

# ZMIANY WARUNKÓW SUSZENIA MIKROFALOWO-KONWEKCYJNEGO W PRZYPADKU UTRZYMYWANIA STAŁEJ TEMPERATURY NAGRZANIA NASION DLA RÓŻNYCH POZIOMÓW MOCY MIKROFAL I ICH WPŁYW NA JAKOŚĆ BIOLOGICZNĄ NASION

## CHANGES IN CONDITIONS OF MICROWAVE-CONVECTIONAL DRYING AT CONSTANT TEMPERATURE OF HEATING AND AT DIFFERENT MICROWAVE POWER LEVELS AND THEIR EFFECT ON BIOLOGICAL QUALITY OF SEEDS

*Przedstawiono rzeczywiste czasy nagrzewania nasion bobiku do założonej temperatury  $40\pm 2^{\circ}\text{C}$  podczas ich suszenia w polu mikrofal. W kolejnych doświadczeniach zastosowano różne poziomy mocy mikrofal (od 72 do 168 W na 180 g nasion o wilgotności początkowej 20%). Temperatura powietrza wynosiła każdorazowo  $35^{\circ}\text{C}$  a jego prędkość przepływu 0,1 m/s. Wyznacznikiem przydatności metody mikrofalowo-konwekcyjnej suszenia nasion była ocena wyników kiełkowania i rozwoju siewek.*

*Słowa kluczowe: mikrofała, suszenie, nasiona.*

*The actual times in which broad bean seeds heat up to a temperature of  $40\pm 2^{\circ}\text{C}$  during their drying in a microwave field are given. Different microwave power levels (in a range of 72-168 W for 180 g of seeds with an initial moisture content of 20%) were used in successive experiments. In each case, the air temperature was  $35^{\circ}$  and the air flow velocity - 0.1 m/s. The usefulness of the microwave-convectional method of drying seeds was determined by assessing seedling germination and development.*

*Keywords: microwaves, drying, seeds.*

### 1. Wstęp i cel pracy

Inżynieria systemów bioagrotechnicznych przewiduje budowanie systemów produkcyjnych działających zarówno funkcjonalnie jak i niedestrukcyjnie [5]. W produkcji nasion, w etapie suszenia nasion zauważa się tymczasem, że dotychczasowa metoda suszenia konwekcyjnego powoduje destrukcję zarówno materiału suszonego, w wyniku warunków procesowych jak i destrukcję środowiska, wskutek spalania konwencjonalnych paliw [6]. Poszukuje się w związku z tym nowych metod suszenia, wśród których uwagę zwraca metoda mikrofalowo-konwekcyjna. Wykorzystuje się w niej zjawisko nagrzewania wewnętrznego

### 1. Introduction and research goal

The engineering of bioagrotechnical systems predicts that production systems operating both efficiently and non-destructively will be built [5]. But in seed production at the stage of seed drying, the method of convectional drying used so far turns out to cause destruction of both the dried material (due to the process conditions) and the environment (due to the combustion of conventional fuels [6]). Therefore new methods of drying are sought. Among the potential methods, the microwave-convectional method features prominently. It exploits the phenomenon of internal heating of a material having dielectric properties

materiału o właściwościach dielektrycznych, znajdującego się w polu elektrycznym o dużej częstotliwości. Uważa się, że zastosowanie tego sposobu nagrzewania nasion, w połączeniu z suszeniem konwekcyjnym, może być szczególnie korzystne.

Mechanizm nagrzewania nasion w polu mikrofalowym jest jednak złożony i mało poznany. Dotychczas interesowano się przede wszystkim mocą pola, która w.g. Beke i innych [1] wymusza ruch wewnętrznej wilgoci, pełniąc w usuwaniu wody tę samą rolę, jaką pełni temperatura powietrza w suszeniu konwekcyjnym. Mało uwagi poświęcono natomiast temperaturze nasion. Działanie mikrofal powoduje wzrost temperatury, a przecież w biologicznie czynnym materiale jakim są nasiona nie może ona przekroczyć określonego pułapu, bez ryzyka obniżenia właściwości biologicznych nasion. Bour i inni [2] w badaniach nagrzewania się złoża mineralnego w polu mikrofal stwierdzili, że w trakcie suszenia nawet powierzchniowa warstwa złoża ma temperaturę 100°C. Uważa się, że wilgotne ciało w procesie suszenia dielektrycznego osiąga temperaturę wrzenia już w okresie wstępnego nagrzania. Badania Beke i innych [2] dotyczące rozkładu wilgotności w ziarnie kukurydzy wykazały jednak, że ziarno kukurydzy charakteryzuje się małą przewodnością cieplną. Temperatura, którą w czasie nagrzewania osiąga po 10 minutach w warunkach mocy pola 3,56W/g wody i temperatury powietrza suszącego 20°C wynosi 68-73°C a po 55 minutach nie przekracza 78°C. Temperatury mierzone w obwodowej części ziarna były zawsze najniższe. Z punktu widzenia właściwości biologicznych nasion temperatury te nie można jednak uznać za bezpieczne. Raghavan i inni [5] stwierdzają, że moc pola ma wpływ na kiełkowanie nasion i że ta zależność jest odwrotnie proporcjonalna. Z badań Koniecznej i Szarycz [3, 4] nie wynika jednak, że moc sama w sobie oddziałuje negatywnie na jakość nasion. W zebranych ręcznie nasionach bobiku, o naturalnej wilgotności 18,8% suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie, wraz ze wzrostem mocy stwierdzono zmniejszenie się ilości makrouszkodzeń oraz wzrost jakości biologicznej nasion. Można więc sądzić, że mocy pola przypisuje się niesłusznie aż tak negatywną rolę w suszeniu nasion. Chodzi tu raczej o temperaturę nagrzania nasion, która w czasie oddziaływania mikrofal może być wysoka. Raghavan i inni [5] wydają się zauważać ten problem bo proponują obniżenie temperatury nasion przez zwiększenie prędkości przepływu powietrza, co da większy efekt chłodzenia. Problem temperatury nasion, jak widać, przewija się w wielu badaniach. Należy wobec tego postawić pytanie: jak różne poziomy mocy wpływają na wzrost temperatury nasion a także jak powinno się prowadzić suszenie aby tem-

and placed in a high-frequency electric field. This method of heating seeds, combined with convective drying, promises to be highly advantageous.

However, the mechanism of heating seeds in a microwave field is complex and little understood. Until now research has focused mainly on the power of the field, which according to Beke et al. [1] induces the motion of internal moisture, playing the same role in water removal as air temperature in convective drying. Relatively little attention has been devoted to the temperature of the seeds. Under the action of microwaves this temperature increases, but in a biologically active material such as seeds, the temperature cannot exceed a certain threshold, otherwise the biological properties of the seeds may deteriorate. Bour et al. [2] while investigating the heating of a mineral deposit in a microwave field found that during drying even the surface layer of the deposit has a temperature of 100°C. It is believed that a moist body subjected to dielectric drying reaches the boiling point already at the initial stage of heating. Research into the distribution of moisture content in the corn grain carried out by Beke et al. [2] showed that the corn grain is characterized by low thermal conductivity. After 10 minutes of heating at a field power of 3.56 W/g water and a drying air temperature of 20°C it reaches a temperature of 68-73°C which after 55 minutes does not exceed 78°C. The temperatures measured in the circumferential part of the grain were always the lowest. However, they cannot be regarded as safe for the biological properties of the seeds. Raghavan et al. [5] have found that the power of the field affects the germination of seeds and that this correlation is inversely proportional. But the experimental results obtained by Konieczna and Szarycz [3, 4] do not show that the power alone adversely affects the quality of seeds. It was found that in manually harvested broad bean seeds with a natural moisture content of 18.8%, dried by the microwave-convective method, the amount of macrodamage decreases and the seeds' biological quality increases as the power is increased. Therefore, one can deduce that the power of the field is wrongly thought to have so adverse effect on seeds during their drying. One should rather blame the quite high temperature to which seeds heat up under the action of microwaves. Raghavan et al. [5] seem to notice this problem because they propose to lower the temperature of seeds by increasing the air flow velocity, which results in better cooling. The problem of the temperature of seeds crops up in numerous studies. Therefore one should pose the question: how do different power levels affect the increase in the temperature of seeds and how drying should be conducted so that the temperature to

peratura nagrzania nasion nie przekraczała przyjętych norm. Poszukując odpowiedzi podjęto badania, których celem jest:

1. Określenie rzeczywistego czasu nagrzewania się nasion w warunkach różnych mocy pola mikrofalowego i przy zachowaniu stałej temperatury nagrzania nasion oraz temperatury powietrza i jego prędkości przepływu,
2. Ocena wpływu przyjętych warunków na jakość biologiczną nasion na przykładzie nasion bobiku.

## 2. Warunki i metody badań

Badania przeprowadzono na nasionach bobiku odmiany Jasny pochodzących z Centrali Nasiennej. Przed suszeniem nasiona nawilżono do wilgotności 20%. Jednorazowo suszono próbki o wadze 180 g. Suszenie przeprowadzono w Instytucie Inżynierii Rolniczej Akademii Rolniczej we Wrocławiu na specjalistycznym stanowisku SM-200 firmy Plazmatronika [Rys. 1], pozwalającym na programowanie warunków suszenia. W badaniach przyjęto moc mikrofal: 72, 96, 120, 144 i 168 W, temperaturę nagrzania nasion  $40 \pm 2^\circ\text{C}$ , temperaturę powietrza  $35^\circ\text{C}$ , prędkość powietrza 0,1 m/s. Nasiona suszono do wilgotności około 12,5%. Włączenie i wyłączenie magnetronów odbywało się manualnie.

Mierzono czas emisji mikrofal (czas nagrzewania) i czas przerwy (czas wyłączenia magnetronów) w całym zakresie suszenia każdej próby.

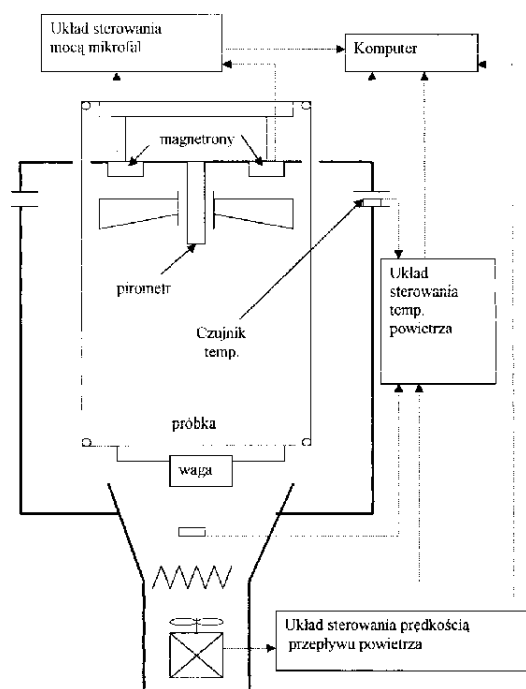
which seeds heat up does not exceed the relevant standards. To find answers to these questions, research aimed at:

1. Determining the actual time in which seeds heat up at different microwave field powers while the temperature of heating the seeds, the air temperature and the air flow velocity remain constant,
2. Assessing the effect of the different conditions on the biological quality of seeds, using as an example broad bean seeds; was undertaken.

## 2. Experimental conditions and methods

Tests on broad bean (of the Light variety) seeds obtained from Centrala Nasienna were carried out. Prior to drying the seeds had been moisturized to a moisture content of 20%. Each sample weighed 180 g. The samples were dried on a Plazmatronica SM-200 stand (with programmable drying conditions) [fig. 1] in the Institute of Agricultural Engineering at the Wrocław Academy of Agriculture. The test conditions were as follows: a microwave power of 72, 96, 120, 144 and 168 W, a seeds heating temperature of  $40 \pm 2^\circ\text{C}$ , an air temperature of  $35^\circ\text{C}$ , an air flow velocity of 0.1 m/s. The seeds were dried until a moisture content of about 12.5% was reached. The magnetrons were turned on and off manually.

The microwave emission time (heating time) and the break time (during which the magnetrons remained turned off) were measured in the whole range of drying for each sample.



Rys. 1. Schemat stanowiska suszarniczego

Fig. 1. Diagram of drying stand

Oceny jakości biologicznej nasion wysuszonych sztucznie jak również z próby kontrolnej wysuszonej w warunkach konwekcji naturalnej, dokonano na podstawie wyników badań kiełkowania i rozwoju siewek. Badania te wykonano stosując dwie metody: kiełkowania na bibule w płytkach Petriego oraz kiełkowania w rulonach bibuły w.g. Germa. Zastosowano warunki opisane w Polskich Normach.

### 3. Wyniki badań ich i omówienie

Analiza wyników pomiaru czasów emisji mikrofal i przerw w pracy magnetronów wykazała, że dla poprawienia jasności obrazu przebiegu suszenia poszczególnych prób należy wyróżnić dla nasion bobiku 4 etapy charakteryzujące się podobnymi czasami emisji i przerw. Wyróżniono:

- etap I - nagrzewanie wstępne, w którym wilgotność pozostawała stała (20%);
- etap II w którym wilgotność nasion zmieniała się w zakresie 20-17%;
- etap III dla nasion o wilgotności w zakresie 17-15%;
- etap IV dla nasion o wilgotności poniżej 15% (do około 12,5%).

Podział ten można uznać za logiczny także z tego względu, że w fizjologii nasion wilgotności 17 i 15% są "progowe", wyznaczające etapy intensywności procesów życiowych.

Czasy emisji mikrofal potrzebne do utrzymania założonej temperatury  $40\pm 2^\circ\text{C}$  przedstawiono na rys.2.

Z danych wynika, że czasy emisji były różne. Wskazuje to, że w praktyce, czasy emisji podczas suszenia nie mogą być utrzymywane na stałym poziomie i dowolnie długie. Muszą być dostosowane za-

The biological quality of the artificially dried seeds and of the control sample seeds dried in conditions of natural convection was assessed on the basis of seedling germination and growth test results. The tests were performed using two methods: germination on filter paper in Petri dishes and germination in rolls of filter paper acc. to Germ. The conditions specified by the relevant Polish Standards were used.

Microwave power control system, Computer, magnetrons, pyrometer, temperature sensor, air temperature control system, sample, balance, air flow velocity control

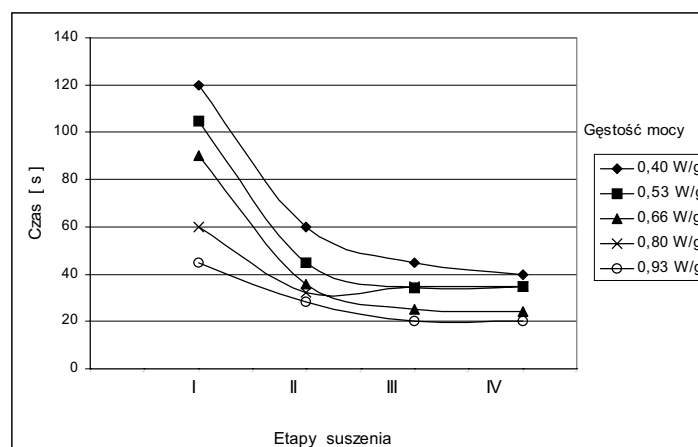
### 3. Experimental results and their discussion

An analysis of the microwave emission time and magnetron idle time measurements showed that to improve the clarity of the course of drying, the following 4 stages (characterized by similar emission and break times) should be distinguished:

- stage I - preheating, during which the moisture content remained constant (20%);
- stage II during which the seeds' moisture content changed in a range of 20-17%;
- stage III for seeds with a moisture content of 17-15%;
- stage IV for seeds with a moisture content of below 15% (down to about 12.5%).

The above division can be regarded as logical also for this reason that in seed physiology, moisture contents of 17% and 15% are considered to be the threshold contents demarcating the stages in the intensity of life-processes.

The microwave emission times needed to maintain the assumed temperature of  $40\pm 2^\circ\text{C}$  are presented in fig. 2.



Rys. 2. Czas jednej emisji mikrofal potrzebny do utrzymania temperatury nasion w zakresie  $40\pm 2^\circ\text{C}$  w etapach suszenia I - IV

Fig. 2. Time of one microwave emission, needed to maintain assumed temperature of  $40\pm 2^\circ\text{C}$  in drying stages I-IV

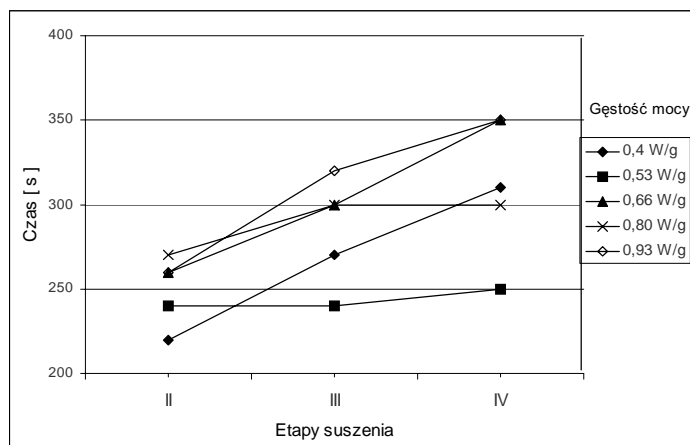
równy do mocy mikrofal jak i do wilgotności nasion. W IV etapie suszenia nasion czasy emisji stabilizowały się na poziomie zależnym od mocy mikrofal.

Czasy przerw w pracy magnetronu charakteryzują dane przedstawione na rys.3.

Przerwy w emisji mikrofal były stosunkowo długie, co wynika z niskiej przewodności cieplnej nasion bobiku. W trakcie suszenia, w miarę zmniejsza-

The data show that the emission times were different. This means that emission times during drying cannot be kept at a constant level and arbitrarily long. They must be adjusted to both the microwave power and the seed's moisture content. In stage IV of drying, the emission times stabilized at a level dependent on the microwave power.

The magnetron idle times are illustrated in fig. 3.



Rys. 3. Czas jednej przerwy pomiędzy emisjami mikrofal w etapach suszenia

Fig. 3. Time of one break between microwave emissions in drying stages

nia się wilgotności nasion, przerwy wydłużały się. Należy się jednak spodziewać, że w zakresie wilgotności poniżej badanej 12,5% czasy przerw w emisji będą rosły już nieznacznie ponieważ oddawanie wody w "przesuszonych" nasionach jest fizjologicznie spowolnione.

Przedstawione przykładowo wyniki zmierzonych czasów nagrzewania nasion bobiku wskazują, że dogrzewanie mikrofalami nasion suszonych konwekcyjnie daje bardzo duże możliwości automatycznego sterowania procesem suszenia. Szczególne ułatwienia można osiągnąć w przypadkach wymagających stosowania zmiennych temperatur suszenia.

W badaniach jakości biologicznej stwierdzono, że niskie moce mikrofal, a w związku z tym długie czasy emisji, opóźniają rozwój kielków. Wskazują na to wyniki kiełkowania w I terminie (rys.4). Zanotowano ponadto zjawisko obumierania kielków, co w efekcie obniżyło także wynik zdolności kiełkowania.

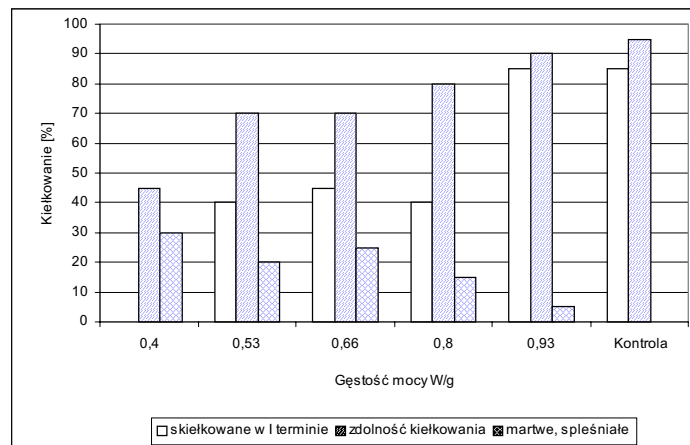
Uzyskane w tych warunkach siewki (rys.5 i 6) były w próbach nagrzewanych mikrofalami o niskiej mocy (np. gęstość mocy 0,40W/g) słabiej rozwinięte niż w próbach nagrzewanych mikrofalami o wysokiej mocy (np. gęstość mocy 0,93W/g), jak również w próbach kontrolnych nie poddawanych działaniu mikrofal. W przypadku działania na nasiona mikrofal o wysokiej mocy, czyli równocześnie stosowania krótkich czasów emisji, uzyskano podobne jak w próbie kontrolnej kiełkowanie (rys.4) i bardzo dobry rozwój sie-

The breaks in microwave emission were quite long due to the low thermal conductivity of broad bean seeds. During drying as the seeds' moisture content decreased, the breaks lengthened. However, one can expect that for a moisture content below 12.5%, the length of breaks in emission will increase only slightly since the giving up of water in partly dried seeds is sluggish because of physiological reasons.

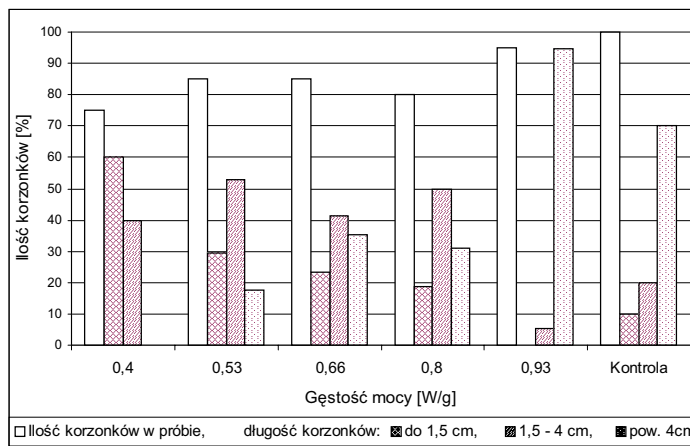
The exemplary measured heating times for broad bean seeds indicate that the additional microwave heating of seeds dried convectionally allows one to automatically control (to a large extent) the drying process, particularly in cases in which variable drying temperatures are required.

The biological quality test results showed that low microwave powers, and thus long emission times, retard the development of the seedlings – as evidenced by the germination results for date I (fig. 4). Moreover, seedling atrophy was observed. As a result, also the germination capacity was lower.

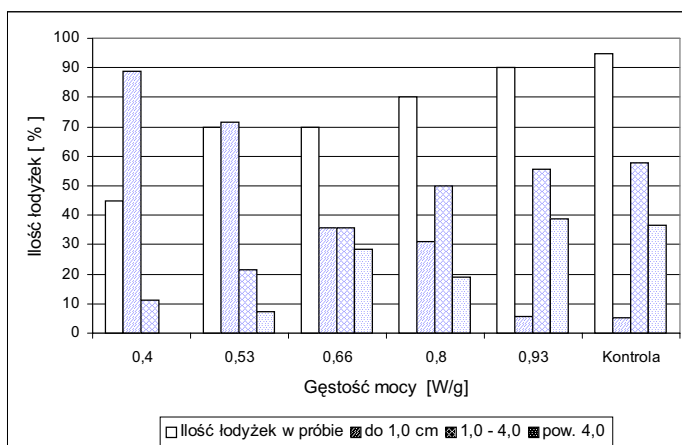
The seedlings obtained in the above conditions (figs 5 and 6) in the samples heated with low-power (e.g. power density of 0.40 W/g) microwaves were found to be less developed than the ones in the samples heated with high-power (e.g. power density of 0.93 W/g) microwaves and the ones in the control samples not subjected to microwaves. In the case of high-power microwaves acting on the seeds and short emission times, germination was similar as in the control



Rys. 4. Kielkowanie nasion bobiku suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie  
 Fig. 4. Germination of broad bean seeds dried by microwave-convectional method



Rys. 5. Stan rozwoju korzonków w I liczeniu  
 Fig. 5. State of development of rootlets in count I



Rys. 6. Stan rozwoju łodyżek w II liczeniu  
 Fig. 6. State of development of stems in count II

wek oceniany ilością i długością korzonków oraz długością łodyżek siewek (rys.5 i 6). Wyniki te wskazują, że nie sama moc pola mikrofalowego jako taka, ale czas emisji mikrofal ma istotne znaczenie dla jakości biologicznej nasion.

#### 4. Wnioski

1. Utrzymanie stałej temperatury nagrzania nasion bobiku w warunkach stałej mocy mikrofal jest możliwe przy cyklicznej pracy magnetronów.
2. Czas emisji potrzebny do uzyskania założonej temperatury w cyklu zależy od mocy mikrofal i jest coraz krótszy wraz ze wzrostem mocy.
3. W suszeniu nasion bobiku niezależnie od stosowanej mocy występują 4 etapy różniące się czasami emisji i przerw pomiędzy emisjami.
4. Jakość biologiczna nasion bobiku zależy od czasu nagrzewania nasion, a od mocy pola mikrofalowego tylko pośrednio.
5. Zastosowanie dogrzewania mikrofalami nasion suszonych konwekcyjnie poszerza możliwości automatycznego sterowania procesem suszenia.

#### 5. Literatura

- [1] Beke J., Mujumdar A.S., Giroux M.: *Some features of microwave drying of corn and potato samples*. Proc. of the 10th, IDS (IDS'96) vol.B, 888-896, 1996 Kraków, Poland.
- [2] Bour S., Gevaudan A., Moyne C.: *Towards a better understanding of electrical and transport phenomena mechanisms during high frequency drying*. Proc. of the 11th IDS (IDS'98), vol.C, 2156-2163, Halkidiki, Greece, 1998.
- [3] Konieczna M., Szarycz M.: *Makrouszkodzenia nasion bobiku suszonych konwekcyjnie i mikrofalowo-konwekcyjnie*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 454,545-552, 1998.
- [4] Konieczna M. Szarycz M.: *Uszkodzenia biologiczne nasion bobiku spowodowane suszeniem mikrofalowo-konwekcyjnym*. Zesz. Nauk Roln. Z. 454 , 553-560, 1998.
- [5] Powierża L.: *Zarys inżynierii systemów bioagrotechnicznych*. Wydawnictwo ITE. Radom-Płock, 1997.
- [6] Raghavan G.S.V., Alvo P., Shivhare V. S.: *Microwave drying of grain: advantages and limitations*. Postharvest News and Information, vol. 4, no.3 79N-83N, 1993.

sample (fig. 4) and the seedlings were very well developed (as assessed by the amount and length of rootlets and the length of seedling stems) (figs 5 and 6). The results show that not only microwave field power, but also microwave emission time has a bearing on the biological quality of seeds.

#### 4. Conclusions

1. Constant temperature of heating broad bean seeds in conditions of constant microwave power can be maintained if the magnetrons operate in a cyclical manner.
2. The emission time needed to reach an assumed temperature in a cycle depends on the microwave power and it becomes increasingly shorter as the power increases.
3. In the drying of broad bean seeds, regardless of the applied power, one can distinguish 4 stages differing in their emission times and breaks between emissions.

---

**Doc. dr hab. Maria Konieczna**  
**Dr inż. Marian Szarycz**  
**Mgr inż. Klaudiusz Jałoszyński**  
*Instytut Inżynierii Rolniczej*  
*Akademia Rolnicza*  
*ul. Chelmońskiego 37/41*  
*51-630 Wrocław*  
*tel. 32-05-712*  
*e-mail: konieczna@imr.ar.wroc.pl*  
*e-mail: szarycz@imr.ar.wroc.pl*  
*e-mail: jaloszyński@imr.ar.wroc.pl*

---