

RELACJE CECH MECHANICZNYCH I BIOLOGICZNYCH ZIARNA
JĘCZMIENIA SUSZONEGO MIKROFALOWO W WARUNKACH
OBNIŻONEGO CIŚNIENIA

Maria Konieczna, Adam Figiel

Institut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza
ul. Chełmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław
e-mail: instytut@imr.ar.wroc.pl

Streszczenie. Ziarno jęczmienia suszone mikrofalowo w warunkach obniżonego ciśnienia poddano ocenie stosując dwa typy testów: biologiczny i wytrzymałościowy. Test biologiczny wykazał korzystny wpływ zastosowania mikrofal o mocy 180 W w czasie 30 s i 60 s. Nastąpiło poprawienie wszystkich wskaźników jakości biologicznej ziarna suszonego mikrofalowo w stosunku do suszonego w warunkach konwekcji naturalnej. Zwiększenie czasu grzania (120 s), a szczególnie zwiększenie mocy mikrofal (360 W) spowodowało obniżenie jakości biologicznej ziarna zarówno formy oplewionej jak i nieoplewionej. Test wytrzymałościowy wykazał obniżenie wskaźników wytrzymałościowych ziarna we wszystkich przypadkach suszenia mikrofalowego. Wartość wskaźników malała zarówno ze wzrostem czasu nagrzewania jak i mocy mikrofal. Zastosowanie zróżnicowanych testów dało szersze informacje o zmianach jakościowych wysuszonych ziarniaków.

Słowa kluczowe: jakość biologiczna, wytrzymałość, suszenie mikrofalowe, ziarno jęczmienia

WSTĘP

Zastosowanie mikrofal do nagrzewania nasion może przyczynić się do usprawnienia procesu suszenia [4,6]. Opinię tę potwierdzają wyniki dotychczasowych badań. Wskazują one na możliwość skrócenia czasu suszenia [6] oraz sterowania parametrami suszenia [3], co w przypadku materiału nasiennego ma istotne znaczenie. W badaniach jakościowych nasion wysuszonych metodą mikrofalowo – konwekcyjną w warunkach: stała temperatura nagrzania nasion, stała moc mikrofal i temperatura powietrza, przy kontrolowanym czasie grzania stwierdzono w przebiegu kiełkowania zmiany o korzystnym charakterze [2,5]. Zastanawiają jednak wyniki przyspieszonego kiełkowania, szczególnie ziarna jęczmienia, które

mogą sugerować, że w okrywie wystąpiły uszkodzenia ułatwiające dostęp wody. Nasuwa się też przypuszczenie, że wewnętrzne nagrzewanie ziarna uszkadza także bielmo. Te niejednoznaczne rezultaty testów biologicznych wskazują na konieczność poszerzenia zakresu badań wpływu mikrofal na nasiona. Zauważa się przy tym potrzebę działania dwutorowego. Chodzi zarówno o prowadzenie badań, w których mikrofałe są stosowane w zróżnicowanych warunkach suszenia, dzięki czemu uzyska się obszerniejszy materiał porównawczy, jak również o stosowanie różnorodnych testów jakości nasion, a także równoległego ich prowadzenia.

Kierując się tymi przesłankami podjęto badania, w których suszenie mikrofalowe odbywało się w warunkach obniżonego ciśnienia. Badano wpływ czasu nagrzewania i mocy mikrofal na jakość biologiczną oraz właściwości wytrzymałościowe ziarna jęczmienia. Dla dodatkowego zróżnicowania warunków eksperymentu testy przeprowadzono na jęczmieniu odmiany oplewionej i nieoplewionej.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na ziarnie jęczmienia nieoplewionego odmiany Rastik i oplewionego odmiany Rataj, o wilgotności około 20%, zebranych z pola RZD. Ziarno wyłuskano ręcznie, po czym dla wyrównania wilgotności, przechowywano w zamkniętych słojach w chłodziarce.

Suszenie ziarna przeprowadzono w Instytucie Inżynierii Rolniczej AR we Wrocławiu w specjalistycznej suszarce SM – 200. Zastosowano parametry: moc mikrofal 180 i 360 W, czas grzania 30, 60, 120 s, przerwa grzania 120 s, ciśnienie w komorze suszenia 6-8 kPa, masa próbki 170 g. Ziarno suszono do wilgotności około 12%. Materiałem kontrolnym dla ziarna wysuszonego mikrofalowo było ziarno wysuszone w warunkach konwekcji naturalnej.

Badania wytrzymałościowe wykonano posługując się maszyną wytrzymałościową Instron 5566, wyposażoną w głowicę tensometryczną o zakresie pomiarowym do 1 kN. Ziarniaki ułożone bruzdką do dołu ściskano trzpieniem o średnicy 1 mm z prędkością $1,2 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Rejestrowano wartości siły niszczącej F_{max} i odkształcenia w punkcie zniszczenia Δl_{max} . Następnie wyznaczono pracę W w punkcie zniszczenia oraz umowny moduł sprężystości E' , co opisano w opracowaniu Figla i Koniecznej [1]. W przedstawionej pracy analizowano odkształcenie względne ε_0 i naprężenie niszczące σ_{max} ponieważ te parametry uznano za najlepiej charakteryzujące wewnętrzny fizyczny stan ziarna.

Badania właściwości biologicznych wykonano stosując dwa testy: kiełkowanie na płytkach Petriego i kiełkowanie w rulonach bibuły według Germa. Warunki kiełko-

wania były zgodne z Polskimi Normami. Kiełkowanie na płytkach Petriego umożliwiło kontrolę przebiegu kiełkowania i rozwoju części nadziemnych siewek. Kiełkowanie w rulonach bibuły pozwoliło uzyskać siewki z korzeniami rozwiniętymi w swobodnych warunkach. W siewkach zmierzono: długość całych części nadziemnych i koleoptyli, liczbę i długość korzonków, a także zieloną i suchą masę po siódmym dniu kiełkowania tzn. w czasie obliczania zdolności kiełkowania.

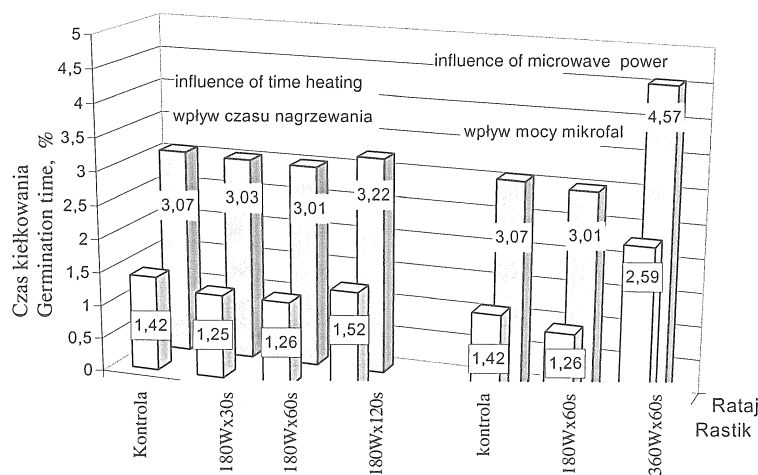
WYNIKI I DYSKUSJA

Pierwsza część wyników dotyczy testów biologicznych ziarna jęczmienia. Liczbę nasion normalnie skiełkowanych w kolejnych dniach doświadczenia przedstawiano w tabeli 1. Ziarno jęczmienia nieoplewionego suszone w warunkach mocy 180 W i czasu grzania 30 i 60 sekund, rozpoczęło kiełkowanie szybciej (w stosunku do ziarna próby kontrolnej), natomiast nagrzewane przez 120 sekund miało niewielkie opóźnienie. Zwiększenie mocy mikrofal okazało się istotnie niekorzystne, ponieważ opóźnienie kiełkowania zwiększyło się znacznie. Jeszcze wyraźniej zmiany te ujawniły się w pierwszym i drugim dniu kiełkowania.

Tabela 1. Kiełkowanie ziarna jęczmienia
Table 1. Germination of barley grain

Rodzaj próby Type of test	Dzień kiełkowania Day of germination							
	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	7 (%)	
Jęczmień nieoplewiony Necked barley grain								
Kontrola	60,7	94,7	94,7	94,7	95,3	96,0	96,0	
180 W x 30 s	76,0	96,0	96,0	96,7	97,3	97,3	97,3	
180 W x 60 s	76,0	94,7	94,7	94,7	95,3	95,3	96,0	
180 W x 120 s	52,7	95,3	96,7	96,7	97,3	98,0	98,0	
360 W x 60 s	6,7	50,7	86,0	90,0	94,7	95,3	96,0	
Jęczmień oplewiony Husky barley grain								
Kontrola	0,0	2,0	90,7	100,0	100,0	100,0	100,0	
180 W x 30 s	0,0	1,3	94,7	98,7	98,7	98,7	98,7	
180 W x 60 s	0,0	2,0	96,0	99,3	99,3	99,3	99,3	
180 W x 120 s	0,0	1,3	83,3	91,3	94,6	94,6	96,7	
360 W x 60 s	0,0	0,0	15,3	48,0	67,3	75,3	84,7	

Dla przykładu, po pierwszym dniu kiełkowania jęczmienia nieoplewionego, w próbie o warunkach suszenia 360 W x 60 s stwierdzono aż 61,3% przypadków tylko z jednym korzonkiem i bez koleoptyla, podczas gdy pozostałe próby suszone mikrofalowo (180 W x 30, 60, 120 s) miały ich od 0,7 do 2,7%, a próba kontrolna 5,3%. Nasion posiadających w pełni rozwinięty kiełek, to znaczy 3 korzonki i koleoptyl, było w tym czasie odpowiednio: w próbie 360 W x 60 s tylko 4,7%, w próbie 180 W x 120 s – 37,7%, w próbach 180 W x 30 s i 180 W x 60 s aż 63,3% i 67,3% oraz w próbie kontrolnej 43,3%. Pomimo wymienionych różnic w początkowym etapie kiełkowania ziarna nieoplewionego, jego zdolność kiełkowania wyrównała się we wszystkich próbach i osiągnęła 96,0-98,0%. W ziarnie jęczmienia oplewionego charakter zmian kiełkowania był podobny, z tym, że samo kiełkowanie rozpoczęło się później, co należy przypisać obecności plewek. Ponadto wystąpiło obniżenie zdolności kiełkowania ziarna oplewionego próby 360 W x 60 s (w stosunku do kontrolnej), które wyniosło 15,3%. Dodatkowe potwierdzenie charakteru opisanych zmian kiełkowania ziarna jęczmienia suszonego mikrofalowo w stosunku do suszonego metodą konwekcyjną stanowią średnie czasu kiełkowania jednego ziarna obliczone metodą Piepera (rys. 1). Wykazują one skrócenie średniego czasu kiełkowania jednego ziarna w próbach 180 W x 30 s i 180 W x 60 s, natomiast niewielkie wydłużenie w próbie 180 W x 120 s i znaczne



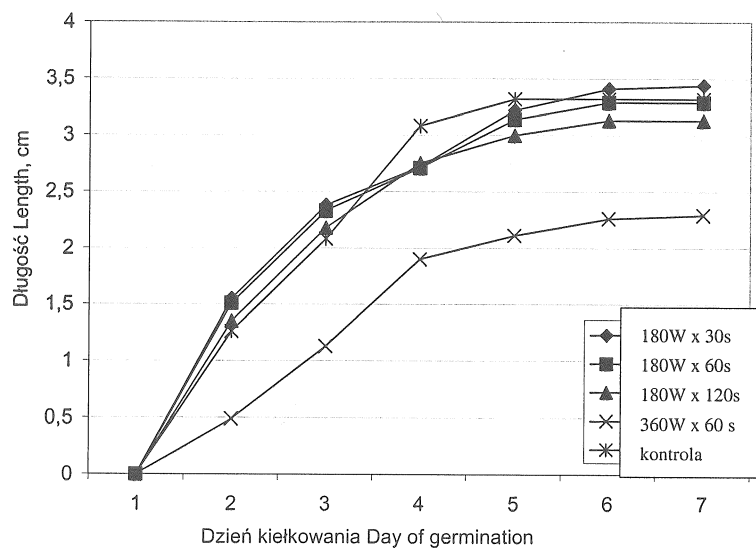
Rys. 1. Czas kiełkowania jednego ziarna jęczmienia oplewionego i nieoplewionego według Piepera
 Fig. 1. Germination time of single husky and naked barley grain based on method of Pieper

Wyniki pomiarów wzrostu części nadziemnej roślin zebrano w tabeli 2. W jęczmieniu nieoplewionym przyspieszone kiełkowanie w próbach 180 W x 30 s i 180 W x 60 s, w porównaniu z próbą kontrolną nie pociągnęło za sobą również zwiększonych przyrostów dziennych długości siewek i dlatego po siedmiu dniach kiełkowania stwierdzono w tych próbach podobną długość. W próbach o opóźnionym kiełkowaniu 180 W x 120 s, a przede wszystkim 360 W x 60 s przyrosty dzienne w początkowych dniach kiełkowania były małe i w rezultacie siewki w tych próbach były zawsze znacznie krótsze. W ziarnie jęczmienia oplewionego zależności miały generalnie podobny charakter. Próby 180 W x 30 s i 180 W x 60 s miały najdłuższe części nadziemne i wykazały największe przyrosty dzienne. Próby o opóźnionym kiełkowaniu miały małe przyrosty dzienne i w efekcie po siódmym dniu kiełkowania siewki w próbie 360 W x 60 s osiągnęły długość zaledwie 5,6 cm.

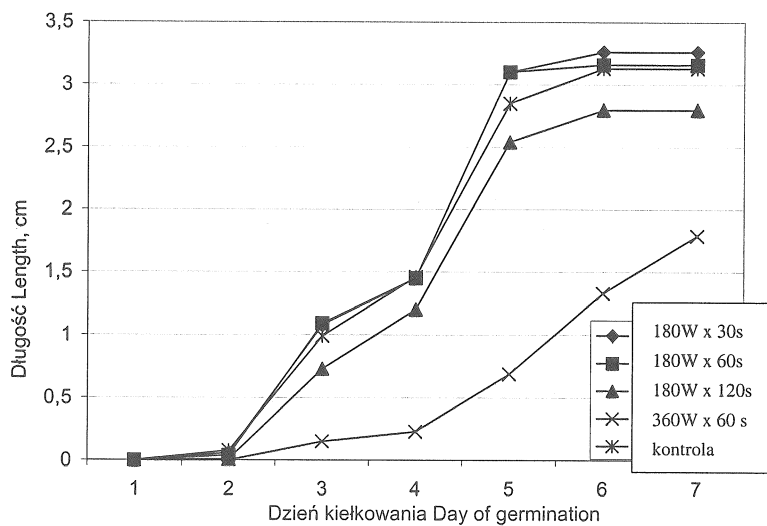
Tabela 2. Wzrost części nadziemnej siewek jęczmienia
Table 2. Growth of barley shoot

Rodzaj próby Type of test	Dzień kiełkowania Day of germination					
	2 (cm)	3 (cm)	4 (cm)	5 (cm)	6 (cm)	7 (cm)
Jęczmień nieoplewiony Necked barley grain						
Kontrola	1,3	2,1	4,9	8,1	10,6	13,3
180W x 30s	1,6	2,4	4,5	8,0	10,6	13,3
180W x 60s	1,5	2,3	4,6	7,9	10,5	13,1
180W x 120s	1,4	2,2	4,4	7,6	10,1	12,8
360W x 60s	0,5	1,1	2,4	4,4	6,4	9,0
Jęczmień oplewiony Husky barley grain						
Kontrola	0,1	1,0	3,1	5,8	8,4	11,3
180W x 30s	0,1	1,1	3,2	6,4	9,0	12,3
180W x 60s	0,0	1,1	3,3	6,4	9,0	12,2
180W x 120s	0,0	0,7	2,5	5,0	7,5	10,6
360W x 60s	0,0	0,2	0,8	1,8	3,2	5,6

Oprócz całej części nadziemnej siewek oceniano również długość ich koleoptyli. Wyniki dla ziarna nieoplewionego (rys. 2) wskazują na podobne długości koleoptyli w ziarnach, na które działano mikrofalami o mocy 180 W i znacznie obniżone, gdy moc wynosiła 360 W. Taka sama zależność wystąpiła dla ziarna oplewionego (rys. 3), z tym tylko, że również długość koleoptyli w próbie 180 W x 120 s była wyraźnie niższa niż w próbach 180 W x 30 s, 180 W x 60 s i kontrolnej.

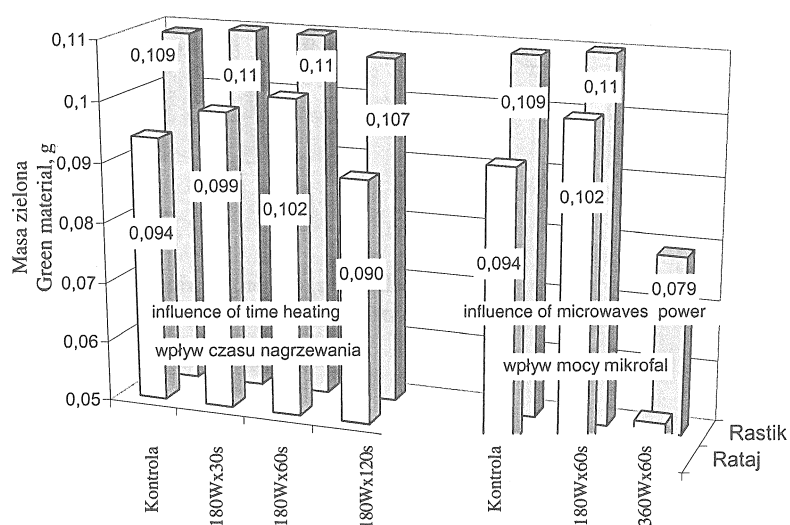


Rys. 2. Długość koleoptyli jęczmienia nieoplewionego
Fig. 2. Coleoptile length of naked barley



Rys. 3. Długość koleoptyli jęczmienia oplewionego
Fig. 3. Coleoptile length of husky barley

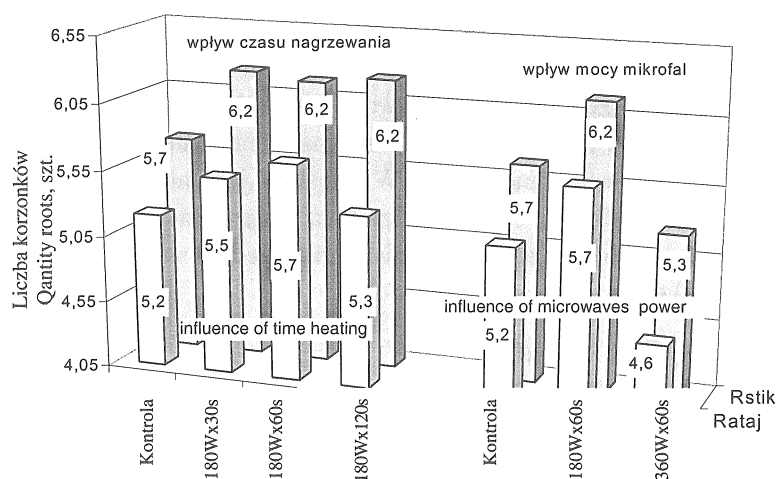
Wyniki pomiarów zielonej masy wytworzonej z ziarna poszczególnych prób przeliczone na jedną siewkę (rys. 4) wykazały, że rośliny jęczmienia nieoplewionego w próbach wysuszonych mikrofalowo w warunkach oddziaływania mocy 180 W i w próbie kontrolnej miały podobną masę, natomiast istotnie mniejszą w warunkach oddziaływania mocy 360 W. Rośliny jęczmienia oplewionego z prób 180 W x 30 s i 180 W x 60 s miały zieloną masę jednej siewki większą od siewki w próbie kontrolnej. Szczególnie niską masę jednej siewki odnotowano w próbie 360 W x 60 s.



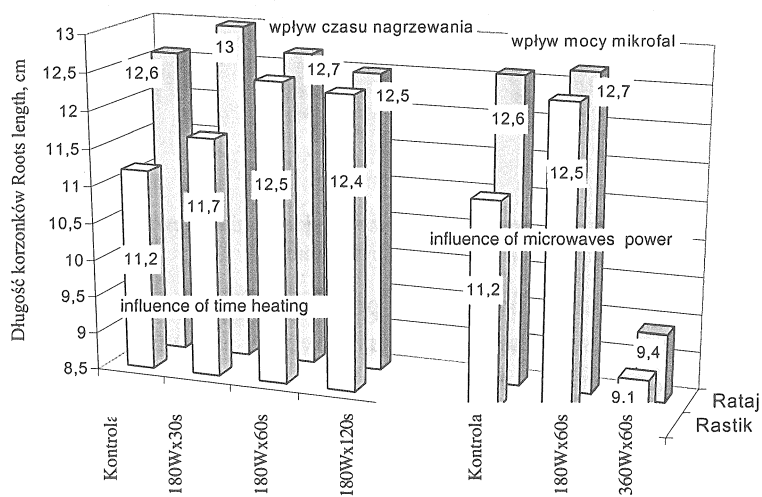
Rys. 4. Zielona masa części nadziemnej jednej siewki jęczmienia oplewionego i nieoplewionego
Fig. 4. Green mass of husky and naked barley single shoot

Charakterystykę korzonków siewek przedstawiają dane na rysunkach 5 i 6. Liczba korzonków (rys. 5) w ziarnie suszonym w warunkach mikrofal 180 W była zawsze wyższa niż w ziarnie z próby kontrolnej niezależnie od odmiany jęczmienia, natomiast znacznie niższa w ziarnie suszonym w warunkach mocy 360 W. Wyniki dla ziarna nieoplewionego były wyższe niż oplewionego.

Wyniki średniej długości korzonków wszystkich siewek poszczególnych prób (rys. 6) zarówno jęczmienia nieoplewionego jak i oplewionego wykazały również korzystny wpływ oddziaływania mikrofal o mocy 180 W i ujemny wpływ o mocy 360 W. Należy zaznaczyć, że pomimo iż rozpoczęcie kiełkowania ziarna oplewionego w stosunku do nieoplewionego było późniejsze, długości korzonków ziarna oplewionego okazały się większe niż nieoplewionego, co stanowi wyjątek.

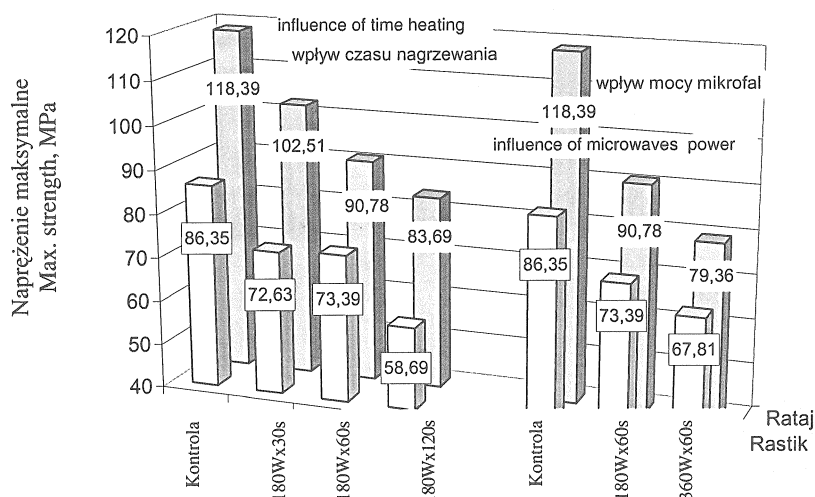


Rys. 5. Liczba korzonków w siewce jęczmienia oplewionego i nieoplewionego
 Fig. 5. Roots number of husky and naked barley single seedling



Rys. 6. Długość korzonków w siewce jęczmienia oplewionego i nieoplewionego
 Fig. 6. Roots length of husky and naked barley single shoot

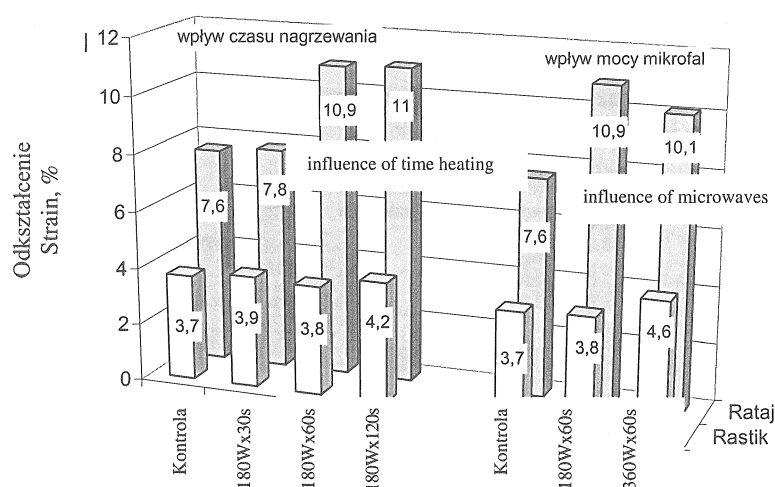
Z przedstawionych danych wynika, że warunki nagrzewania w obniżonym ciśnieniu mikrofalami o mocy 180 W w cyklach 30 s grzanie, 120 s przerwa i 60 s grzanie, 120 s przerwa spowodowały zmiany w ziarnie jęczmienia zarówno nie-oplewionego jak i oplewionego, które z punktu widzenia kiełkowania i początkowego rozwoju siewek są bardzo korzystne. Wydłużenie czasu grzania do 120 s w cyklu, spowodowało natomiast ujemną reakcję ziarna, obniżając wartość wskaźników kiełkowania i rozwoju (lecz tylko części nadziemnej siewek). Należy przypuszczać, że wystąpiło wówczas przegrzanie wewnętrznej części osi zarodkowej, w której znajduje się zawiązek części nadziemnej rośliny. Jeszcze większe przegrzanie wystąpiło po zwiększeniu mocy mikrofal do 360 W przy czasie grzania 60 s. Nastąpiła istotna destrukcja, której objawem stały się obniżone, w znacznym stopniu, wszystkie wskaźniki jakości biologicznej ziarna jęczmienia obu odmian.



Rys. 7. Naprężenia niszczące ziarniki jęczmienia oplewionego i nieoplewionego
 Fig. 7. Breaking stress of husky and naked barley single grain

Druga część pracy dotyczy testu wytrzymałości ziarniaków jęczmienia na ściskanie quasistatyczne. Obejmuje naprężenia niszczące i odkształcenia względne. Naprężenia niszczące (rys. 7) próby kontrolnej były największe i wynosiły w ziarnie nieoplewionym 86,35 MPa i oplewionym 118,38 MPa. Wzrost czasu grzania w cyklu grzanie/przerwa spowodował we wszystkich próbach obniżenie wartości naprężeń: do 58,69 MPa w ziarnie nieoplewionym i 83,69 MPa w ziarnie oplewionym (próby 180 W x 120 s). Następstwem wzrostu mocy mikrofal było również obniżenie wartości naprężenia – do 67,81 MPa w ziarnie nieoplewionym i 79,36 MPa w ziarnie oplewionym (próby 360 W x 60 s).

Pomiary odkształceń względnych dały wyniki korespondujące z wynikami pomiarów naprężeń niszczących (rys.8). Odkształcenia względne po obciążeniu ziarna siłą o wartości 50% siły niszczącej były najniższe w przypadku ziarna próby kontrolnej i wynosiły 3,7%. Wzrastały po wysuszeniu w warunkach 180 W x 120 s do 4,2% i w warunkach 360 W x 60 s do 4,6%. W ziarnie oplewionym zanotowano natomiast odpowiednio dla próby kontrolnej – 7,6%, dla próby 180 W x 120 s – 11,0% i dla próby 360 W x 60 s – 10,1%.



Rys. 8. Odkształcenia względne ziarniaków jęczmienia oplewionego i nieoplewionego po obciążeniu 50% siły niszczącej

Fig. 8. Strain of husky and naked barley single grain after loading with 50% breaking force

Wyniki te wskazują, że zróżnicowane warunki suszenia powodują destrukcję ziarna nasilającą się wraz ze wzrostem parametrów suszenia. Małe naprężenia niszczące i duże odkształcenia względne ziarniaków, w powiązaniu z obniżonymi wskaźnikami rozwoju części nadziemnej siewek z ziarna próby 180 W x 120 s wskazują na znaczenie czasu nagrzewania ziarna w procesie suszenia z udziałem mikrofal. Wraz ze wzrostem czasu nagrzewania wzrasta temperatura ziarna, a skutki jej działania w postaci zmian cech mechanicznych ziarniaków próby 180 W x 120 s okazały się nawet w przybliżeniu podobne do notowanych w próbie 360 W x 60 s. Z tego powodu należy przyjąć, że w suszeniu mikrofalowym w obniżonym ciśnieniu, w warunkach mocy mikrofal 180 W, czas nagrzewania wynoszący 120 s w cyklu z przerwą również 120 s, jest krytyczny.

WNIOSKI

1. Test biologiczny ziarna wykazał zróżnicowany wpływ suszenia mikrofalowego w obniżonym ciśnieniu:

- w warunkach mocy mikrofal 180 W i czasu grzania 30 s oraz 60 s, przyspieszone kiełkowanie i normalny rozwój siewek
- w warunkach mocy mikrofal 180 W i czasu grzania 120 s, obniżenie wartości wskaźników rozwoju tylko części nadziemnych siewek
- w warunkach mocy mikrofal 360 W i czasu grzania 60 s, obniżenie wartości wszystkich właściwości biologicznych

2. Test wytrzymałości mechanicznej na ściskanie quasistatyczne wykazał obniżenie wartości wytrzymałościowych ziarna jęczmienia we wszystkich przypadkach suszenia mikrofalowego w obniżonym ciśnieniu, powiększające się wraz ze wzrostem wartości parametrów suszenia.

3. W ocenie jakości nasion wskazane jest stosowanie obok testu biologicznego również wytrzymałościowego, szczególnie dla ziarna wykazującego przyspieszone kiełkowanie.

PIŚMIENNICTWO

1. **Figiel A., Konieczna M.:** Wytrzymałość na ściskanie ziarna jęczmienia suszonego metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia. Inżynieria Rolnicza (w druku), 2003.
2. **Konieczna M., Figiel A.:** Właściwości mechaniczne i biologiczne nieoplewionego ziarna jęczmienia suszonego mikrofalowo-konwekcyjnie i konwekcyjnie. Inżynieria Rolnicza, 13(33), 194-199, 2001.
3. **Konieczna M., Szarycz M., Jałoszyński K.:** Zmiany warunków suszenia mikrofalowo – konwekcyjnego w przypadku utrzymywania stałej temperatury nagrzania nasion dla różnych poziomów mocy mikrofal i ich wpływ na jakość biologiczną. Eksploatacja i Niezawodność PN – TTE, Warszawa, 2, 48-54, 2001.
4. **Raghawan G.S.V., Alvo P., Shivare U.S.:** Microwave drying of cereal grain. Advantages and limitations. Postharvest News and Information (4:3), 79N-83N. 1993.
5. **Stephenson M.M., Kushalappa A.C., Ragahavan G.S.V., Mather D.E.:** Response Surface Models to Describe the Effect and Phytotoxic Thresholds of Microwave Treatments on Barley Seed Germination and Vigour. Seed Science & Technology, (24), 49-65, 1996.
6. **Szarycz M., Konieczna M.:** Ocena niektórych parametrów mikrofalowo-konwekcyjnego suszenia nasion bobiku. Inżynieria Rolnicza, 5 (11), 63-69, 1999.

RELATION OF MECHANICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES
OF BARLEY GRAIN MICROWAVE DRIED AT CONDITION
OF LOWER PRESSURE

Maria Konieczna, Adam Figiel

Institute of Agricultural Engineering, University of Agriculture
ul. Chelmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław, Poland
e-mail: e-mail: instytut@imr.ar.wroc.pl

Abstract. Barley grain dried in condition of lower pressure was assessed by two types of tests: biological and mechanical. Results of these tests were not equal. Biological test revealed advantages effect of power of 180 W and short time of heating 30 s and 60 s i.e. improving all factors of biological quality of microwave dried grain in compare with dried in natural convection conditions. Increasing of heating time (120 s) and particularly microwave power (360 W) yielded in lowering of biological value of both husky and necked barley grain. Strength test pointed out however decrease of strength properties of barley grain at all cases of microwave drying. The value of factors decreased with increasing of time of heating as well as microwave power. Results indicated the need of practical use of diversified tests in grain quality assessment.

Key words: biological value, strength, microwave drying, barley grain