

**Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie**

ACTA AGROPHYSICA

18

Bogusław Szot

**WŁAŚCIWOŚCI AGROFIZYCZNE
AMARANTUSA
(*Amaranthus cruentus* L.)**

Lublin 1999

Komitet redakcyjny

prof. dr hab. Jan Gliński, czł. koresp. PAN
prof. dr hab. Krystyna Konstankiewicz
doc. dr hab. Ryszard Dębicki

Opiniował do druku

prof. dr hab. Józef Fornal
prof. dr hab. Emil Nalborczyk

Fotografie

1-7 Autor, 8 i 9 J. Fornal

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201, 20-290 Lublin 27
tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: fundacja@demeter.ipan.lublin.pl

Publikacja indeksowana przez

Polish Scientific Journals Contents - Agric. & Biol. Sci.
w sieci Internet pod adresem <http://saturn.ci.uw.edu.pl/psjc/>
lub <http://ciuw.warman.net.pl/alf/psjc/>

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 1999

ISBN 83-87385-23-9

ISSN 1234-4125

Wydanie I. Nakład 150 egz. Ark. wyd. 5,3

Skład komputerowy: inż. Wojciech Bochyński

Druk: Zakład Usług Poligraficznych TEKST s.c., ul. Wspólna 19, 20-344 Lublin

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA.....	5
1. WSTĘP.....	7
2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ.....	15
2.1. Materiał badawczy.....	15
2.2. Zakres badań.....	16
2.3. Metodyka badań.....	17
3. WARUNKI BADAŃ.....	26
4. WYNIKI BADAŃ.....	26
4.1. Cechy biometryczne roślin.....	26
4.1.1. Wysokość roślin.....	28
4.1.2. Wysokość do pierwszego rozgałęzienia.....	29
4.1.3. Grubość łodygi przy ziemi	29
4.1.4. Grubość łodygi pod pierwszym rozgałęzieniem.....	30
4.1.5. Wysokość wiechy.....	31
4.1.6. Maksymalna szerokość wiechy.....	32
4.1.7. Masa wiechy.....	32
4.1.8. Plon nasion z rośliny.....	33
4.1.9. Obsada roślin.....	34
4.1.10. Plon nasion z 1 m ²	34
4.2. Samoosypywanie nasion.....	35
4.3. Właściwości fizyczne pojedynczych nasion.....	37
4.3.1. Cechy geometryczne.....	37
4.3.2. Cechy aerodynamiczne.....	40
4.3.3. Chropowatość powierzchni.....	43
4.3.4. Odporność nasion na obciążenia statyczne.....	44
4.3.5. Mikrostruktura nasion.....	46
4.4. Właściwości fizyczne masy nasion.....	48
4.4.1. Masa 1000 nasion.....	48
4.4.2. Gęstość nasion - masa 1m ³	48
4.4.3. Porowatość masy nasion.....	50
4.4.4. Tarcie zewnętrzne.....	54
4.4.5. Tarcie wewnętrzne.....	54
4.4.6. Kąt zsypu nasion.....	54
4.4.7. Kąt usypu nasion.....	54
4.4.8. Cechy reologiczne.....	55
4.5. Cechy jakościowe.....	59
5. AGROFIZYCZNE PODSTAWY TECHNOLOGII ZBIORU AMARANTUSA.....	63
6. WNIOSKI I STWIERDZENIA KOŃCOWE.....	66
7. LITERATURA.....	69

W pracy wykorzystano wyniki badań własnych oraz uzyskanych w ramach realizacji projektu badawczego nr 5 PO6F 023 08 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1995 - 97.

PRZEDMOWA

Niniejsza monografia stanowi prezentację i podsumowanie badań, przeprowadzonych w Instytucie Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN w Lublinie w tym również wyników uzyskanych w ramach realizacji projektu badawczego finansowanego przez Komitet Badań Naukowych nr 5 PO6F 023 08 pt. "Określenie właściwości agrofizycznych i opracowanie podstaw technologii zbioru amarantusa" w latach 1995-97 pod kierownictwem autora.

Forma spożywcza amarantusa (*Amaranthus cruentus* L.) została uznana na świecie jako roślina alternatywna, odznaczająca się wysoką zawartością białka i innych wartościowych składników w nasionach w porównaniu ze zbożami. W Polsce jako pierwszy zainteresował się tą rośliną i rozwinął na szeroką skalę badania prof. dr hab. Emil Nalborczyk (kierownik Katedry Fizjologii Roślin SGGW w Warszawie), który udostępnił materiał siewny do realizacji tematu, a także udzielał cennych konsultacji merytorycznych. Pomocy w tym zakresie udzielała również firma "Szarłat" w Łomży.

Całą część doświadczalną (założenie i prowadzenie doświadczeń łanowych, poletkowych i zbior amarantusa) oraz określenie cech biometrycznych roślin i podstawowych właściwości fizycznych nasion wykonano na terenie Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Zadąbrowiu k/Przemyśla w oparciu o własne metody, na aparaturze oraz urządzeniach Instytutu Agrofizyki PAN. Natomiast określenie właściwości fizycznych nasion, wymagających bardziej skomplikowanych metod i aparatury, wykonano w laboratoriach Instytutu Agrofizyki PAN, w Akademii Rolniczej we Wrocławiu, a także w Oddziale Nauki o Żywności IRZ i BŻ PAN w Olsztynie.

Z uwagi na specyfikę nasion amarantusa, które są bardzo drobne, opracowano nowe metody lub adaptowano standardowe. Amarantus trudno jest porównać z jakąkolwiek rośliną uprawną w Polsce, stąd też dobór obiektywnych metod badawczych i ich weryfikacja, stanowiły główną troskę wykonawców, szczególnie w czasie badań wstępnych i w pierwszym okresie realizacji projektu badawczego. Dlatego pragnę w tym miejscu wymienić osoby, które przyczyniły się do wykonania zadań badawczych, a tym samym do uzyskania interesujących wyników. W skład zespołu wykonawców z Instytutu Agrofizyki PAN - oprócz kierownika tematu - wchodził: dr inż. Marian Grochowicz, dr inż. Tadeusz Rudko oraz dr inż. Andrzej

Stepniewski. Z Akademii Rolniczej w Lublinie dr inż. Krzysztof Gołacki, dr hab. Mieczysław Szpryngiel oraz mgr inż. Wojciech Żak. Z Akademii Rolniczej we Wrocławiu dr Barbara Kram. Cechy jakościowe nasion amarantusa oraz ich mikrostrukturę określono w placówce PAN w Olsztynie dzięki zaangażowaniu się prof. dr hab. Haliny Kozłowskiej i prof. dr hab. Józefa Fornala. Analizę granulometryczną nasion i mąki wykonał dr François de Monredon z INRA Nantes we Francji.

Bardzo udane i wzorowo prowadzone doświadczenia łanowe i poletkowe z amarantusem, zawdzięcam wybitnym specjalistom z zakresu doświadczalnictwa polowego inż. Antoniemu Stokłosie i Marianowi Łozie z SDOO w Zadąbrowiu. Wiele wysiłku i żmudnej pracy przy realizacji badań włożyło również grono pracowników inżynierijno-technicznych, szczególnie w czasie trudnych pomiarów terenowych. Spośród tych osób pragnę wymienić inż. Wojciecha Bochyńskiego, Reginę Morawską, oraz Andrzeja Zwierzchowskiego z Instytutu Agrofizyki PAN, którzy przez okres czterech lat wykonywali zgodnie z metodyką tysiące pojedynczych pomiarów dla uzyskania odpowiedniej liczby powtórzeń, co przyczyniło się w efekcie do uchwycenia wielu zależności przedstawionych w monografii.

Efektywna praca wszystkich wykonawców sprawiła, że dzięki pracom rozpoznawczym i opracowaniu metod, projekt badawczy został w pełni zrealizowany, zgodnie z nakreślonym harmonogramem i zakresem badań. Nie wystąpiły też żadne zakłócenia organizacyjne, dzięki dużej pomocy i zrozumieniu ze strony Dyrekcji Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie oraz Kierownictwa SDOO w Zadąbrowiu.

Sądzę, że opracowana monografia przybliży czytelnikom mało jeszcze znany w Polsce amarantus, a dla specjalistów zajmujących się już tą rośliną będzie źródłem dodatkowych informacji, szczególnie w obszarze właściwości agrofizycznych, które mogą być przydatne dla hodowców, producentów, technologów zbioru i obróbki pozbiorowej, związanej przede wszystkim z suszeniem, czyszczeniem, transportem oraz składowaniem. Niektóre cechy nasion wiążą się także z procesami przetwórstwa, jako elementy charakterystyki i oceny surowca.

Mam nadzieję, że przedstawione wyniki badań - oprócz aspektów poznawczych - będą użyteczne dla pracowników nauki i praktyków, którzy propagują rozszerzenie uprawy tej rośliny w Polsce.

Autor

1. WSTĘP

Amarantus znany w Polsce jako szarłat należy do rodziny *Amaranthaceae*, rodzaju *Amaranthus*, obejmującego około 60 gatunków i ponad 800 ekotypów w większości chwastów [16,44]. Klasyfikacja tych gatunków sprawia botanikom wiele kłopotów, gdyż oprócz dużej liczby synonimów nazw poszczególnych gatunków [14], poważnym utrudnieniem jest powszechnie występujące krzyżowanie międzygatunkowe. Amarantus uprawia się na nasiona i liście. Na nasiona uprawia się gatunki *A.cruentus*, *A.caudatus*, *A.hypochondriacus*, a na warzywo i nasiona *A.tricolor*. W grupie chwastów część należy do bardzo uciążliwych, są to *A.viridis*, *A.spinosis*. *A.rudis*, *A.tuberculatus*, czy szeroko rozpowszechniony jeden z najbardziej szkodliwych chwastów upraw polowych *A.retroflexus* - szarłat szorstki [11].

Wśród gatunków należących do rodzaju *Amaranthus* występuje duża różnorodność morfologii, wzrostu i rozwoju, składu chemicznego i innych cech. W większości są to rośliny jednoroczne, ale niektóre np. *A.muricatus* jest formą wieloletnią [35]. Rośliny mają wysokość od 0,3 do 3 m. Grupa morfologiczna Mixteco z gatunku *A. hypochondriacus* posiada rośliny wysokości ponad 3 m, grupa African z *A.cruentus* 0,6 - 1,5 m, a formy dzikie należą do najniższych [59]. Z uwagi na przewidywalny zbiór kombajnowy amarantusa, prowadzi się hodowlę w kierunku uzyskania roślin o wysokości około 1,3 m. Łodygi amarantusa występują od wyprostowanych do płożących się, od pozbawionych pędów bocznych do rozgałęziających się na całej długości łodygi lub jej części [59,60]. Jest to roślina zielna, posiadająca zróżnicowane zabarwienie łodyg i liści. Sposób rozgałęziania może być charakterystyczny dla gatunków. Roślina posiada palowy system korzeniowy z licznymi korzeniami bocznymi, sięgającymi w przestrzeń gleby do 2,5 m. Poszczególne gatunki posiadają zabarwienie od jasnozielonego przez zieleń, czerwień do amarantowego czy ciemnowiśniowego, a także występują rośliny wielobarwne [49,48]. Liście z ogonkiem są ułożone naprzemianległe o kształcie zbliżonym do elipsy. Kwiatostan uformowany jest z dużej liczby wiechetek [20,48,55,56].

Gatunki amarantusa (jedno lub dwupienne) posiadają kwiatostany zawierające męskie i żeńskie kwiaty uformowane w kłębki. Wyróżnia się kwiatostany wyprostowane, pośrednie, zwisające. Stwierdza się, że budowa kwiatostanu i pojedynczego kwiatka jest cechą najbardziej charakterystyczną dla gatunku [20]. Owoc zaliczany jest do owoców suchych; jego budowa również charakteryzuje gatunek i jest podstawą do oceny osypywania się nasion tej rośliny. Występują owoce niepękające, częściowo pękające i całkowicie otwierające się. Kłębki

kwiatowe na wierzchołkach łodyg tworzą kłosokształtne lub wiechowate kwiatostany [16,15]. Osiągają nawet długość ponad 50 cm (np. *A. caudatus*). Barwa kwiatów zawiera się w przedziale od złotej do brązowej przez róż, czerwień, purpurę [59].

Nasiona amarantusa mają kształt soczewkowaty lub okrągły [31]. Średnica nasion zawiera się w przedziale od 0,9 do 1,7 mm. Masa tysiąca nasion wynosi 0,7 do 0,9 g [59]. Barwa nasion może wystąpić od białej przez kremową, brązową do czarnej (czarne nasiona posiada np. *A. retroflexus*). Formy warzywne, pastewne i ozdobne amarantusa oraz należące do chwastów wyróżniają się ciemną barwą nasion. W okrywkach nasiennych o barwie brązowej występują taniny. [20] sugeruje występowanie składników antyżywnościowych w okrywie nasiennej w powiązaniu z barwą nasion. Formy uprawiane na nasiona są jasne i jest to charakterystyczna cecha dla amarantusa pozwalająca selekcjonować rośliny w kierunku ich użytkowego wykorzystania przez ludzi.

Amarantus występuje w kilku strefach klimatycznych (od umiarkowanej do tropikalnej), położonych do 3000 m nad poziomem morza. Należy do roślin typu fotosyntezy C₄, polegającego na swoistym mechanizmie wiązania CO₂ z wysokim wykorzystaniem energii słońca. Jest to typ fotosyntezy efektywniejszy od typu C₃ specyficznego dla większości roślin uprawnych klimatu umiarkowanego z uwagi na brak wydzielania CO₂ na świetle poprzez wykorzystanie go do ponownego wiązania w roślinie, [39]. Najpowszechniej spotykanymi roślinami uprawnymi o typie fotosyntezy C₄ są: trzcina cukrowa, kukurydza, sorgo, proso. Związane jest to z wydajnym wykorzystaniem CO₂ w warunkach ograniczonego dostępu H₂O, wysokiej temperatury i silnego nasłonecznienia. Rośliny o typie fotosyntezy C₄ charakteryzują się oszczędną gospodarką wodną [20], polegającą na wyższym współczynniku wykorzystania wody oznaczanego jako stosunek związanego CO₂ do wytranspirowanej wody. Wysoki potencjał plonowania związany jest z nasłonecznieniem. Przy zagęszczeniu, roślina ogranicza wzrost pędów bocznych i tworzy kwiatostan na pędzie głównym. Wymagania temperaturowe również są dość wysokie, optymalna temperatura kiełkowania nasion wynosi 25 °C [39].

W ostatnich latach wzrosło bardzo zainteresowanie uprawą amarantusa. Rozwinęła się hodowla nowych odmian również w Polsce. Amarantus uprawiany na nasiona [20], w oparciu o Rodale Amaranth Germplasm Catalog 1988, powinien mieć następujące cechy:

- wysokość 1-1,5 m;
- długość okresu wegetacji dopasowaną do warunków klimatycznych regionu uprawy;
- stabilność;
- duży wigor siewek;
- brak pędów bocznych;
- białą, złotą lub różową barwę nasion;
- wysoki plon jako wynik cech takich jak współczynnik kwiatów żeńskich w kwiatostanie;
- ułożenie kwiatostanu ponad liśćmi;
- tolerancję na szkodniki i choroby;

- możliwość łatwego omłotu;
- duży rozmiar nasion;
- minimalne osypywanie się nasion;
- zasychanie liści w momencie dojrzałości nasion;
- wysoką zawartość białek w nasionach.

Charakterystyka roślin gatunku *Amaranthus cruentus* L.: pochodzenie: Meksyk i Gwatemala; uprawa: na nasiona lub jako warzywo w obu Amerykach, Azji i Zachodniej Afryce, również jako roślina ozdobna także w Europie;

- wysokość: od 1 do 2 m;
- liście: w obrębie tego gatunku występują wszystkie zabarwienia łodyg i liści od jasno i ciemnozielonego, różowego, czerwonego do intensywnie wiśniowego;
- kwiatostan: kształt wiechy wyprostowanej lub lekko zwisającej;
- nasiona: brązowe, złote, kremowo-białe;

Amarantus ten najłatwiej adaptuje się do warunków wzrostu i zakwita w szerszym zakresie długości dnia niż inne gatunki.

Roślina ta dobrze rośnie i rozwija się na glebach zasobnych, wykazując jednak dużą tolerancję na różnorodne warunki glebowe. Dobrze rozwija się na dobrych ale suchych stanowiskach z uwagi na odporność na niedobór wody. Poziom 200 mm opadu deszczu rocznie, już pozwala na uprawę tej rośliny, ale nawet opad 3000 mm roślina potrafi efektywnie wykorzystać. W Polsce rośliny z powodzeniem radzą sobie na glebach lżejszych, klasy III b-V, kompleksów glebowych żyznych, ale wyższe plony uzyskuje się na glebach bardziej zwięzłych [28]. Optymalne pH gleby dla amarantusa (rośliny wybitnie wapniolubnej, czego odzwierciedleniem jest wysoka zawartość w nich tego pierwiastka) wynosi 5,5-7,5. Przedplonem dla szarłatki mogą być wszystkie rośliny uprawne. Należy pamiętać, że jasno zabarwione nasiona wykazują niski współczynnik przetrzymywania, więc prawdopodobieństwo odnawiania plantacji jest niewielkie, ale nasiona roślin amarantusa czarno nasiennego (chwasty lub formy pastewne) w większości przypadków przetrzymują dobrze i istnieje ryzyko zachwaszczenia następnych roślin uprawnych [43]. W glebie o temperaturze 8-10 °C nasiona zaczynają kiełkować po 4-5 dniach. Wschody mogą się przedłużyć do 12-14 dni przy niższych temperaturach i małej wilgotności gleby. W temperaturach ok. 0 °C młode siewki giną. Początkowy wzrost roślin jest powolny. Po 3-4 tygodniach zaczyna się intensywny wzrost roślin. Dla takiego wzrostu ważna jest zarówno wysoka temperatura (optymalna 30-35 °C), jak i nasłonecznienie. Wzrost amarantusa ustaje przy 7 °C, a obniżenie temperatury do 3 °C powoduje uszkodzenia roślin. Roślina dobrze rozwija się w temperaturze od 16-35 °C. Długi okres wegetacji (nawet do 160 dni) cechuje wzrost i rozwój amarantusa [13]. Stanowisko przed siewem powinno być ciepłe i wilgotne, wolne od chwastów. Temperatura gleby 10-13 °C lub wyższa. Dla *A. cruentus* okres siewu w szerokości geograficznej i warunkach klimatycznych Polski zawiera się od 15 do 30 maja [35] podobnie jak w Meksyku [12,23,45,13]. Według tych autorów stosuje się wysiew ręczny lub za pomocą

siewnika rzędowego, a wysiewa się w rzędach o rozstawie 20-30 cm lub 50-70 cm nie głębiej niż 1cm ze względu na małe rozmiary nasion. W celu wyrównania wysiewu miesza się je z piaskiem lub kaszą manną czy prażonymi nasionami o podobnej granulacji. Norma wysiewu nasion amarantusa podawana przez Magomiedowa [32] wynosi 0,5 kg/ha. Inne źródła przyjmują różne wartości zawierające się w przedziale od 1,0 do 5,0 kg/ha. Roszewski [43] podaje jako normę wysiewu 0,8-1,2 kg na hektar, dla otrzymania optymalnej obsady 18-30 sztuk roślin na m². Siew powinien odbywać się do gleby wilgotnej o wyrównanej powierzchni. Właściwe rozdrobnienie i wyrównanie gleby można osiągnąć stosując przedsiewnie agregat uprawowy z wałem strunowym. Dobre efekty w poprawie wschodów przynosi wałowanie przeprowadzone bezpośrednio po siewie gdyż polepsza ono podsiąkanie oraz przyczynia się do zwiększenia kontaktu nasion z glebą. Okres wschodów to moment krytyczny dla tej rośliny z uwagi na temperaturę, wodę i konkurencję chwastów [23,45]. *Amarantus* można wysadzić w pole w postaci młodych siewek [41,12]. Dni kwitnienia (ich liczba) zależą od grupy morfologicznej [6] np. dla *A. cruentus* maksymalny szczyt kwitnienia rozpoczyna się między 20 a 22 dniem kwitnienia [27], a dzienny okres kwitnienia, rozpoczyna się około godziny 6, przy temperaturze 17 °C, wilgotności powietrza 96 % i przy słabym świetle. *A. cruentus* dobrze kwitnie i zawiązuje nasiona w warunkach dnia długiego [18].

Amarantus jest w znacznym stopniu rośliną obcopylną i bardzo łatwo ulega przekrzyżowaniu z szarłatem szorstkim i czarno-nasiennymi formami pastewnymi. Do siewu należy używać materiału siewnego ze ściśle nadzorowanych plantacji [43]. Nawożenie mineralne stosuje się jak pod rośliny zbożowe. Zalecane średnie dawki nawozów wynoszą: azot 80-120 kg w postaci polifoski lub saletry amonowej, fosfor 50-70 kg w postaci polifoski lub superfosfatu, potas 50-70 kg w postaci polifoski lub soli potasowej. Nadmiar azotu może być gromadzony w postaci azotanów szkodliwych dla ludzi i zwierząt. Według Roszewskiego [43] przenawożenie azotem może powodować nadmierny rozwój części wegetatywnej i wylęganie roślin.

Trudności w uprawie występują w okresie początkowego wzrostu, gdy rośliny są słabe, mało konkurencyjne w stosunku do chwastów [60]. Pielęgnacja plantacji od fazy 3-4 liści powinna polegać na wielokrotnym odchwaszczaniu roślin poprzez stosowanie opielaczy ciągnikowych, a szczególnie w rzędach odchwaszczanie ręczne. Zbyt późne odchwaszczanie może być przyczyną konieczności likwidacji plantacji. Z uwagi na dużą wrażliwość amarantusa uprawnego na popularne herbicydy nie zaleca się ich stosowania. Jeżeli zagęszczenie wynosi powyżej 50 roślin/m² należy wykonać przerwykę roślin [43].

Wśród roślin amarantusa termin dojrzałości wykazuje dużą zmienność. Formy dzikie dojrzewają wcześniej, a formy uprawne później [6]. Zbiór form nasiennych utrudniony jest ze względu na nierównomierne dojrzewanie kwiatostanów. Można zastosować desykację roślin lub pozostawienie ich do wystąpienia mrozów kończących wegetację.

Zbioru amarantusa dokonuje się ręcznie lub kombajnowo. Największe problemy stwarza duża zawartość wody w roślinie w okresie jesieni. Kwiatostany

wykazują tendencję do silnej absorpcji i utrzymywania wilgoci po opadach deszczu. W zależności od warunków klimatycznych zbiór może przypadać na okres od połowy września do połowy października. Niektórzy plantatorzy opóźniają zbiór do wystąpienia pierwszych przymrozków, które powodują zasychanie i opadanie liści, co zmniejsza masę żniwną. W chwili zbioru wilgotność nasion dochodzi nawet do 30 %, konieczne więc staje się ich dosuszanie do wilgotności 12-13 % wymaganej w przechowywaniu. Następnym zabiegiem występującym po zbiorze jest doczyszczanie nasion [43].

Szkodniki nie stanowią zagrożenia dla amarantusa, należy jednak stwierdzić, że na pasożytującego na listkach kwiatów i nasionach *Lygus spp.* wysoce wrażliwy jest *A. cruentus* typu Mexican. Inne szkodniki to *Lixus truncatulus* (uszkadzający podstawy łodygi), *Sciara spp.* (larwy występują w pąkach kwiatów), *Aphis craccovara* i nicienie. W naszym kraju na początku wegetacji występuje pchełka rzepakowa i w okresie późniejszym mszyce, natomiast nie stwierdzono jeszcze istotnego wpływu chorób [20,59].

Plon amarantusa w dużej mierze zależy od genotypu roślin oraz rejonu uprawy. W Meksyku uzyskuje się od 0,8 do 1,5 t nasion z hektara [13]. W Polsce uzyskiwano plony od 1,5 do 3,5 t z ha w zależności od warunków klimatyczno-glebowych [35]. Amarantus może być jednak rośliną bardzo zawodną, szczególnie u producentów bez odpowiedniego doświadczenia i przygotowania. Przy niesprzyjających warunkach i okolicznościach, plon zebrany może stanowić kilkanaście procent plonu rzeczywistego. Za główne powody niskiego plonowania uważa się również: zły dobór uprawianej formy ze względu na długość okresu wegetacji, błędy uprawowe, silne zachwaszczenie, deszczowy i chłodny okres zbioru.

Amarantus cechuje się cennymi właściwościami wynikającymi ze składu i zawartości związków chemicznych zarówno w nasionach jak i w liściach. Skład chemiczny nasion w oparciu o *A. cruentus* [44] jest następujący:

azot ogólny	3,05 %,
białko surowe	17,8 %,
tłuszcz	7,8 %,
włókno surowe	4,9 %,
składniki popielne	3,3 %.

W 100 g świeżej masy liści jest 3,5 g białka, tłuszczu 0,5 g, cukrów 6,5 g, włókna 1,3 g, popiołu 2,6 g. Główną zaletą amarantusa [60] w porównaniu do innych roślin jest wysoka zawartość białka (13,2 - 18,2 % s.m.) zasobnego w aminokwasy egzogenne. W białku amarantusa obok dużej ilości lizyny od 4,0 do 6,4%, występują aminokwasy siarkowe (cystyna, cysteina i metionina), w które ubogie są zboża, ale posiada on stosunkowo niską zawartość leucyny. Można poprawić wartość pokarmową białka amarantusa przez dodatek do produktów spożywczych białek kukurydzy czy pszenicy, które to rośliny posiadają leucynę w nadmiarze [35]. Wielu cennych informacji dotyczących składu chemicznego nasion, a w szczególności jakości białka dostarczyły prace Beckera i in. [3],

Betscharta i in. [4], Panta [42], Cheeke i in. [8]. Biologiczna wartość białka [20] w porównaniu z wartością białka jaja kurzego uznaną za 100 % wynosi:

amarantus	- 75 %
mleko	- 73 %
soja	- 68 %
jęczmień	- 62 %
pszenica	- 56 %
kukurydza	- 44 %
amarantus + kukurydza (1:1)	- 81 %

W porównaniu z roślinami zbożowymi amarantus zawiera najwięcej tłuszczu:

amarantus	- 7,2 %
owies	- 5,1 %
proso	- 4,4 %
jęczmień	- 2,1 %
pszenica	- 1,9 %
żyto	- 1,8 %

Głównym składnikiem tłuszczu nasion amarantusa są nienasycone kwasy tłuszczowe, z których najważniejszy to kwas linolowy (62 %) i oleinowy (20 %). Inne znaczące w składzie to kwas linolenowy (1,1 %), arachidowy (0,7%) i lignocerynowy (0,3 %). Kwasy tłuszczowe nasycone to głównie kwas palmitynowy (13,4 %). Składnikiem oleju amarantusa (we frakcji zmydlającej się, której jest ok. 8%) jest unikalny i cenny składnik - skwaleń. Związek ten dotychczas wydobywany był z wątroby rekinów i wielorybów dla przemysłu kosmetycznego i elektronicznego. Do niedawna używany był do ochrony powierzchni pamięciowych dysków komputerowych w warunkach próżni kosmicznej [35]. W ostatnich latach zainteresowanie skwaleńmi znacznie wzrosło z uwagi na ich szerokie wykorzystanie w przemyśle kosmetycznym i farmaceutycznym przy produkcji leków geriatrycznych.

Zawartość skrobi w nasionach waha się od 45 do 65 % s.m. Ziarna skrobi amarantusa są bardzo małe 1-3 mikronów średnicy [19] Według Fornala i Szota [17] średnica ziaren skrobi *A. cruentus* mieści się w przedziale 1-1,5 μm . Przykładowo ziarna skrobi ziemniaka mają średnicę około 100 mikronów. Z uwagi na wielkość i wyrównanie ziarn, amarantus jest również pod tym względem atrakcyjnym surowcem w przemyśle kosmetycznym i farmaceutycznym. Subba Rao i Goering [19] według Saunders i Becker [44] wyizolowali z *A. retroflexus* ziarna skrobi o średnicy 0,75 -1,25 μm , składającej się w 95 % z amylopektyny. Myers i in. [34] udowodnili możliwość wydzielania skrobi o wysokim stopniu czystości (> 98 %).

Ze składników mineralnych obecnych w nasionach amarantusa w dużych ilościach występują: wapń, fosfor, potas i magnez. Znacząca jest również zawartość żelaza i sodu. Ilość tych pierwiastków jest kilka razy większa niż w ziarnach zbóż. Witaminy natomiast występują w ilościach zbliżonych do ich zawartości w zbożach [22].

Z substancji antyżywniowych w nasionach amarantusa występują w relatywnie małych ilościach inhibitory trypsyny i chymotrypsyny, fityniany, polifenole i saponiny, a w liściach azotany i szczawiany [46,45].

Amarantus jako roślina uprawna występował w przeszłości tylko w Ameryce Środkowej i Południowej, obecnie uprawiany jest w Azji, Afryce, Ameryce Północnej i Europie. Z uwagi na szczególne walory odżywcze amarantus jest wykorzystywany do produkcji artykułów spożywczych oraz pasz dla zwierząt. Z nasion otrzymuje się przede wszystkim mąkę z przeznaczeniem na dodatek podnoszący wartość odżywczą chleba i innego pieczywa. Matweewa i in. [33] stwierdzają, że mąka z nasion amarantusa może być cennym komponentem przy wyrobie pieczywa. Prace Habera i in. [25] wykazały, że dodatek amarantusa do ciasta powodował przyspieszenie fermentacji oraz podwyższenie lepkości kleików skrobiowych i poprawę cech fizycznych miękiszu pieczywa szczególnie żytniego, a także pszennego. Do podobnych wniosków doszli Ambroziak i in. [1], a Cacák - Pietrzak i in. [7] stwierdzili na podstawie przeprowadzonych badań, że amarantus może znaleźć zastosowanie jako surowiec do produkcji wyrobów cukierniczych. Walkowski i in. [57] opracowali metodę izolacji skrobi, określili charakterystykę chemiczną i fizyko-chemiczną oraz wykazali możliwość zastosowania skrobi amarantusa jako środka zagęszczająco- stabilizującego w produkcji majonezów nisko-tłuszczowych o znakomitych właściwościach sensorycznych. Stwierdzili również, że skrobia ta może być doskonałym surowcem do produkcji kleju do tektury falistej (opakowania biodegradowalne). Możliwość szerokiego wykorzystania amarantusa do produkcji żywności zasygnalizowali także w swojej pracy Corke i Wu [9]. Breene [5] stwierdził, że wzrost udziału nasion amarantusa w żywieniu ludzi pociągnął za sobą opracowanie wielu przepisów i technologii na różnorodne produkty z dodatkiem tej rośliny. Wymienia chleb, bułeczki, ciasta, chrupki, wafle, kluski, precelki, tosty, naleśniki, krakersy, przyprawy sałatkowe, imitacje masła orzechowego i majonezu oraz wiele innych. W produkcji tych artykułów wykorzystuje się różne procesy technologiczne m.in. gotowanie, pieczenie, prażenie, ekstruzję, słodowanie, traktowanie enzymami itp. Procesy te poprawiają zapach i smak produktów oraz podnoszą ich wartość odżywczą poprzez wzrost strawności białka i obniżenie ilości substancji antyżywniowych [46]. Niska zawartość glutenu pozwala na wykorzystanie amarantusa także w diecie osób chorych na celiakię. Minimalna zawartość cholesterolu w roślinach oraz zdolność do obniżania cholesterolu we krwi czyni przydatnym amarantus w żywieniu ludzi starszych. Grajeta [21] twierdzi, że nasiona amarantusa mogą być składnikiem różnych artykułów spożywczych stosowanych w diecie zalecanej w zapobieganiu i leczeniu miażdżycy. W medycynie wykorzystuje się amarantus jako środek aseptyczny i gojący. Jako cenna roślina paszowa może być skarmiany jako zielonka, susz i kiszonka. Wchodzi w skład wysokowartościowych koncentratów paszowych. Dobrze wykorzystywany jest przez trzodę chlewną, a kiszonki z dodatkiem kukurydzy są dobrą paszą dla bydła [35].

Według Gontarczyk [20] możliwość wykorzystania tej rośliny przedstawia się następująco:

— łodyga - słoma, materiał opałowowy,

- liście - warzywo, pasza, koncentraty białkowe, barwniki,
- kwiatostan - barwniki,
- nasiona - pasze, farmaceutyki, produkty spożywcze, surowce techniczne, kosmetyki.

Nasiona amarantusa próbowano też zastosować w przemyśle fermentacyjnym. Dodatek tych nasion wpływał dodatnio na szybkość fermentacji w zacierach żytnich. Uznany więc został jako stymulator tego procesu [10].

Można stwierdzić, że tej mało jeszcze znanej roślinie w Polsce poświęcono już sporo uwagi w laboratoriach naukowych, poznając morfologię i fizjologię oraz określając skład chemiczny nasion i liści, a także możliwości wykorzystania w przemyśle spożywczym, pastewnym, farmaceutycznym, kosmetycznym. Bardzo mało znane są natomiast właściwości fizyczne nasion, które odgrywają istotną rolę w czasie zbioru, transportu, suszenia, czyszczenia, składowania, jak również w przetwórstwie. Jak dotychczas ukazały się jedynie fragmentaryczne prace na ten temat [58]. Dlatego należy uznać za celowe przeprowadzenie tego typu badań, które kompleksowo ujmują ocenę i zmienność właściwości fizycznych amarantusa, pogłębiając poznanie tej interesującej rośliny, która jak stwierdza Aufhammer [2] weszła na stałe do struktury zasiewów na terenie wielu krajów Ameryki, Azji i Europy. Potwierdzają to prace Iturbide i Lorence [26], Kietza [29], Singhala i Kulkarni [47]. W ostatnich latach amarantus uprawiany jest systematycznie w niektórych rejonach w Polsce i można już powiedzieć, że wszedł na stałe do struktury zasiewów, a uzyskiwane rezultaty są bardzo zadawalające i stanowią poważny argument świadczący o tym, że amarantus jest "rośliną z przyszłością" [36,37,38].

Opublikowane już lub oddane do druku niektóre prace dotyczące właściwości fizycznych nasion amarantusa, świadczą o dużej zmienności badanych cech w zależności od wilgotności oraz specyfiki tej rośliny [30,50,51,53]. Uzyskane wyniki pozwoliły też na rozpoczęcie działań aplikacyjnych związanych z wdrożeniem rezultatów do praktyki [52].

W Polsce dystrybutorem nasion amarantusa jest firma "Szarłat" w Łomży, która bardzo aktywnie propaguje cenne walory tego surowca. Dzięki kontaktom i współpracy z różnymi ośrodkami naukowymi w kraju oraz upowszechnieniu pierwszych wyników badań, roślina ta zyskała już uznanie wśród producentów i konsumentów. Szczególne zainteresowanie wykazał przemysł spożywczy, a przede wszystkim piekarniczy i cukierniczy. Przewidywane dalsze rozszerzenie uprawy amarantusa w kraju skłania do wnikliwych badań w różnych dyscyplinach nauki, aby dokładnie poznać tę roślinę, która w wielu krajach świata jest uprawiana i wszechstronnie wykorzystywana.

2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

2.1. Materiał badawczy

W celu uzyskania jednorodnego i zdefiniowanego materiału badawczego, w latach 1995-97 zakładano i prowadzono doświadczenia łanowe z amarantusem. Były one zlokalizowane na terenie Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Zadąbrowiu k/Przemyśla, gdzie zapewniono odpowiednią bazę do prowadzenia tego typu badań, a także wykwalifikowaną kadrę pracowników SDOO. Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie od wielu lat współpracuje z tą placówką.

Gleby tego mikroregionu należą do kompleksu pszennego bardzo dobrego. Jest to czarnoziem zdegradowany w I i II klasie bonitacyjnej.

Charakterystyka gleby:

Wyszczególnienie		Wartość	Ocena zawartości
pH w 1 n KCL		5,2	odczyn kwaśny
pH w H ₂ O		5,8	odczyn kwaśny
P ₂ O ₅ w/g Egnera	mg/100 g gleby	14,9	średnia
K ₂ O w/g Egnera	mg/100 g gleby	28,5	wysoka
Mg	mg/100 g gleby	6,2	średnia
B	mg/kg	0,68	niska
Mn	mg/kg	103,0	średnia
Cu	mg/kg	3,5	średnia
Zn	mg/kg	5,9	średnia
N	%	0,26	-

Warunki klimatyczne z charakterystycznymi danymi meteorologicznymi z lat 1980 -1992 były następujące:

średnia temperatura roczna.....	8,5 °C
średnia temperatura okresu IV - IX m-c roku.....	15,4 °C
liczba dni z temperaturą równą i niższą od 0 °C.....	60
średnia suma opadów rocznych.....	555 mm
średnia suma opadów okresu IV - IX m-c roku.....	387 mm

Przedplonem był zawsze rzepak, a nawożenie mineralne stosowano jak pod zboża na tym kompleksie glebowym (zgodnie z zaleceniami COBORU). Przed siewem przeprowadzono bardzo staranną uprawę roli, dla dokładnego wyrównania jej powierzchni. Nasiona wysiewano w dniach 14-15 maja. Przyjmując określoną normę wysiewu, uwzględniano zdolność kiełkowania nasion, która wynosiła w zależności od roku 87-98 %. W latach 1995-96 wysiewano odmianę populacyjną amarantusa spożywczego (o czerwonych wiechach), pochodzącą z Ameryki Południowej, zaś w 1997 roku nowo wyhodowaną w Polsce odmianę Rawa, która ma wiechy kremowe. Plantacja każdego roku miała powierzchnię 0,6 ha, z czego

0,02 ha przeznaczono na 4 poletka, na których zastosowano różną gęstość wysiewu, aby określić optymalne warunki wzrostu i rozwoju roślin. Jako stałą normę wysiewu nasion przyjęto 1,4 kg/ha, zaś na poletkach 50 %, 100 %, 150 % i 200 % tej wartości.

Siewu nasion dokonywano za pomocą siewnika SPZ-1,5; system OYORD talerzowo-komórkowy, stosując rozstaw rzędów 45 cm. Siewnik ten zapewnił precyzyjny wysiew nasion na głębokość do 1cm, a kółka za redlicami ugniatały glebę, zapewniając prawidłowe podsiąkanie wody. Jako balastu użyto prażone nasiona amarantusa w stosunku 1:4. Po wschodach, międzyrzędzia odchwaszczano mechanicznie, a następnie ręcznie, uzyskując 3 tygodnie po siewie czystą plantację. Przed zwarciem się rzędów przeprowadzono ostatnie ręczne odchwaszczanie.

Nasiona amarantusa nie dojrzewały równomiernie i o ile większość uzyskała wczesną dojrzałość woskową, to niektóre były już w pełni dojrzałe i zaczynały się osypywać. W pierwszych dniach tego niekorzystnego zjawiska rozpoczęto pomiary samoosypywania zgodnie z podaną dalej metodyką.

Zbiór jednoetapowego amarantusa dokonywano po pierwszych przymrozkach gdy zwiedły liście i zmniejszyła się wilgotność wiech i nasion. W roku 1995 zbiór czerwono kwitnącej formy amarantusa dokonano w dniach 24-25 października, a w roku 1996 w dniach 18-19 października. Nowa polska odmiana Rawa zasiana w 1997 roku była zbierana w dniach 20-21 października, chociaż nieco wcześniej dojrzała (7-8 października), ale brak przymrozków uniemożliwił zbiór jednoetapowy, gdyż masa bardzo uwodnionych łodyg, liści i wiech (przy połamaniu części roślin przez wiatr) uniemożliwiła separację nasion w kombajnie. W związku z tym nie było możliwości koszenia pod pierwszym rozgałęzieniem roślin tylko z konieczności tuż przy powierzchni pola. Kombajn był przystosowywany podczas zbioru do specyfiki amarantusa i dużej wilgotności zbieranej masy. Przeprowadzano także regulacje poszczególnych podzespołów kombajnu i zastosowano zestaw specjalnych sit w podsiewaczu. W zależności od stanu łanu (stojący, pochylony, skrzyżowane rośliny) zbiór wykonywano pełną szerokością hederu lub jego częścią. Dzięki przystosowaniu podsiewacza kombajnu uzyskiwano wysoką czystość nasion. Po zbiorze oceniono w polu obsadę roślin oraz wysokość ścierniska. Niektóre elementy uprawy i zbioru amarantusa oraz mikrostruktury nasion przedstawiono na fotografiach 1-9.

2.2.Zakres badań

Badania wykonywano zgodnie z ustalonym wcześniej harmonogramem, a zakres merytoryczny całości badań przedstawiono na schemacie (Rys. 1).

Próbki nasion do badań właściwości fizycznych pobierano ze zbiornika kombajnu w pierwszym dniu zbioru. Czystość ich wynosiła powyżej 96 %.

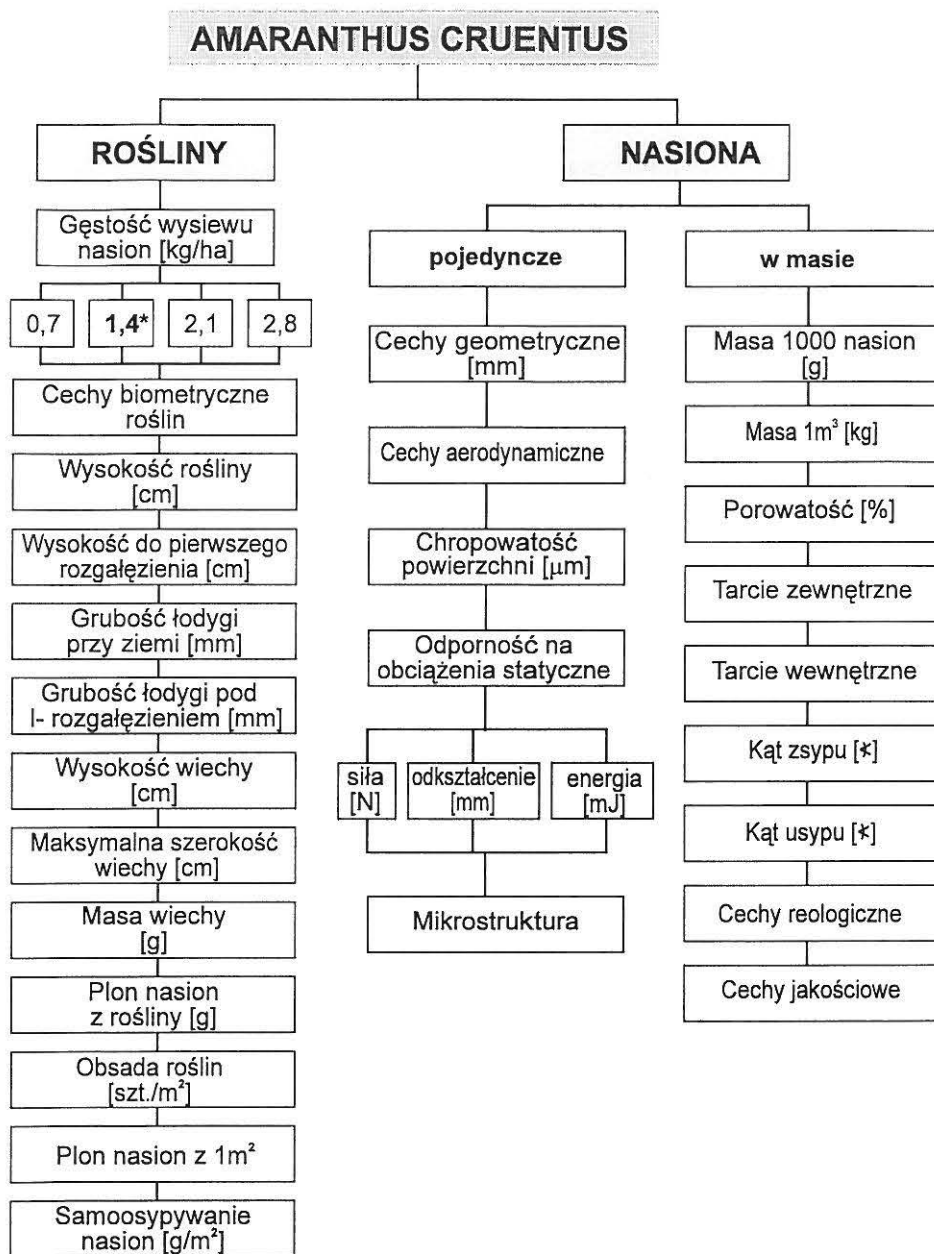
2.3. Metodyka badań

Amarantus należy do roślin, które w Polsce nie mają odpowiednika pod względem cech morfologicznych, terminu zbioru czy właściwości nasion. Jako nowa roślina uprawna w naszych warunkach wymagała więc opracowania nowych założeń metodycznych, aby określić jej najistotniejsze cechy, które mogą być przydatne zarówno z poznawczego, jak i praktycznego punktu widzenia. Dlatego też, przystępując do realizacji badań uwzględniono specyfikę roślin i nasion amarantusa, opracowując i adaptując metody badań oraz niezbędny sprzęt i oprzyrządowanie aparatury. W efekcie opracowano lub adaptowano metody badawcze, umożliwiające określenie poszczególnych cech i właściwości amarantusa. W celu sprawdzenia nowych, a także adaptowanych i standardowych metod badawczych oraz ustalenia liczby powtórzeń i dokładności pomiarów każdego parametru, przeprowadzono serię niezbędnych badań wstępnych i dopiero po dokonaniu korekt (w niektórych przypadkach), przystąpiono do badań zasadniczych. Prace te miały na celu uwzględnienie specyfiki roślin i nasion amarantusa w pełnym zakresie występującej zmienności dla każdej z badanych cech.

Ocenę cech biometrycznych roślin prowadzono począwszy od osiągnięcia przez nasiona wczesnej dojrzałości woskowej. Określono następujące parametry:

- wysokość rośliny (cm)
- wysokość do pierwszego plonującego rozgałęzienia (cm)
- grubość łodygi tuż nad ziemią (mm)
- grubość łodygi przy pierwszym rozgałęzieniu (mm)
- wysokość wiechy (cm)
- maksymalna szerokość wiechy (cm)
- masa wiechy (g)

Pomiary tych biometrycznych cech wykonano na specjalnie skonstruowanym, przenośnym stole pomiarowym z odpowiednim oprzyrządowaniem. Z każdej kombinacji eksperymentu pobierano po 60 roślin (20 roślin $\times$ 3 powtórzenia) i bezpośrednio po wycięciu z łanu poddawano pomiarom.



Rys.1. Schemat zakresu merytorycznego badań właściwości agrofizycznych amarantusa.

*- podstawowa gęstość wysiewu

Fig.1. Range of studies carried out on the agrophysical properties of amaranth.

*- basic density of sowing



Fot. 1. Wysiew nasion amarantusa siewnikiem SPZ - 1,5
Photo 1. Amaranth seed sowing with SPZ - 1,5



Fot. 2. Wschody roślin amarantusa 3 tygodnie po siewie
Photo 2. Amaranth plant sprouting three weeks after sowing



Fot. 3. Rośliny amarantusa 7 tygodni po siewie
Photo 3. Amaranth plants 7 weeks after sowing



Fot. 4. Odmiana populacyjna w czasie kwitnienia
Photo 4. Population variety at blooming



Fot. 5. Odmiana Rawa w czasie kwitnienia
Photo 5. Variety Rawa at blooming



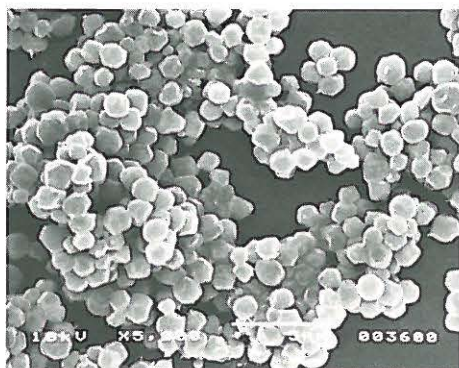
Fot. 6. Jednoetapowy zbiór amarantusa częścią hederu
Photo 6. Amaranth plants harvest with part of header



Fot. 7. Nasiona amarantusa ze zbiornika kombajnu
Photo 7. Amaranth seeds in from the harvester tank



Fot. 8. Dwie rozdzielone warstwy łupiny nasiennej
Photo 8. Two separate layers of seed cover



Fot. 9. Ziarenka skrobii amarantusa
Photo 9. Amaranth starch particles

Jednocześnie oceniano plon nasion z rośliny (wycierając ręcznie nasiona), wilgotność łodyg, wiech i nasion, a także wykonywano pomiary samoosypywania się nasion do momentu zbioru. W tym celu w międzyrzędzia wsuwno w trzech różnych miejscach łanu po 6 pojemników. Prawie codziennie (w zależności od pogody) o tej samej godzinie liczono osypane nasiona i przeliczano na masę w odniesieniu do 1 m². Był to jeden z elementów analizy strat ilościowych nasion. Obsadę roślin (szt/m²) określano w łanie w okresie dojrzałości woskowej nasion. Oprócz tego oceniano obsadę roślin i wysokość ścierniska bezpośrednio po zbiorze. Pomiary wykonywane były w 10 powtórzeniach dla każdej kombinacji.

Istotnym czynnikiem zmieniającym właściwości fizyczne nasion była ich wilgotność, którą określano na nowoczesnych, elektronicznych wagosuszarkach WPE 30 S. Pomiary wykonywano jednocześnie w trzech powtórzeniach.

Zgodnie z planem, badaniami objęto pojedyncze nasiona oraz masę nasion. Z uwagi na kształt nasienia amarantusa (pogrubiona soczewka zbliżona do kuli), podstawowe cechy geometryczne określono za pomocą dwóch różnych metod.

Grubość nasion mierzono na adaptowanym do tego celu mierniku zegarowym z dokładnością do 0,01 mm. Dla każdego poziomu wilgotności wykonano po 150 powtórzeń, co zapewniało objęcie całego zakresu grubości nasion w określonej próbie.

Przy użyciu urządzenia optycznego odwzorowywano powierzchnię rzutu prostopadłego nasienia w 29,7 - krotnym powiększeniu. Uzyskany obrys powierzchni nasienia pozwolił na obliczenie wartości powierzchni oraz wyznaczenie długości i szerokości nasienia. Aby określić stopień zbliżenia uzyskanej powierzchni do powierzchni koła, obliczono stosunek długości nasienia do jego szerokości. Te skomplikowane pomiary były niezbędne do dokładnego określenia powierzchni nośnej nasion, aby wyznaczyć ich cechy aerodynamiczne.

Właściwości aerodynamiczne nasion określono przy współpracy z Akademią Rolniczą we Wrocławiu. Badania przeprowadzono na prototypowym aparacie, przystosowanym do wielkości nasion amarantusa. W pionowym strumieniu powietrza mierzono ciśnienie dynamiczne utrzymując nasienie w stanie równowagi. Znając ciśnienie dynamiczne, masę nasienia oraz jego powierzchnię nośną można obliczyć podstawowe cechy aerodynamiczne:

$v_k = (2/\rho \cdot P_{dyn} \cdot g)^{1/2}$	[m/s]
v_k - prędkość krytyczna	[m/s]
ρ - gęstość powietrza	[kg/m ³]
P_{dyn} - ciśnienie dynamiczne	[Pa]
g - przyspieszenie ziemskie	[m/s ²]
$k_x = 2 \cdot m \cdot g / S \cdot \rho \cdot v_k^2$	[-]
k_x - współczynnik oporu aerodynamicznego	[-]
m - masa nasienia	[kg]
S - powierzchnia nośna nasienia	[m ²]
$k_o = g / v_k^2$	[1/m]
k_o - współczynnik lotności	[1/m]

Po opracowaniu matematycznym wyznaczono wpływ cech geometrycznych na własności aerodynamiczne nasion amarantusa.

Chropowatość powierzchni nasion mierzono za pomocą mikroskopu podwójnego typu BK 70×50. Pomiar polega na odwzorowaniu profilu nierówności za pomocą płaskiej wiązki światła. Mierzona jest widoczna w okularze pozorna wysokość chropowatości, która następnie jest przeliczana na wartość wyznaczaną R_1 . Zakres pomiarowy mikroskopu wynosi od 0,5 do 100 μm . Norma DIN 4762 zaleca wykonanie pięciu pomiarów i podanie średniej jako wyniku. Wysokość nierówności R_1 powierzchni nasion określano zgodnie z normą. Jednakże pomiary chropowatości nasion amarantusa wymagały większej liczby powtórzeń, uwzględnienia kierunku pomiaru i krzywizny nasienia. W związku z tym wysokość nierówności mierzono na 30 nasionach po 5 powtórzeń na każdym. Zasadę tę stosowano dla każdego poziomu wilgotności nasion.

Odporność pojedynczych nasion na obciążenia statyczne określono na aparaturze do badań wytrzymałościowych INSTRON - model 6022. Skonstruowano specjalne oprzyrządowanie, dostosowane do wielkości nasion amarantusa. Pojedyncze nasiona obciążane były między dwoma płaskimi płaszczyznami z prędkością 20 mm/min. Dane przetworzone przez komputer (będący integralną składową aparatury) pozwoliły określić wartości siły powodującej zniszczenie struktury nasion, odkształcenie oraz energię, która spowodowała ten proces. Dla każdego poziomu wilgotności pobierano losowo do pomiarów po 50 nasion, co gwarantowało w pełni wiarygodność średnich wartości.

Mikrostrukturę nasion amarantusa oceniono w ramach współpracy naukowej z Oddziałem Nauki o Żywności IRZ i BŻ PAN w Olsztynie. Preparaty cięto specjalną żyłką, naklejano pastą srebrową na krążki aluminiowe, a następnie napyłano cienką warstwą węgla i złota w napyłarce próżniowej JEOL JEE 4X. Tak przygotowane preparaty analizowano w skaningowym mikroskopie elektronowym JEOL 5200 przy napięciu roboczym 10 kV.

Masę 1000 nasion określano za pomocą licznika nasion typ LN-S-50A, po przygotowaniu go do wielkości nasion amarantusa. Dla każdego poziomu wilgotności wykonywano po 3 powtórzenia. Nasiona ważono na wadze elektronicznej MEDICAT 160M z dokładnością do 0,001 g.

Masę 1 m³ nasion określano przy użyciu gęstościomierza zbożowego. Pomiary wykonywano zgodnie z Polską Normą PN R-74007, dla każdego poziomu wilgotności nasion.

Porowatość masy nasion oznaczano za pomocą porometru ciśnieniowego. Aparat ten został przystosowany do oznaczania porowatości próbek nasion w stanie usypnym w cylindrze o objętości 100 cm³. Odczytu porowatości z dokładnością do 0,5 % dokonuje się na skali zawartej w przedziale od 0 do 100 %. Przy oznaczaniu tej cechy zastosowano zasadę 10 powtórzeń dla każdej kombinacji eksperymentu.

Tarcie zewnętrzne warstwy nasion o powierzchnię z ocynkowanej blachy stalowej określano na specjalnym - prototypowym - aparacie, gdzie umieszczano próbkę, której średnica wynosiła 210 mm, a wysokość 80 mm. Wyznaczono zależność siły tarcia od nacisku normalnego przy zmiennej wilgotności nasion.

Przy badaniach zastosowano 5 poziomów nacisku normalnego od 14,1 do 36,7 kPa w 5 powtórzeniach. Oprócz kąta tarcia, wyznaczono współczynnik tarcia.

Pomiary tarcia wewnętrznego prowadzono w specjalnie adaptowanym aparacie trójosiowego ściskania na próbkach o średnicy 36 mm i wysokości 72 mm. Stosowano 5 poziomów naprężenia bocznego od 20 do 90 kPa w 5 powtórzeniach. Kąt tarcia wewnętrznego wyznaczano za pomocą obwiedni kół Mohra. Wyliczono też współczynnik tarcia.

Kąt zsyphu i usyphu nasion mierzono za pomocą prototypowego urządzenia, składającego się z dwóch komór. Komory te w połowie wysokości są przegrodzone półką z ruchomą zasuwą nad otworem. Po napełnieniu górnej komory nasionami i wysunięciu zasuw, nasiona swobodnie przesypują się do dolnej komory. Dzięki przezroczystej ścianie pojemnika, w górnej komorze za pomocą kątomierza wyznacza się kąt zsyphu, zaś w dolnej kąt usyphu. Dla każdej kombinacji eksperymentu wykonano po 3 powtórzenia dla obu parametrów.

Określając cechy reologiczne nasion wybrano uznany i szeroko stosowany w świecie test relaksacji naprężeń. Celem eksperymentu było wyznaczenie przebiegu wartości siły reakcji w funkcji czasu próbek umieszczanych w stalowym cylindrze o objętości 250 cm³ i obciążanych jednoosiowo tłokiem w zespole pomiarowym aparatury wytrzymałościowej INSTRON - model 6022. W czasie każdego testu doprowadzano do ciśnienia 100 kPa i po zatrzymaniu przemieszczania się tłoka rejestrowano spadek siły reakcji przez 300 sekund. Do opisu zjawiska relaksacji naprężeń w masie ziarna amarantusa zastosowano uogólniony model Maxwella o trzech gałęziach. W modelu uwzględniono relaksację naprężeń zachodzącą podczas wstępnej deformacji badanego materiału. Wyznaczono zależności między wilgotnością nasion, a parametrami modelu wraz z energią, naprężeniem i odkształceniem w chwili zatrzymania głowicy deformującej próbkę.

Poszukując zależności między właściwościami fizycznymi nasion, a ich cechami jakościowymi, oprócz oceny mikrostruktury nasion oznaczono:

- zawartość białka ogólnego i tłuszczu metodami AOAC
- zawartość błonnika pokarmowego i jego frakcji metodą Asp'a
- zawartość fosforanów inozytolu w/g Sandberg i Ahderinne
- liczbę kwasową (LK) w/g PN-60/A-86921
- liczbę nadtlenkową (LOO) w/g PN-76/A-86918

Badania te wykonano dzięki współpracy naukowej z Oddziałem Nauki o Żywności IRZ i BŻ PAN w Olsztynie.

Dane uzyskane z pomiarów poddano analizie statystycznej. Analiza wariancji pozwoliła określić zmienność cech biometrycznych roślin oraz wpływ zróżnicowanych czynników agrotechnicznych (gęstość wysiewu nasion, obsada roślin) na kształtowanie się tych cech i plonu nasion. Cechy geometryczne nasion (grubość, szerokość, długość) opisano za pomocą rozkładów, uwzględniając parametry położenia i rozproszenia danych. Charakter zależności pozostałych fizycznych właściwości nasion od wilgotności określono za pomocą analizy regresji liniowej lub krzywoliniowej.

3. WARUNKI BADAŃ

Amarantus należy do roślin bardzo późno dojrzewających w polskich warunkach klimatycznych. Pomimo, że w literaturze można spotkać informacje o dojrzewaniu nasion tej rośliny we wrześniu, to w czasie realizacji omawianych badań nasiona dojrzewały w październiku. W okresie poprzedzającym zbiór amarantusa prowadzono obserwacje meteorologiczne oraz określano wilgotność łodyg, wiech i nasion, dla uchwycenia najkorzystniejszego momentu zbioru jednoetapowego. Dynamikę schnięcia łanu przedstawiono na rysunkach 2-4. Uzyskane wyniki wskazują jednoznacznie, że wilgotność łodyg utrzymywała się na wysokim poziomie 65-75 % przez cały okres dojrzewania roślin. Wilgotność wiech była również bardzo wysoka i około 3 tygodnie przed zbiorem sięgała lub nawet przekraczała 70 %. Wyraźny spadek wilgotności wiech zaobserwowano w latach 1995-96 po wystąpieniu pierwszych przymrozków. Ujemna temperatura spowodowała wówczas osiągnięcie przez wiechy wilgotności w granicach 25-30 %. Natomiast wiechy odmiany Rawa w 1997 roku już od 5 października wykazywały tendencję stałego obniżania wilgotności, a po pierwszych przymrozkach osiągnęły poziom ok. 20%.

Ten gwałtowny spadek wilgotności wiech po przymrozkach zaobserwowano we wszystkich latach badań. Bardziej łagodny przebieg miało fizjologiczne wysychanie nasion. W początkowym okresie utrzymywały one wilgotność w granicach 35-40 %, a po pierwszych przymrozkach następowało wyraźne obniżanie się wilgotności, niemal równoległe z wiechami. Nasiona osiągnęły wówczas poziom ok. 20 % wilgotności, a w roku 1997 nawet nieco poniżej tej wartości. Jednakże w czasie zbioru kombajnowego chłoneły one z powrotem wodę, szczególnie z rozdrobnionych łodyg. W efekcie do badań właściwości fizycznych nasion przyjmowano materiał, który w roku 1995 miał wilgotność 24,7 %, w 1996 31,3 %, a w 1997 38,0 %.

Należy podkreślić, że odmiana Rawa dojrzała wcześniej niż uprawiana w latach 1995-96 forma spożywcza amarantusa z Ameryki Południowej. Już w dniach 7-8 października stwierdzono dojrzałość pełną nasion, ale niesprzyjająca pogoda oraz brak przymrozków uniemożliwiły zbiór kombajnowy. Przeprowadzony w tych dniach próbny zbiór zakończył się niepowodzeniem, gdyż klejące się do zmiażdżonej masy (liści, łodyg i wiech) nasiona nie ulegały separacji w zespole czyszczącym kombajnu, powodując olbrzymie straty ilościowe. Dlatego też jednoetapowego zbioru dokonano - podobnie jak w poprzednich latach - po wystąpieniu przymrozków.

4. WYNIKI BADAŃ

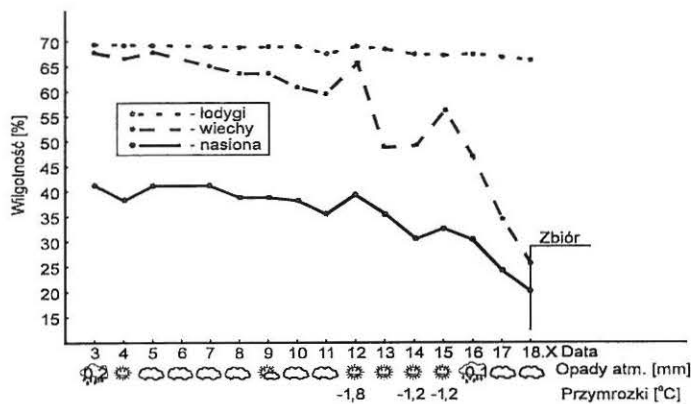
4.1 . Cechy biometryczne roślin

Wartości cech biometrycznych roślin amarantusa zestawiono w Tabelach 1-5. W latach 1995-96 dane dotyczą odmiany populacyjnej amarantusa spożywczego, pochodzącej z Ameryki Południowej, a w roku 1997 odmiany polskiej Rawa.



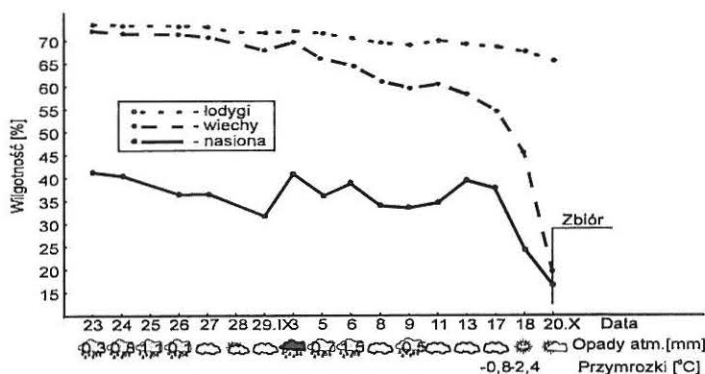
Rys.2. Dynamika schnięcia łodyg, wiech i nasion amarantusa w 1995r.

Fig.2. Dynamics of amaranth stalk, wisp and seed wilting in 1995.



Rys.3. Dynamika schnięcia łodyg, wiech i nasion amarantusa w 1996r.

Fig.3. Dynamics of amaranth stalk, wisp and seed wilting in 1996.



Rys.4. Dynamika schnięcia łodyg, wiech i nasion amarantusa w 1997r.

Fig.4. Dynamics of amaranth stalk, wisp and seed wilting in 1997.

4.1.1. Wysokość roślin

Średnia wysokość roślin odmiany populacyjnej amarantusa spożywczego pochodzącego z Ameryki Południowej, na łanie doświadczalnym obejmowała wartości 155,7 cm (1996) i 178,2 cm (1995), a współczynnik zmienności tej cechy zamykał się w przedziale 6,9-10,1 %. Odmiana Rawa osiągnęła wysokość roślin 174,8 cm i okazała się najbardziej wyrównaną pod względem tej cechy, gdyż współczynnik zmienności wynosił 6,8 %.

Tabela 1. Wartości cech biometrycznych roślin amarantusa. Doświadczenie łanowe w latach 1995-1997. Wysiew 1,4 kg/ha

Table 1. Values of biometric features of amaranth plants. Field (canopy) experiment carried out in the period 1995-1997. Sowing density of 1.4 kg/ha.

Cecha	Jedn. miary	1995				1996				1997			
		Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)	Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)	Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)
Wysokość rośliny	cm	178,2	131,0	223,0	10,1	155,7	131,0	178,0	6,9	174,8	147,0	212,0	6,8
Wysokość do I-go rozgałęzienia	cm	126,2	100,0	163,0	11,6	102,4	81,0	121,0	8,7	120,1	93,0	138,0	8,6
Grubość łodygi przy ziemi	mm	15,6	7,9	25,7	23,1	18,1	11,2	28,3	20,6	17,7	11,8	26,0	17,6
Grubość łodygi pod I-szym rozgałęzieniem	mm	10,0	3,8	16,8	24,8	10,8	5,9	15,2	19,7	13,0	7,7	24,2	22,6
Wysokość wiechy	cm	51,5	25,0	77,0	21,1	53,9	37,0	68,0	13,5	54,7	30,0	80,0	19,5
Maksymalna szerokość wiechy	cm	10,2	5,0	22,0	32,5	10,8	7,0	19,0	23,3	18,0	10,0	27,0	20,8
Masa wiechy	g	94,0	14,5	221,7	48,0	81,2	20,2	240,4	50,5	179,2	53,4	445,2	44,6
Plon nasion z jednej rośliny	g	15,2	4,2	46,3	53,9	15,9	5,0	44,3	46,0	30,3	10,9	72,8	42,6
Obsada roślin	szt/m ²	30,2	22,0	38,0	15,4	29,7	19,0	33,0	14,1	23,4	17,0	32,0	17,9

Na doświadczeniach o różnej gęstości wysiewu nasion w latach 1995-96 rośliny były niższe, szczególnie przy najniższej normie wysiewu nasion (141,0-155 cm). Odmiana Rawa natomiast była znacznie wyższa (176,8 cm) i wartości te utrzymywały się na pozostałych kombinacjach doświadczenia w granicach

155,1-169,3 cm. Należy też podkreślić, że współczynnik zmienności dla tej cechy utrzymywał się na bardzo niskim poziomie (4,4-5,1 %) w porównaniu z odmianą populacyjną (5,0-9,4 %).

4.1.2. Wysokość do pierwszego rozgałęzienia

Cecha ta odgrywa szczególnie ważną rolę przy zbiorze amarantusa i wiąże się ściśle z wysokością cięcia, aby niepotrzebnie nie obciążać kombajnu zbędną masą bardzo wilgotnych łodyg. Średnie wartości tej cechy w latach 1995-97 w łanie doświadczalnym wahały się od 102,4 do 126,2 cm. Różnice więc były nieznaczne, a najniższy współczynnik zmienności (8,6 %) dotyczył odmiany Rawa. Podane w tabelach wartości minimalne i maksymalne dla tej cechy i pozostałych (oprócz współczynnika zmienności) mogą służyć zarówno do celów poznawczych, jak i praktycznych, szczególnie dla technologów zbioru amarantusa. Najniższe wartości tej cechy na doświadczeniach zanotowano przy najniższej normie wysiewu nasion odmiany populacyjnej (75,2-93,5 cm) przy dosyć wysokich wartościach współczynnika zmienności (11,0-29,6 %). Odmiana Rawa nieznacznie reagowała na zagęszczenie roślin pod względem tej cechy. Średnie wartości zamykały się w przedziale 115,0-125,9 cm, a współczynnik zmienności 5,2-8,3 %. Wysokość do pierwszego rozgałęzienia dla odmiany populacyjnej w doświadczeniach osiągnęła wartości od 75,2 do 114,1 cm przy wyższych współczynnikach zmienności.

4.1.3 Grubość łodygi przy ziemi

Cecha ta, podobnie jak pomiary przy pierwszym rozgałęzieniu ma znaczenie poznawcze oraz jest ważna przy ustalaniu parametrów pracy kombajnu w czasie jednoetapowego zbioru. Łodygi w łanie doświadczalnym miały średnią grubość (średnicę) od 15,6 do 18,1 mm. W tym zakresie mieściły się obie odmiany w latach 1995-97. Współczynnik zmienności tej cechy zawierał się w przedziale 17,6-23,1 %. Na materiale pochodzącym z łanu i doświadczeń stwierdzono, że w roku 1996 łodygi były grubsze niż w 1995 roku. Największe różnice między średnimi wystąpiły na doświadczeniu I (10,2 mm) i spadały wraz ze zwiększającą się obsadą roślin poprzez 7,8 mm (dośw. II), 5,5 mm (dośw. III) do 3,9 mm (dośw. IV). Bezwzględne wartości tej cechy wskazują, że najgrubsze łodygi odmiany populacyjnej były w roku 1996 na doświadczeniu I (średnia 25,0 mm). Odmiana Rawa miała również najgrubsze łodygi na I doświadczeniu (19,4 mm). Współczynnik zmienności tej cechy nie przekraczał wartości charakterystycznych dla łanu.

Tabela 2. Wartości cech biometrycznych roślin amarantusa. Doświadczenie poletkowe I (wysiew nasion 0.7 kg/ha) w latach 1995-1997

Table 2. Values of biometric features of amaranth plants. Plot experiment I (sowing density of 0.7 kg/ha) carried out in the period 1995-1997.

Cecha	Jedn. miary	1995				1996				1997			
		Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)	Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)	Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)
Wysokość rośliny	cm	141,0	120,0	165,0	7,8	155,2	135,0	176,0	7,8	176,8	156,0	193,0	5,1
Wysokość do I-go rozgałęzienia	cm	75,2	29,0	115,0	29,6	93,5	70,0	115,0	11,0	125,9	98,0	143,0	8,3
Grubość łodygi przy ziemi	mm	14,8	9,0	26,0	20,7	25,0	12,0	32,9	21,2	19,4	10,8	27,3	18,8
Grubość łodygi pod I-szym rozgałęzieniem	mm	11,7	6,5	21,5	5,1	14,5	9,6	18,9	18,0	12,5	7,8	16,9	17,8
Wysokość wiechy	cm	66,1	29,0	130,0	34,9	62,2	46,0	76,0	11,0	50,9	31,0	72,0	17,4
Maksymalna szerokość wiechy	cm	15,2	6,0	26,0	32,0	15,0	9,0	22,0	19,5	17,6	9,0	26,0	19,9
Masa wiechy	g	153,3	56,9	443,2	55,2	204,6	85,6	385,9	38,0	156,4	42,0	282,1	37,6
Plon nasion z jednej rośliny	g	19,3	3,7	51,0	55,7	33,4	15,7	55,1	33,1	33,9	10,3	62,1	36,2
Obsada roślin	szt/m ²	25,3	19,0	31,0	11,3	14,5	9,0	20,1	10,4	20,8	17,0	25,0	11,9

4.1.4. Grubość łodygi pod pierwszym rozgałęzieniem

Łodygi odmiany populacyjnej (w łanie doświadczalnym) pod pierwszym plonującym rozgałęzieniem miały średnią grubość 10,0 mm (1995 r) i 10,8 mm (1996r), zaś odmiana Rawa 13,0 mm. Współczynnik zmienności dla tej cechy zamykał się w przedziale 19,7-24,8 %. Materiał pochodzący z doświadczeń w 1996 roku charakteryzował się nieco wyższymi wartościami niż w 1995 roku, co jest ściśle związane z grubością łodyg przy ziemi. Łodygi na doświadczeniu I były najgrubsze pod pierwszym rozgałęzieniem (11,7-14,5 mm). Wartości charakteryzujące tę cechę spadały wraz z zagęszczaniem roślin na jednostce powierzchni, dochodząc do 7,4-8,9 mm na doświadczeniu IV. Współczynnik zmienności dla omawianej cechy łodyg z doświadczeń mieścił się w zakresie od 11,8 do 25,1 %. Przekroczył więc bardzo nieznacznie wartość najwyższą dla łodyg z łanu doświadczalnego.

4.1.5. Wysokość wiechy

Na doświadczeniu łanowym średnia wysokość wiechy odmiany populacyjnej wynosiła od 51,5 do 53,9 cm, a dla odmiany Rawa 54,7 cm. Cecha ta wykazuje jednakże większą zmienność niż dotychczas omówione, gdyż współczynnik obejmuje zakres od 13,5 do 21,1 %. Materiał pochodzący z doświadczeń charakteryzował się jeszcze większym rozrzutem wartości, gdyż dla odmiany populacyjnej współczynnik zmienności osiągnął 34,9 % na doświadczeniu I o najniższej normie wysiewu (0,7 kg/ha). W tych warunkach uzyskano najwyższe wiechy (50,9-66,1 cm), natomiast najkrótsze na doświadczeniu IV (wysiew nasion 2,8 kg/ha) od 40,2 do 49,7 cm. Dla obu odmian i we wszystkich latach średnia wartość wysokości wiechy systematycznie spadała wraz ze zwiększającą się normą wysiewu nasion, a więc ze zwiększającą się obsadą roślin na jednostce powierzchni.

Tabela 3. Wartości cech biometrycznych roślin amarantusa. Doświadczenie poletkowe II (wysiew nasion 1.4 kg/ha) w latach 1995-1997

Table 3. Values of biometric features of amaranth plants. Plot experiment II (sowing density of 1.4 kg/ha) carried out in the period 1995-1997.

Cecha	Jedn. miary	1995				1996				1997			
		Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)	Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)	Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)
Wysokość rośliny	cm	153,6	135,5	178,0	6,8	155,4	142,0	181,0	6,9	169,3	150,0	189,0	4,9
Wysokość do I-go rozgałęzienia	cm	105,7	75,0	160,0	13,6	98,6	83,0	120,0	9,4	123,4	100,0	138,0	6,5
Grubość łodygi przy ziemi	mm	13,2	9,0	20,9	19,1	21,0	15,4	25,6	13,3	17,2	10,5	25,5	18,1
Grubość łodygi pod I-szym rozgałęzieniem	mm	9,3	6,3	14,0	18,8	12,1	8,2	15,8	16,0	11,7	7,7	18,7	20,3
Wysokość wiechy	cm	50,3	27,0	112,0	28,5	56,8	47,0	66,0	10,2	45,9	28,0	69,0	19,1
Maksymalna szerokość wiechy	cm	12,6	7,0	22,0	22,2	11,9	7,0	16,0	18,9	15,9	9,0	22,0	20,3
Masa wiechy	g	87,3	23,7	199,1	41,3	109,6	40,2	194,2	34,4	105,0	30,0	323,5	49,4
Plon nasion z jednej rośliny	g	15,4	3,2	40,4	47,2	20,3	7,3	36,5	33,2	26,7	8,9	80,0	48,8
Obsada roślin	szt/m ²	30,1	19,0	36,0	13,7	22,7	16,0	30,0	12,6	26,2	22,0	31,0	10,6

4.1.6. Maksymalna szerokość wiechy

Średnie wartości tej cechy dla materiału pochodzącego z łanu doświadczalnego były bardzo zbliżone w latach 1995-96 dla odmiany populacyjnej (10,2-10,8 cm). Wyraźnie wyższą wartość dotyczyła odmiany Rawa (18,0 cm). Współczynnik zmienności sięgał nawet 32,5 %, ale najniższy był dla odmiany Rawa (20,8 %). Najszersze wiechy (15,0-17,6 cm) występowały na doświadczeniu I i wartości te spadały wraz ze zwiększającą się obsadą roślin, osiągając 9,0-12,7 cm w doświadczeniu IV. Współczynniki zmienności dla tej cechy zamykały się w dosyć szerokim przedziale od 18,7 do 32,0 %.

Tabela 4. Wartości cech biometrycznych roślin amarantusa. Doświadczenie poletkowe III (wysiew nasion 2,1 kg/ha) w latach 1995-1997.

Table 4. Values of biometric features of amaranth plants. Plot experiment III (sowing density of 2.1 kg/ha) carried out in the period 1995-1997.

Cecha	Jedn. Miary	1995				1996				1997			
		Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)	Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)	Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)
Wysokość rośliny	cm	152,8	116,0	179,0	9,0	165,9	153,0	184,0	5,0	161,4	142,0	182,0	4,9
Wysokość do I-go rozgałęzienia	cm	104,0	74,0	127,0	11,5	114,1	97,0	128,0	6,8	117,3	102,0	137,0	6,2
Grubość łodygi przy ziemi	mm	11,2	8,0	19,4	19,7	16,7	13,4	21,3	12,8	14,1	7,9	21,6	19,3
Grubość łodygi pod I-szym rozgałęzieniem	mm	8,4	5,0	11,1	18,1	9,9	7,9	12,3	11,8	9,5	4,3	13,6	19,6
Wysokość wiechy	cm	49,5	19,0	89,0	21,3	53,5	38,0	96,0	21,6	44,1	28,0	63,0	18,1
Maksymalna szerokość wiechy	cm	13,1	7,0	18,0	20,0	9,6	7,0	14,0	18,7	12,8	6,0	26,0	31,6
Masa wiechy	g	70,4	21,0	159,8	42,3	65,8	31,2	124,2	40,0	75,8	13,0	184,8	50,1
Plon nasion z jednej rośliny	g	12,5	3,7	30,6	49,6	12,4	5,5	23,5	38,2	17,7	3,9	44,3	48,6
Obsada roślin	szt/m ²	41,6	31,0	50,0	11,3	34,1	22,0	41,0	12,3	41,7	38,0	46,0	6,2

4.1.7. Masa wiechy

Ta ważna cecha z punktu widzenia plonowania charakteryzowała się bardzo dużą zmiennością. Na łanie doświadczalnym średnie wartości masy wiechy odmiany populacyjnej wynosiły 94,0 g (1995) i 81,2 g (1996), zaś odmiany Rawa w 1997 roku 179,2 g. Współczynniki zmienności zamykały się w przedziale 44,6-50,5 %,

przy czym najniższy dotyczył odmiany Rawa. Wartości minimalne i maksymalne zamieszczone w tabelach dokumentują tę zmienność liczbami bezwzględными. Podobną zmienność tej cechy stwierdzono na materiale pochodzącym z poletek doświadczalnych. Skrajne wartości współczynnika zmienności zamykały się w przedziale 34,4-55,4 %. Na doświadczeniu I, rośliny wytworzyły wiechy o najwyższej masie. Średnie wartości tej cechy dla odmiany populacyjnej wynosiły 153,5 g (1995 r) i 204,6 g (1996 r), zaś dla odmiany Rawa 156,4 g (1997 r). Natomiast na doświadczeniu IV odpowiednio 81,5 i 50,0 g oraz 47,0 g (Rawa). Stwierdzono systematyczny spadek masy wiech wraz ze wzrostem obsady roślin na jednostce powierzchni.

Tabela 5. Wartości cech biometrycznych roślin amarantusa. Doświadczenie poletkowe IV (wysiew nasion 2,8 kg/ha) w latach 1995-1997.

Table 5. Values of biometric features of amaranth plants. Plot experiment IV (sowing density of 2,8 kg/ha) carried out in the period 1995-1997.

Cecha	Jedn. miary	1995				1996				1997			
		Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)	Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)	Śr.	min.	max.	współ. zm.(%)
Wysokość rośliny	cm	155,0	123,0	183,0	9,4	145,2	127,0	160,0	5,4	155,1	139,0	173,0	4,4
Wysokość do I-go rozgałęzienia	cm	106,3	59,0	137,0	15,3	95,5	87,0	107,0	5,2	115,0	103,0	128,0	5,2
Grubość łodygi przy ziemi	mm	12,1	8,3	17,9	18,8	16,0	9,9	21,5	17,9	10,8	7,7	15,3	16,8
Grubość łodygi pod I-szym rozgałęzieniem	mm	8,4	5,1	13,6	21,0	8,9	5,3	13,1	20,3	7,4	5,3	10,4	15,2
Wysokość wiechy	cm	48,0	23,0	79,0	20,8	49,7	36,0	61,0	12,0	40,2	29,0	56,0	14,1
Maksymalna szerokość wiechy	cm	12,7	6,0	21,0	23,9	9,0	6,0	14,0	22,2	10,3	6,0	15,0	21,3
Masa wiechy	g	81,5	28,5	237,4	55,4	50,0	16,3	104,1	48,0	47,0	13,2	97,8	39,8
Plon nasion z jednej rośliny	g	13,4	3,6	41,5	55,5	11,5	2,8	25,6	45,9	12,5	3,8	26,5	41,4
Obsada roślin	szt/m ²	44,1	36,0	52,0	10,3	40,3	32,0	49,0	9,9	50,6	47,0	54,0	5,8

4.1.8. Plon nasion z rośliny

Plon nasion z jednej rośliny określany był przy ich aktualnej wilgotności, która w czasie pomiarów wynosiła średnio 36 %. Wartości podane w tabelach odnoszą się więc do takiego poziomu wilgotności. Natomiast w dalszej części

opracowania podano wysokość plonu z jednostki powierzchni w odniesieniu do 10 % wilgotności nasion tj. takiego poziomu, przy którym najlepiej przechowują się nasiona amarantusa. Rośliny pochodzące z łanu doświadczalnego wydały plon, który dla odmiany populacyjnej w roku 1995 wyniósł 15,2 g, a w roku 1996 15,9 g, natomiast jedna roślina odmiany Rawa w 1997 roku charakteryzowała się średnim plonem 30,3 g. Współczynnik zmienności dla tej cechy obejmował przedział od 42,6 % (odm. Rawa) do 53,9 %. Na poletkach najwyższy plon nasion z jednej rośliny uzyskano na doświadczeniu I (19,3-33,9 g), gdzie była najmniejsza obsada roślin. Współczynnik zmienności charakteryzujący tę cechę wynosił 33,9-55,7 %. Zbliżony więc był bardzo do wielkości jakie odpowiadały masie wiechy. Wraz ze wzrostem obsady roślin plon z jednej rośliny spadał, dochodząc do wartości 11,5 g oraz 13,4 g dla odmiany populacyjnej i 12,5 g dla odmiany Rawa w doświadczeniu IV. Dla materiału pochodzącego z doświadczeń II-IV współczynnik zmienności dla tej cechy obejmował przedział od 33,2 % do 55,5 %. Te skrajne wartości były więc niemal identyczne jak dla materiału z I doświadczenia.

4.1.9. Obsada roślin

Na łanie doświadczalnym w latach 1995-96 średnia obsada roślin była zbliżona i wynosiła 29,7-30,2 szt/m², zaś dla odmiany Rawa w 1997 roku była niższa (23,4 szt/m²). Współczynniki zmienności dla tej cechy obejmowały zakres od 14,1 do 17,9 %. Na poletkach doświadczalnych z różną gęstością wysiewu w roku 1995 obsada roślin wzrastała wraz z ilością wysianych nasion od 25,3 do 44,1 szt/m², zaś w roku 1996 od 14,5 do 40,3 szt/m². Obsada roślin odmiany Rawa w 1997 roku wzrastała od 20,8 do 50,6 szt/m². Zmienność wyrażona współczynnikami obejmowała przedział od 5,8 do 13,7 % w obrębie wszystkich kombinacji.

4.1.10. Plon nasion z 1 m²

Wielkość plonu z 1 m² odniesiono do wilgotności nasion 10 % $\pm$ 0,2 % tj. do wilgotności przy której najlepiej przechowuje się nasiona bez obawy o wystąpienie niekorzystnych procesów, mogących pogorszyć jakość surowca (Tabela 6). W latach 1995-96 plon nasion odmiany populacyjnej z łanu doświadczalnego wynosił odpowiednio 344 i 354 g/m², zaś odmiana Rawa plonowała znacznie wyżej w 1997 roku (532 g/m²). Na doświadczeniach plon ten wahał się od 317 g/m² (dośw. III-1996) do 553 g/m² (dośw. III-1997r). Odmiana populacyjna amarantusa spożywczego najwyżej plonowała na doświadczeniu IV w 1995 roku, (443 g/m²) i na doświadczeniu I w 1996 roku (363 g/m²). Odmiana Rawa natomiast na doświadczeniu III (553 g/m²).

W oparciu o te wyniki można przypuszczać, że gęstość wysiewu nasion odmiany populacyjnej (w ramach zastosowanych norm) nie ma jednoznacznego wpływu na wartości plonu, który być może uzależniony jest raczej

Tabela 6. Średni plon (g) z 1 m² w odniesieniu do wilgotności nasion 10 % ± 0,2 %**Table 6.** Average yield (g) from 1 m² in relation to seed moisture level 10% ± 0.2%.

Rok	Łan	Doświadczenia			
		I	II	III	IV
1995	344	366	348	390	443
1996	354	363	346	317	347
1997	532	529	524	553	474

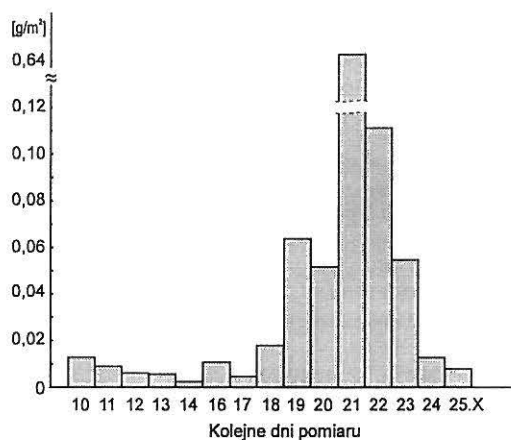
od przebiegu pogody w danym sezonie wegetacyjnym. Jednoroczne doświadczenia z odmianą Rawa mogą sugerować, że zbytne zagęszczanie roślin (dośw. IV) obniża plon z jednostki powierzchni.

Wzrastająca gęstość wysiewu nasion z jednej strony zagęszcza obsadę roślin, z drugiej zaś wyraźnie wpływa na kształtowanie się wiech. Przy niskiej obsadzie, rośliny wytwarzają duże wiechy z wieloma rozgałęzieniami, zaś przy wysokiej wytwarzają krótsze i węższe wiechy. Ten drugi wariant jest bardziej korzystny dla zbioru jednoetapowego.

4.2. Samoosypywanie nasion

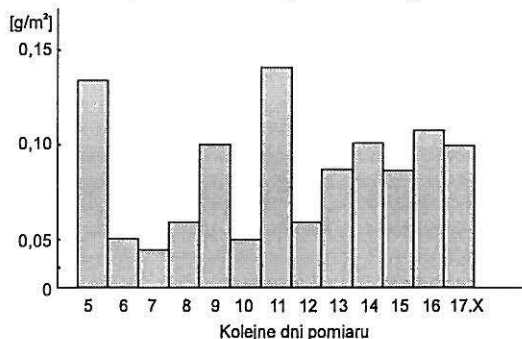
Amarantus należy do roślin, u których występuje samoosypywanie nasion w ostatnim okresie dojrzewania. Proces ten jest związany zarówno z nierównomiernym dojrzewaniem nasion w wieszce, jak też w poważnym stopniu z przebiegiem pogody, a przede wszystkim z występującymi wiatrami. W roku 1995 nastąpiły straty nasion w wyniku samoosypywania szczególnie w ostatnich dniach przed zbiorem (Rys. 5). Głównym powodem były bardzo silne wiatry (do 14 m/sek) w dniach 20-22.X. Łącznie w ciągu 15 dni pomiarów osypało się 10,15 g/m², czyli po przeliczeniu 101,5 kg/ha. W roku 1996 samoosypywanie nasion było umiarkowane i kształtowało się na niskim poziomie (Rys. 6). Duży wpływ na taki stan miały korzystne warunki meteorologiczne, a przede wszystkim brak silnych wiatrów, powodujących zwiększone osypywanie nasion. W efekcie w ciągu 13 dni przed zbiorem osypało się ogółem 1,09 g/m², co w przeliczeniu na 1 hektar dało wartość 10,9 kg, a więc stanowiło mało znaczące straty nasion, które były 10-krotnie niższe niż w roku poprzednim.

Odmiana Rawa (1997 roku) osypywała również nasiona w czasie dojrzewania (Rys. 7). Wpływ na to oprócz cech gatunkowych miały przede wszystkim deszcze i silny wiatr. Dlatego też nie było możliwości dokonywania pomiarów codziennie, sumując osypane nasiona z kilku dni w niektórych okresach. Z uwagi na wcześniejsze dojrzewanie odmiany Rawa w porównaniu z odmianą populacyjną, osypywanie nasion rozpoczęło się wcześniej niż w latach poprzednich (23.IX). Ogółem do momentu zbioru osypało się 11,35 g/m², co w przeliczeniu na 1 hektar daje wartość 113,5 kg.



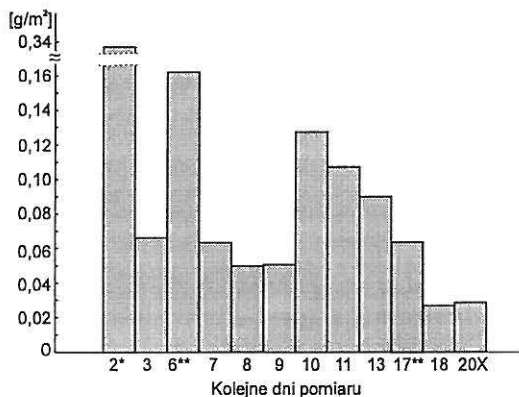
Rys.5. Samoosypywanie nasion amarantusa w 1995 roku. W czasie dojrzewania ospalo się ogółem 10,15 g/m² nasion.

Fig.5. Amaranth seed shedding in 1995. During maturation period in total 10.15g/m² fell out.



Rys.6. Samoosypywanie nasion amarantusa w 1996 roku. W czasie dojrzewania ospalo się ogółem 1,09 g/m² nasion.

Fig.6. Amaranth seed shedding in 1996. During maturation period in total 1.09g/m² fell out.



Rys.7. Samoosypywanie nasion amarantusa odm. Rawa w 1997 roku.

*pierwszy pomiar (2.X) obejmuje osypane nasiona w dniach 23.IX - 2.X, **pomiar obejmuje osypane nasiona w dniach 4-6.X, podobnie jak 17.X (z dni 14-17.X) i 20.X (z dni 19-20.X)

W czasie dojrzewania ospalo się ogółem 11,35 g/m² nasion.

Fig.7. Amaranth seed shedding var. Rawa in 1997.

* 1st measurement (2.X) covers all the seeds that fell out in the period 23.IX-2.X, ** the measurement covers all the seeds that fell out in the period 4-6.X, like at 17.X, (from 14-17.X), and 20.X (19-20.X).

During maturation period in total 11.35g/m² fell out.

Z uwagi na fakt, że w trzech latach badań wilgotność osypanych nasion przeliczono na 10 %, stwierdzono, że w roku 1995 straty wynikłe z samoosypywania stanowiły 2,87 % plonu, w 1996 roku 0,32 % i w roku 1997 2,14 %. Przy uprawie amarantusa należy liczyć się ze stratami ilościowymi nasion w wyniku samoosypywania, jednakże wielkość tych strat zależy przede wszystkim od przebiegu warunków pogodowych w okresie dojrzewania, a w dalszej kolejności od doboru odmiany.

4.3. Właściwości fizyczne pojedynczych nasion

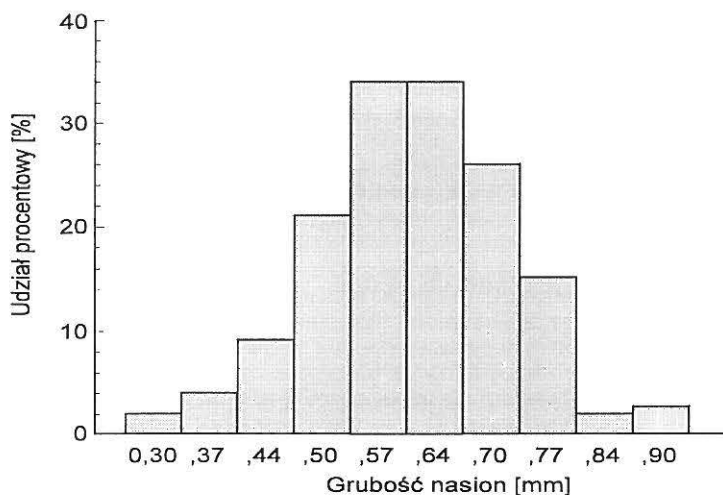
4.3.1. Cechy geometryczne

Nasiona amarantusa należą do najdrobniejszych spośród pozyskiwanych w Polsce nasion roślin uprawnych. Mają one kształt pogrubionej soczewki zbliżonej do kuli. Pomiary grubości tych nasion wykazały, że można je opisać rozkładem normalnym (Rys. 8, 9). Dla odmiany populacyjnej średnie wartości tej cechy w zależności od wilgotności kształtowały się w granicach od 0,58 do 0,67 mm, przy czym niższa wartość dotyczy wilgotności kondycyjnej (Tabela 7).

Tabela 7. Wartości średniej grubości nasion amarantusa odmiany populacyjnej i odmiany Rawa (mm) w zależności od wilgotności (%).

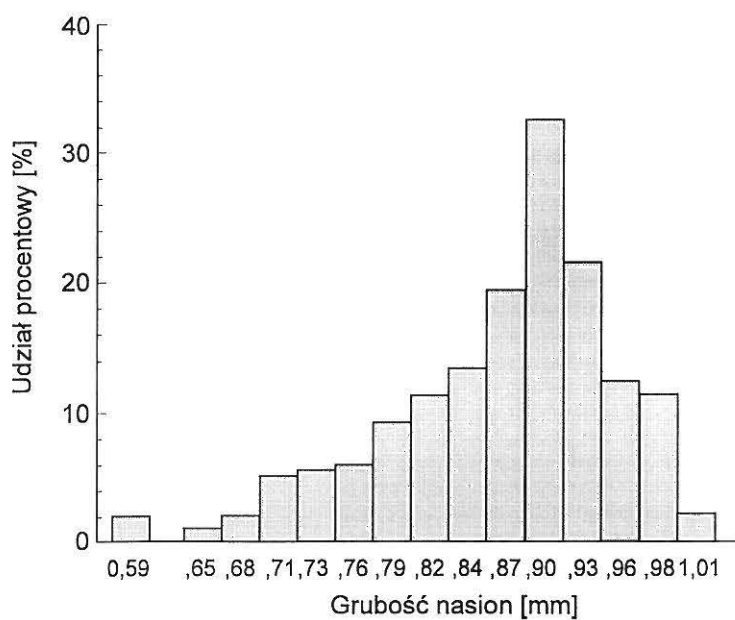
Table 7. Average thickness of amaranth seed layer (in mm) in population variety and var. Rawa in relation to seed moisture levels (%).

Odmiana populacyjna				Odmiana Rawa	
1995		1996		1997	
Wilgotność (%)	Grubość (mm)	Wilgotność (%)	Grubość (mm)	Wilgotność (%)	Grubość (mm)
37,4	0,64	31,1	0,67	35,4	0,93
34,8	0,64	31,0	0,67	34,3	0,94
33,5	0,63	29,0	0,66	33,0	0,94
33,0	0,63	27,8	0,66	31,7	0,93
31,4	0,63	27,4	0,65	30,9	0,95
29,9	0,62	27,0	0,64	29,6	0,94
25,8	0,62	26,9	0,64	27,2	0,92
24,8	0,61	26,8	0,64	26,2	0,93
22,7	0,61	26,4	0,64	25,4	0,92
21,2	0,61	26,3	0,63	24,3	0,91
19,9	0,61	26,0	0,63	23,3	0,92
17,6	0,60	25,6	0,63	21,4	0,92
15,5	0,60	23,4	0,62	19,7	0,87
12,5	0,60	22,8	0,62	18,5	0,89
10,6	0,59	21,7	0,62	17,3	0,89
8,6	0,59	19,9	0,60	15,8	0,87
6,3	0,59	18,7	0,60	15,2	0,86
		16,9	0,60	14,7	0,86
		14,7	0,59	13,8	0,86
		12,6	0,58	13,1	0,87
		10,6	0,58	12,5	0,88
		8,8	0,58	11,9	0,89
				11,1	0,87
				10,6	0,87
				9,0	0,85



Rys.8. Typowy rozkład grubości nasion amarantusa odmiany populacyjnej.

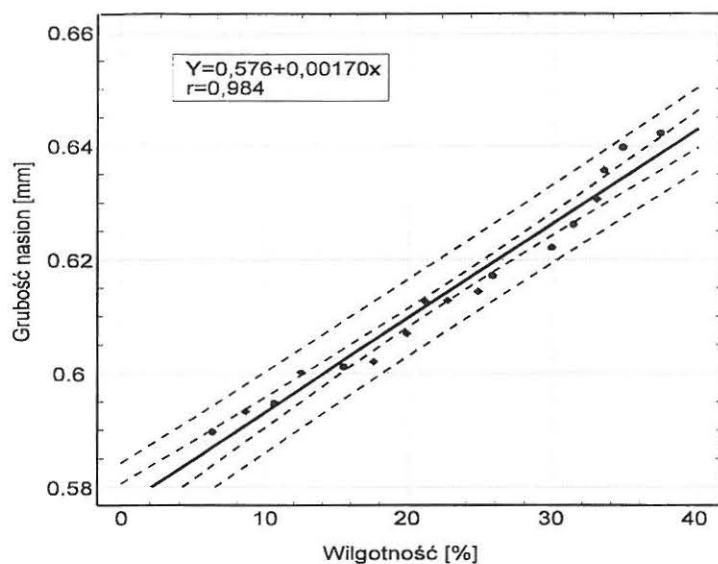
Fig.8. Typical distribution of amaranth seed thickness in population variety.



Rys.9. Typowy rozkład grubości nasion amarantusa odmiany Rawa.

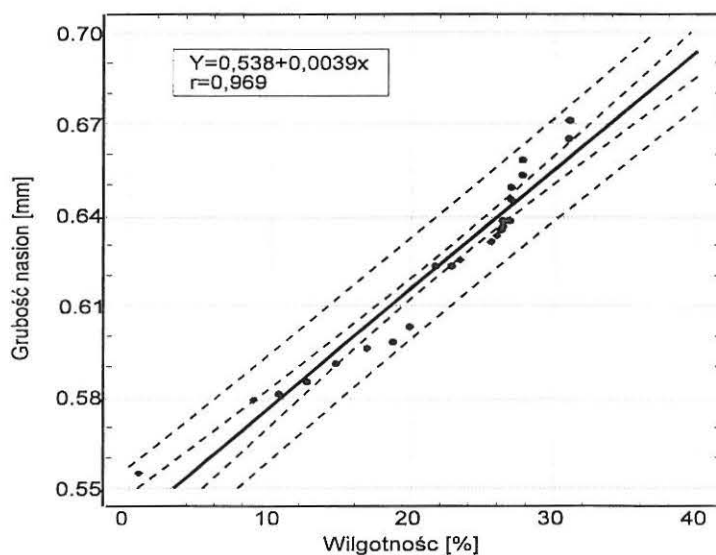
Fig.9. Typical distribution of amaranth seed thickness var. Rawa.

Odmiana Rawa posiadała nieco grubsze nasiona (0,85-0,93 mm). Dla zilustrowania tych zależności wyznaczono proste regresji (rys. 10-12).



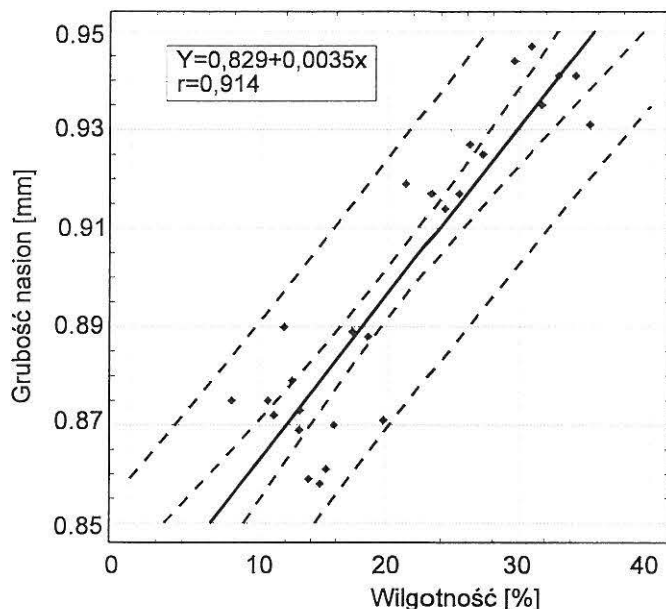
Rys.10. Zależność między wilgotnością a średnią grubością nasion amarantusa odmiany populacyjnej ze zbioru 1995 roku.

Fig.10. Relation between seed moisture and mean thickness of amaranth seeds in population variety from the 1995 harvest.



Rys.11. Zależność między wilgotnością a średnią grubością nasion amarantusa odmiany populacyjnej ze zbioru 1996 roku.

Fig.11. Relation between seed moisture and mean thickness of amaranth seeds in population variety from the 1996 harvest.



Rys.12. Zależność między wilgotnością a średnią grubością nasion amarantusa odmiany Rawa ze zbioru 1997 roku.

Fig.12. Relation between seed moisture and mean thickness of amaranth seeds variety Rawa from the 1997 harvest.

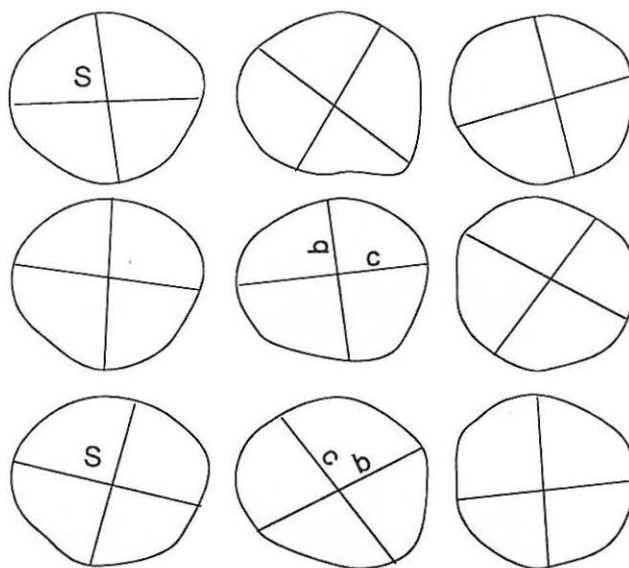
Wykresy te zawierają punkty pomiarowe, prostą regresji i dwie pary krzywych, wyznaczających dwa 95 % pasy (obszary) ufności. Węższy pas wyznacza przedział ufności średnich pomiaru w punktach o dowolnej współrzędnej na osi X (osi wilgotności), oddzielnie dla każdej współrzędnej. Obszar wilgotności wyznaczony przez krzywe zewnętrzne jest pasem dla całej linii regresji dla wartości przewidywanych. Bardzo wysokie współczynniki korelacji (0,914-0,984) świadczą o silnej zależności między wilgotnością, a grubością nasion amarantusa.

Szerokość, długość i masa nasion związana jest ściśle z cechami aerodynamicznymi, więc parametry te omówiono w kolejnym podrozdziale.

4.3.2. Cechy aerodynamiczne

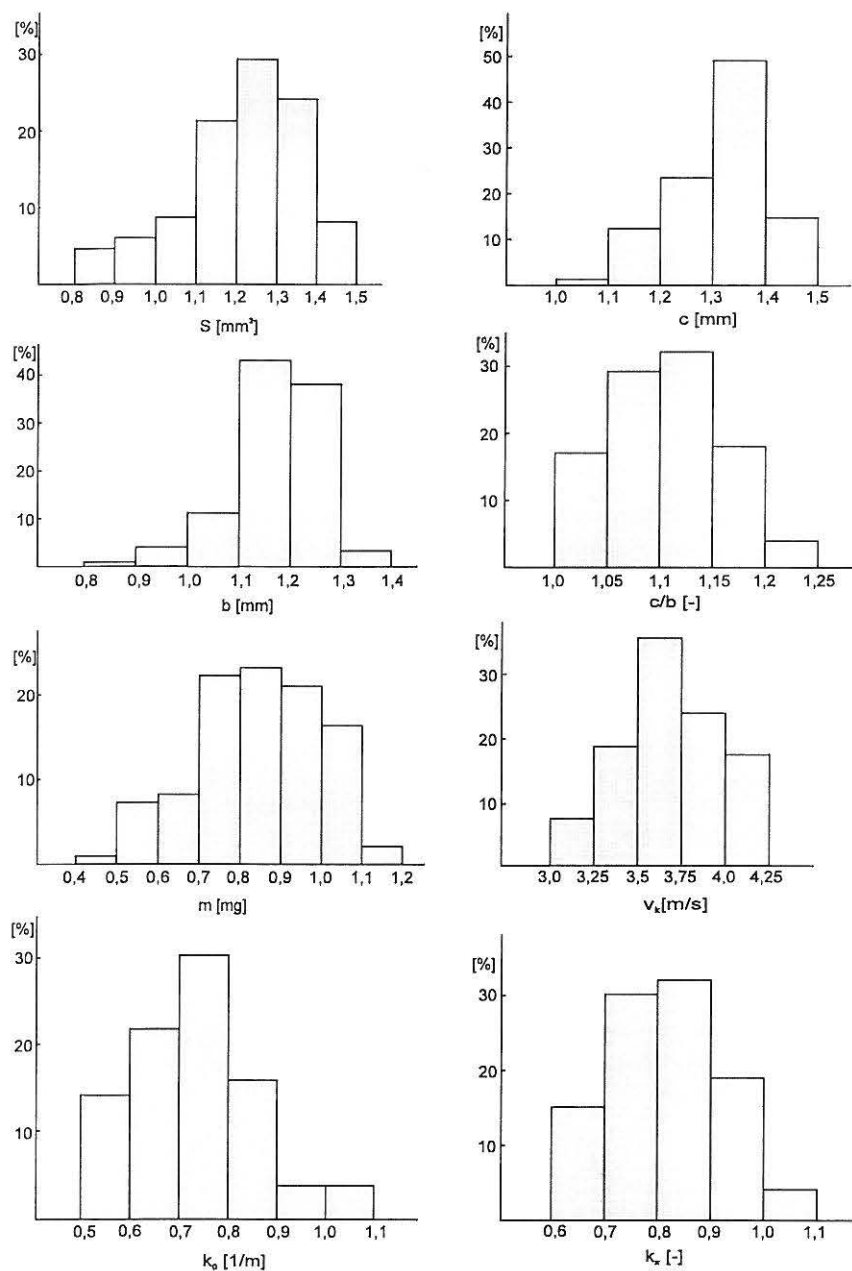
Na rysunku 13 przedstawiono przykładowe obrysy badanych nasion amarantusa. Najmniejsza zmierzona wartość powierzchni nośnej wynosiła $S_{\min}=0,81 \text{ mm}^2$, a największa $S_{\max}=1,47 \text{ mm}^2$. Średnia wartość tej powierzchni wynosi $S_{\text{sr}}=1,22 \text{ mm}^2$. W przedziale od $S=1,2 \text{ mm}^2$ do $S=1,3 \text{ mm}^2$ występuje 29 % nasion, a w przedziale $S=1,0 \text{ mm}^2$ do $S=1,4 \text{ mm}^2$ aż 82 % nasion (Rys. 14). Długość nasion wynosi od $c_{\min}=1,0 \text{ mm}$ do $c_{\max}=1,50 \text{ mm}$. Średnia długość wynosi $c_{\text{sr}}=1,34 \text{ mm}$. Wartość tę osiąga 72 % nasion (przedział 1,2 mm do 1,4 mm). Szerokość nasion jest trochę mniejsza i wynosi od $b_{\min}=0,9 \text{ mm}$ do $b_{\max}=1,35 \text{ mm}$. Średnia szerokość to $b_{\text{sr}}=1,19 \text{ mm}$ i ten rozmiar osiąga 92 % nasion. Nasiona amarantusa są kształtem zbliżone do kuli.

Świadczy o tym wartość stosunku długości do szerokości c/b . Wynosi ona od 1,0 do 1,25, a średnia wartość $c/b=1,11$. Masa średnia jednego nasienia wynosi $m_{sr}=0,807$ mg i większość nasion taką właśnie masą można charakteryzować. Najmniejsze nasienie miało masę $m_{min}=0,456$ mg, a największe $m_{max}=1,112$ mg. Najważniejsza cecha aerodynamiczna to prędkość krytyczna. Jej wartości skrajne to $v_{k-min}=3,10$ m/s i $v_{k-max}=4,25$ m/s. Średnia prędkość krytyczna wynosi $v_{k-sr}=3,69$ m/s. Jak na tak małe obiekty prędkość krytyczna jest dość duża. Potwierdza to niemal kulistość nasion i równocześnie sugeruje znaczną gładkość powierzchni. Odpowiednio współczynnik oporu aerodynamicznego wynosi od $k_{x-min}=0,6143$ do $k_{x-max}=1,0245$, a $k_{x-sr}=0,8137$. Współczynnik lotności kształtuje się od $k_{0-min}=0,5432$ do $k_{0-max}=1,0208$, a $k_{0-sr}=0,7296$. Prędkość krytyczna v_k zależy od powierzchni nośnej S , długości c i masy nasion m . Zależność tę opisują równania prostych (Rys.15). Współczynnik lotności k_0 również zależy prostoliniowo od powierzchni nośnej S , długości c i masy m . Zależności te opisują również równania prostych (Rys. 16).



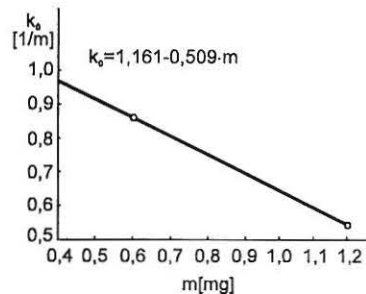
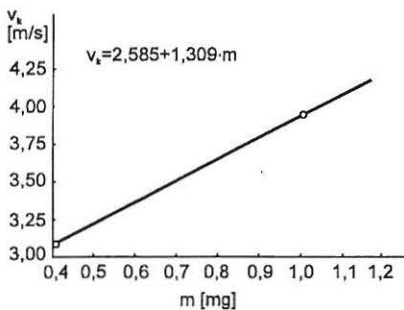
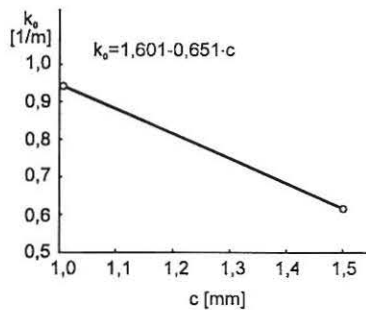
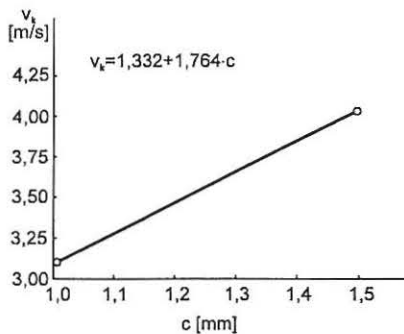
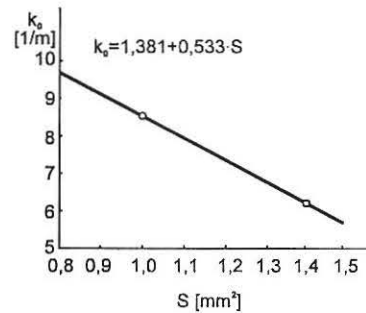
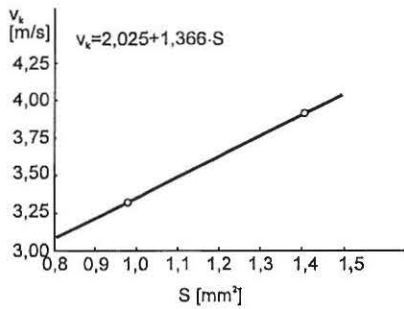
Rys.13. Powierzchnia nośna nasion amarantusa- $S[\text{mm}^2]$, b -szerokość [mm], c -długość [mm].

Fig.13. Bearing surface of amaranth seeds - $S[\text{mm}^2]$, b - width [mm], c - length [mm].



Rys.14. Rozkład powierzchni nośnej (S), długości (c), szerokości (b), współczynnika długości do szerokości (c/b), masy (m), krytycznych prędkości (v_k), współczynnika oporu aerodynamicznego (k_a), współczynnika lotności (k_o) nasion amarantusa.

Fig.14. Distribution of amaranth seeds' bearing surface (S), length (c), width (b), coefficient of length to width ratio (c/b), mass (m), critical velocity (v_k), coefficient of aerodynamic resistance (k_a) and volatility (k_o).



Rys.15. Zależność prędkości krytycznej (v_k) od powierzchni nośnej (S), długości (c) i masy (m) nasion amarantusa.

Fig.15. Relation between critical velocity (v_k) and bearing surface (S), length (c) and mass (m) of amaranth seeds.

Rys.16. Zależność współczynnika lotności (k_v) od powierzchni nośnej (S), długości (c) i masy (m) nasion amarantusa.

Fig.16. Relation between volatility coefficient (k_v) and bearing surface (S), length (c) and mass (m) of amaranth seeds.

4.3.3. Chropowatość powierzchni nasion

Chropowatość nasion, a więc wysokość nierówności może mieć wpływ na kształtowanie się innych cech nasion w masie, jak tarcie czy kąt zsypania i usypu, a także porowatość. Wysokość nierówności na powierzchni nasion amarantusa niezależnie od odmian i roku uprawy, a zależnie od wilgotności kształtowała się w przedziale od 3,45 do 5,61 μm . Zmiany chropowatości w zależności od wilgotności nasion przedstawiono na rysunku 17. Chropowatość nasion spadała wraz ze wzrostem wilgotności, co jest równoznaczne, że wraz z wysychaniem nasion po

zbiornie wysokość nierówności wzrastała. Zależność tą można opisać funkcją liniową, której postać podano na rysunku. Na uwagę zasługuje wysoki współczynnik korelacji ($-0,96$). Ogólnie nasiona amarantusa można uznać za dosyć „gładkie”, gdyż dla porównania chropowatość powierzchni ziarna pszenicy sięga $11\text{ }\mu\text{m}$.

4.3.4. Odporność nasion na obciążenia statyczne

Nasiona amarantusa należy uznać za bardzo odporne na obciążenia statyczne. W zależności od wilgotności i roku zbioru struktura nasion odmiany populacyjnej ulegała zniszczeniu przy średniej sile od $10,73\text{ N}$ (przy bardzo wilgotnych nasionach) do $70,61\text{ N}$ (przy suchych), natomiast do zniszczenia struktury nasion odmiany Rawa użyto średniej siły od $23,02$ do $52,28\text{ N}$ (Tabela 8-10). Wartości siły wzrastały wraz ze spadkiem wilgotności nasion. Odmiana populacyjna wykazała znacznie większy zakres zmienności tych wartości zarówno w ramach poszczególnych lat, jak i między latami w porównaniu z odmianą Rawa, która okazała się bardziej stabilna pod tym względem. Zależność między średnią siłą potrzebną do zniszczenia struktury nasion, a ich wilgotnością opisano równaniami

regresji i przedstawiono na rysunkach 18-20. Wysokie współczynniki korelacji ($-0,945$; $-0,984$) świadczą o dużym wpływie wilgotności na zmienność tej cechy.

Tabela 8. Wartości siły (N), odkształcenia (mm) i energii (mJ) charakteryzujące odporność nasion amarantusa odmiany populacyjnej na obciążenia statyczne (rok zbioru 1995).
Table 8. Values of deformation force (N) and energy (mJ) characteristic of amaranth seed (from population variety) resistance to static loading (harvest year 1995).

Wilgotność (%)	Siła (N)			Odkształcenie (mm)	Energia (mJ)
	śred.	min.	max.		
24,9	10,73	5,03	21,32	0,37	1,75
24,1	10,75	3,23	17,58	0,39	2,28
23,4	11,20	5,50	18,34	0,32	1,69
22,4	11,91	6,12	29,77	0,32	1,75
21,4	12,83	5,10	19,72	0,36	1,83
21,2	15,67	7,27	27,27	0,36	2,53
20,5	15,80	5,51	31,62	0,33	2,50
19,7	19,35	7,08	35,09	0,43	4,12
17,1	25,66	1,55	48,35	0,42	5,46
15,4	25,66	15,25	48,25	0,31	2,93
13,5	26,99	13,38	44,29	0,30	3,84
11,3	28,07	18,32	40,71	0,31	4,78
9,2	33,01	17,86	48,75	0,30	5,23
7,6	34,68	20,24	58,44	0,26	4,83
7,5	35,19	21,60	47,10	0,22	4,07
4,9	36,03	21,24	55,39	0,11	1,22

Tabela 9. Wartości siły (N), odkształcenia (mm) i energii (mJ) charakteryzujące odporność nasion amarantusa odmiany populacyjnej na obciążenia statyczne (rok 1996).
Table 9. Values of force (N), deformation (mm) and energy (mJ) characteristic of amaranth seed (from population variety) resistance to static loading (harvest year 1996).

Wilgotność		Siła (N)		Odkształcenie	Energia
(%)	śred.	min.	max.	(mm)	(mJ)
27,8	10,73	5,03	21,32	0,39	2,28
27,7	11,20	5,50	18,34	0,32	1,69
24,7	11,91	6,12	29,77	0,32	1,75
24,1	12,03	5,10	19,72	0,36	1,83
23,4	13,15	6,66	22,56	0,36	2,53
22,8	13,61	4,46	21,10	0,33	2,50
22,4	15,30	6,48	28,42	0,36	2,52
21,4	15,67	7,27	27,27	0,10	0,92
21,2	15,80	5,51	31,62	0,39	2,29
20,8	17,90	6,91	25,87	0,41	2,43
20,5	19,59	8,58	30,45	0,42	3,06
19,3	22,19	8,15	35,07	0,43	3,65
19,1	27,66	8,39	39,75	0,44	4,23
18,3	36,35	15,07	65,50	0,52	8,02
16,7	37,72	13,85	55,80	0,51	7,61
14,6	43,53	21,87	71,00	0,49	8,65
14,3	47,19	20,80	81,00	0,48	9,64
13,6	50,99	24,55	81,90	0,47	10,48
12,0	56,20	35,87	77,80	0,51	13,45
11,6	63,79	24,27	93,30	0,50	14,70
8,3	70,61	52,60	92,00	0,39	10,01

Odkształcenia nasion odmiany populacyjnej obejmowały zakres od 0,11 do 0,52 mm i tylko częściowo były związane z poziomem wilgotności i wartościami siły. Wynika to z faktu, że w czasie tych badań materiał pobierano losowo, a nasiona nie były frakcjonowane według wielkości (grubości czy szerokości). Pomimo prób nie udało się natomiast określić odkształcenia w wartościach względnych (zbyt małe nasiona). Podobnie kształtowały się wartości średnie energii, która powodowała zniszczenie struktury nasion. Dla odmiany populacyjnej wartości średniej energii obejmowały przedział od 0,92 do 14,70 mJ z tym, że mniejszy zakres (1,22-5,46mJ) zanotowano przy pomiarach nasion zebranych w 1995 roku.

Z kolei dla nasion odmiany Rawa wartości te wahały się od 4,57 do 11,01 mJ. Również w tym przypadku zakres zmienności był znacznie mniejszy niż dla

odmiany populacyjnej. Wiąże się to więc z niewielkim przedziałem wartości sił dla odmiany Rawa.

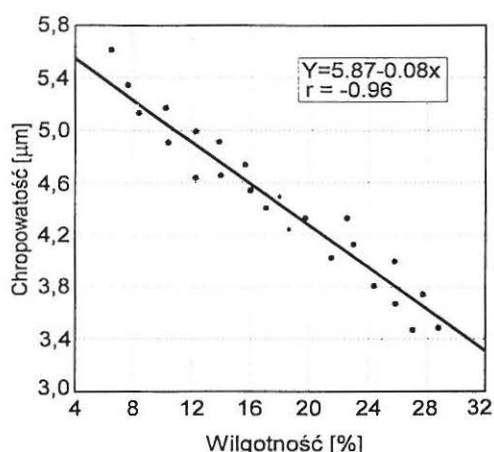
Tabela 10. Wartości siły (N), odkształcenia (mm) i energii (mJ) charakteryzujące odporność nasion amarantusa odmiany Rawa na obciążenia statyczne (rok zbioru 1997).

Table 10. Values of force (N) deformation (mm) and energy (mJ) characteristic of amaranth seed (var. Rawa) resistance to static loading (harvest year 1997).

Wilgotność (%)	Siła (N)			Odkształcenie (mm)	Energia (mJ)
	śred.	min.	max.		
26,3	23,02	11,39	42,34	0,62	6,30
23,3	25,08	13,99	42,62	0,52	6,21
22,3	27,39	12,09	42,84	0,47	7,83
19,2	27,44	11,26	52,20	0,46	8,61
18,9	27,84	13,35	64,55	0,45	11,01
17,9	27,87	6,85	63,30	0,45	6,08
17,3	29,20	15,55	50,90	0,43	4,57
16,7	37,24	14,60	63,50	0,42	7,61
15,3	38,21	18,60	67,35	0,41	9,83
14,1	38,23	16,77	68,67	0,40	5,23
12,5	40,81	17,45	69,20	0,40	4,79
10,2	49,20	16,15	102,30	0,40	5,14
6,8	52,28	30,00	90,70	0,31	5,78

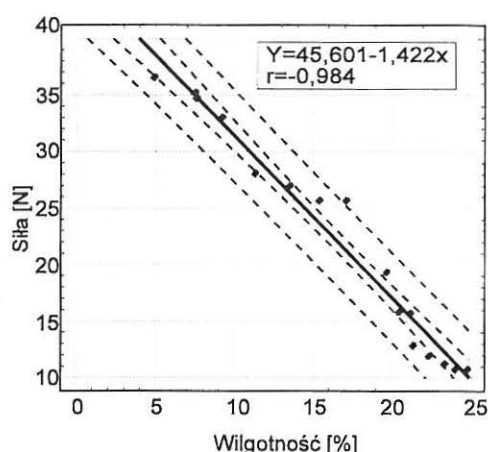
4.3.5. Mikrostruktura nasion

Zarodek nasienia amarantusa całkowicie w jednej płaszczyźnie otacza perispermę. Endosperma (bielmo) zajmuje tylko niewielką część dojrzałego nasienia na końcach liścieni i korzonka. Łupina nasienna jest zróżnicowana, bowiem w pobliżu zarodka (zarówno w części liścieni jak i korzonka) występuje w postaci dwóch wyraźnie rozdzielonych warstw. Decyduje to m.in. o odporności mechanicznej nasion w czasie transportu, przechowywania, jest barierą ochronną przed niekorzystnymi warunkami zewnętrznymi, drobnoustrojami w czasie przechowywania, a także wraz z hilum i znaczkami reguluje wymianę wilgoci (co z technologicznego punktu widzenia jest istotne np. podczas kondycjonowania). W spożywczym zastosowaniu amarantusa często usuwa się ją w procesie obłuskiwania nasion. Łupina nasienna otaczająca perispermę jest silnie sprasowana i występuje jako jednorodna chociaż i w niej można dopatrzeć się obecności kilku pojedynczych warstw. Przy obłuskaniu typu tarcowego może to niekiedy następczą pewnych trudności technologicznych.



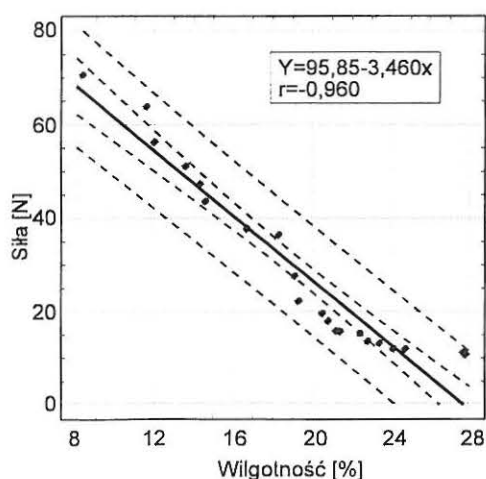
Rys.17. Zależność chropowatości powierzchni nasion amarantusa od wilgotności.

Fig.17. Relation between surface roughness of amaranth seed length and moisture level.



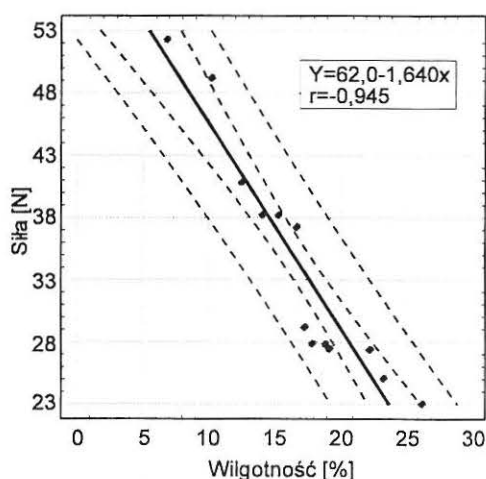
Rys.18. Zależność między wilgotnością a siłą powodującą zniszczenie struktury pojedynczych nasion amarantusa odmiany populacyjnej ze zbioru 1995 roku.

Fig.18. Relation between moisture level and the force causing destruction of individual seed structure in population variety from the 1995 harvest.



Rys.19. Zależność między wilgotnością a siłą powodującą zniszczenie struktury pojedynczych nasion amarantusa odmiany populacyjnej ze zbioru 1996 roku.

Fig.19. Relation between moisture level and the force causing destruction of individual seed structure in population variety from the 1996 harvest.



Rys.20. Zależność między wilgotnością a siłą powodującą zniszczenie struktury pojedynczych nasion amarantusa odmiany Rawa ze zbioru 1997 roku.

Fig.20. Relation between moisture level and the force causing destruction of individual seed structure variety Rawa from the 1997 harvest.

Dla fizycznych właściwości nasion amarantusa w masie istotne znaczenie może mieć charakter i budowa powierzchni. Obserwuje się wyraźne nierówności powierzchni. Charakterystyczne powierzchniowe cechy łupiny decydować będą o takich wartościach jak kąty zsypu i usypu (napełniania i opróżniania), współczynnikach tarcia o różne podłoża, a także o wartości gęstości usypnej. Zwiększenie chropowatości powierzchni decydować będzie o zmianie współczynników tarcia i gęstości usypnej.

Komórki zarodkowej części nasienia są wypełnione białkiem, występującym w postaci ciał białkowych w przeciwieństwie do komórek perispermy, które praktycznie w całości wypełnione są ściśle upakowanymi ziarenkami skrobi.

To zróżnicowanie zawartości składników chemicznych w poszczególnych częściach nasienia decyduje o odżywczej (żywieniowej) wartości frakcji otrzymanych z tych nasion po obróbce technologicznej. W przypadku wspomnianego procesu obłuskiwania uzyskuje się otręby (łupina nasienna i zarodek) które mogą zawierać aż 42 % białka, podczas gdy pozostała część tylko około 7 %. Większość składników odżywczych nasienia jest skoncentrowana w zewnętrznych warstwach za wyjątkiem skrobi, która praktycznie w całości występuje w środkowej części. Jest ona unikatowa pod względem wyrównania i wielkości 1-1,5 μm co rokuje jej zastosowanie w tych gałęziach przemysłu, które takie wymagania stawiają.

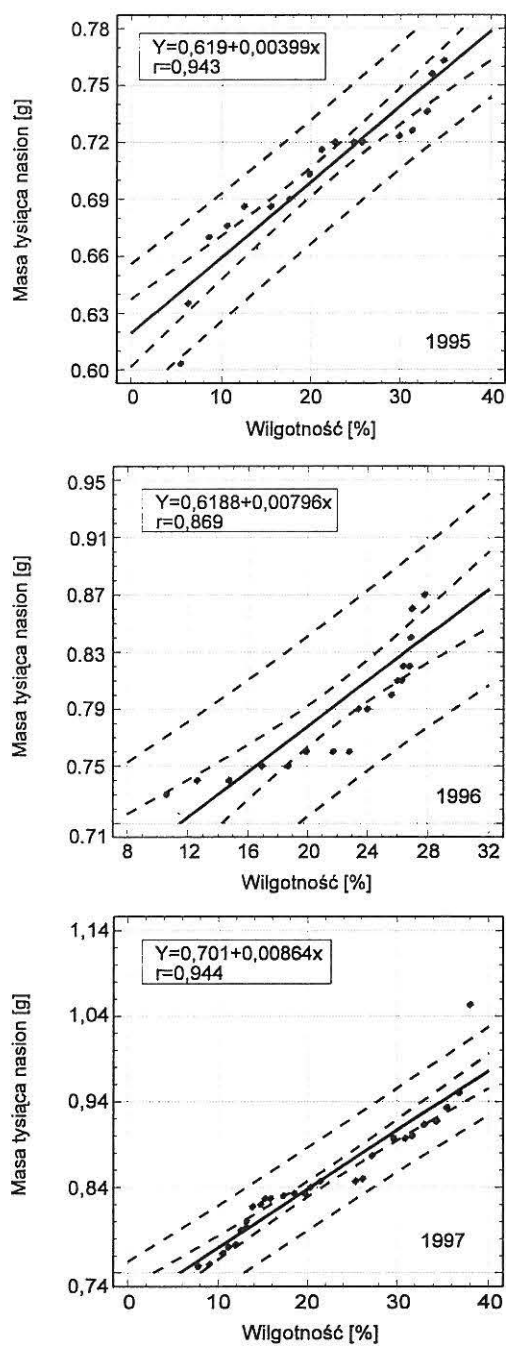
4.4. Właściwości fizyczne masy nasion

4.4.1. Masa 1000 nasion

Średnie wartości masy 1000 nasion w zależności od wilgotności zestawiono w Tabeli 11. Dla odmiany populacyjnej wartości te w roku 1995 obejmowały przedział od 0,603 g (nasiona bardzo suche) do 0,780 g (bardzo wilgotne), a w roku 1996 od 0,710 do 0,950 g. Zatem w 1996 roku nasiona tej odmiany były bardziej dorodne. Odmiana Rawa natomiast charakteryzowała się jeszcze bardziej dorodnymi nasionami. Średnie wartości zamykały się bowiem w zakresie od 0,747 do 1,053 g. Zależność między masą 1000 nasion a wilgotnością jest prawie liniowa, o czym świadczą proste regresji o wysokich współczynnikach korelacji $r=0,869-0,944$ (Rys. 21).

4.4.2. Gęstość nasion - masa 1 m³

Gęstość nasion zmieniała się w zależności od wilgotności i roku uprawy. Masa 1 m³ nasion odmiany populacyjnej w roku 1995 wynosiła od 707,2 kg/m³ (przy wilgotności nasion 37,4 %) do 842,0 kg/m³ (nasiona suche - 6,3 %) (Tabela 12). W roku 1996 masa nasion tej samej odmiany zamykała się w przedziale od 669,2 kg/m³ (wilgotność 31,1 %) do 800,0 kg/m³ (nasiona o wilgotności 8,8 %). Wartości tej cechy odmiany Rawa w 1997 roku również wzrastały wraz ze spadkiem wilgotności nasion od 653,3 do 802,0 kg/m³. Zależność gęstości od wilgotności można opisać równaniem regresji liniowej o wysokich ujemnych współczynnikach korelacji od $r=-0,891$ do $r=-0,978$ (Rys. 22)



Rys.21. Zależność między wilgotnością a masą 1000 nasion odmiany populacyjnej amarantusa, ze zbioru w latach 1995-96, oraz odmiany Rawa ze zbioru 1997r.

Fig.21. Relation between moisture level and 1000 amaranth seed mass in population variety from the 1995-96 harvest, and variety Rawa from the 1997 harvest.

Tabela 11. Średnie wartości masy 1000 nasion amarantusa (g) odmiany populacyjnej (1995-96) i odmiany Rawa (1997) w zależności od wilgotności (%).
Table 11. Mean weight of 1000 amaranth kernels (g) from population variety (1995-96) and var. Rawa (1997) in relation to seed moisture level (%).

Odmiana populacyjna				Odmiana Rawa	
1995		1996		1997	
Wilgotność (%)	MTN (g)	Wilgotność (%)	MTN (g)	Wilgotność (%)	MTN (g)
37,4	0,780	31,1	0,950	38,0	1,053
34,8	0,763	27,8	0,866	36,8	0,950
33,5	0,756	27,0	0,860	35,4	0,933
33,0	0,736	26,9	0,833	34,3	0,917
31,4	0,726	26,8	0,833	33,0	0,913
29,9	0,723	26,4	0,816	31,7	0,900
25,8	0,720	26,3	0,813	30,9	0,897
24,8	0,720	26,0	0,803	29,6	0,897
22,7	0,720	25,6	0,800	27,2	0,877
21,2	0,716	24,0	0,786	26,2	0,850
19,9	0,703	23,4	0,756	25,4	0,847
17,6	0,690	22,8	0,756	21,4	0,847
15,5	0,686	21,7	0,753	20,3	0,840
12,5	0,686	19,9	0,753	19,7	0,833
10,6	0,676	18,7	0,750	18,5	0,833
8,6	0,670	16,9	0,740	17,3	0,830
6,3	0,635	14,7	0,736	15,8	0,827
5,5	0,603	12,6	0,730	15,2	0,827
		10,6	0,696	14,7	0,820
		8,9	0,690	13,8	0,817
				13,1	0,800
				13,0	0,793
				12,5	0,790
				11,9	0,773
				11,1	0,770
				10,5	0,763
				9,0	0,750
				7,8	0,747

4.4.3. Porowatość masy nasion

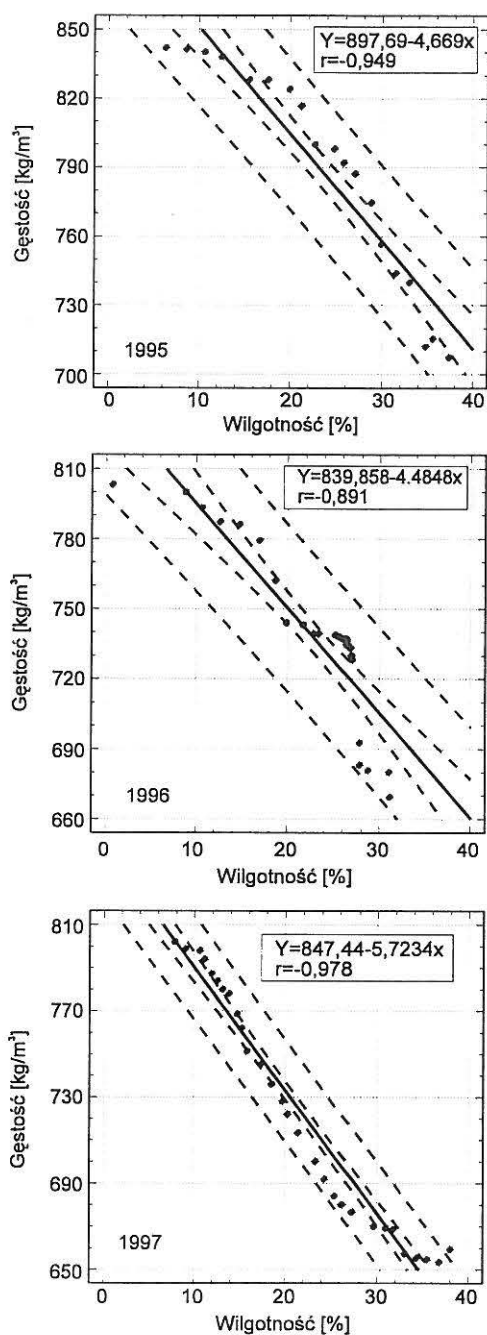
Jest to cecha, która odgrywa bardzo ważną rolę w procesie suszenia nasion, co jest szczególnie ważne dla amarantusa, zbieranego późną jesienią, a więc w okresie krótkiego dnia, niskiej temperatury powietrza i wysokiej wilgotności.

Masa nasion po zbiorze może mieć powyżej 35 % wilgotności. Przy suszeniu takiego materiału ważny jest przepływ czynnika suszącego przez warstwę nasion i opór na jaki może napotkać. Dlatego znajomość zmienności porowatości jest w tym przypadku bardzo istotna.

Tabela 12. Średnie wartości gęstości nasion amarantusa (kg/m^3) w zależności od wilgotności (%).
Table 12. Mean values of amaranth seed density (kg/m^3) in relation to seed levels (%)

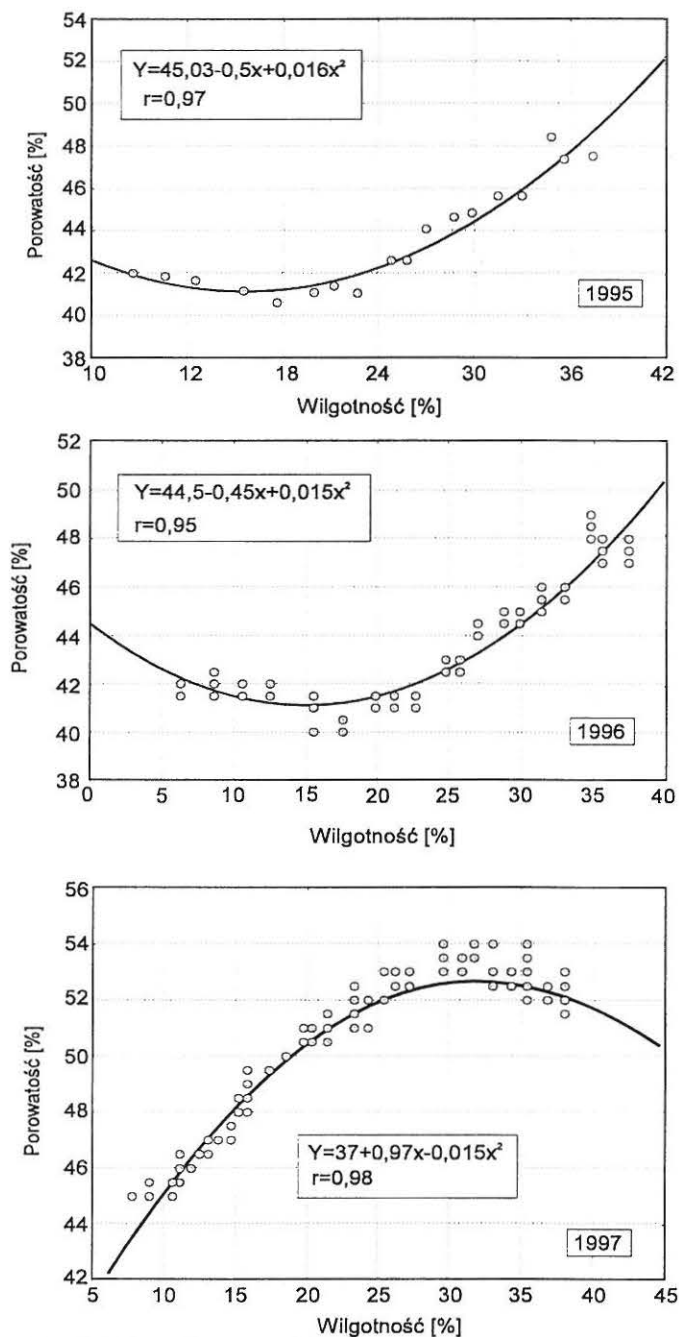
Odmiana populacyjna				Odmiana Rawa	
1995		1996		1997	
Wilgotność (%)	kg/m^3	Wilgotność (%)	kg/m^3	Wilgotność (%)	kg/m^3
37,4	707,33	31,1	669,20	38,0	659,33
35,6	715,33	31,0	680,00	36,8	653,33
34,8	712,00	28,7	680,80	35,5	654,67
33,0	740,00	27,8	683,20	34,3	655,33
31,5	744,00	27,0	728,00	33,0	657,33
29,9	756,67	26,9	730,00	31,7	668,67
28,8	774,67	26,8	733,20	30,9	669,33
27,0	787,33	26,6	734,00	29,6	670,00
25,8	792,00	26,4	734,80	27,2	676,67
24,8	798,00	26,3	737,20	26,2	680,00
22,7	800,00	26,0	737,20	25,4	684,00
21,2	816,67	25,6	738,00	24,3	692,00
19,9	824,00	25,2	738,80	23,3	700,00
17,6	828,00	23,4	739,20	21,4	713,33
15,5	828,00	22,8	739,20	20,3	722,00
12,5	838,00	21,7	743,20	19,7	728,00
10,6	840,00	19,9	744,00	18,5	736,00
8,6	841,33	18,7	762,00	17,3	745,33
6,3	842,00	16,9	779,20	15,8	751,33
		14,7	786,00	15,2	762,00
		12,6	787,20	14,7	768,67
		10,6	793,20	13,8	778,00
		8,8	800,00	13,1	780,00
				12,5	784,00
				11,9	787,33
				11,1	794,00
				10,6	798,00
				9,0	798,67
				7,8	802,00

Dla odmiany populacyjnej najniższe wartości porowatości wynoszą ok. 40 %, a najwyższe sięgają 48,5 % (przy nasionach bardzo wilgotnych). Dla odmiany Rawa skrajne wartości obejmują przedział od 45,0 do 53,5 %. Zmienność tej cechy w zależności od wilgotności nie ma charakteru liniowego. Dla odmiany populacyjnej jest to wklęsła krzywa regresji o najniższych wartościach w granicach 15-18 % wilgotności nasion, niezależnie od roku zbioru (Rys.23). Wartości najwyższe związane są z najwyższą wilgotnością nasion. Prawidłowy dobór krzywych regresji określają wysokie współczynniki korelacji (0,95 i 0,97). Zmienność porowatości masy nasion odmiany Rawa w zależności od wilgotności przebiega nieco inaczej i jest opisana wypukłą krzywą regresji (Rys. 23). Najniższe wartości związane są z nasionami suchymi, a najwyższe występują w granicach 30-35 % wilgotności nasion, po czym krzywa nieco opada. Dobór krzywej potwierdza bardzo wysoki współczynnik korelacji (0,98). Analizując wyniki badań z 3 lat można przypuszczać, że zmienność porowatości w zależności od wilgotności związana jest z cechami odmianowymi.



Rys.22. Zależność między gęstością a wilgotnością nasion amarantusa odmiany populacyjnej, ze zbioru w latach 1995-96, oraz odmiany Rawa ze zbioru 1997r.

Fig.22. Relation between density and amaranth seed moisture level in population variety from the 1995-96 harvest, and variety Rawa from the 1997 harvest.



Rys.23. Zależność porowatości masy nasion amarantusa odmiany populacyjnej od wilgotności ze zbioru w latach 1995-96, oraz odmiany Rawa ze zbioru 1997r.

Fig.23. Relation between porosity of the amaranth seed mass population variety and moisture level from the 1995-96 harvest, and v. Rawa from the 1997 harvest.

4.4.4. Tarcie zewnętrzne

Tarcie nasion o powierzchnię z ocynkowanej blachy stalowej przeprowadzono dla różnych poziomów wilgotności. Kąt tarcia spadał wraz z wysychaniem nasion od $15,1^\circ$ do $7,2^\circ$, a zmienność ta została opisana prostą regresji (Rys. 24), przy bardzo wysokim współczynniku korelacji (0,98). Malał również z wilgotnością współczynnik tarcia od 0,27 do 0,13. Cecha ta nie wykazywała istotnego różnicowania między odmianami i latami badań.

4.4.5. Tarcie wewnętrzne

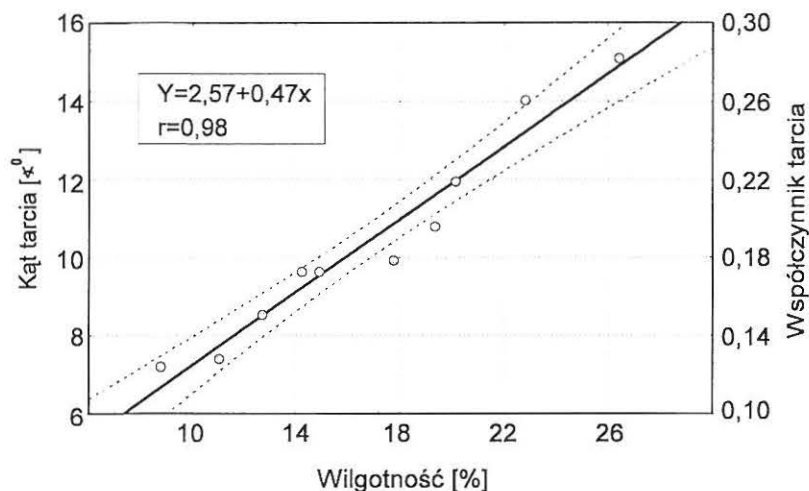
Podobnie jak przy ocenie tarcia zewnętrznego, tarcie wewnętrzne nasion amarantusa nie wykazywało istotnego różnicowania między odmianami i latami, jednakże jego charakter był nieco zróżnicowany. Kąt tarcia spadał wraz z utratą wilgotności przez nasiona w zakresie od $21,8^\circ$ do $17,3^\circ$, ale zależność ta została opisana krzywą regresji (Rys.25), o współczynniku korelacji $r=0,91$. Wraz z wilgotnością malał także współczynnik tarcia od 0,42 do 0,30.

4.4.6. Kąt zsyphu nasion

Zmienność wartości kątów zsyphu i usyphu nasion jest bardzo istotna w ustaleniu technologii różnych procesów związanych z suszeniem, czyszczeniem, transportem, przeładunkiem i składowaniem. Kąt zsyphu nasion amarantusa zależy przede wszystkim od ich wilgotności. Dla odmiany populacyjnej wartości tego parametru wahają się od $24,8^\circ$ do $40,0^\circ$ niezależnie od roku zbioru. Przebieg zmienności tej cechy w zależności od wilgotności nasion opisują wklęsłe krzywe regresji (Rys. 26a,b). Mają one bardzo podobny charakter. Nasiona odmiany Rawa zachowują się inaczej. W tym przypadku zależność tą opisuje prosta regresji (Rys. 26c), a skrajne wartości - wzrastają wraz z wilgotnością - obejmują przedział od $35,0^\circ$ do $56,0^\circ$. W stosunku do odmiany populacyjnej nastąpiło więc przesunięcie kąta w kierunku wyższych wartości.

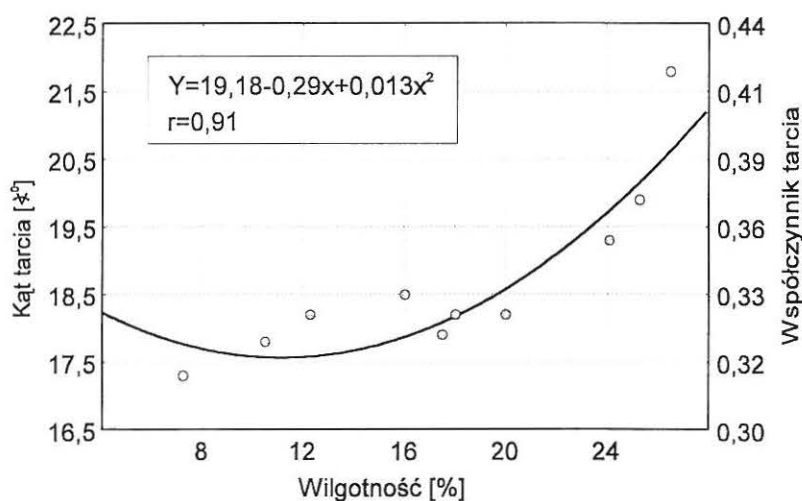
4.4.7. Kąt usyphu nasion

Charakter przebiegu krzywych regresji opisujących zależność kąta usyphu nasion od wilgotności jest podobny jak przy ocenie kąta zsyphu (Rys. 27). Dla odmiany populacyjnej skrajne wartości obejmują zakres od $23,5^\circ$ do $41,0^\circ$ i można przyjąć, że różnice między latami są nieznaczne jeśli chodzi o charakter zmienności. Dla odmiany Rawa zależność ta przebiega inaczej i podobnie jak przy kącie zsyphu opisana jest prostą regresji, a więc wraz z wysychaniem nasion wartość kąta spadała. Skrajne wartości dla tej odmiany zamykają się w przedziale od $38,0^\circ$ do $53,3^\circ$.



Rys.24. Zależność między wilgotnością a tarcie zewnętrzne nasion amarantusa.

Fig.24. Relation between moisture level and outer friction of amaranth seeds.

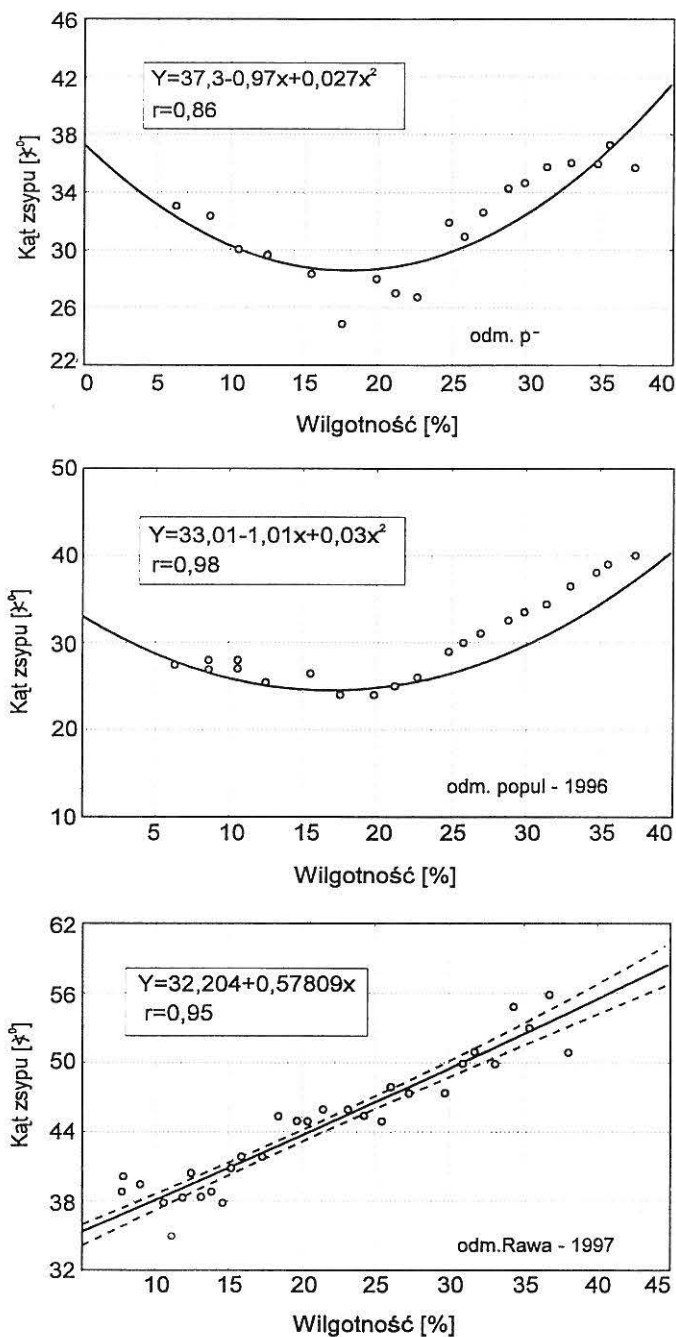


Rys.25. Zależność między wilgotnością a tarcie wewnętrzne nasion amarantusa.

Fig.25. Relation between moisture level and inner friction of amaranth seeds.

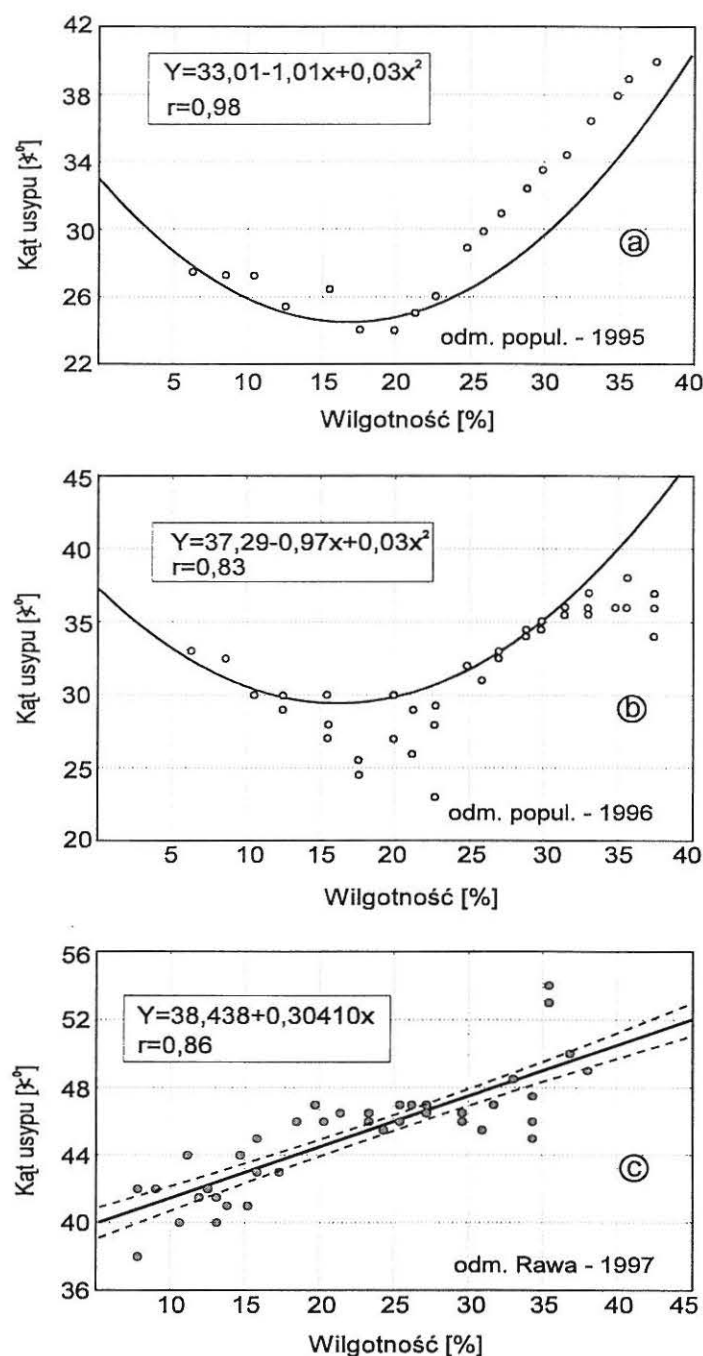
4.4.8. Cechy reologiczne

W wyniku przeprowadzonego eksperymentu stwierdzono znaczne różnice w przebiegu relaksacji naprężeń w zależności od zawartości wilgoci. Próbki o wilgotności pomiędzy 34,8 % i 15 % wykazywały gwałtowny spadek wartości siły reakcji w ciągu pierwszych kilkunastu sekund po deformacji wstępnej.



Rys.26. Zależność kąta zsypania nasion amarantusa odmiany populacyjnej od wilgotności (zbiór 1995-96r) oraz odmiany Rawa (zbiór 1997r).

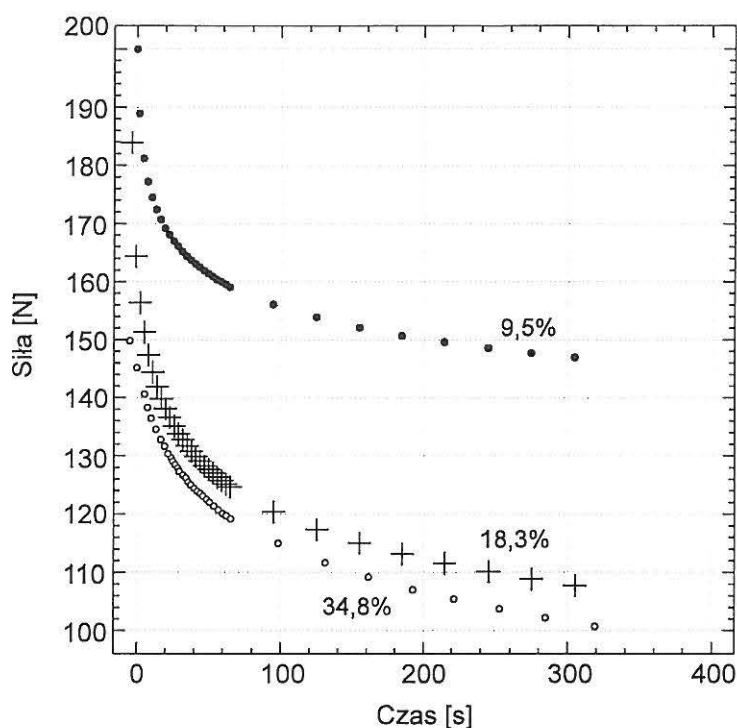
Fig.26. Relation between the angle of chute of amaranth seeds in population variety and moisture level (harvest year 1995-96) and v. Rawa from the 1997 harvest.



Rys.27. Zależność kąta usypu nasion amarantusa odmiany populacyjnej od wilgotności (zbiór 1995-96r), oraz odmiany Rawa ze zbioru 1997r.

Fig.27. Relation between the angle of repose of amaranth seeds in population variety and moisture level (harvest year 1995-96) and var. Rawa (from the 1997 harvest).

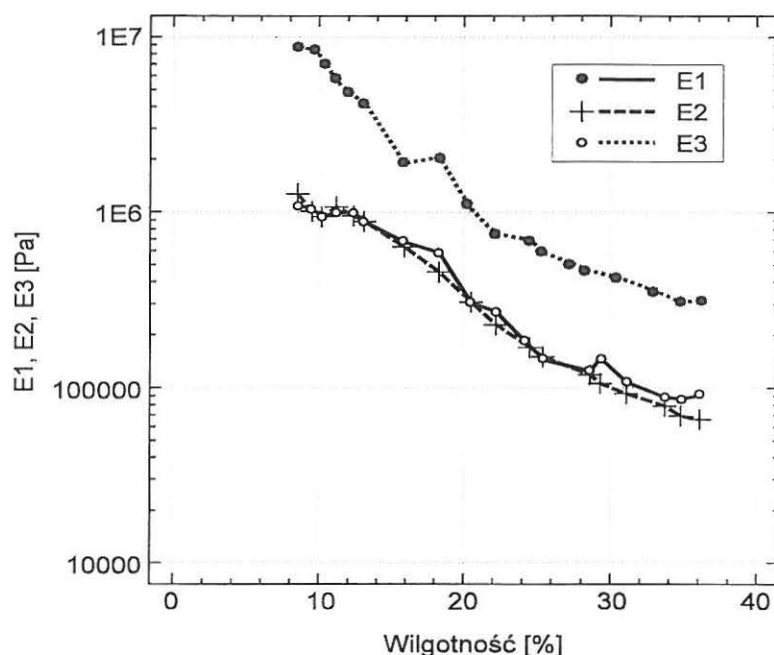
Taki przebieg zależności siły od czasu przypomina reakcję cieczy. Zdecydowanie wyższa wartość pozostałości sprężystej dla próbek o zawartości wilgoci poniżej 15% świadczy o pozyskiwaniu przez badany materiał cech ciała stałego (Rys. 28). Zaobserwowano silną zależność pomiędzy parametrami E_i przyjętego modelu z wilgotnością (Rys. 29).



Rys.28. Przebieg siły w funkcji czasu dla trzech różnych wilgotności próbek nasion amarantusa.

Fig.28. Run of the force curve as a function of time for three different moisture levels of amaranth seed samples.

Jednocześnie czasy relaksacji t_r dla poszczególnych gałęzi modelu były niezależne od wilgotności (Rys.30). Niezmiennność wartości czasów relaksacji świadczy o zmniejszeniu się wartości lepkości dynamicznej w przyjętym modelu wraz ze wzrostem zawartości wilgoci. Silną zależność od wilgotności wykazywały pozostałe parametry wyznaczone w eksperymencie jak energia deformacji i maksymalne odkształcenie (Rys. 31 i 32). Dziesięciokrotny spadek wartości odkształcenia próbek w zakresie badanej wilgotności przy stałej prędkości odkształcenia świadczy o dziesięciokrotnym spadku wartości czasu wstępnej deformacji. Zjawisko to uzasadnia zastosowanie procedury matematycznej uwzględniającej relaksację zachodzącą już podczas wstępnej deformacji próbek



Rys.29. Zależność parametrów trzech elementów modelu Maxwella od wilgotności.

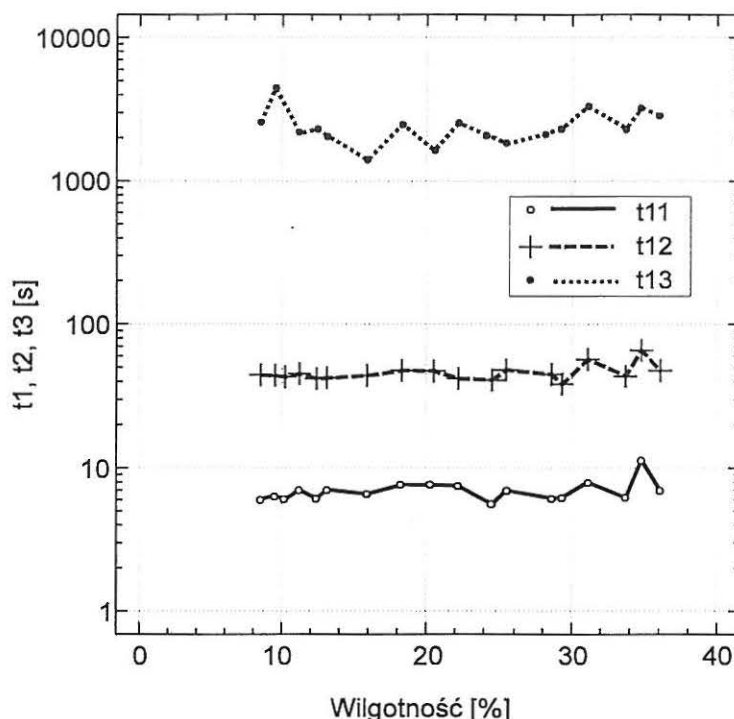
Fig.29. Relation between parameters of three different elements of Maxwell's model and moisture level.

. Wyniki eksperymentu wskazują na silną zależność maksymalnej energii i wartości odkształcenia od zawartości wilgoci w próbkach. Parametry E_i , związane ze sprężystością modelu, był skorelowany z zawartością wilgoci w mniejszym stopniu.

Uzyskane wyniki świadczą o dużej zmienności badanego materiału i konieczności precyzyjnego ustalania zakresu wartości parametrów kwalifikujących nasiona do obróbki technologicznej.

4.5. Cechy jakościowe

Amarantus należy w Polsce do nietypowych roślin uprawnych. Duże zainteresowanie tą rośliną z punktu widzenia cech użytkowych jest w pełni uzasadnione i poparte już wieloma doniesieniami naukowymi. Zbadana mikrostruktura nasion (rozdz. 5.3.5) świadczy o innej budowie nasienia niż znanych ziarniaków podstawowych zbóż, a duża wytrzymałość na obciążenia mechaniczne (rozdz. 5.3.4) może te nasiona kwalifikować do „bardzo twardych”, pomimo odstającej dwuwarstwowej łupiny. Przeprowadzone testy rozdrabniania nasion potwierdziły te fakty.

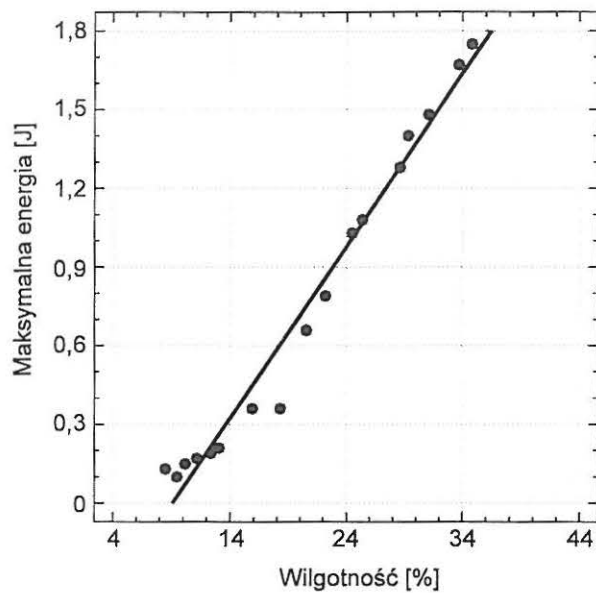


Rys.30. Zależność stałych czasowych trzech elementów modelu Maxwella od wilgotności.

Fig.30. Relation between time-constants of three elements of Maxwell's models and moisture levels.

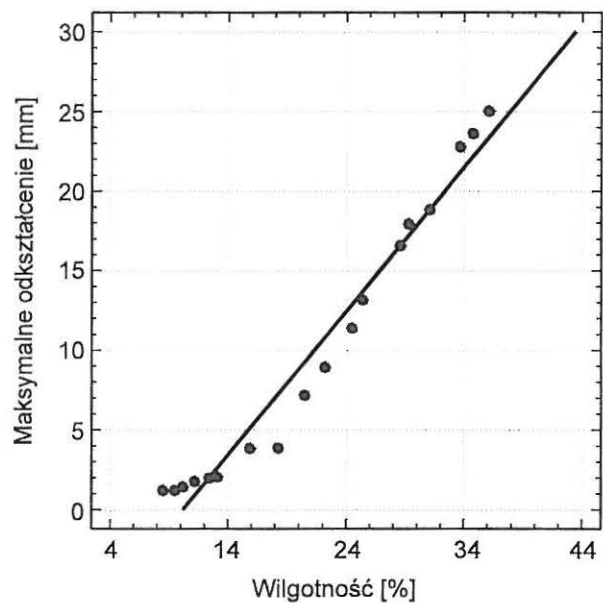
Energia właściwa netto użyta przez rozdrabniacz odpowiadała wartości 9,8 Wh/kg nasion. Uzyskaną mąkę (mlewo pełnonasienne) poddano analizie granulometrycznej przez dyfrakcję w świetle laserowym w aparaturze Malvern Instruments. Uzyskany rozkład cząsteczek (Rys. 33) świadczy, że uzyskano 32 klasy rozmiarów cząsteczek w zakresie 4-1350 μm . Mediana (190 μm) odpowiada 50% krzywej skumulowanej procentów, wykreślonej we współrzędnych logarytmicznych. Kształt histogramu jest jednomodalny z niewielkim pasmem drobnych cząstek między 4 a 40 μm . W tym zakresie nie występują pojedyncze ziarenka skrobi, których wielkość nie przekracza 1,5 μm .

Analiza granulometryczna rozdrobnionych nasion amarantusa została przeprowadzona dzięki współpracy naukowej z placówką INRA w Nantes (Francja). Oprócz badania właściwości fizycznych nasion amarantusa pod kątem jakości surowca, określono również skład chemiczny nasion (Tabela 13). Analiza podstawowego składu chemicznego wykazała, że nasiona amarantusa są zasobniejsze w białko, tłuszcz i błonnik pokarmowy od ziaren zbóż.



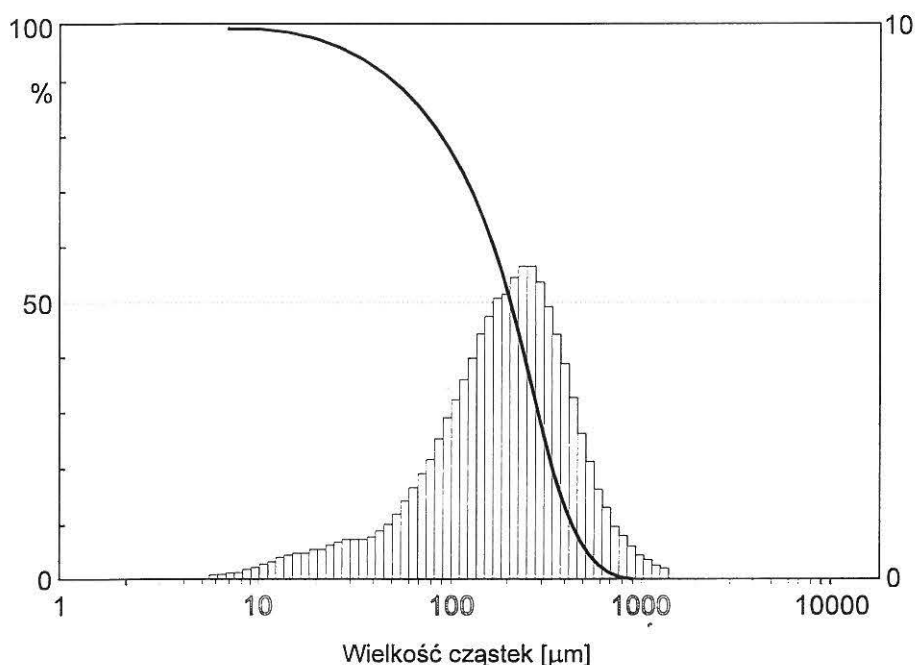
Rys.31. Zależność maksymalnej energii od wilgotności.

Fig.31. Relation between maximum energy and moisture level.



Rys.32. Zależność maksymalnego odkształcenia od wilgotności.

Fig.32. Relation between maximum deformation and moisture level.



Rys.33. Rozkład granulometryczny mąki z nasion amarantusa.

Fig.33. Granulometric distribution of flour made of amaranth seeds.

Tabela 13. Skład chemiczny nasion amarantusa i wartości liczb kwasowej i nadtlenkowej tłuszczu wyekstrahowanego z tych nasion.

Table 13. Chemical composition of amaranth seeds and the value of acid and peroxide numbers of fat extracted from these seeds.

Składnik	Zawartość
Woda	9,2 [g/100g]
Białko ogółem(N x 6,25)	15,43 [g/100g]
Tłuszcz	6,6 [g/100g]
Błonnik pokarmowy:	
- całkowity (TDF)	9,2 [g/100g]
- frakcja nierozpuszczalna (JDF)	5,8 [g/100g]
- frakcja rozpuszczalna (SDF)	3,4 [g/100g]
Fosforany inozytolu:	
- suma	21,76 [mg/g]
- InsP6	21,63 [mg/g]
- InsP5	0,04 [mg/g]
- InsP4	-
- InsP3	0,09 [mg/g]
Liczba kwasowa (LK)	5,5
Liczba nadtlenkowa (LOO)	3,2

Zawartość tych składników wynosiła odpowiednio 15,43; 6,6 i 9,2 g/100 g. Podobną ilością białka i błonnika pokarmowego oraz nieco niższą tłuszczu charakteryzują się otręby pszenne. Związki rozpuszczalnej frakcji błonnika, którym przypisuje się bez względu na źródło pochodzenia właściwości prozdrowotne stanowiły około 37 % całkowitego błonnika pokarmowego. Na szczególną uwagę zasługuje wysoka zawartość fosforanów inozytylu w badanym materiale, bowiem ostatnio ukazuje się coraz więcej informacji na temat korzystnych właściwości tych związków. W badanych nasionach fosforany inozytolu były reprezentowane głównie przez formę InsP6. Pozostałe niższe formy, które są szczególnie ważne z punktu widzenia żywieniowego stanowiły nieznaczny udział sumy fosforanów inozytolu wynoszący 0,18 % dla InsP5 i 0,41 % dla InsP3, natomiast nie stwierdzono obecności formy InsP4. Ogólna zawartość fityn w analizowanym materiale była zbliżona do zawartości tych związków w nasionach oleistych i około dwukrotnie wyższa w porównaniu z ziarnami zbóż.

W celu określenia jakości wyekstrahowanego z nasion tłuszczu oznaczono w nim liczbę kwasową (LK) i liczbę nadtlenną (LOO). Pomimo niskiej wilgotności nasion wynoszącej 9,2 % wartość liczby kwasowej była stosunkowo wysoka i wynosiła 5,5, co wskazuje na zmiany hydrolityczne tłuszczu w badanym materiale. Liczba nadtlenna, będąca wykładnikiem stopnia utlenienia tłuszczu mieściła się w normie dla jadalnych tłuszczów roślinnych i wynosiła 3,2. Należy sądzić, że jakość nasion pod tym względem zależy przede wszystkim od właściwego i terminowego procesu suszenia i doczyszczania bezpośrednio po zbiorze.

5. AGROFIZYCZNE PODSTAWY TECHNOLOGII ZBIORU AMARANTUSA

Przeprowadzone badania cech biometrycznych roślin, właściwości fizycznych nasion, a także próby technologiczno-polowe pozwoliły na przeanalizowanie różnych wariantów dla zaproponowania takich rozwiązań, które by prowadziły do maksymalnego ograniczenia strat ilościowych nasion w czasie zbioru.

Kombajny używane w Polsce (i nie tylko w naszym kraju) z zasady są przystosowane do zbioru zbóż, a po nieznacznych adaptacjach do zbioru rzepaku i innych roślin nie zbożowych. Założono więc przy konstrukcji tych maszyn, że zbierany materiał roślinny będzie w miarę suchy, a jego najwyższa wilgotność nie przekroczy 20-25 %. Rośliny amarantusa są jednak bardzo wysoko uwodnione, a utrzymywanie się tego stanu związane jest także z późnym okresem zbioru (październik), kiedy to częste deszcze, niska temperatura i wysoka wilgotność względna powietrza nie sprzyjają wysychaniu. Jak przedstawiono na rysunkach 2-4, w okresie dojrzewania roślin wilgotność łodyg i wiech przekracza 65 %, a wilgotność nasion przekracza 30% sięgając nawet 40 %. W tych warunkach zbiór jednoetapowy jest praktycznie niemożliwy, gdyż następuje blokowanie przepływu ściętych roślin do młocarni, rozrywanie bardzo uwodnionych łodyg i liści, oblepianie bardzo wilgotną masą zespołu młocącego, zalepianie sit separujących,

występowanie niedomłotów, przyklejanie się nasion do masy pociętych łodyg, liści oraz fragmentów wiech i w efekcie następuje wynoszenie całej masy przez kombajn na pole wraz z nasionami. Przeprowadzone próby zbioru w tym okresie udowodniły, że pomimo różnych zmian technicznych i regulacji podzespołów kombajnu, straty nasion mogą przekraczać nawet 70 % plonu. Dlatego też przy takim stanie roślin można stosować jedynie zbiór dwuetapowy, o ile nie ma możliwości przeprowadzenia zbioru jednoetapowego po przymrozkach. Przy zbiorze dwuetapowym po ścięciu i dosuszeniu wiech i nasion do 20-25 % dokonuje się omłotu nasion kombajnem lub młocarnią stacjonarną.

Jednoetapowy zbiór amarantusa można z powodzeniem przeprowadzić po przymrozkach, kiedy liście zostaną zmrożone i wyschną. Obniża się wówczas bardzo znacznie wilgotność wiech i nasion, osiągając poziom 18-25 %. O ile nasiona dojrzeją przed przymrozkami, nie ma powodów do obaw, że wystąpią znaczne straty w wyniku samoosypywania się nasion. Przeprowadzone badania wykazały jednoznacznie, że tego typu straty stanowią bardzo niewielki odsetek plonu (0,3-2,1 %). Są one nieporównywalnie niskie w stosunku do występujących przy zbiorze roślin przed przymrozkami.

Biorąc pod uwagę cechy biometryczne roślin oraz właściwości fizyczne nasion, odpowiednie przygotowanie kombajnu do zbioru amarantusa odgrywa istotną rolę dla maksymalnego ograniczenia strat ilościowych nasion.

Cięcie roślin powinno wykonywać się pod pierwszym rozgałęzieniem, a więc na wysokości 50-70cm w zależności od stanu łanu, aby zmniejszyć obciążenie zespołu młocącego i separującego zbędną masą wysoko uwodnionych części łodyg. Grubość łodyg amarantusa nie sprawia żadnych trudności technicznych przy wykorzystaniu typowej listwy tnącej w zespole żniwnym kombajnu. W przypadku łanu pochylonego lub skrzyżowanych roślin, zbioru dokonuje się częścią hederu dla zapewnienia rytmicznej pracy kombajnu i utrzymania prędkości roboczej w granicach 1,8 - 2,0 km/godz. Natomiast prędkość obrotowa nagarniacza powinna być ściśle zsynchronizowana z prędkością roboczą kombajnu (18-22 obr/min) przy górnym jego położeniu i maksymalnym cofnięciu, aby uniemożliwić opadanie nasion przed podłogę zespołu żniwnego. W celu dalszego ograniczenia strat nasion, zespół żniwny powinien być wyposażony w krótki rozdzielacz bierny, szczególnie przy łanie pochylonym, gdyż typowy rozdzielacz (dłuższy) może powodować straty nasion przez rozdzielanie pochylonych roślin, przesuwanie i wycieranie wiech po zewnętrznych elementach zespołu żniwnego.

Prędkość obrotowa bębna młocącego przy zbiorze amarantusa powinna wynosić 900-950 obr/min, a szczelina omłotowa na wylocie 8-12 mm aby uwolnić wszystkie nasiona z wiech. Pomimo tak dużych obrotów nie należy obawiać się uszkodzeń nasion, gdyż jak wskazują wyniki badań wytrzymałościowych, nasiona są bardzo odporne na obciążenia mechaniczne. O ile nasiona osiągną wilgotność poniżej 25 %, można wymienić standardowe sito kłosowe na sito żaluzjowe lub

otworowe ϕ 6 mm, a także wymienić dolne sito żaluzjowe na sito o otworach okrągłych ϕ 4 mm, gdyż szerokość nasion nie przekracza 1,5 mm. Uzyskuje się wówczas lepszą przepustowość masy w kombajnie, a nasiona charakteryzują się czystością powyżej 96 %.

Biorąc pod uwagę właściwości aerodynamiczne nasion, modyfikacji powinien ulec także wentylator, poprzez wymianę koła wentylatora na większe o średnicy 400 mm, a jego obroty winny wynosić 400-500 obr/min. Wówczas po odpowiednim ustawieniu kierownic strug powietrza, nasiona nie będą wywiewane na zewnątrz kombajnu. Optymalne parametry pracy kombajnu przy zbiorze amarantusa - w oparciu o uzyskane wyniki badań - zestawiono w Tabeli 14.

Tabela 14. Optymalne parametry pracy kombajnu przy jednoetapowym zbiorze amarantusa po przymrozkach.

Table 14. Optimum parameters for combine harvester exploitation at one-stage harvest of amaranth seeds in the conditions of light frost.

Wyszczególnienie	Jednostka miary	Parametry pracy
Wysokość cięcia - łan stojący	cm	50 - 70
Wysokość cięcia - łan pochylony	cm	30 - 50
Prędkość obrotowa nagarniacza	obr/min	18 - 22
Prędkość obrotowa bębna mlócającego	obr/min	900 - 950
Wysokość szczeliny omlotowej na wylocie	mm	8 - 12
Stopień otwarcia górnego sita żaluzjowego	mm	7 - 8
Rodzaj dolnego sita podsiewacza	mm	żaluzjowe lub ϕ 4*
Położenie sita kłosowego		trzeci otwór od góry
Stopień otwarcia żaluzjowego sita kłosowego	mm	8
Prędkość obrotowa wentylatora	obr/min	450 - 500
Ustawienie kierownic strug powietrza		
- górnej		poniżej górnego wycięcia
- dolnej		- położenie środkowe
Prędkość robocza kombajnu	km/h	1,8 - 2,0

* przy wilgotności nasion poniżej 25%.

Te same parametry pracy kombajnu mogą być zastosowane do omlotu wcześniej ściętych i wyschniętych roślin, gdy wybrano zbiór dwuetapowy. Jednoetapowy zbiór amarantusa pomimo określenia optymalnych parametrów pracy kombajnu pociąga za sobą jednak pewne straty nasion, które na obecnym etapie techniki są nie do uniknięcia. Najniższe straty - do 10 % plonu - występują przy wilgotności nasion i wierzchołków poniżej 20 %. Wynikają one częściowo z pracy zespołu żniwnego (dużych obrotów podajnika ślimakowo-palcowego i wybijania nasion przed kombajn), jak też z częściowego przyklejania się nasion do mokrych części łodyg. Straty te będą wzrastały nawet do 30 % i więcej wraz ze wzrostem

wilgotności wiech i nasion, kiedy to utrudniona jest separacja nasion od bardzo mokrej masy w kombajnie. Należy zatem przyjąć zasadę rzetelnej kontroli wilgotności wiech i nasion amarantusa przed przystąpieniem do zbioru jednoetapowego lub omłotu roślin przy zbiorze dwuetapowym.

6. WNIOSKI I STWIERDZENIA KOŃCOWE

1. Opracowane i adaptowane metody badawcze pozwoliły określić właściwości agrofizyczne amarantusa w pełnym zakresie występującej zmienności, powodowanej przez czynniki wewnętrzne i zewnętrzne
2. Przyjęcie do badań w trzecim roku realizacji projektu nowo - wyhodowanej polskiej odmiany amarantusa Rawa umożliwiło dokonanie oceny jej właściwości agrofizycznych i porównanie z badaną wcześniej odmianą populacyjną amarantusa spożywczego, pochodzącą z Ameryki Południowej.
3. Średnia wysokość roślin odmiany populacyjnej amarantusa spożywczego, wynosiła 167 cm, a odmiany polskiej Rawa 175 cm. Odmiana Rawa była bardziej wyrównana.
4. Wysokość do pierwszego rozgałęzienia w łanie doświadczalnym przekraczała 100 cm, a przy najniższej normie wysiewu (0,7 kg/ha) na doświadczeniach przekraczała 70 cm. Wartości te wskazują na możliwość cięcia roślin podczas zbioru jednoetapowego na maksymalnej wysokości technicznej tj. 70 cm.
5. Grubość łodygi zarówno przy ziemi (15-25 mm), jak i pod pierwszym rozgałęzieniem (10-14 mm) nie stanowią trudności przy cięciu roślin przez listwę tnącą kombajnu.
6. Wysokość wiechy (powyżej 50 cm), jej szerokość (10-18 cm) oraz jej masa nawet do 200 g, stanowią duże obciążenie kombajnu i trudności w wymłacaniu nasion szczególnie przy wilgotności całej masy powyżej 30 %.
7. Plon nasion z jednej rośliny amarantusa w łanie doświadczalnym wahał się od 15 do 30 g, co przy obsadzie roślin 23-30 szt/m² dało średni plon z 1m² (w odniesieniu do wilgotności nasion 10 %) wynoszący 344-352 g/m². Odmiana Rawa plonowała wyżej o 50 % w porównaniu z odmianą populacyjną. Na doświadczeniu gęstościowym plon ten zamykał się w granicach 317-553 g/m², a wyższe wartości dotyczyły też odmiany Rawa.

8. Stwierdzono, że z uwagi na wysokość plonu oraz najlepsze dla zbioru kombajnowego cechy biometryczne roślin, najkorzystniejsza norma wysiewu nasion amarantusa zamyka się w przedziale 1,4-2,1 kg/ha.
9. Samoosypywanie się nasion w okresie dojrzewania roślin w różnych warunkach pogodowych wynosiło od 1,1 do 11,5 g/m², co stanowi od 0,3 do 2,1 % plonu.
10. Nasiona amarantusa mają kształt pogrubionej soczewki zbliżonej do kuli. Ich średnia grubość w zależności od wilgotności wynosi od 0,58 do 0,93 mm. Nasiona polskiej odmiany Rawa były bardziej dorodne w porównaniu z odmianą populacyjną. Średnia szerokość nasion wynosiła 1,19 mm, a długość 1,34 mm.
11. Podstawowe cechy aerodynamiczne nasion zależą od takich parametrów jak powierzchnia nośna, szerokość, długość i masa nasienia. Wraz ze wzrostem tych parametrów prędkość krytyczna rośnie prostoliniowo, a współczynnik lotności według tej samej formuły maleje.
12. Chropowatość powierzchni nasion maleje liniowo wraz ze wzrostem wilgotności i obejmuje przedział wartości od 3,45 do 5,61 μm .
13. Nasiona amarantusa są bardzo odporne na obciążenia mechaniczne. Do zniszczenia struktury pojedynczego nasienia potrzebna jest siła od 10,7 do 70,6 N przy czym wartości niższe dotyczą nasion bardzo wilgotnych, a najwyższe suchych. Dla odmiany Rawa wartości te mieszczą się w węższym przedziale (23,0-52,3 N).
14. Analiza mikrostruktury nasion wykazała występowanie dwuwarstwowej budowy łupiny nasiennej oraz unikatowej skrobi, której ziarenka są bardzo wyrównane pod względem wielkości (1-1,5 μm).
15. Masa 1000 nasion odmiany populacyjnej w zależności od wilgotności wynosiła od 0,60 g (nasiona bardzo suche) do 0,95 g (bardzo wilgotne). Nasiona odmiany Rawa były bardziej dorodne (0,75-1,05 g)
16. Gęstość nasion wzrastała wraz ze spadkiem wilgotności w przedziale od 653,3 do 842,0 kg/m³. W tym zakresie mieszczą się obie odmiany.
17. Porowatość masy nasion spadała wraz z obniżaniem się wilgotności z 48,5 % do 40,0 % dla odmiany populacyjnej i z 53,5 % do 45,0 % dla odmiany Rawa. Zmienność tą opisują krzywe regresji.
18. Współczynnik tarcia zewnętrznego nasion malał wraz ze spadkiem wilgotności z wartości 0,27 do 0,13, a tarcia wewnętrznego z 0,42 do 0,30.
19. Kąt zsyphu nasion malał wraz ze spadkiem wilgotności z 40,0° do 24,8° dla odmiany populacyjnej i z 56,0° do 35,0° dla odmiany Rawa. Natomiast kąt usyphu z 41,0° do 23,5°, a dla odmiany Rawa z 53,3° do 38,0°.

20. Nasiona amarantusa w masie wykazują jednoznaczne właściwości lepkością. Stwierdzono znaczne różnice w przebiegu relaksacji naprężeń w badanym zakresie wilgotności. Różnice polegały na zmniejszaniu się wartości parametrów sprężystości i lepkości założonego modelu tak, że wartości czasów relaksacji pozostawały na tym samym poziomie. Najsilniej na zmianę wilgotności reagowały parametry związane ze ściskaniem próbek, poprzedzającym właściwy test relaksacji, jak i energia deformacji wstępnej i wartości maksymalnego odkształcenia.
21. Cechy jakościowe nasion wskazują na dużą ich wartość żywieniową, a także możliwość wykorzystania w innych gałęziach przemysłu. Jednakże jakość nasion może ulec bardzo szybkiemu pogorszeniu o ile bezpośrednio po zbiorze nie wysuszy się ich do poziomu ok. 10 % wilgotności. Wilgotność nasion po zbiorze często przekracza 30 %. Stwierdzono, że już po kilkunastu godzinach takie nasiona zagrzewają się i w ich masie zaczynają występować niekorzystne procesy, znacznie obniżające jakość surowca, a nawet dyskwalifikację danej partii nasion.
22. Określenie właściwości agrofizycznych amarantusa - oprócz aspektów poznawczych - pozwoliło na opracowanie podstaw technologii zbioru tej rośliny.
23. Analiza strat ilościowych nasion w czasie jednoetapowego zbioru wykazała, że przy bardzo korzystnych warunkach zbioru (wilgotność wierzchołków i nasion poniżej 20 %), straty mogą sięgać 10 % plonu. Udokumentowano też, że wraz ze wzrostem wilgotności zbieranej masy np. koniecznością niższego cięcia (rośliny bardzo pochylone lub wyłożone), udział większej ilości wysoko uwodnionych łodyg powoduje przyklejanie się do nich nasion, niemożliwość separacji i wynoszenie wraz z całą masą przez kombajn na zewnątrz. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem wilgotności zbieranej masy wzrastają liniowo straty nasion, które mogą przekraczać 30 % plonu, a przy bardzo niekorzystnych warunkach sięgać nawet 50 %. Dlatego, dopiero po dokładnej ocenie stanu fizycznego łanu należy podjąć decyzję o wyborze jedno- lub dwuetapowego zbioru amarantusa.

7. LITERATURA

1. **Ambroziak Z., Piesiewicz H., Węgielek K., Krasnowska B., Węgielek K., Barański M.:** 1995. Amaranthus - nowy surowiec piekarski. Dodatek do "Przeglądu piekarskiego i cukierniczego" nr 6/95, 9-12.
2. **Aufhammer W.:** 1998. Getreide - und andere Körnerfruchtarten. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
3. **Becker R., Wheeler E. L., Lorenz K., Stafford A.E., Grosjen O. K., Betschart A. A., Saunders R. M.:** 1981. A compositional study of amaranth grain J. Food Sci. 46; 1175.
4. **Betschart A. A., Irwing D. W., Shepart A. D., Saunders R.M.:** 1981. Amaranthus cruentus. Milling characteristics, distribution of nutrien swithin seed components, and the effects of temperature on nutritional quality. J. Food Sci. t. 46, 4; 1181-1187.
5. **Breene W. M.:** 1991. Food uses of grain amaranth. Cereal Foods World 36; 426-430.
6. **Bressani R., Gonzales J. M., Zuniga J., Breuner M., Elias L. G.:** 1987, Yield, Selected Chemical Composition and Nutritive Value of 14 Selections of Amaranth Grain Representing Four Species. J. Sci. Food Agric. 38; 347-356.
7. **Cacak-Pietrzak G., Dojczew D., Haber T., Lewczuk J., Szczypaczewska M.:** 1995. Wykorzystanie nasion amaranthusa jako dodatku do wybranych wyrobów cukierniczych. Dodatek do "Przeglądu piekarskiego i cukierniczego" nr 6/95, 8.
8. **Cheeke P. R., Carlsson R., Kohler G. O.:** 1981. Nutritive value of leaf protein concentrates prepared from Amaranthus species. Can. J. Anim. Sci. 61; 199-204.
9. **Corke H., Wu H. X.:** 1994. Pasting properties of amaranthus starch and flour. International Symposium. Beijing, China. 603-606.
10. **Dobrzeńiecka A., Haberowa H., Sobczak E.:** 1996. Wpływ dodatku amarantusa na przebieg fermentacji zacierów gorzelnicznych. Przemysł Fermentacyjny i Owocowo - Warzywny. Nr.2.
11. **Domańska H.:** 1990. Chwasty i ich zwalczanie. PWR i L. Warszawa.
12. **Edwards A. D.:** 1980. Grain Amaranth characteristics and culture. New crops. Dep. Organ.and Farm. Res. Cent. Rodal. INC. USA.
13. **Espitia E.:** 1992. Amaranth germoplasm development and agronomic in Mexico. Food Reviews International. 8, (1), 71-86.
14. **Feine L. B.:** 1980. A provisional key to some edible species of the family Amaranthaceae. Proc. Amaranth Conf., 2 nd, 165-169.
15. **Flora Europaea.:** 1964. V.1. Lycopodiaceae to plantanaceae. Cambridge.
16. **Flora polska.:** 1949. Warszawa - Kraków.
17. **Fornal J., Szot B.:** 1997. Mikrostruktura nasion amarantusa (*Amaranthus cruentus*). I Zjazd Naukowy PTA, Referaty i doniesienia, 40-42.
18. **Fuller M. J.:** 1949. Photoperiodic responses of *Chenopodium quinoa* willd and *Amaranthus caudatus* L. American J. of Bot. 36; 176-180.
19. **Goering K. J.:** 1967. New starches. II. The properties of the starch chunks from *Amaranthus retroflexus*. Cereal Chem. 44; 245-252.
20. **Gontarczyk M.:** 1996. Szarłat uprawny - *Amaranthus* spp. Nowe rośliny uprawne: SGGW Warszawa. 21-43.
21. **Grajeta H.:** 1997. Wartość odżywcza i wykorzystanie szarłatu (Rodzaj *Amaranthus*) Bromatologia i Chemia Toksykologiczna. XXX 1; 17-23.
22. **Grajeta H.:** 1997. Wpływ nasion szarłatu (*Amaranthus cruentus*) na gospodarkę lipidową u szczurów doświadczalnych. Bromatologia i Chemia Toksykologiczna. XXX.1; 25-30.

Agrophysical properties of amaranth (*Amaranthus cruentus* L.)

Summary

Biometrical features of plants and physical properties of amaranth seeds (*Amaranthus cruentus*) of a population variety originating from South America and a new Polish variety Rawa have been studied. New research methods were worked out or old methods were adapted to suit specific features of this plant. Studies were carried out in the period 1995-96 (population variety) and in 1997 (variety Rawa). Alongside field experiments plot experiments with varying sowing density were conducted in order to evaluate the influence of the number of plants per 1 m² plant on the variability of biometrical features and yields.

Plant and wisp height, stalk thickness, wisp mass, number of plants per 1 m² and biological yield as well as seed self-shedding were determined. Geometrical properties (thickness, width, and length) were determined for individual seeds together with their aerodynamic features, surface roughness, resistance to static loading and microstructure. Whereas seed mass was characterised by such parameters as: density, porosity, outer and inner friction, angle of repose and chute, rheological properties and qualitative features.

It has been found out that Rawa variety was more uniform than population variety and gave yields that were 50% higher. Seed sowing density differentiated plant biometrical features. Seed self-shedding in different weather conditions ranged from 0,3 to 2.1% of the biological yield. Physical properties of seeds changed according to moisture levels which was described by the regression lines and curves. It was found that with moisture decrease seed thickness, and the mean values ranged from 0,58 to 0,93 mm. Seeds of Rawa variety were developed better. The weight of 1000 seeds was from 0,60 g (very dry seeds) to 0,95 g (very moist seeds). Density was increasing with the decrease in moisture from 653,3 to 842,0 kg/m³. Whereas, porosity of the seed mass decreased from 53,5 to 40,0 %. Both the angle of repose and chute were decreasing with the decrease in the coefficient of inner and outer friction while the roughness of the seed surface was increasing. Amaranth seeds appeared to be more resistant to mechanical loading. The force ranging from 10.7N (very moist seeds) to 70,6N (dry seeds) was sufficient to damage the structure of an individual seed. Aerodynamic seed features depended on such parameters as seed load bearing surface, width, length and weight. With the increase in these parameters critical velocity increased linearly, and the coefficient of volatility decreased according to the same formula.

A generalised Maxwell model with three branches was used to describe the phenomena of stress relaxation in the seed mass. It led to the conclusions that amaranth seeds en mass show strong viscoelastic properties.

Seed qualitative features show high nutritive value, and evaluation of their microstructure showed that they contain unique starch with kernels that are very uniform in size (1-1.5 (m).

Learning about biometrical plant features and their physical properties allowed for working out agrophysical basis for the harvest technology of this plant.

Key words: amaranth, plant biometrical features, seed physical properties, technology of harvesting.

