

USZKODZENIA NASION FASOLI W WARUNKACH OBCIĄŻEŃ DYNAMICZNYCH I STATYCZNYCH

Jarosław Frączek, Rafał Stokłosa

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Akademia Rolnicza
ul. Balicka 104, 30-149 Kraków
e-mail: fraczek@ar.krakow.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono wpływ zawartości wody na wytrzymałość nasion fasoli w warunkach obciążeń dynamicznych i statycznych. Badania przeprowadzono na nasionach trzech odmian fasoli: Mona, Red Kidney, Wiejska, przy czterech zawartościach wody (0,075; 0,10; 0,12; 0,15 kg·(kg s.m.)⁻¹). W próbie statycznej badano wartość siły w dwóch fazach: na granicy powstawania mikrouszkodzeń i makrouszkodzeń. Stwierdzono, że mikrouszkodzenia związane są z pękaniem liścieni. Na podstawie wyników badań dynamicznych, wyprowadzono równania regresji liniowej opisujące zależność uszkodzeń nasion od obciążenia przy różnych zawartościach wody.

Słowa kluczowe: test ściskania, test udarowy, zawartość wody, fasola

WSTĘP

Rośliny strączkowe, do których zaliczamy między innymi fasolę, uprawiane są z przeznaczeniem nasion na materiał konsumpcyjny, siewny lub na mieszanki paszowe. Popularność tych materiałów roślinnych sprawia, iż zainteresowanie optymalizacją przebiegu procesu ich zbioru i obróbki pozbiorowej jest duże [9]. W celu jej przeprowadzenia, niezbędne jest określenie wielu cech fizycznych przetwarzanych materiałów. Do najistotniejszych zaliczane są właściwości mechaniczne, w tym wytrzymałość w warunkach obciążeń statycznych i dynamicznych.

Fasola może być zbierana jednoetapowo za pomocą specjalnie przystosowanego do tego celu kombajnu zbożowego, lub dwuetapowo – zbiór ręczny i transport do gospodarstwa, a następnie omłot na stacjonarnej młocarni. Mimo dostępności maszyn specjalistycznych, ze względu na znaczny koszt ich zakupu, w Polsce stosowany jest głównie zbiór dwuetapowy.

Podczas zbioru, a szczególnie podczas omłotu występują straty ilościowe i jakościowe w postaci uszkodzeń nasion [8]. Najistotniejszym czynnikiem determinującym straty jest wilgotność nasion [7]. W przypadku, gdy wilgotność zbieranego materiału jest duża, oddziaływanie elementów maszyn na rośliny jest mniej agresywne, a zatem i straty w postaci uszkodzeń są mniejsze [1,2].

Na podstawie badań własnych przeprowadzonych w powiecie Kazimierza Wielka, w 2003 roku zaobserwowano, że wilgotność fasoli podczas zbioru wynosiła 10%, co powodowało powstanie uszkodzeń dochodzących nawet do 15%. Zmiana prędkości obrotowej bębna i szczeliny roboczej nie prowadziła do zmniejszenia tych strat. Można zatem stwierdzić, że zakresy regulacyjne są nieodpowiednie i należy dążyć do ich poszerzenia.

Dynamiczne oddziaływanie elementów młócących na materiał powoduje zamierzone pękanie łodyg i strąków, ale prowadzi również do uszkodzeń suchych nasion charakteryzujących się dużą kruchością. Uszkodzenia są spowodowane również niewystarczającym zakresem regulacji prędkości obrotowej bębna i szczeliny roboczej. Badania przeprowadzone w tej pracy powinny dać wskazówki, dotyczące zmiany zakresu parametrów regulacyjnych zespołu młocącego, a nawet jego konstrukcji, prowadząc do zminimalizowania strat.

CEL I ZAKRES PRACY

W literaturze dotyczącej właściwości wytrzymałościowych nasion dominują pomiary prowadzone w warunkach quasi-statycznych. Jednak jak wspomniano we wstępie, w czasie omłotu dominują oddziaływania dynamiczne. Omłot jest złożonym procesem tarcia, ściskania i udaru powodowanym przez ruchome elementy zespołu młocącego. Powstaje więc pytanie, czy określone w sposób statyczny parametry wytrzymałościowe nasion fasoli pozwolą na określenie korzystnych parametrów pracy zespołu młocącego. Na podstawie badań wstępnych stwierdzono, że do określenia odporności nasion w zależności od wilgotności, konieczne jest przeprowadzenie badań statycznych lub dynamicznych.

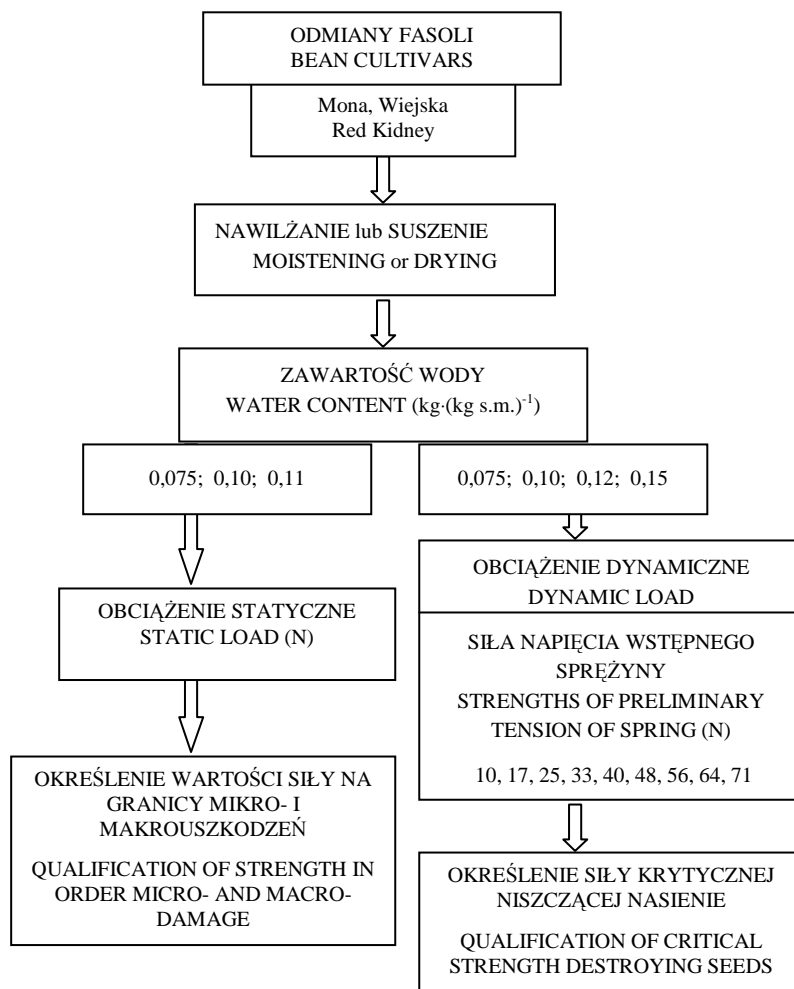
Celem pracy było określenie odporności nasion fasoli na uszkodzenia powodowane obciążeniem statycznym i dynamicznym przy różnych poziomach zawartości wody.

Badania zostały przeprowadzone na kwalifikowanym materiale siewnym zakupionym w centrali nasiennej (fasola Mona i Wiejska) oraz fasoli Red Kidney, uprawianej na szeroką skalę w rejonie Kazimierza Wielka (importowanej przez firmę F.H.U.P. Orfamak). Testy wytrzymałościowe przeprowadzono na nasionach doprowadzonych do czterech różnych zawartości wody. Do pomiarów użyto nasiona najliczniejszej frakcji, otrzymane w wyniku selekcji na sitach laboratoryjnych.

Szczegółowy schemat przeprowadzonego doświadczenia ilustruje rysunek 1.

METODYKA BADAŃ

Badania rozpoczęto od nasion o zawartość wody około $0,11 \text{ kg} \cdot (\text{kg s.m.})^{-1}$, czyli takiej, jaką miały w chwili zakupu. W celu uzyskania niższych zawartości wody suszono je w suszarce konwekcyjnej w temperaturze 25°C . Wyższe zawartości wody otrzymano nawilżając materiał w szczelnie zamkniętych pojemnikach okresowo go mieszając.



Rys. 1. Schemat doświadczenia

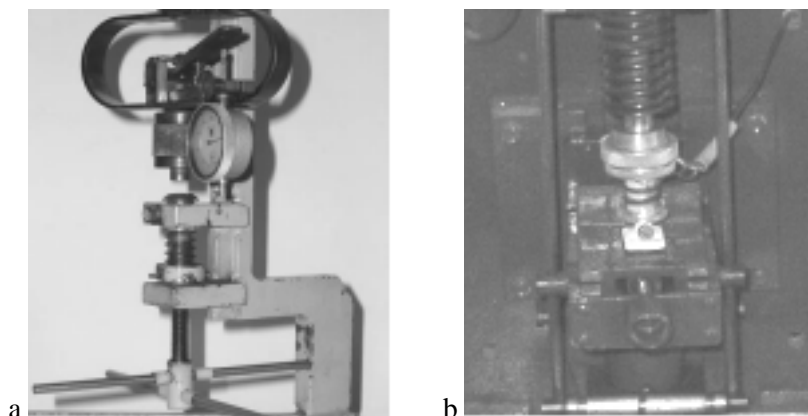
Fig. 1. Diagram of experiment

Pomiar zawartości wody w nasionach wykonywano za pomocą wagosuszarki WPE – 300S zgodnie z PN-91/A-74010.

Liczebność powtórzeń dla każdej odmiany i zawartości wody wynosiła 50.

Obciążenia statyczne

Pomiary zostały przeprowadzone w laboratorium Katedry Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki AR w Krakowie. Próbę ściskania przeprowadzono na stanowisku przedstawionym na rysunku 2a. Zgodnie z metodyką zaproponowaną przez Kolowcę [6] określono siłę w granicy mikrouszkodzeń. Nasiona o żądanej zawartości wody umieszczano pomiędzy dwoma równoległymi płytkami w taki sposób, aby płaszczyzna podziału liścieni była równoległa do płytek. Następnie za pomocą śruby przesuwno dolną płytkę w kierunku górnej, ściskając badane nasienie.



Rys. 2. Stanowisko badawcze do testu: a – statycznego, b – dynamicznego
Fig. 2. Equipment set for: a – static, b – dynamic tests

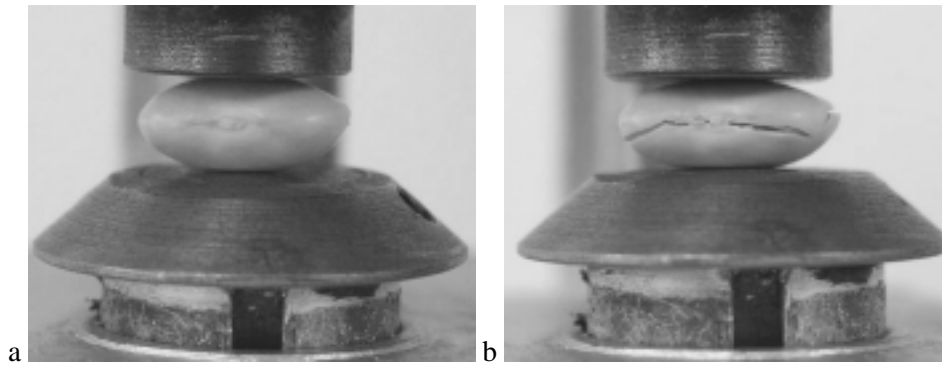
Na podstawie badań wstępnych stwierdzono wystąpienie dwóch faz w czasie próby ściskania:

- faza I w granicy mikrouszkodzeń, siła F_m (rys. 3a),
- faza II w granicy makrouszkodzeń, siła F_M (rys. 3b).

Wystąpienie poszczególnych faz sygnalizowane było charakterystycznym trzaskiem słyszalnym podczas ściskania. W chwili wystąpienia tego trzasku odczytywano na wskaźniku zegarowym wartość siły (F_m lub F_M) powodującej uszkodzenie nasiona.

W pierwszej fazie (granica mikrouszkodzeń) nie zaobserwowano zewnętrznych uszkodzeń nasion, natomiast w drugiej (granica makrouszkodzeń) pojawiły się pęknięcia okrywy nasiennej, rozłupania, odłamania nasion.

Badania wstępne wykazały również, że przy zawartości wody powyżej $0,11 \text{ kg} \cdot (\text{kg s. m.})^{-1}$ nie słycać trzasku nasiona. Materiał staje się wówczas mniej sprężysty, zaczynają dominować właściwości reologiczne i nie występuje wyraźna granica plastyczności. W czasie obciążania zaczynają występować objawy pełzania. Wraz ze wzrostem zawartości wody, nasiona fasoli zmieniają swoje właściwości wytrzymałościowe z krucho-sprężystych w sprężysto-plastyczne. Z tego powodu badania statyczne przeprowadzono tylko dla zawartości wody $0,075$; $0,1$ i $0,11 \text{ kg} \cdot (\text{kg s. m.})^{-1}$.



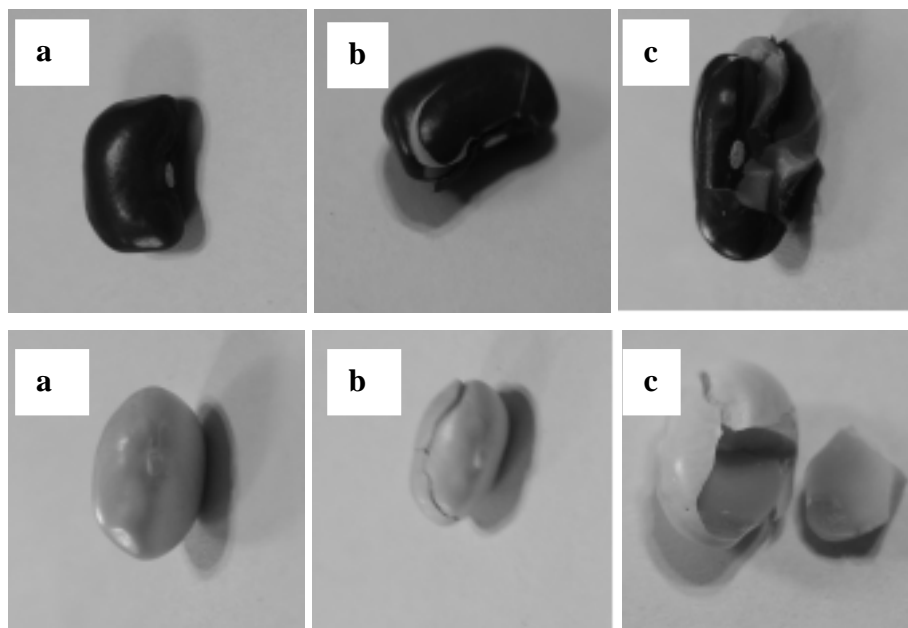
Rys. 3. Kolejne fazy obciążania fasoli: a – faza I mikrouszkodzenia; b – faza II makrouszkodzenia
Fig. 3. Successive stages of bean loading: a – stage I – micro-damage; b – stage II – macro-damage

Obciążenia dynamiczne

Badania dynamiczne przeprowadzono na stanowisku przedstawionym na rysunku 2b zgodnie z metodyką opracowaną przez Frączka [4]. Pomiary wykonywane były pomiędzy równoległymi płytkami przy ułożeniu nasion w sposób podobny jak przy próbie statycznej.

Podczas próby dynamicznej nasienie układane było na dolnej płytce i uderzane od góry trzpieniem, którego ruch spowodowany był przez ugiętą sprężynę. Siłę wstępnego ugięcia regulowano zgodnie z charakterystyką sprężyny do wartości podanych na schemacie (rys. 1). Badania przeprowadzono zaczynając od najmniejszego obciążenia 10 N , które następnie zwiększano do momentu wystąpienia 100% uszkodzeń w badanej próbie. Uszkodzenia nasion klasyfikowano w następujący sposób:

- nasiona nieuszkodzone (rys. 4a),
- nasiona z pęknięciami okrywy nasiennej (rys. 4b.),
- nasiona zniszczone (rozpołowienia, odłamania) (rys. 4c.).



Rys. 4. Przykład klasyfikacji nasion z próby dynamicznej: a – nasiona nieuszkodzone, b – nasiona z pęknięciami okrywy nasiennej, c – nasiona zniszczone

Fig. 4. Example of classification of seeds from the dynamic test: a – undamaged seeds, b – seeds with cracks, c – seeds totally destroyed

WYNIKI BADAŃ

Wyniki przeprowadzonych pomiarów metodą statyczną zostały przedstawione w tabeli 1. Obliczono średnie wartości siły (F_m i F_M) powodującej uszkodzenia nasion w obydwu fazach obciążenia, dla każdej odmiany i zawartości wody.

W celu stwierdzenia rodzaju zmian wewnętrznych powstałych w tej fazie, za pomocą skalpela ścinano okrywę nasienną wzdłuż linii podziału liścieni. Stwierdzono zerwanie więzi pomiędzy liścieniami (hypokotyl) oraz ich popękanie [3]. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowo pęknięcia liścieni (zaznaczono je strzałkami).

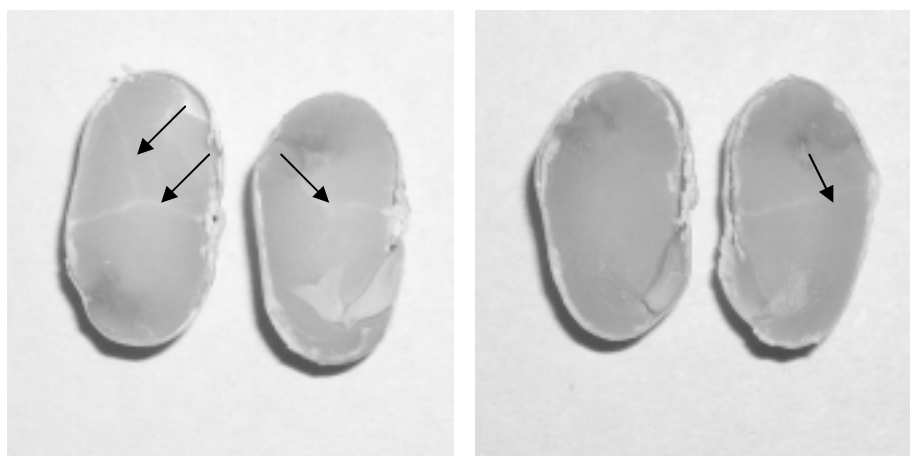
Możemy, zatem stwierdzić, że przy suchych nasionach w pierwszej fazie występuje zerwanie więzi pomiędzy dwoma liścieniami, ich popękanie, a okrywa nasienna pełni rolę osłony.

W drugiej fazie (do granicy makrouszkodzeń) wystąpiły wyraźne pęknięcia okrywy nasiennej oraz zniszczenie nasion.

Tabela 1. Wyniki badań przeprowadzonych metodą statyczną

Table 1. Results of investigations conducted according to the static method

Odmiana Cultivar	Zawartość wody Water content (kg (kg s. m.) ⁻¹)	Siła – Force (N)			
		F_m		F_M	
		Średnia Average	Odchylenie standardowe Standard deviation	Średnia Average	Odchylenie standardowe Standard deviation
Red Kidney	0,075	13,18	7,93	28,71	8,81
	0,10	13,83	8,12	29,26	9,13
	0,11	14,17	8,57	30,87	10,76
Mona	0,075	20,53	7,28	32,56	9,18
	0,10	19,60	8,09	33,90	9,74
	0,11	19,93	8,87	35,23	11,49
Wiejska	0,075	21,28	6,42	36,21	9,67
	0,10	22,41	7,51	37,88	10,18
	0,11	22,57	7,65	39,91	13,21

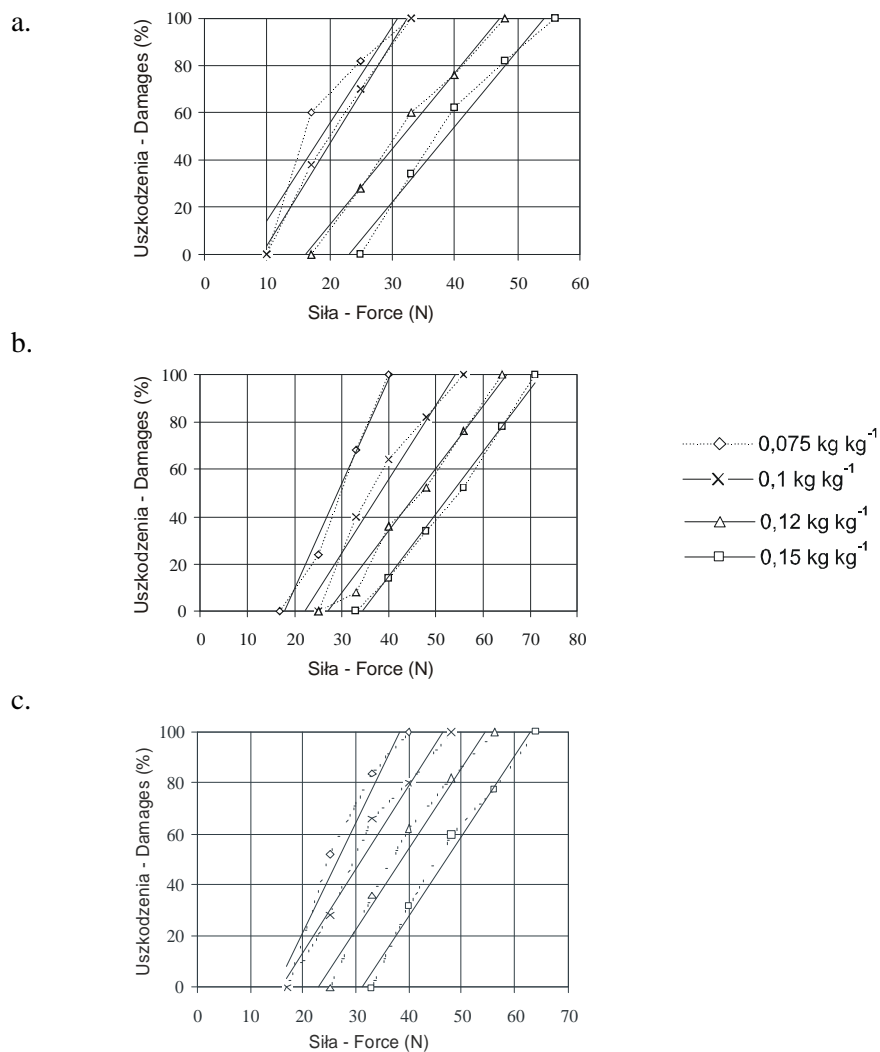


Rys. 5. Pęknięcia liścieni (zaznaczone strzałkami)

Fig. 5. Cracks of seed leaf (marked with arrows)

Wyniki pomiarów metodą dynamiczną zostały przedstawione na rysunku 6. Ilustruje on zmianę sumy nasion z uszkodzoną okrywą i zniszczonych całkowicie w zależności od obciążenia, przy różnych zawartościach wody. Im bardziej suche nasiona, tym gwałtowniej rośnie liczba uszkodzonych nasion. Przy wyższych

zawartościach wody wzrost obciążenia powoduje łagodniejszy wzrost uszkodzeń. Możemy zatem stwierdzić, że spadek zawartości wody przy tym samym obciążeniu powoduje zwiększenie liczby uszkodzeń nasion.



Rys. 6. Procent uszkodzonych nasion w zależności od obciążenia przy różnych zawartościach wody: a – Red Kidney, b – Mona, c – Wiejska

Fig. 6. Percentage of damaged seeds for different moisture content at various levels of force: a – Red Kidney, b – Mona, c – Wiejska

Siła powodująca uszkodzenie nasion we wszystkich przypadkach wzrasta wraz ze wzrostem zawartości wody. Najmniejszą odporność na uderzenia dynamiczne, przy zawartości wody $0,075 \text{ kg} \cdot (\text{kg s. m.})^{-1}$ zaobserwowano dla fasoli Red Kidney (10 N), a największą dla fasoli Mona (17 N).

W celu określenia funkcyjnej zależności pomiędzy uszkodzeniem a obciążeniem przeprowadzono analizę regresji, dla której współczynniki determinacji oraz parametry równań zależności prostoliniowej zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki analizy regresji dla modelu zależności liniowej: $y = a \cdot x + b$, gdzie: y – uszkodzenia (%), x – obciążenie (N), a , b – współczynniki

Table 2. Results of regression analysis for linear model: $y = a \cdot x + b$, where: y – damage (%), x – load (N), a , b – coefficients

Odmiana Cultivars	Zawartość wody Water content ($\text{kg} \cdot (\text{kg s. m.})^{-1}$)	a	b	R ²
Red Kidney	0,075	4,136	-27,41	89,35
	0,10	4,299	-39,37	99,25
	0,12	3,226	-52,36	99,23
	0,15	3,214	-74,26	97,80
Mona	0,075	4,461	-80,27	98,12
	0,10	3,138	-69,58	96,39
	0,12	2,645	-71,96	98,55
	0,15	2,629	-90,40	99,25
Wiejska	0,075	4,337	-65,69	95,64
	0,1	3,279	-52,12	97,81
	0,12	3,189	-72,85	97,58
	0,15	3,144	-97,53	98,20

Wraz ze wzrostem zawartości wody malał współczynnik kierunkowy prostej a , zatem zmniejszał się kąt nachylenia prostej do osi OX. Największe wartości współczynnika a zaobserwowano u nasion o zawartości wody $0,075 \text{ kg} \cdot (\text{kg s. m.})^{-1}$. W związku z tym wyraźnie widać, że im nasiona są bardziej suche tym istotniejsze jest dobranie odpowiednich parametrów regulacyjnych podczas omłotu.

Przy większych wartościach współczynnika kierunkowego prostej, każde zwiększenie siły napięcia sprężyny powoduje gwałtowny wzrost liczby uszkodzeń.

Stwierdzono nieistotne różnice w wartości siły w granicy mikrouszkodzeń w badanym zakresie wilgotności nasion. A zatem, można by wnioskować, że parametry pracy zespołu młócającego (szczególnie prędkość obwodowa bębna) powinny być jednakowe dla nasion fasoli o wspomnianych zawartościach wody. Wniosek ten nie znajduje jednak potwierdzenia w rzeczywistości. Z badań własnych przeprowadzonych podczas zbioru w 2003 r. w rejonie Kazimierza Wielka oraz badań dynamicznych przeprowadzonych w tej pracy wynika, że

każde obniżenie zawartości wody w zbieranym materiale powoduje wyraźne zwiększenie uszkodzeń nasion. Przykładowo przy obciążeniu 25 N spadek zawartości wody z 0,12 do 0,1 kg·(kg s. m.)⁻¹ powoduje wzrost uszkodzeń o 42% dla fasoli Red Kidney, oraz o 28% dla fasoli Wiejska. Natomiast przy obniżeniu zawartości wody z 0,12 do 0,075 kg·(kg s. m.)⁻¹ uszkodzenia wzrastają o 54% dla fasoli Red Kidney, o 24% dla fasoli Mona i o 52% dla fasoli Wiejska.

Należy stwierdzić, że próba ściskania określająca siłę w granicy mikro-uszkodzeń nie jest więc miarodajna w przypadku określenia odporności fasoli na uszkodzenia w czasie omłotu. Przy niskich zawartościach wody konieczne jest przeprowadzenie głównie badań dynamicznych.

WNIOSKI

1. W teście statycznym określono wartości obciążeń granicznych nasion fasoli dla wyodrębnionych dwóch faz: mikrouszkodzeń i makrouszkodzeń.

- w pierwszej fazie obciążenia zaobserwowano pęknięcia liścieni i zerwanie więzi (hypokotyl) pomiędzy nimi bez widocznych zmian zewnętrznych.
- w drugiej fazie obciążenia występują pęknięcia okrywy nasiennej i zniszczenie nasienia.

2. Test dynamiczny wykazał, iż uszkodzenia fasoli rosną wraz ze wzrostem obciążenia i spadkiem zawartości wody.

3. Zarówno test statyczny jak i dynamiczny wykazał, że najmniejszą odporność na uszkodzenia posiada fasola Red kidney.

4. Odporność fasoli na obciążenia dynamiczne wyrażone w % liczby uszkodzeń w zależności od wartości obciążenia, można opisać równaniem liniowym $y = a \cdot x + b$ w oparciu o analizę regresji, przy zachowaniu dopasowania współczynnika determinacji R^2 na poziomie 89,39% do 99,25%,

gdzie: y – uszkodzenia (%), x – siła (N), a , b – współczynniki równania

PIŚMIENNICTWO

1. **Dobrzański B.:** Mechanizmy powstawania uszkodzeń nasion roślin strączkowych. Acta Agrophysica 13, 1998.
2. **Dobrzański, jr B.:** The influence of moisture content on the shape deformation of soybean. AgEng 96, paper: 96F-082, 1-7, 1996.
3. **Grzebiuk S., Kulka K.:** Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL, Warszawa, 1981.
4. **Frączek J.:** Stanowisko do badań zmęczeniowych materiałów roślinnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 426, 55-63, 1995.
5. **Jasińska Z., Kotecki A.:** Rośliny strączkowe, WN PWN, 1993.
6. **Kolowca J.:** Wpływ obciążeń mechanicznych na odkształcalność i wartość biologiczną ziarna pszenicy. Rozprawa habilitacyjna, AR w Krakowie, 1986.

7. **Lamb D.T., Hurburgh C.R. Jr.:** Moisture determination in single soyabean seeds by near-infrared transmittance. Transaction of the ASAE, 34, 5, 2123-2128, 1991.
8. **Pickett L.K.:** Mechanical damage and processing loss during navy bean harvesting. Transaction of the ASAE, 16, 6, 1047-1050, 1973.
9. **Święcicki W., Święcicki W.K., Wiatr K.:** Historia, współczesne osiągnięcia i perspektywy hodowli roślin strączkowych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z.446, 15-32, 1997.

DAMAGE TO BEAN SEEDS UNDER DYNAMIC AND STATIC LOADS

Jarosław Frączek, Rafał Stokłosa

Department of Machine Design, University of Agriculture
ul. Balicka 104, 30-149 Kraków
e-mail: fraczek@ar.krakow.pl

Abstract. The effect of water content on the resistance of beans to dynamic and static loads was investigated. The study was conducted on three bean cultivars: Mona, Red Kidney and Wiejska at four water content levels (0.075; 0.10; 0.12; 0.15 kg (kg s.m.)⁻¹). The force was measured during static loading at the point of occurrence of micro- and macrodamage. It was noticed that the force at the point of microdamage occurrence caused the cracking of cotyledons. Finally, linear regression equation describing the effect of load on the damage at different water contents was derived basing on dynamic loads.

Keywords: compression test, dynamic test, moisture content, bean