomocy innych metod. Badania te mogą być bardzo przydatne dla praktyki rolniczej, a także przy opracowywaniu modeli teoretycznych procesów deformacji tkanek roślinnych [24, 115].

Obecny zakres badań właściwości fizycznych materiałów roślinnych jest na tyle ugruntowany i przemyślany, że w najbliższych latach można jedynie oczekiwać rozszerzenia tej problematyki o ile pozwolą na to środki finansowe, gdyż wyspecjalizowana kadra pracowników naukowych oraz nowoczesna baza aparaturowa stwarza mocne podstawy do stwierdzenia, że w najbliższej przyszłości dalszy rozwój badań tego typu w naszym Instytucie ma pełne szanse powodzenia.

PIŚMIENNICTWO

1. **Aubert S., Bonnet A., Szot B.:** Mise au point d'indices rheologiques de texture en relations avec quelques caracteres biochimiques chez la carotte (*Daucus carota* L.). *Annales Technologie Agricole*, 28(4), 397-422, 1979.
2. **Aubert S., Duprat F., Szot B.:** Mesures mecaniques directes de la texture fibreuse des carottes. *Sciences des Aliments*, 4, 617-630, 1984.
3. **Bilanski W. K., Szot B., Kushwaha L., Stępniewski A.:** Comparison of strength features of rape pods and seeds for varieties cultivated in various countries. *Int. Agrophysics*, Vol. 8. No. 2, 177-184, 1994.
4. **Bilanski W.K., Szot B., Raghavan G.S.V.:** Testing and evaluating properties of new cereal varieties for machine processing. Milwaukee, USA, SAE technical paper, 911824, 1991.
5. **Blahovec J., Patočka K., Řezniček R., Szot B.:** Mechanické vlastnosti repkové slamy. *Sborník Mechanizací Fakulty VSZ Praha*, 31-54, 1983.
6. **Blahovec J., Patočka K., Szot B.:** Stlačování suché slamy základních obilnin při nízkých tlacích. *Zemědělská Technika*, 31, 3, 129-142, 1985.
7. **Dobrzański, jr. B.:** Geometrical dependences of seed shell of compressed pea. *Int. Agrophysics*, 7, 259-264, 1993.

8. **Dobrzański, jr. B.:** Mechanizmy powstawania uszkodzeń nasion roślin strączkowych. *Acta Agrophysica*, 13, 1-96, 1998.
9. **Dobrzański, jr. B., Rybczyński R.:** Interpretacja fizyczna oceny barwy w zastosowaniu do klasyfikacji jakościowej jabłek. *Acta Agrophysica*, 37, 17-27, 2000.
10. **Dobrzański, jr. B., Rybczyński R.:** Właściwości mechaniczne i optyczne gruszek jako parametry oceny ich dojrzałości. *Acta Agrophysica*, 45, 61-68, 2001.
11. **Dobrzański, jr. B., Rybczyński R.:** Właściwości mechaniczne przechowywanych jabłek - weryfikacja testów. *Acta Agrophysica*, 45, 155-166, 2001.
12. **Dobrzański, jr. B., Rybczyński R., Dobrzańska A., Wójcik W.:** Some physical and nutritional quality parameters of storage apple. *Int. Agrophysics*, 15(1), 13-18, 2001.
13. **Dobrzański, jr. B., Szot B.:** Mechanical properties of pea seed. *Agricultural Engineering and Roural Development, A Pergamon-CNPIEC Joint Venture, Beijing, China, II, D*, 12-16, 1992.
14. **Ferrero A., Horabik J., Molenda M., Szot B.:** Characteristic material parameters in bulk compression of straw. *International Conference Physical Properties of Agricultural Materials and Their Influence on Technological Processes*, Rostock, Niemcy, 189-193, 1989.
15. **Ferrero A., Szot B., Horabik J.:** Determination of some physical characteristic of rice straw packages treated with different doses of sodium hydroxide. *Physical Properties of Agricultural Materials and Products*, Hemisphere Publ. Co., USA, 117-122, 1988.
16. **Grundas S.:** Niektóre aspekty podatności ziarna pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.) na uszkodzenia mechaniczne. *Problemy Agrofizyki*, Wyd.: Ossolineum, 54, 1987.
17. **Grundas S.:** Podatność ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne w świetle dotychczasowych badań agrofizycznych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 426, 75-84, 1995.
18. **Grundas S.:** Advantage of physical properties of single kernels of wheat to evaluation of its utility values. *AACC Europe News (News and information for members in Europe)*. July, 6-7, 1997.
19. **Grundas S., Geodecki M., Miś A., Borkowska H., Styk B.:** Charakterystyka cech technologicznych ziarna uszkodzonego mechanicznie w wyniku nawilżania. *Biuletyn Zakł. Fiz. Podst. Oceny i Uleps. Mat. Rośl. Dod. do PZ-Mł*, 4, 23-26, 1998.
20. **Grundas S., Geodecki M., Niewczas J., Velikanov L.:** Static loading of wheat grain mass of differentiated moisture content, and its physical effects. Part I. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 103-109, 1993.
21. **Grundas S., Miś A., Klockiewicz-Kamińska E.:** Technologiczne aspekty oceny podatności ziarna pszenicy na uszkodzenia mechaniczne. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 8, 10-14, 1997.
22. **Grundas S., Szot B.:** Biological effects of static loading of wheat grain in mass. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 203, 515-520, 1978.
23. **Grundas S., Szot B., Woźniak W.:** Variability of the porosity cereal grain layer under the influence of static loading. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 203, 33-40, 1978.
24. **Haman J., Konstankiewicz K.:** Destruction processes in the cellular medium of a plant theoretical approach. *Int. Agrophysics*, 14(1), 37-42, 2000.
25. **Haman J., Szot B.:** Badanie sił wiążących ziarno z kłosem. *Roczniki Nauk Rolniczych*, t.71-C-2, 7-21, 1974.
26. **Haman J., Szot B., Kęsik T.:** Mechanische Eigenschaften der Karottenwurzeln. *Tag. Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss., DDR*, 208, 71-80, 1982.

27. **Haman J., Szot B., Korejtko J., Grundas S.:** Static cutting resistance and energy of stalk of winter wheat and rye. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 203, 191-199, 1978.
28. **Haman J., Szot B., Woźniak W.:** Zagadnienia wymiany ciepła i masy w materiałach roślinnych. *Problemy Agrofizyki*, 9, 1-41, 1973.
29. **Horabik J.:** Charakterystyka fizycznych właściwości roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesach składowania. *Acta Agrophysica*, 1-121, 2001,
30. **Horabik J., Molenda M.:** Force and contact area of wheat grain in friction. *J. agric. Engng Res.* 41, 33-42, 1988.
31. **Horabik J., Molenda M.:** Grain pressure in a model silo as affected by moisture content increase. *Int. Agrophysics*, 14(4), 385-392, 2000.
32. **Horabik J., Ross I.J., Schwab C.V.:** Effects of spatial orientation on grain load distribution. *Transactions of the ASAE*, 31(6), 1787-1793, 1988.
33. **Kuczyński A.:** Metoda spektrofotometrycznego opisu barwy skórki owocu jabłoni charakterystycznej dla odmiany. *Acta Agrophysica*, 37, 95-104, 2000.
34. **Kuczyński A.:** Redox potential in the tissue of cold-stored apples as an indicator of enzymatic activity and browning. *Acta Hort.* 485, 231-237, 1999.
35. **Kuczyński A.:** Application of physical data to quality control of minimally processed apples. In: *Control Applications in Post-Harvest and Processing Technology*, Elsevier Science, 223-227, 1995.
36. **Kuczyński A.:** The effect of cultivar on apple slice whiteness and enzymatic browning. *Zemledska Technika*, 41(2), 51-54, 1995.
37. **Kuczyński A.:** Metodyczne aspekty oceny podstawowych cech fizycznych owoców truskawki. Praca doktorska, Instytut Agrofizyki PAN, Lublin, 1990.
38. **Kuczyński A., Varoquaux P.:** A method for estimation of enzymatic browning and its suppression in apple slices. *Int. Agrophysics*, 10, 43-49, 1996.
39. **Kudra T., Niewczas J., Raghavan G. S. V., Szot B.:** Quality Aspects in Microw Dried Grain. *NABEC, ASAE*, 1-10, 1994.
40. **Kudra T., Niewczas J., Szot B., and G. S. V. Raghavan.:** Stress cracking during high-intensity drying and its effect on grain quality. *Drying Technology*, 14(2), 367-380, 1996.
41. **Kudra T., Szot B., and Raghavan G. S. V.:** Quality evaluation of microwave dried grains by quantifying internal stress cracks using X-rays. *Proc. 28 Th. Microwave Symposium on "Quality Enhancements Using Microwaves"*, Montreal, VIII Drying Symposium, Vol. I. 192-197, 1994.
42. **Miazga D., Szot B.:** The influence of added rye chromosomes on physical properties of kernels of addition lines. *J. Appl. Genet.* 37(1), 37-47, 1996.
43. **Milczak M., Segit Z., Szot B.:** Zmienność, odziedziczalność i współzależność ważniejszych elementów struktury plonowania oraz właściwości fizyko-chemicznych ziarna pszenicy ozimej w populacji F2 (linia Z - 70x cv. Kaukaz). *Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo*, t. 21, z. 5, 441-448, 1977.
44. **Milczak M., Szot B.:** Próba zastosowania mikrozrywarki elektromagnetycznej do oceny pojedynków chmielu pod względem ich przydatności do zbioru mechanicznego. *Roczniki Nauk Rolniczych*, t. 72 - C - 2, 81-87, 1976.

45. **Miś A., Geodecki M.:** Zmiany twardości technologicznej ziarna pszenicy w okresie dojrzewania i zbioru. *Acta Agrophysica*, 37, 119-129, 2000.
46. **Miś A.:** Wpływ stadium dojrzałości ziarna pszenicy i terminu zbioru na właściwości glutenu mokrego. *Acta Agrophysica*, 37, 131-144, 2000.
47. **Molenda M.:** Wpływ struktury złoża nasion na stan naprężenia. *Acta Agrophysica*, 12, 1998, 1-129.
48. **Molenda M., Horabik J., Grochowicz M. Szot B.:** Tarcie ziarna pszenicy. *Acta Agrophysica*, nr 4, 1995, 1-88.
49. **Molenda M., Thompson S.A., Ross I.J.:** Friction of wheat on corrugated and smooth galvanized steel surfaces. *J. agric. Engng Res.*, 77(2), 209-219, 2000.
50. **Niewczas J.:** Ocena uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy wykrywanych techniką rentgenograficzną. *Acta Agrophysica*, 2, 1-55, 1994.
51. **Niewczas J., Grundas S., Ślępek Z.:** The analysis of increments of internal damage to wheat grain affected dynamic loading. *Int. Agrophysics*, 8(2), 283-287, 1994.
52. **Řezníček R., Blahovec J., Patočka K., Szot B.:** Metodika a predbezne vysledky stanovovani mechanických vlastnosti repkove slamy. *Vysoka Skola Zemedelska v Praze, Sbornik MF*, 35-56, 1978.
53. **Řezníček R., Blahovec J., Patočka K., Szot B.:** Mechanical properties of the stalks of winter rape. *II Int. Conf. on Physical Properties of Agric. Mat, Gödölö, Proceedings*, t. 2, 39, 8, 1980.
54. **Řezníček R., Szot B., Patočka K., Grundas S., Kadrmas J.:** Comparison of methods of direct measurement of grain-to-ear binding force. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 203, 45-57, 1978.
55. **Rudko T.:** Wpływ wybranych preparatów chemicznych na zmienność cech wytrzymałościowych łuszczyń rzepaku ozimego. *Praca doktorska. Instytut Agrofizyki PAN, Lublin*, 1-93, 1996.
56. **Rybczyński R.:** Metodyczne aspekty fizycznej oceny jędrności jabłek. *Praca doktorska, Instytut Agrofizyki PAN, Lublin*, 1-81, 2001.
57. **Rybczyński R., Dobrzański, jr. B.:** Fizyczna ocena wiśni w aspekcie ich przydatności do zbioru mechanicznego. *Acta Agrophysica*, 37, 199-207, 2000.
58. **Rybczyński R., Dobrzański, jr. B., Wieniarska J.:** Właściwości mechaniczne owoców maliny. *Acta Agrophysica*, 45, 167-175, 2001.
59. **Skubisz G.:** The determination of the Young's modulus of a stalk of winter wheat on the basis of field and laboratory measurements. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 203, 215-224, 1978.
60. **Skubisz G., Muller Z.:** Determination of the physical properties of wheat stalks. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 389, 97-103, 1991.
61. **Skubisz G., Tys J., Blahovec J.:** Mechanical properties of the stems of winter rape. *Int. Agrophysics*, 5, 3-4, 205-220, 1989.
62. **Stępniewski A.:** Wpływ wilgotności i temperatury na zmienność właściwości mechanicznych nasion rzepaku. *Praca doktorska, Instytut Agrofizyki PAN, Lublin*, 1-85, 1997.
63. **Stępniewski A., Kutzbach H.D., Szot B.:** Effect of spatial orientation of rapeseed on its strength. *Int. Agrophysics*, 8(2), 333-338, 1994.
64. **Stępniewski A., Szot B., Kushwaha R.L.:** Decreasing the quality of rapeseed during postharvest handling. *Proceedings of 8-th. International Rapeseed Congress, Saskatoon, Kanada*, 1251-1255, 1991.
65. **Styk B., Szot B.:** The influence of some agrotechnological conditions on the variability of the basic mechanical properties of wheat grain. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 203, 59-68, 1978.

66. **Styk B., Szot B.:** Ocena wartości biologicznej nasion kilku odmian jęczmienia jarego poddanych obciążeniom mechanicznym. Biuletyn Inst. Hodowli i Aklim. Roślin, 153, 57-66, 1984.
67. **Styk B., Szot B.:** Zmienność zdolności kiełkowania nasion pszenicy poddanych obciążeniom mechanicznym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 316, 171-180, 1987.
68. **Styk B., Szot B.:** The influence of mechanical damage of winter wheat grains on the germination capacity, plant development and crop yields. Physical Properties of Agricultural Materials and Products, Hemisphere Publ. Co., USA, 591-596, 1988.
69. **Szot B.:** Rozwój badań właściwości fizycznych materiałów rolniczych. Problemy Agrofizyki, 5, 1-40, 1972.
70. **Szot B.:** Wstępna ocena wpływu gleby na dorodność ziarna zbóż. Postępy Nauk Rolniczych, 5, 53-62, 1973.
71. **Szot B.:** Metodyczne aspekty oceny wpływu warunków glebowych na zmienność niektórych cech fizycznych ziarna pszenicy. Rocz. Nauk Rol. t. 160 - D, 1-79 (monografia), 1976.
72. **Szot B.:** The role of soil conditions in the formation of some mechanical properties of cereals. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 203, 69-81, 1978.
73. **Szot B.:** Variability of the mechanical properties of cereal plants. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 203, 17-26, 1978.
74. **Szot B.:** Problems of variability of basic mechanical properties of wheat and rye grains in relation to differentiated soil conditions. Sbornik Vedecké Konference, FM, Praha, 57-65, 1983.
75. **Szot B.:** Czynniki kształtujące odporność ziarna na obciążenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 258, 437-448, 1983.
76. **Szot B.:** Właściwości agrofizyczne amarantusa, (*Amaranthus cruentus* L.). Acta Agrophysica, 18, 1-73, 1999.
77. **Szot B., Gołacki K.:** Ocena właściwości mechanicznych korzeni marchwi na podstawie pomiarów podstawowych parametrów wytrzymałościowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 321, 175-184, 1987.
78. **Szot B., Gołacki K.:** Determination of the variation in the physical features of carrot roots influencing quantity and quality losses during harvesting and storage. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 389, 205-212, 1991.
79. **Szot B., Gołacki K.:** The influence of the speed of deformation on the course of stress relaxation in carrot roots. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 397, 69-73, 1991.
80. **Szot B., Grundas S.:** Próba zastosowania symulatora do oceny podatności zbóż na osypywanie. Biuletyn HHAR, 3-4, 25-27, 1973.
81. **Szot B., Grundas S.:** Zastosowanie zestawu pomiarowego do dokładnego określania podstawowych wymiarów ziarna zbóż. Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo, t. 18, z. 1, 103-112, 1974.
82. **Szot B., Grundas S.:** Zagadnienie zmienności niektórych cech fizycznych ziarna zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 202, 219-243, 1978.
83. **Szot B., Grundas S., Grochowicz M.:** Metodyka określania odporności ziarna zbóż na odkształcenia mechaniczne. Rocz. Nauk Roln., t. 70-C-3, 129-141, 1973.
84. **Szot B., Grundas S., Grochowicz M.:** Metoda określania siły wiążącej ziarno z kłosem. Rocz. Nauk Roln., t. 70 - C - 4, 95-103, 1974.

85. **Szot B., Grundas S., Tys J.:** Characterization of the variability of the strength and energy of grain - to - ear binding for wheat and rye. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 203, 83-89, 1978.
86. **Szot B., Horabik J.:** Zagadnienia mechaniki ośrodków sypkich pochodzenia roślinnego. *Problemy Agrofizyki*, 33, 1-60, 1980.
87. **Szot B., Kęsik T., Gołacki K.:** Badanie zmienności właściwości mechanicznych korzeni marchwi w zależności od cech odmianowych, czynników agrotechnicznych i okresu przechowywania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 316, 227-246, 1987.
88. **Szot B., Kolembe G.:** Metody oceny wylegania zbóż. *Problemy Agrofizyki*, 8, 1-28, 1973.
89. **Szot B., Kutzbach H.-D.:** Rapeseed damage as influenced by the dynamic load. *Int. Agrophysics*, 6, 103-115, 1992.
90. **Szot B., Milczak M., Wąsik A.:** Podstawowe właściwości fizyczne nasion soczewicy (*Lens culinaris Medic.*). Strączkowe rośliny białkowe, III. Soczewica i Lędźwian. 31-36, 1998.
91. **Szot B., Milczak M., Wąsik A.:** Charakterystyka właściwości fizycznych nasion lędźwianu (*Lathyrus sativus L.*). Strączkowe rośliny białkowe, III. Soczewica i lędźwian, 60-65, 1998.
92. **Szot B., Řezníček R.:** Variability of the grain-to-ear binding force of wheat and rye. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 245, 111-126, 1984.
93. **Szot B., Rudko T.:** Metoda oceny podatności strąków soczewicy na pękanie. *Acta Agrophysica*, 37, 217-224, 2000.
94. **Szot B., Skubisz G.:** Zastosowanie zestawu pomiarowego do określania parametrów mechanicznych źdźbła pszenicy ozimej. *Biuletyn IHAR*, 135, 85-98, 1979.
95. **Szot B., Stępniewski A.:** Niektóre właściwości fizyczne nasion polskich odmian soczewicy. *Acta Agrophysica*, 46, 187-196, 2001.
96. **Szot B., Szpryngiel M., Grochowicz M., Tys J., Rudko T., Stępniewski A., Żak W.:** Optymalna technologia pozyskiwania nasion rzepaku. Instrukcja wdrożeniowa, Lublin, 1-70, 1996.
97. **Szot B., Tarkowski Cz.:** Wstępne badania niektórych cech fizycznych ziarna Triticale. *Rocz. Nauk Roln.*, t. 72 - C -3, 15-24, 1977.
98. **Szot B., Tys J.:** Przyczyny osypywania się nasion roślin oleistych i strączkowych oraz metody oceny tego zjawiska. *Problemy Agrofizyki*, 29, 1-50, 1979.
99. **Szot B., Tys J.:** Die von agrotechnischen Faktoren im Lizymeterversuch bestimmte Variabilitat der mechanischen Eigenschaften das Winterraps. *Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR*, 99-106, 1982.
100. **Szot B., Tys J.:** Etude des facteurs entrainant des variations des proprietes physiques des siliques de colza, en vue d'evalues les pertes de graines pendant la maturation et la recolte. *Actes du Congres*, t. I, Paris, 142-147, 1983.
101. **Szot B., Tys J.:** Metodyka badań mechanicznych właściwości łuszczyń i łodyg rzepaku. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 321, 193-202, 1987.
102. **Szot B., Woźniak W.:** Zastosowanie porometru ciśnieniowego do oznaczania porowatości warstwy ziarna zbóż. *IHAR*, 1-2, 45-48, 1974.
103. **Szpryngiel M., Grochowicz M., Szot B.:** Sources and causes of rape seed damage during combine harvesting. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 427, 27-33, 1995.
104. **Szwed G.:** Kształtowanie fizycznych i technologicznych cech nasion rzepaku w modelowanych warunkach przechowywania. *Acta Agrophysica*, 27, 1-113, 2000.

105. **Szwed G., Tys J., Strobel W.:** Pressurized methods for grading the vulnerability of pods splitting. *Int. Agrophysics*, 13, 3, 391-395, 1999.
106. **Szwed-Urbaś K., Grundas S., Segit Z.:** Wartość ważniejszych cech technologicznych ziarna pszenicy twardej. *Biuletyn IHAR*, 200, 299-305, 1996.
107. **Tarkowski Cz., Szot B., Tys J.:** Variability of the grain-to-ear binding force for different forms Triticale. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 203, 99-105, 1978.
108. **Tys J.:** Czynniki kształtujące właściwości agrofizyczne rzepaku. *Acta Agrophysica* (6), 1-65, 1997.
109. **Tys J., Rybacki R.:** Rzepak – jakość nasion procesy zbioru, suszenia, przechowywania. *Acta Agrophysica*, 44, 1-73, 2001.
110. **Woźniak W.:** Wpływ czynników agrofizycznych na zmienność porowatości masy ziarna zbóż. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 316, 257-278, 1987.
111. **Woźniak W., Styk W., Geodecki M.:** High relative humidity as a cause of inner damage of wheat grain. *Int. Agrophysics*, 8 (2), 377-381, 1994.
112. **Woźniak W., Styk W.:** Internal damage to wheat grain as results of wetting and drying. *Drying Technology*, 14(2), 349-365, 1996.
113. **Woźniak W.:** Mechanical properties of wheat grain in internal cracks. *Int. Agrophysics*, 15, 59-64, 2001.
114. **Woźniak W.:** Wpływ nawilżania ziarna pszenicy na twardość technologiczną. *Acta Agrophysica*, 46, 227-233, 2001.
115. **Zdunek A., Konstankiewicz K.:** Emisja akustyczna w badaniu procesów pęknięcia tkanek roślinnych. *Acta Agrophysica*, 55, 2001.

DEVELOPMENT OF INVESTIGATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF PLANT MATERIAL IN THE INSTITUTE OF AGROPHYSICS

B. Szot

Institute of Agrophysics PAS, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

Summary. The publication presents historical outline of the development of investigations of physical properties of plant material in the Dobrzański's Institute of Agrophysics PAS in Lublin. Major directions and range of the investigations of cereals, leguminous, rapeseed, fruits and vegetables are presented considering their geometrical features, mechanical and optical properties as well as basic physical characteristics. A special stress was paid on a considerable range of changeability of the properties according to various factors like: soil conditions, varietal features, agro technique, maturity and moisture content of the studied material.

Key words: plant materials, physical properties, historical outline of investigations.