

## BADANIA NAD SUSZENIEM DROGICH DROBNYCH NASION PROMIENIAMI PODCZERWONYMI

EWA BIŁOWICKA

IMER — Warszawa

### WSTĘP

Suszenie produktów rolnych promieniami podczerwonymi było już niejednokrotnie prowadzone w różnych krajach. Jednak ze względu na wysokie zużycie ciepła na odparowanie wody, a zatem wysoki koszt suszenia, nie znalazło ono szerszego zastosowania.

Możliwość dokładnej regulacji natężenia napromieniania w tym systemie suszenia czyni go szczególnie przydatnym do suszenia nasion. W naszych warunkach istnieje potrzeba suszenia niewielkich partii nasion warzyw i kwiatów. Cena zakupu tych nasion jest bardzo wysoka, waha się od kilkuset do kilku tysięcy złotych za kilogram. Z tego względu wysoki koszt suszenia nie będzie miał wyraźnego wpływu na kształtowanie się ostatecznej ceny materiału siewnego.

Biorąc pod uwagę fakt, że suszarka promiennikowa jest stosunkowo prosta w konstrukcji i tania w budowie, uważaliśmy za celowe przeprowadzenie badań laboratoryjnych nad suszeniem drobnych nasion promieniami podczerwonymi.

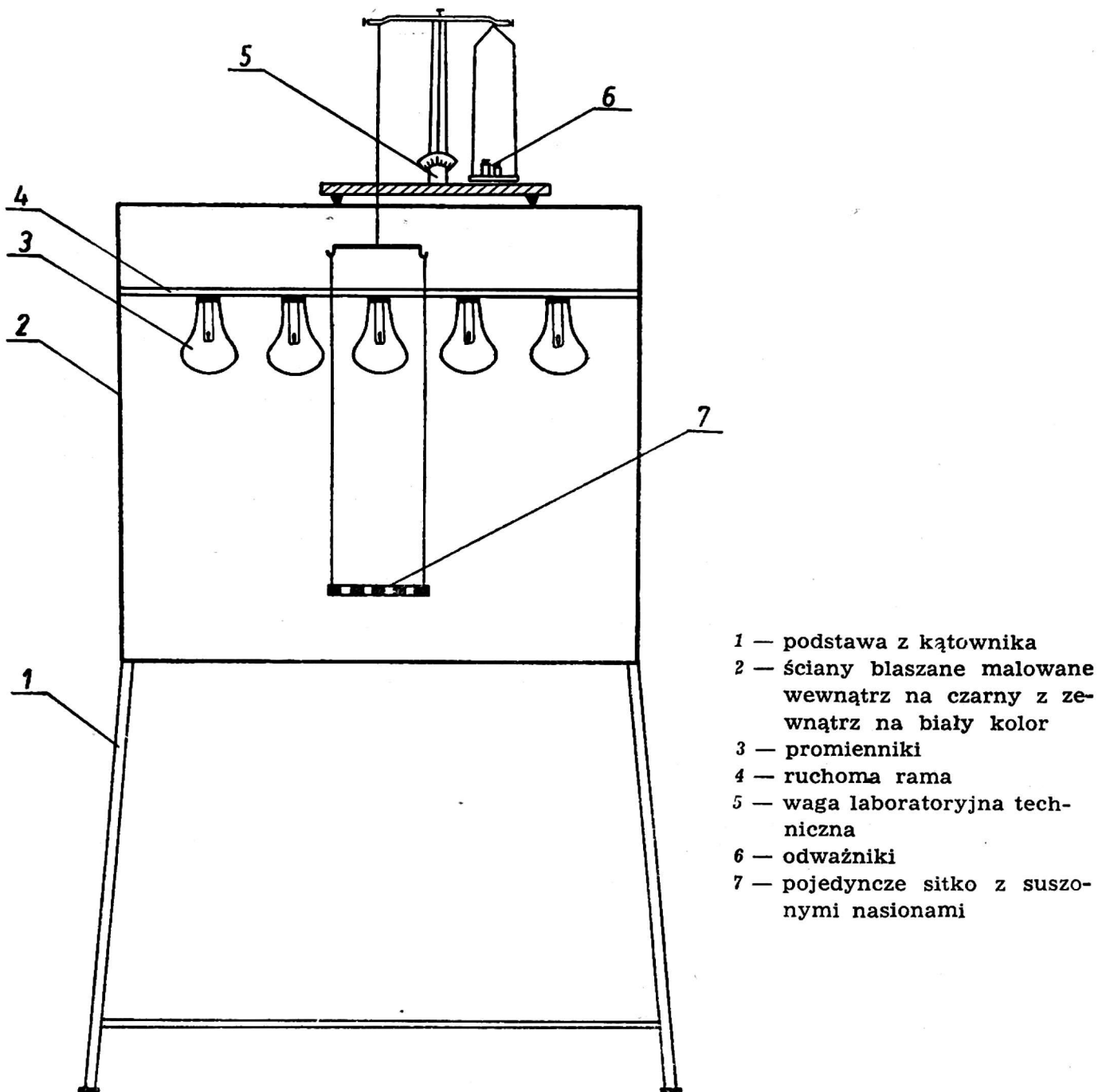
Rezultaty doświadczeń poszczególnych badaczy różnią się dość znacznie. Obserwowano zarówno spadek siły kiełkowania, jak też i stymulujące działanie napromieniania na nagrzewane nasiona. Różnice te należy tłumaczyć prawdopodobnie różną intensywnością napromieniania, a co za tym idzie różnym przebiegiem zmian temperatury i wilgotności suszonych nasion.

Celem przeprowadzonych przez nas badań było zebranie danych do konstrukcji prototypu suszarni promiennikowej. Należało zaobserwować niektóre zjawiska związane z wymianą ciepła i wilgoci w warstwie nasion poddanej działaniu promieni podczerwonych.

### METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono w Zakładzie Suszarnictwa Płodów Rolnych IMER w latach od 1957 do 1959.

Przeprowadzono badania nad rozkładem temperatur w warstwie nasion o grubości  $h = 20$  mm, nad ubytkami wilgotności w warstwie 5—20 mm. Przy suszeniu 5-milimetrowej warstwy nasion jednocześnie rejestrowano ich temperaturę. Prowadzono również obserwacje nad przerywanym napromienianiem nasion oraz nad wpływem suszenia promieniami podczerwonymi na ich siłę i energię kiełkowania. Wszystkie obserwacje odnoszą się do nieruchomej warstwy suszonych nasion.



Rys. 1. Schemat suszarki promiennikowej  
 Layout of an irradiation drier

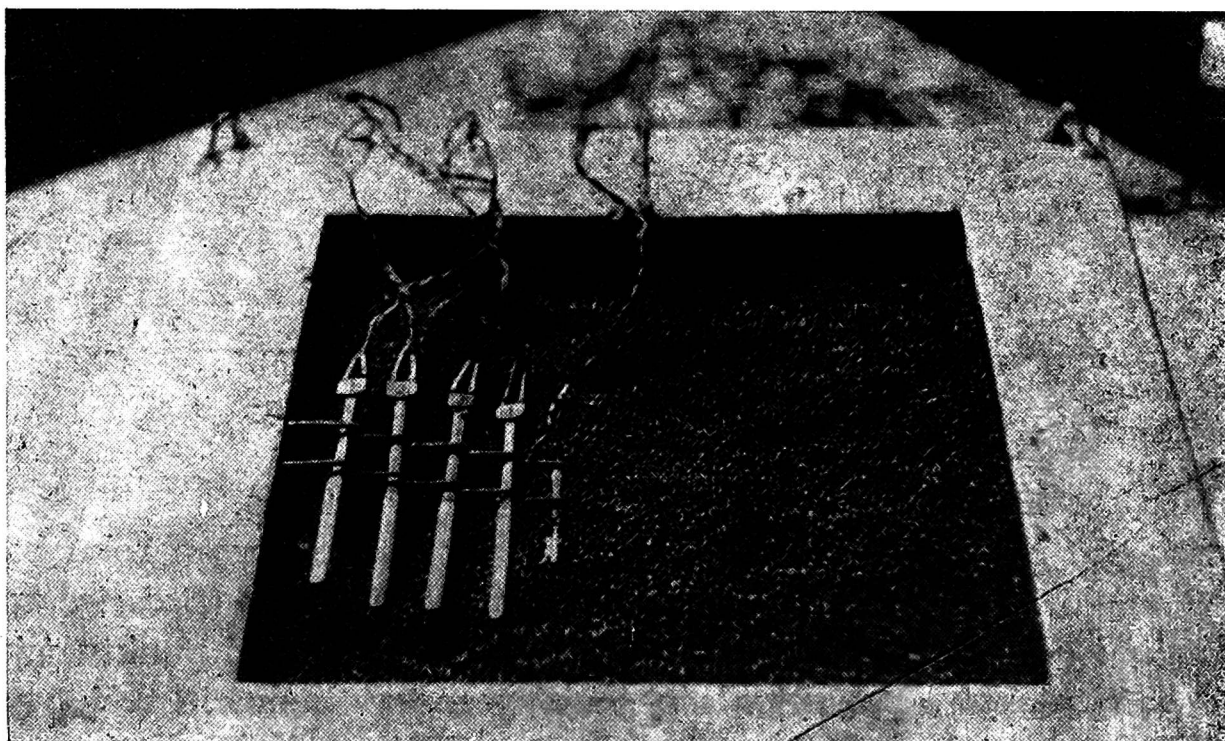
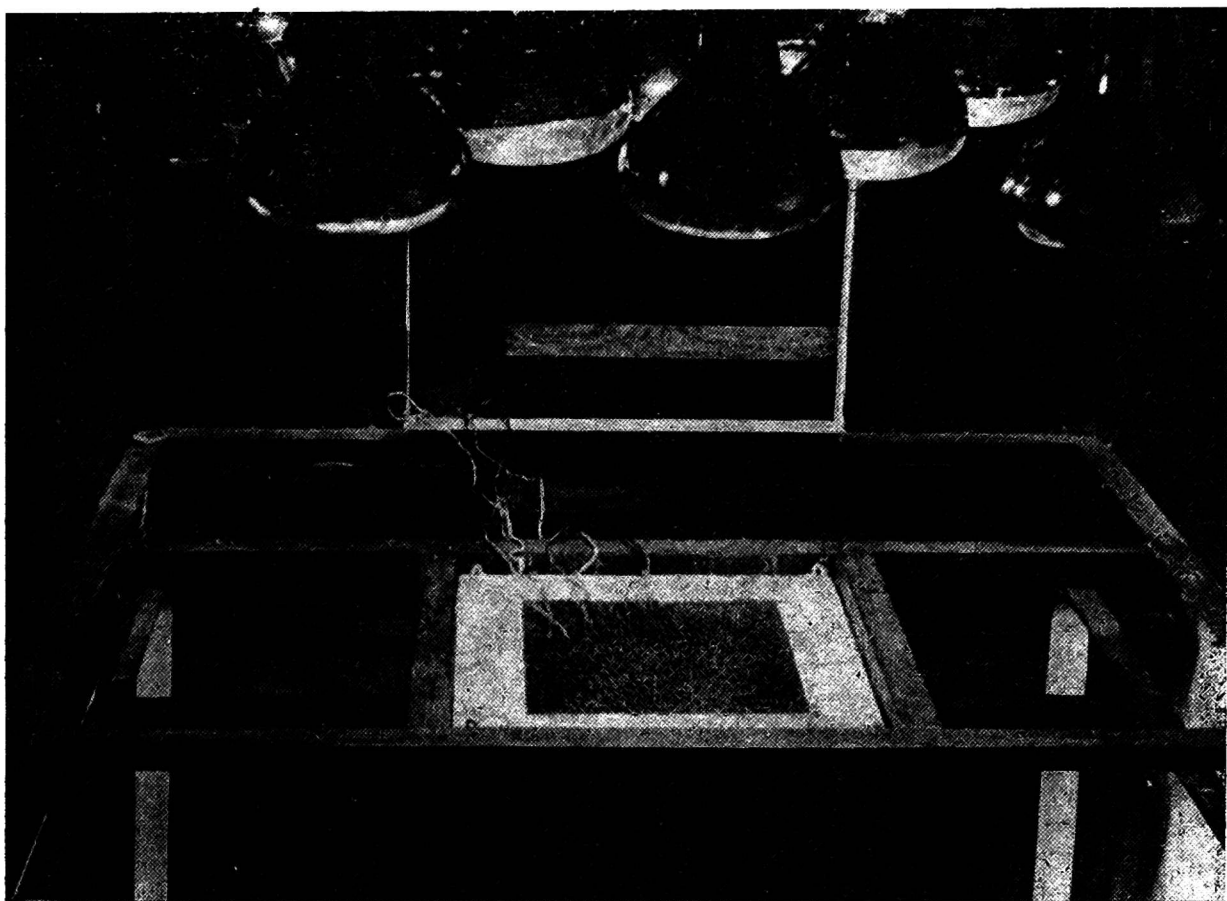
Natężenie napromieniania zmieniano za pomocą zmiany odległości H lamp od powierzchni suszonego ziarna. Siłę i energię kiełkowania wysuszonych nasion określała Stacja Oceny Nasion w Warszawie.

Do badań zbudowano specjalne urządzenie, którego schemat przedstawia rys. 1.

Jako źródła promieni ciepłych użyto promienników podczerwieni produkcji krajowej o mocy 250 Watt. Maksimum emisji tych lamp przypada wg Mazura na fale o długości  $1,2 \mu$ .

Siedem promienników jest umieszczonych centrycznie na ruchomej ramie, co pozwala na regulację ich odległości od powierzchni suszonego ziarna oraz wzajemne rozmieszczenie lamp w płaszczyźnie poziomej.

Dla utrzymania stałego napięcia służył voltomierz oraz transformator typ 5,5; 25 A; 0—220 V.



Fot. 1 i 2. Układ termistorów w warstwie nasion rzepaku  
Disposition of thermistors in the layer of rape seeds

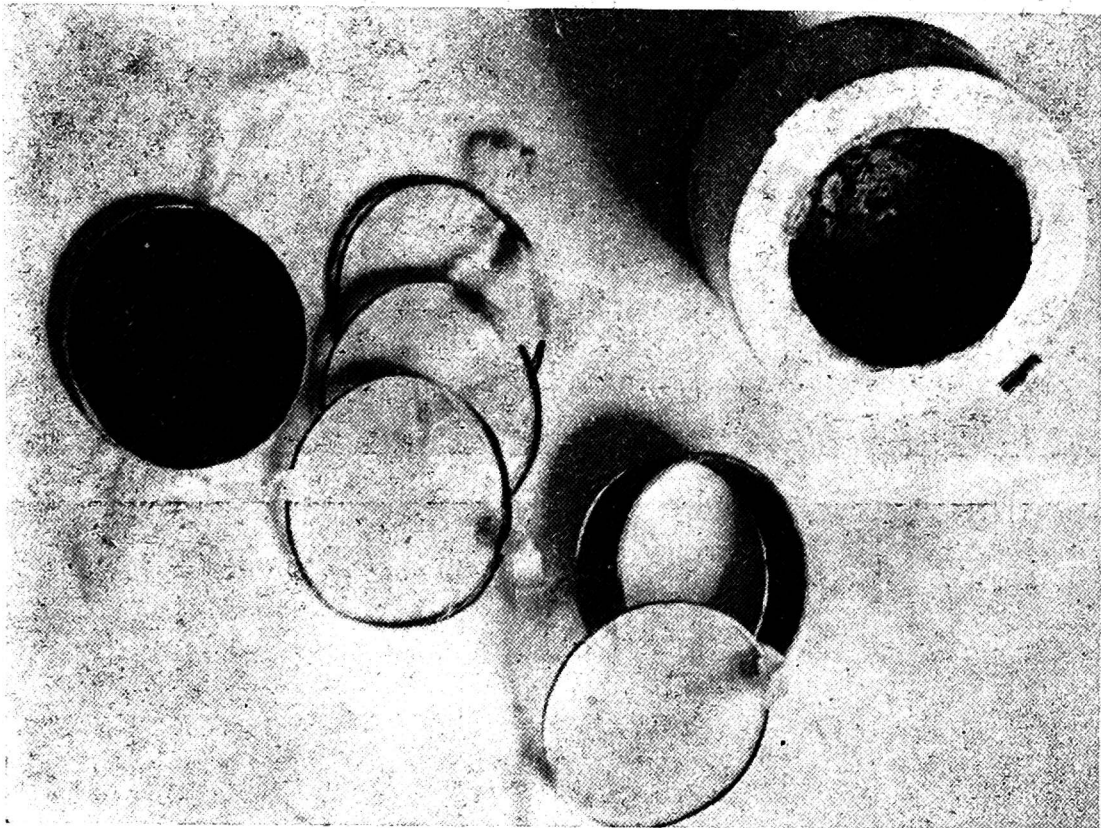
W pierwszym roku badań pomiarów temperatur nagrzewanego ziarna dokonywano za pomocą urządzenia termistorowego z dziesięcioma końcówkami umożliwiającymi pomiary temperatur w odległości około 4 mm i z dokładnością do  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

W drugim roku badań do pomiarów temperatur użyto termometru elektrycznego wyposażonego w termopary. Końcówki termopar (siedem sztuk) umożliwiają pomiary temperatur w odległości około 1 mm. Po przeliczeniu wskazań termopar otrzymuje się temperaturę z dokładnością do  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

Powierzchnia napromienianego ziarna przy tych obserwacjach wynosiła  $400\text{ cm}^2$ .

Przy obserwacjach dotyczących ubytków wilgotności naczynko z próbką suszonego ziarna zawieszano na ramieniu wagi laboratoryjnej. Podczas nagrzewania mierzono sekundomierzem czas ubytku każdych 100, albo 200 mg wody.

Suszona warstwa ziarna o grubości  $h = 20\text{ mm}$  była przedzielona poziomo pięcioma siteczkami z gazy młyńskiej.



Fot. 3. Naczynko i siteczka z gazy młyńskiej  
Vessel and sieves made of flour-mill gauze

Średnica powierzchni suszonego ziarna wynosiła 10 cm.

Ze względu na wysoką cenę nasion warzyw w pierwszym roku badań pracowano głównie na nasionach rzepaku ozimego i jarego (*Brassica napus v. hiemalis* i *v. annua*) jako tanich i łatwiej dostępnych. Z punktu widzenia suszenia niektóre ważne własności fizyczne w budowie tych nasion (jak wymiary, kształt, rodzaj powierzchni) są zbliżone do własności fizycznych nasion warzyw i kwiatów. Niezależnie od tego, szereg pomiarów

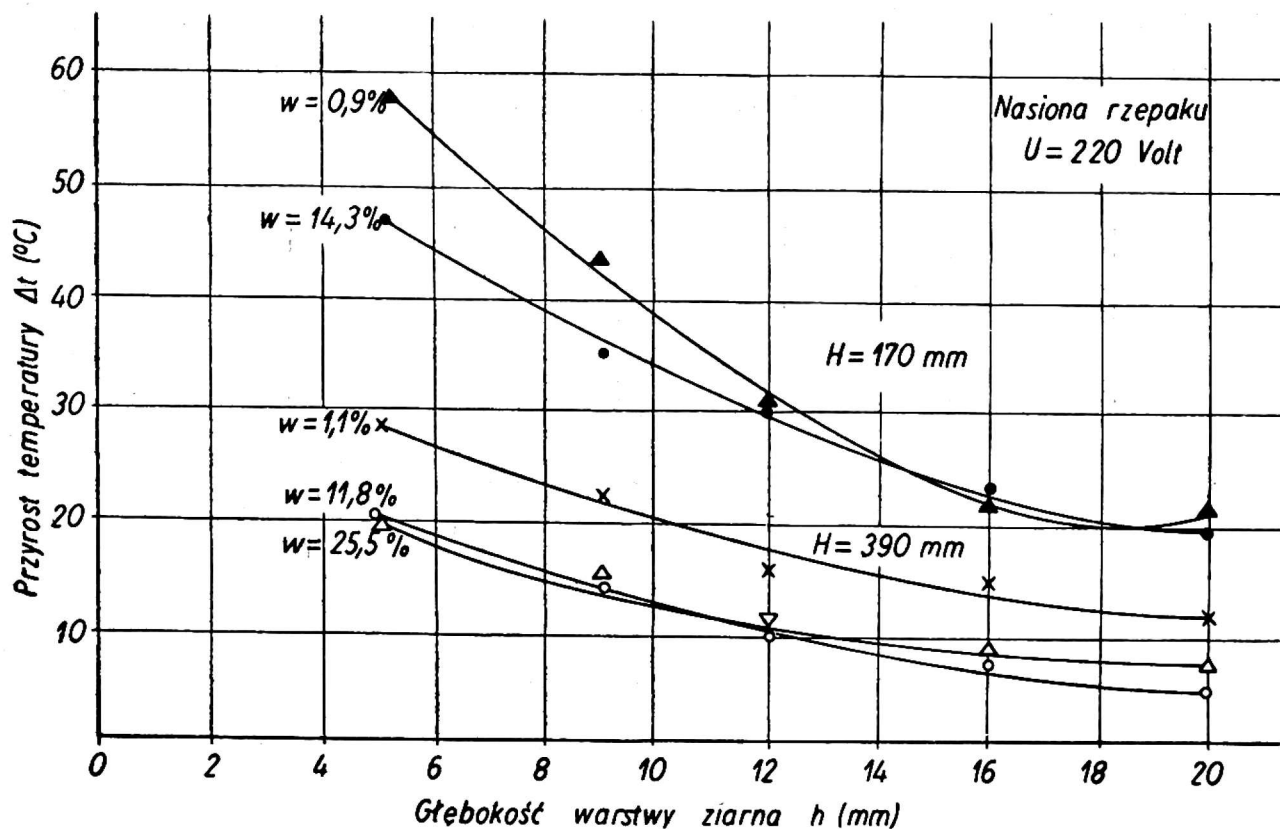


przeprowadzano na nasionach marchwi (*Daucus carota*) i porów (*Allium porrum*).

W drugim roku badań pracowano wyłącznie na nasionach cebuli (*Allium cepa*) odmiana Wolska. Wyjściowa wilgotność nasion użytych do badań wynosiła od 10—28% w zależności od czasu, jaki upłynął od ich sprzętu. Dla obserwacji wpływu wilgotności początkowej na nagrzewanie się warstwy — specjalnie prażono próbki ziarna, ażeby otrzymać ich wilgotność początkową  $\sim 1\%$ .

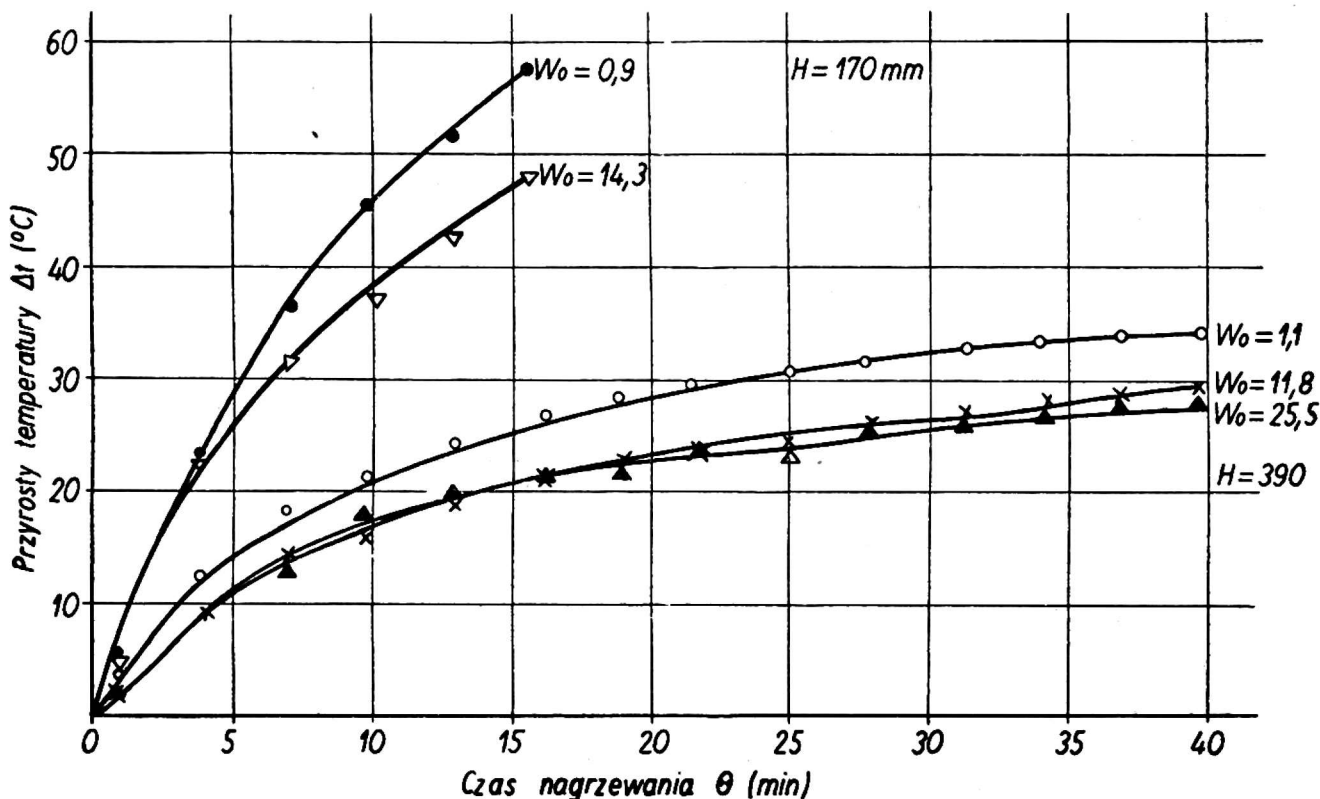
### OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Z obserwacji nad rozkładem temperatur w warstwie ziarna wynika, że gradient temperatury w warstwie maleje w miarę wzrostu głębokości  $h$ . Widoczny jest także wpływ początkowej wilgotności ziarna na gradient temperatury. Wartość jego maleje ze wzrostem wilgotności ziarna. Na zwiększenie wartości gradientu temperatury w warstwie wpływa zwiększenie natężenia napromieniania, co w doświadczeniu osiągnęto przez zmniejszanie odległości lamp od powierzchni ziarna (rys. 2).



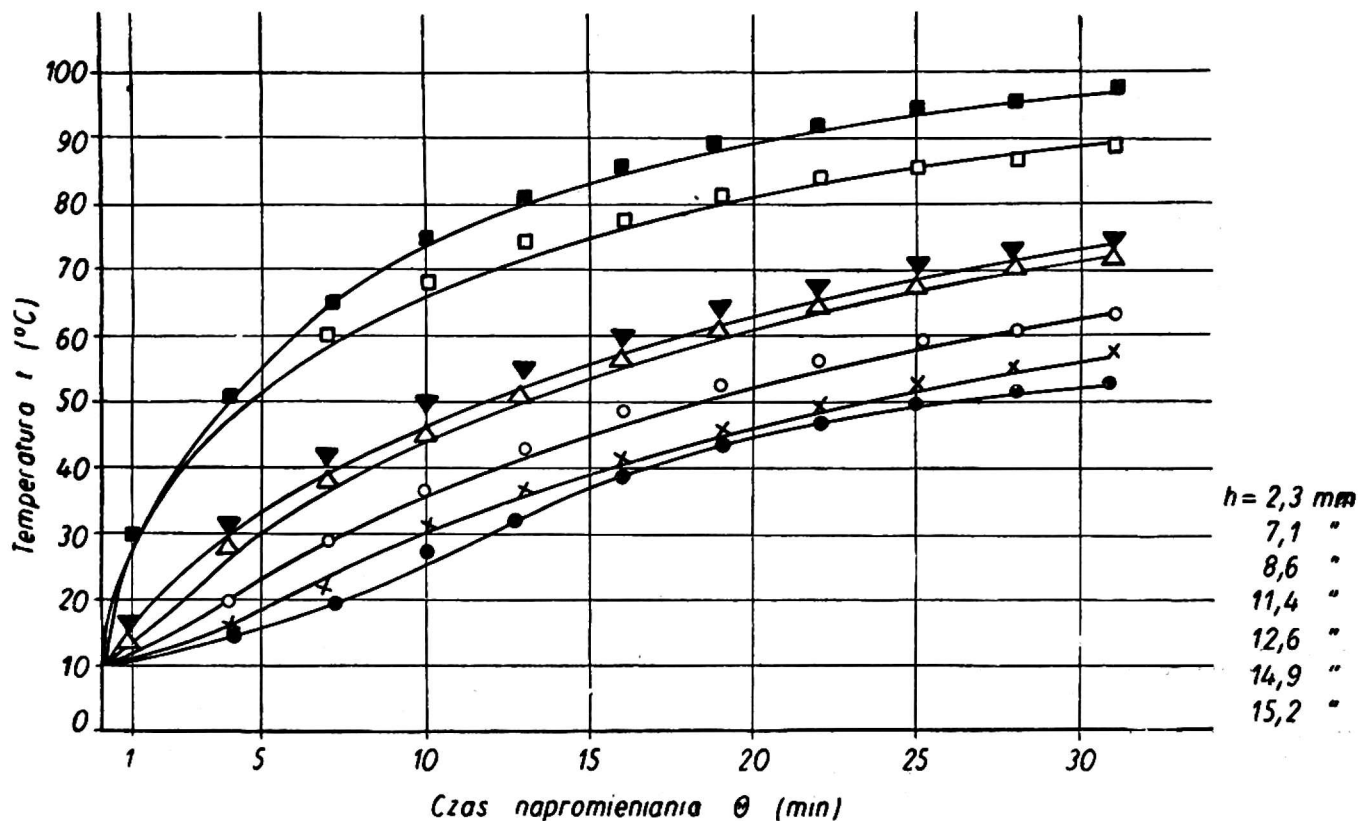
Rys. 2. Przyrost temperatury nagrzewanego ziarna w różnych głębokościach po upływie 16 minut napromieniania  
Temperature increments in heated seeds at various depths of the layer after 16 minutes of irradiation

Rysunek 3 ilustruje wpływ natężenia napromieniania oraz wpływ początkowej wilgotności ziarna na szybkość nagrzewania się pięcio-milimetrowej warstwy nasion.

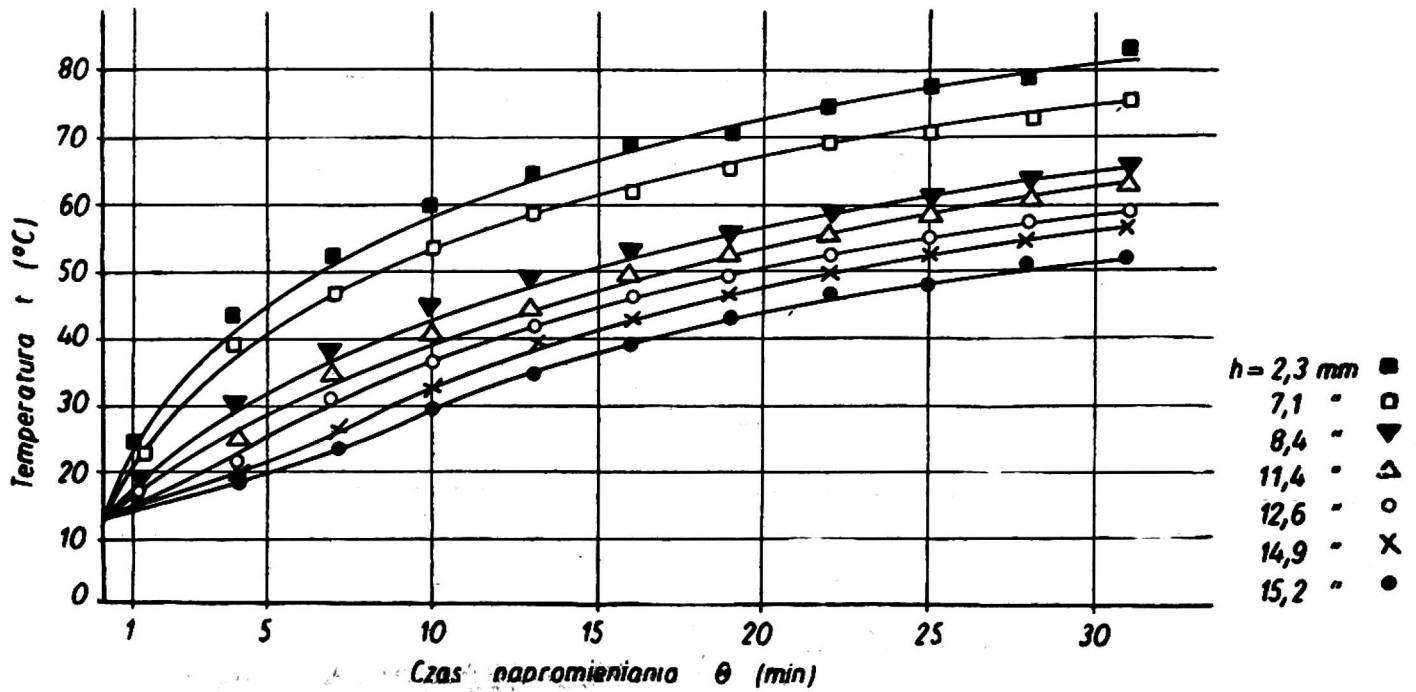


Rys. 3. Przyrosty temperatury w warstwie nasion rzepaku ozimego i jarego o grubości 5 mm przy różnej wilgotności początkowej i różnej odległości lamp od powierzchni napromienianego ziarna

Temperature increments in 5 mm layers of winter and spring rape seeds, at various initial moistures and various distances of bulbs above the surface of irradiated seeds

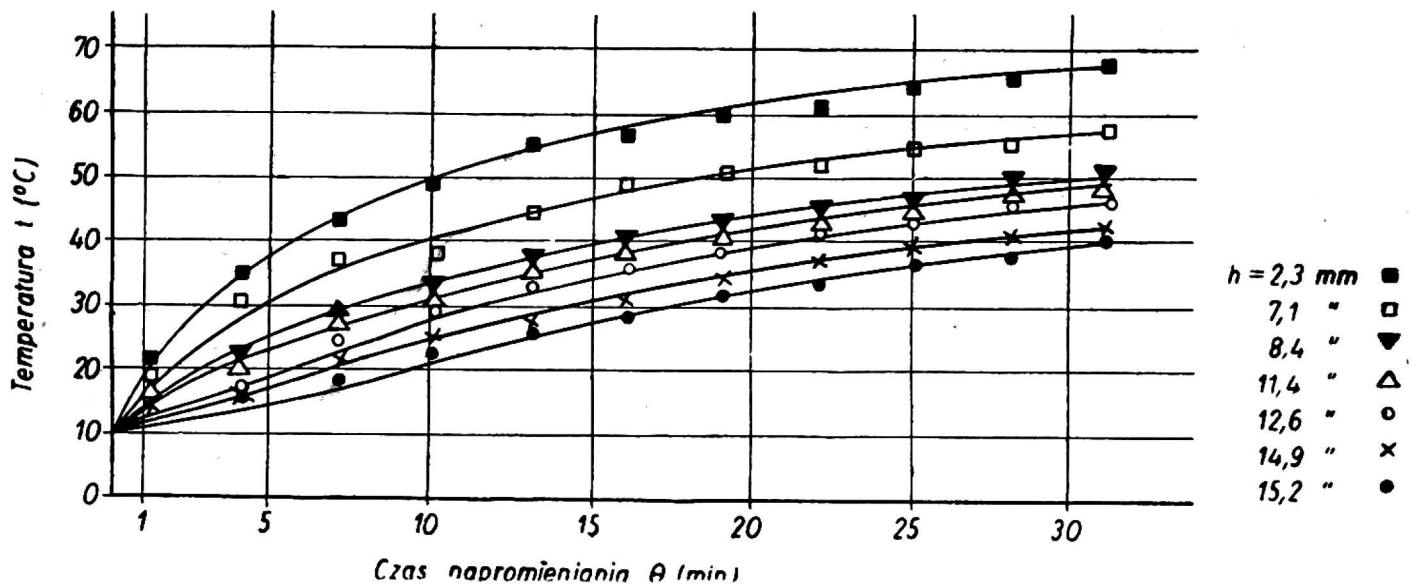


Rys. 4. Nagrzewanie się nasion cebuli w warstwie na różnej głębokości  
a) przy odległości lamp od powierzchni ziarna  $H = 170$  mm  
Heating of onion seeds at various layer depths  
a) at distance between bulbs and seed surface  $H = 170$  mm



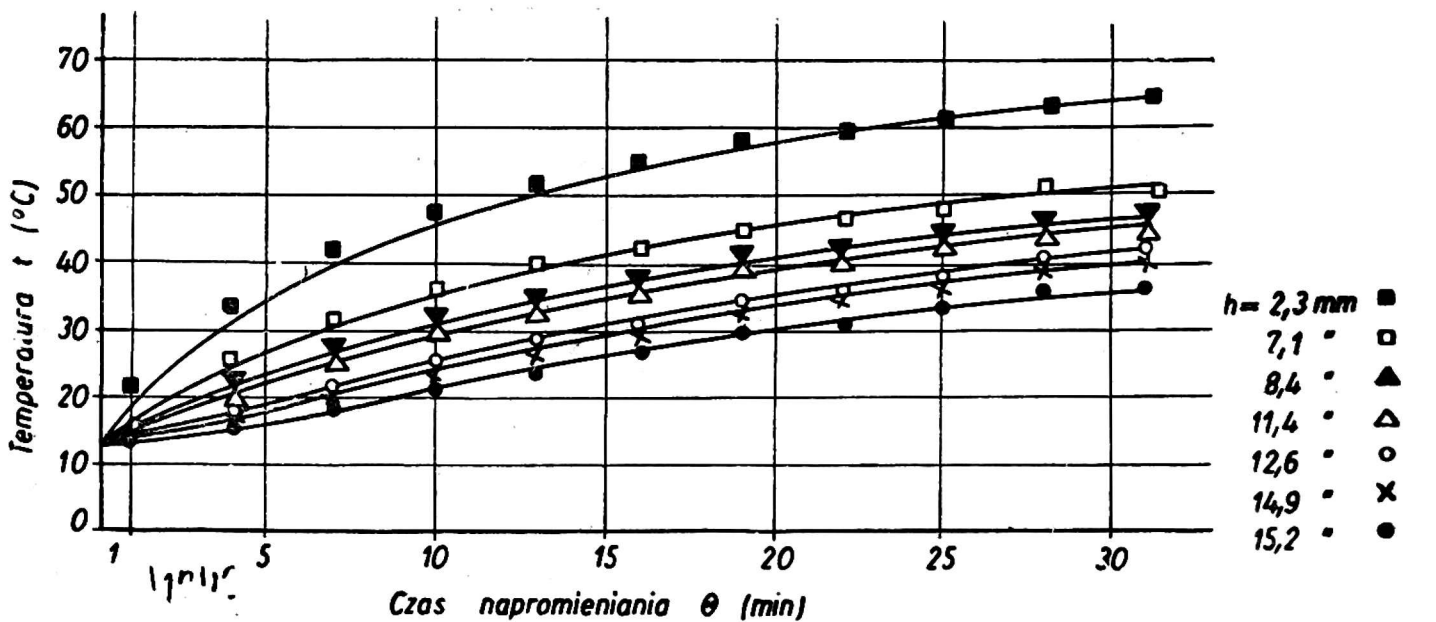
b) przy odległości lamp od powierzchni ziarna  $H = 210$  mm

b) At distance between bulbs and seed surface  $H = 210$  mm



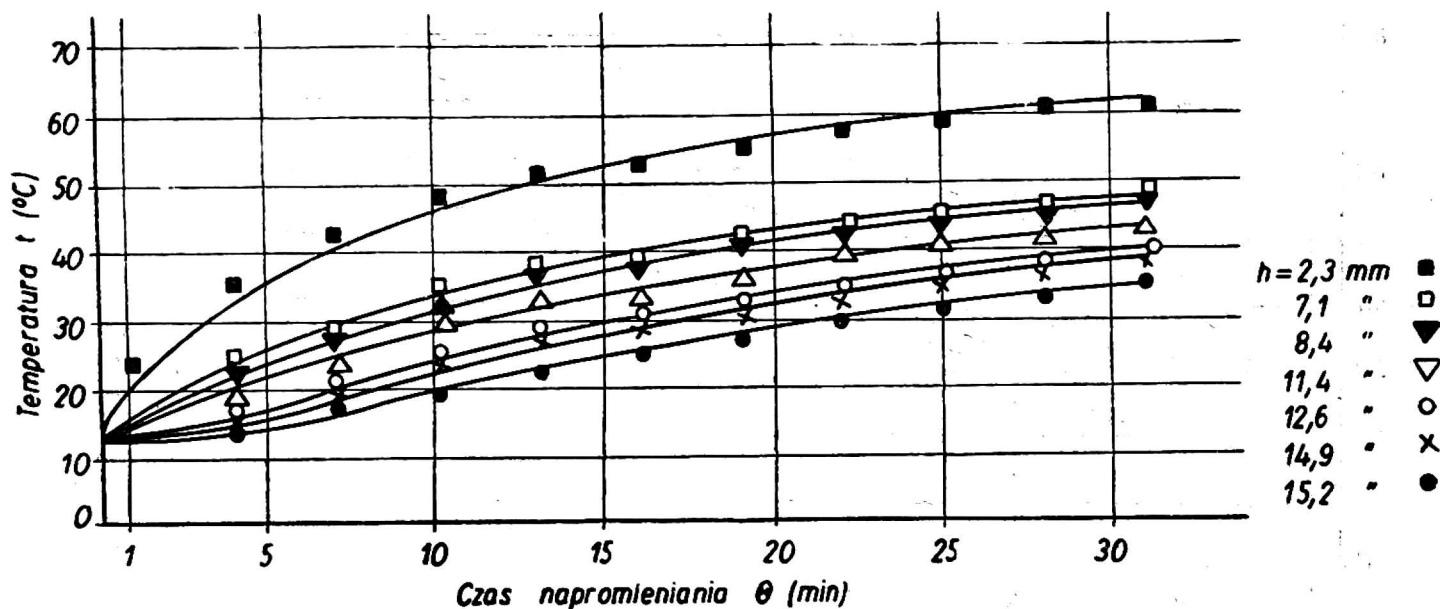
c) przy odległości lamp od powierzchni ziarna  $H = 250$  mm

c) At distance between bulbs and seed surface  $H = 250$  mm

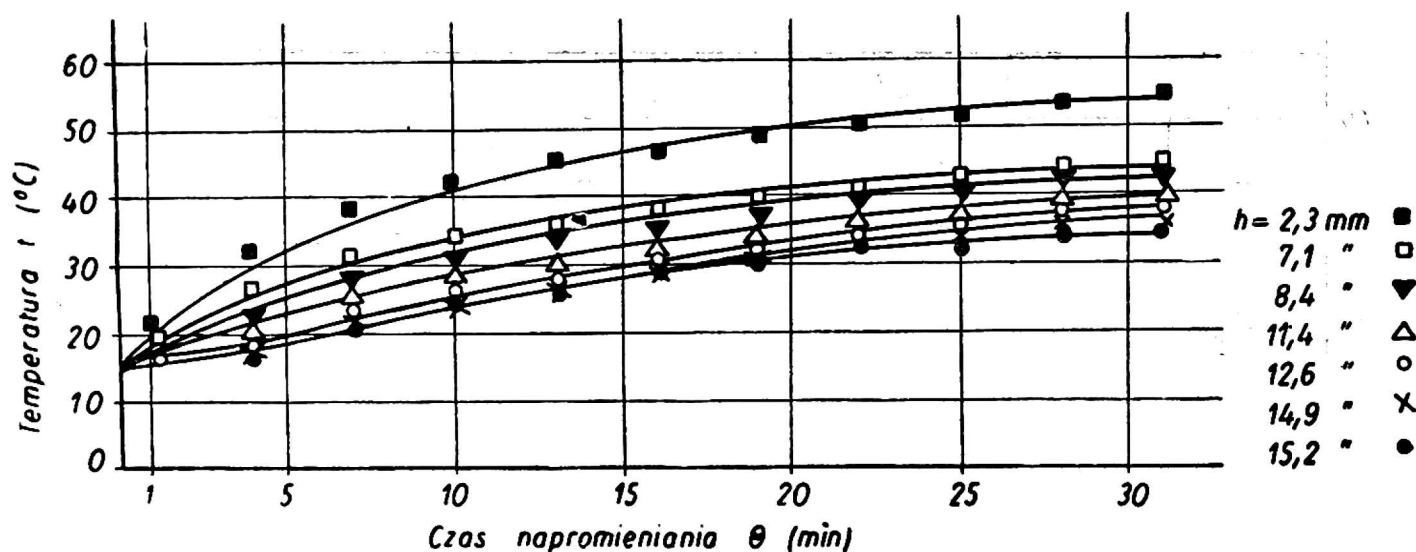


d) przy odległości lamp od powierzchni ziarna  $H = 290$  mm

d) At distance between bulbs and seed surface  $H = 290$  mm



e) przy odległości lamp od powierzchni ziarna  $H = 330$  mm  
 e) At distance between bulbs and seed surface  $H = 330$  mm



f) przy odległości lamp od powierzchni ziarna  $H = 390$  mm  
 f) At distance between bulbs and seed surface  $H = 390$  mm

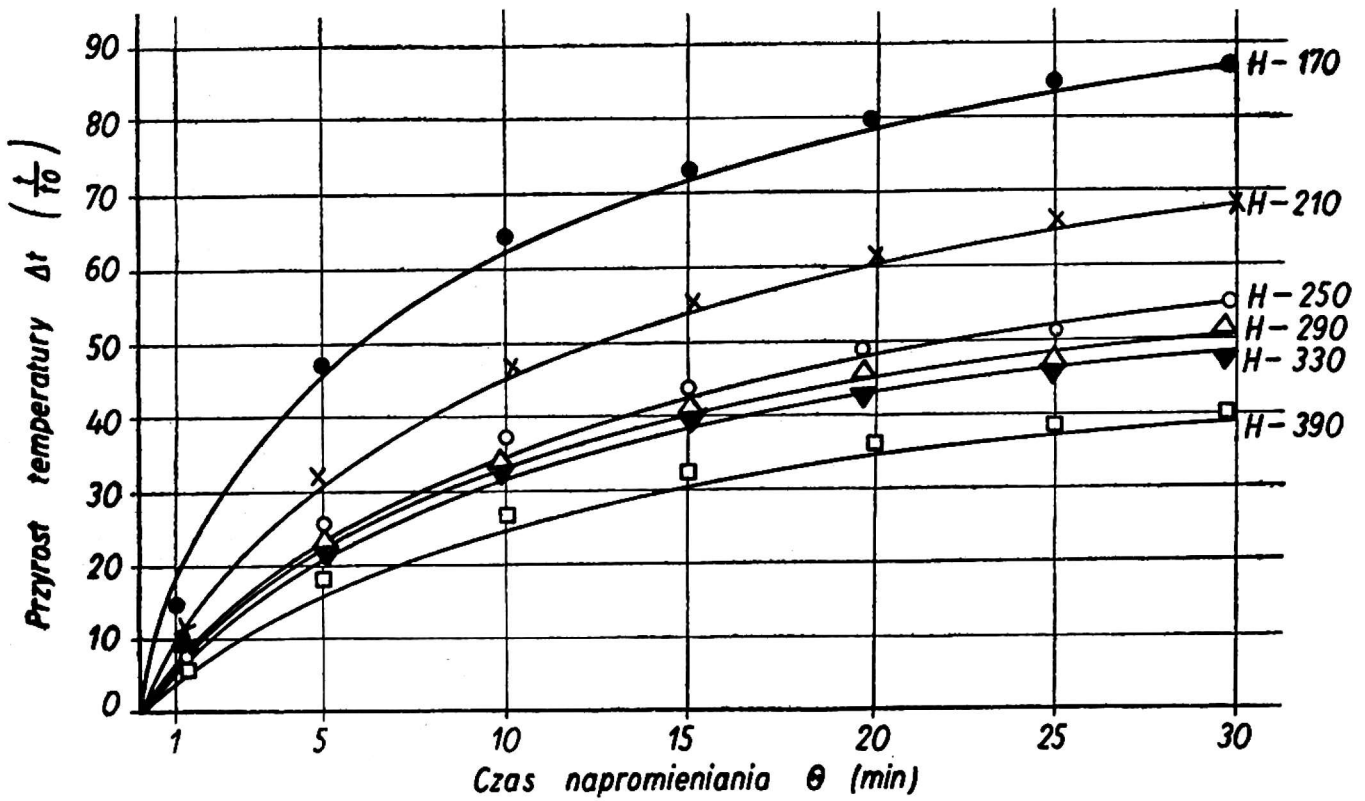
Nagrzewając nasiona cebuli stosowano odległości lamp od powierzchni ziarna:  $H = 170, 210, 250, 290, 330$  i  $390$  mm. Ilustrują to wykresy na rysunku 4 a — f. Obserwujemy, że w miarę wzrostu odległości  $H$  maleje różnica między temperaturą nagrzania warstwy powierzchniowej, a warstwami położonymi głębiej. Wyraźnie wyższą temperaturę obserwuje się w warstwach grubości do około  $h = 7$  mm.

Nasuwa się wniosek, że grubość ( $h$ ) warstwy suszonego ziarna nie powinna przekraczać 7 mm.

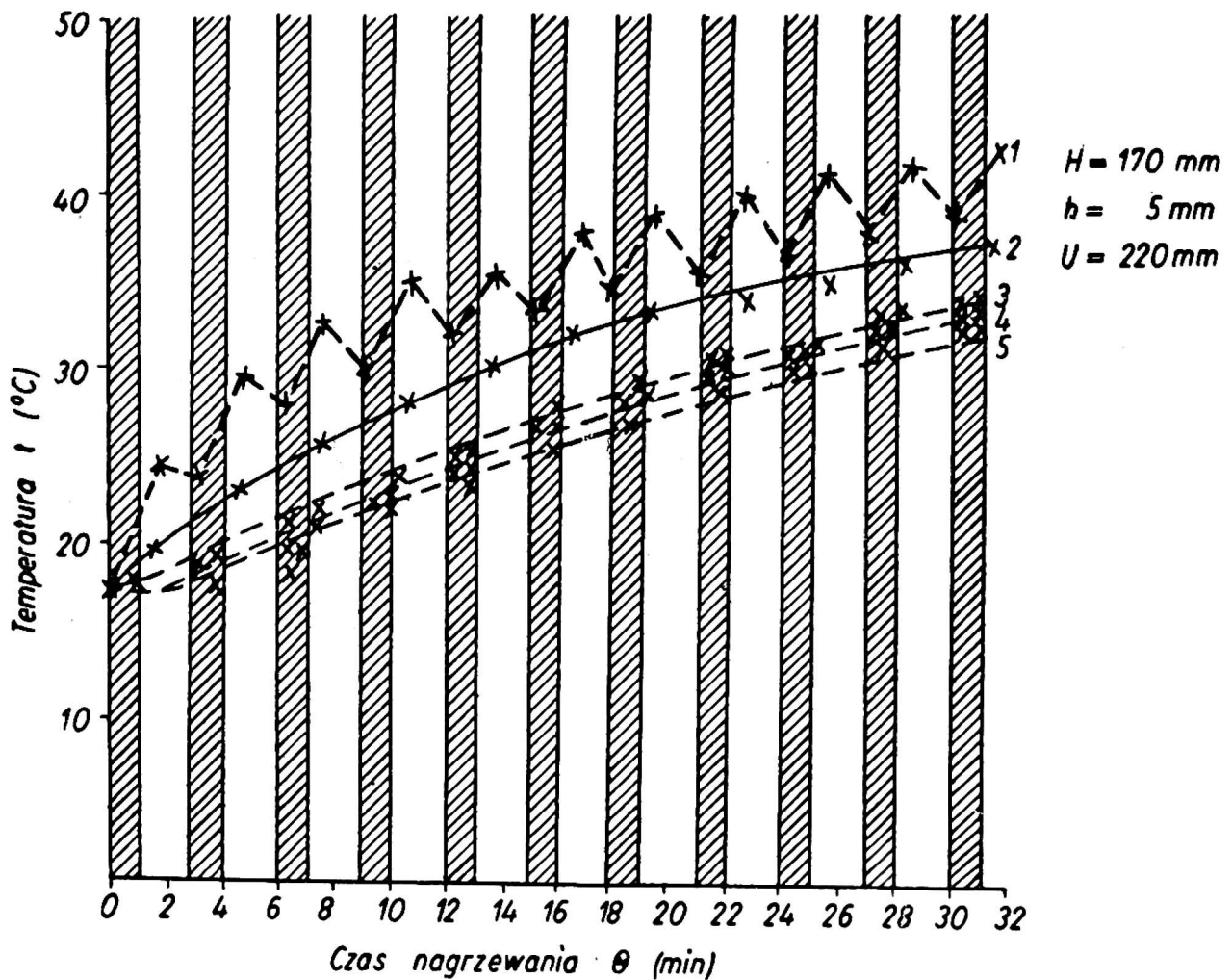
Rys. 5 przedstawia przyrosty temperatur powierzchniowej warstwy nasion cebuli o grubości  $h = 2,3$  mm w czasie trzydziestu minut nagrzewania przy różnym natężeniu napromieniania.

Ponieważ podczas nagrzewania promieniami podczerwonymi obserwuje się szybki wzrost temperatury, który może być szkodliwy dla żywotności suszonych nasion — zastosowano napromienianie z przerwami. Spośród sze-





Rys. 5. Przyrost temperatur w warstwie nasion cebuli o grubości  $h = 2,3$  mm przy różnej odległości lamp od powierzchni ziarna  
 Temperature increments in a thickness of layer of onion seeds  $h = 2.3$  mm at various distances of bulbs above layer surface



Rys. 6. Nagrzewanie się ziarna rzepaku jarego na głębokości warstwy równej przy przerywanym napromienianiu

1 = 5 mm, 2 = 9 mm, 3 = 12 mm, 4 = 16 mm, 5 = 20 mm

Heating of spring rape seeds in various depths of layer:

1 = 5 mm, 2 = 9 mm, 3 = 12 mm, 4 = 16 mm, 5 = 20 mm

regu kombinacji tego rodzaju nagrzewania wybrano dla suszenia nieruchomej warstwy nasion cykl: jedna minuta napromieniania, dwie minuty przerwy ( $1'n + 2'p$ ).

Wywołuje to wahania temperatur w nagrzeniu materiału, które jednak obserwuje się tylko w stosunkowo cienkiej warstwie nasion. Rys. 6.

Suszenie z przerywanym napromienianiem ma znaczenie ze względu na zachowanie żywotności nasion. Ilustruje to rys. 7.

Suszenie nasion bez przerw jest zupełnie nieszkodliwe przy odległości lamp od powierzchni ziarna  $H = 330$  i  $390$  mm. Przy  $H = 290, 250$  i  $210$  suszenie obniża nieznacznie siłę i energię kiełkowania. Natomiast odległość  $H$  poniżej  $210$  mm powoduje spadek gwałtowny siły i energii kiełkowania.

Suszenie z przerwami przy odległości lamp powyżej  $H = 170$  mm dało nasiona o niezmnieszonej sile kiełkowania. Przy  $H = 170$  mm siła kiełkowania ulega obniżeniu, jednak nie jest niższa od dopuszczalnej granicy  $S = 75\%$ .

Zaobserwowano natomiast jakby stymulujące działanie promieni podczerwonych na energię kiełkowania nasion cebuli.

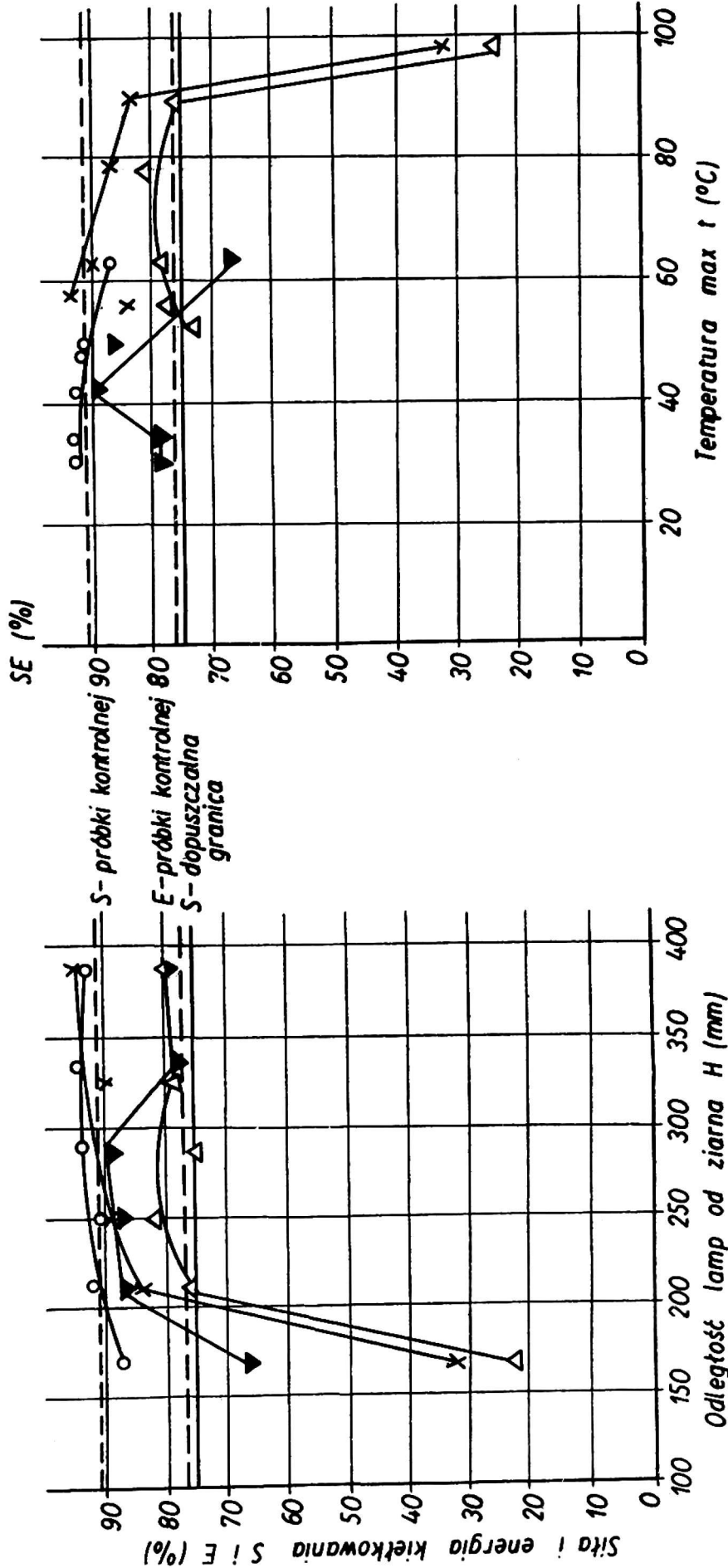
Wykres 8 przedstawia krzywe dla energii i siły kiełkowania w zależności od maksymalnej temperatury nagrzania. Maksymalna temperatura nagrzania jest temperaturą najwyższą jaką zarejestrowano podczas całego czasu pomiaru i trwa tylko chwilę. Przy nagrzewaniu bez przerw, kiedy krzywa temperatur gwałtownie wznosi się ku górze temperatura maksymalna jest tylko w końcowym momencie suszenia. Przy nagrzewaniu z przerwami temperatura maksymalna jest bardziej zbliżona do średniej temperatury nagrzania ziarna. Jak widać z rysunku temp. ok.  $98^{\circ}\text{C}$  jest zabójcza dla siły i energii kiełkowania, nagrzanie poniżej temperatury  $70^{\circ}\text{C}$  jest nieszkodliwe dla siły kiełkowania. Natomiast przy nagrzewaniu z przerwami, kiedy sumaryczny czas napromieniania jest dłuższy niż przy nagrzewaniu bez przerw, temperatura ok.  $63^{\circ}\text{C}$  obniża tak siłę jak i energię kiełkowania.

Pomiary nad ubytkami wilgotności wykazały, że ubytki wilgotności w warstwie pięciomilimetrowej są znacznie wyższe niż w warstwach sąsiadujących (kilka mm głębiej). Na głębokości ok.  $16$  mm zaobserwowano nawet nawilgacanie się ziarna, co jest spowodowane przemieszczaniem się wilgoci — w kierunku spadku temperatury nagrzewanego ziarna. Obserwujemy zjawisko termodyfuzji. Warstwa położona niżej wysycha dzięki kontaktowi z otoczeniem. Rys. 9.

Rysunek 10 przedstawia suszenie warstwy nasion grubości  $h = 9$  mm. Widoczna jest także różnica w szybkości wysychania między warstwą ziarna powierzchniową a następną.

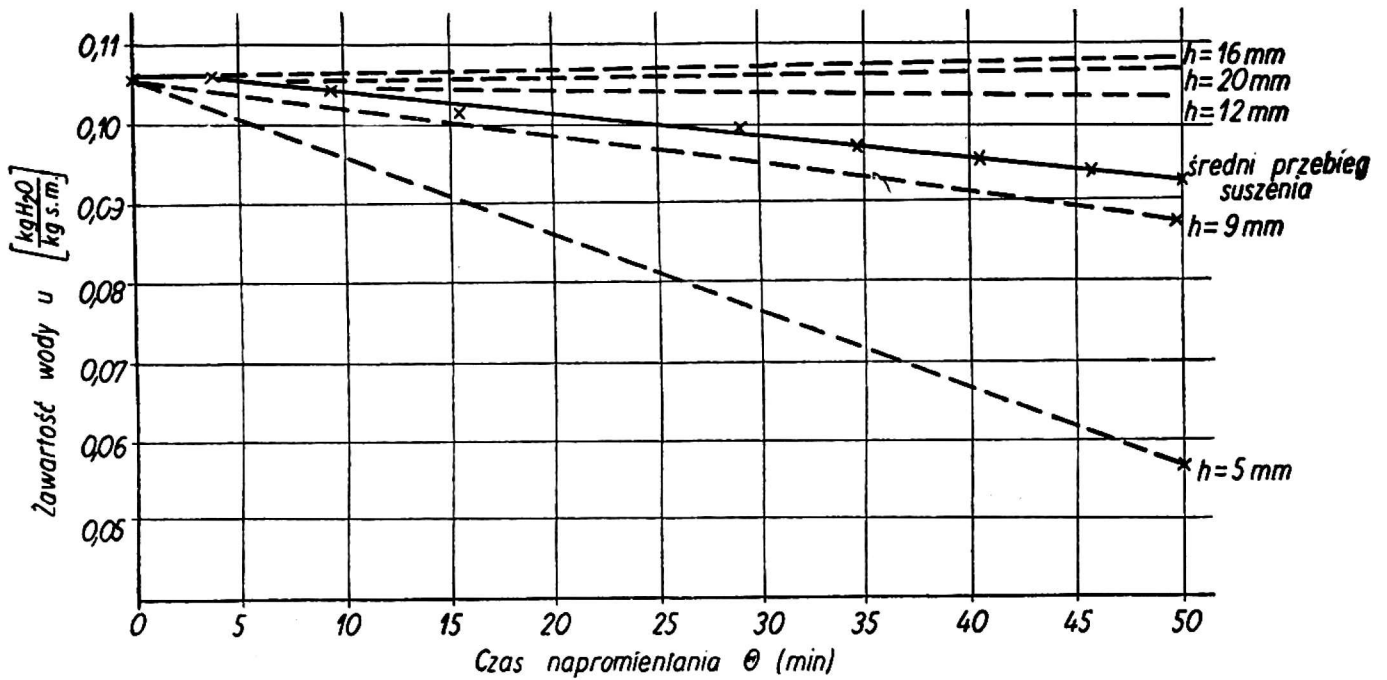
W przypadku nagrzewania nasion promieniami podczerwonymi jest niemożliwe określenie równoważnej zawartości wody — dlatego wyniki ba-

S		E	
bez prz. z przer. bez prz. z przer.			
oznacz.	x	o	Δ
			▼

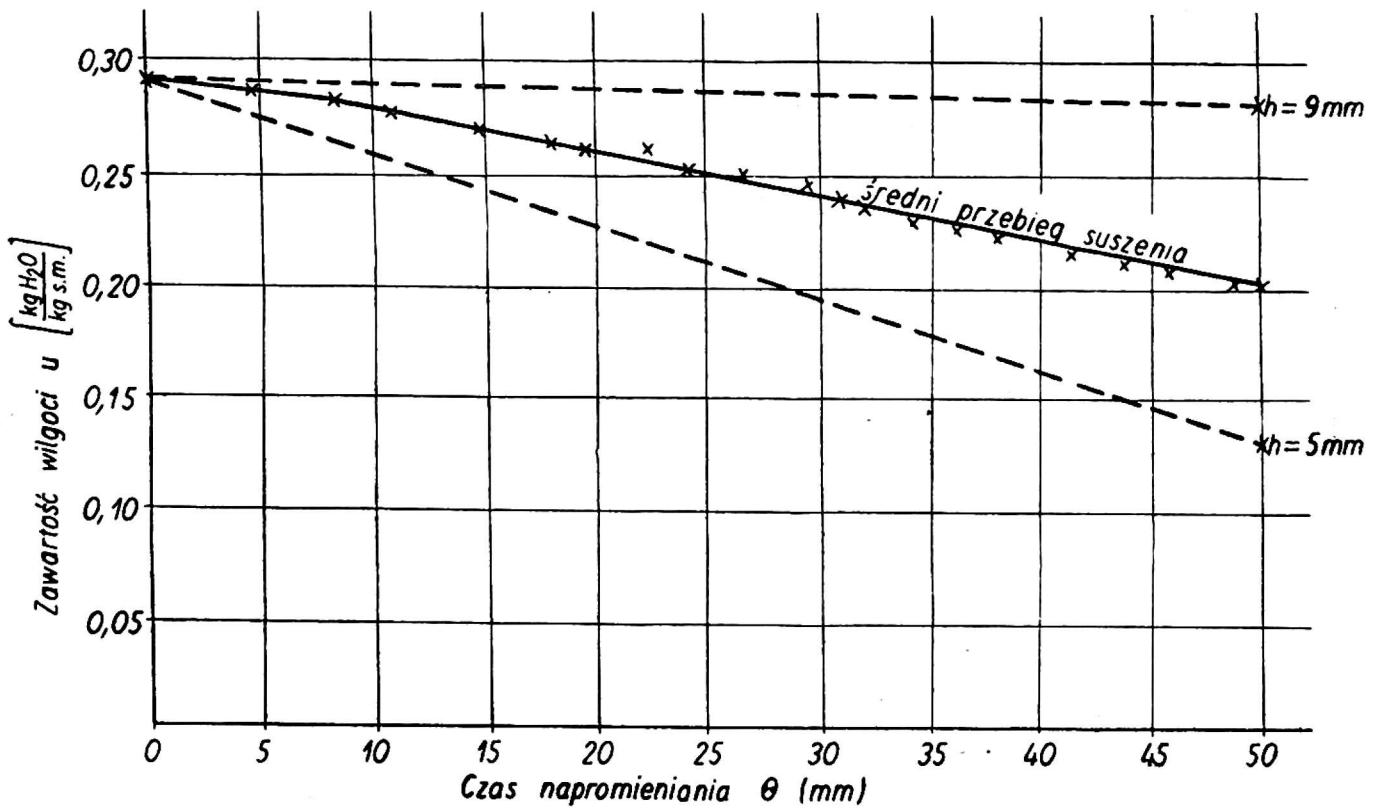


Rys. 7. Wpływ odległości lamp od powierzchni ziarna na energię i siłę kiełkowania nasion cebuli  
Effect of distance of bulbs from grain surface on germination energy and capacity of onion seeds

Rys. 8. Energia i siła kiełkowania nasion cebuli w zależności od maksymalnej temperatury  
Dependence of germination energy and capacity of onion seeds on maximum temperature



Rys. 9. Ubytki wilgoci przy napromienianiu warstwy nasion rzepaku jarego o grubości 20 mm na głębokości: 5, 9, 12, 16 i 20 mm  
Moisture losses in a 20 mm layer of spring rape seeds at depths of 5, 9, 12, 16 and 20 mm under irradiation



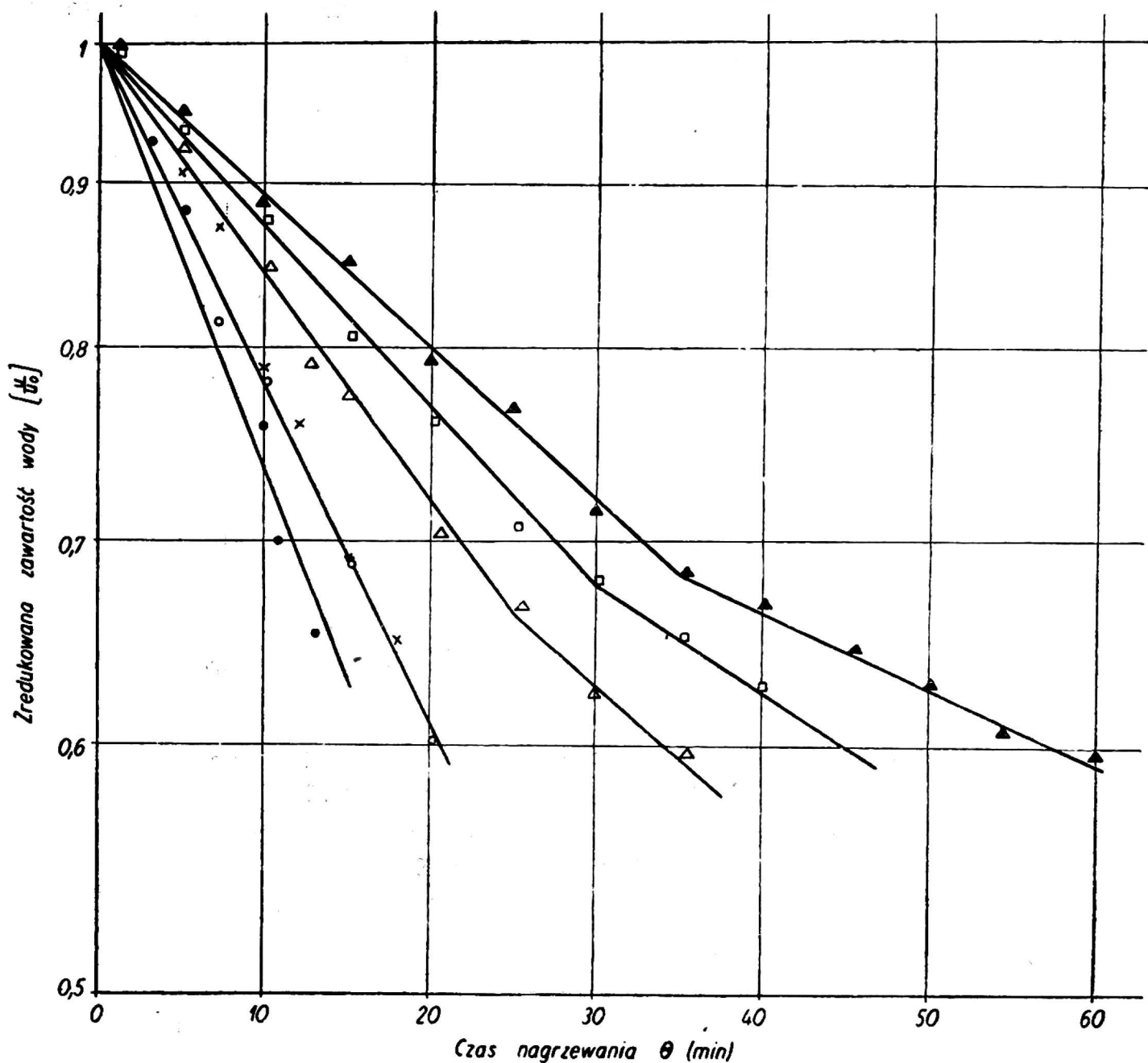
Rys. 10. Ubytek wilgoci w warstwie nasion rzepaku jarego o grubości 9 mm na głębokości 5 i 9 mm  
Moisture loss in a 9 mm layer of spring rape seeds at depths of 5 and 9 mm

dań opracowano w układzie zredukowanej zawartości wody  $u = u/u_0$  i czasu suszenia  $\Theta$ . Dla potrzeb technicznych jest ważna możliwość obliczenia szybkości i czasu suszenia.

Podane równania odnoszą się do nieruchomej warstwy nasion grubości  $h = 5$  mm.



Krzywe suszenia nasion cebuli przy różnym natężeniu napromieniania przeniesiono na podziałkę półlogarytmiczną — rys. 11.



Rys. 11. Ubytek wilgotności 5 mm warstwy nasion cebuli przy napromienianiu bez przerw dla różnych odległości lamp od powierzchni ziarna (Skala półlogarytmiczna.  $G_1 = 40$  g)

Moisture loss in a 5 mm layer of onion seeds under continuous irradiation at various distances of bulbs above grain surface (Half-logarithmic scale  $G_1 = 40$  g)

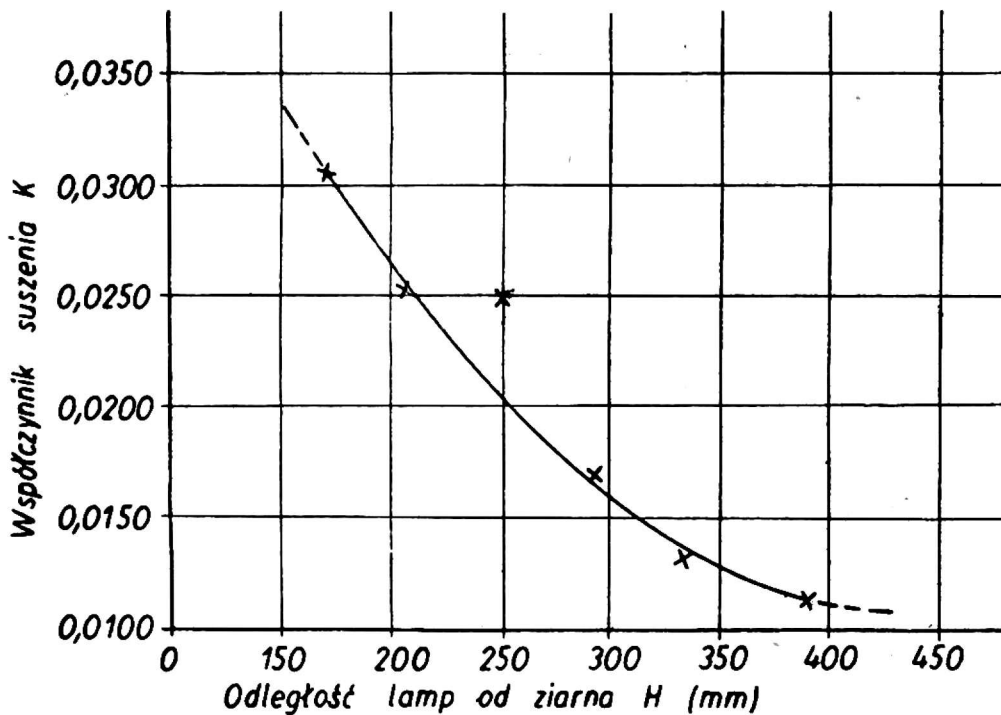
Wynika stąd, że szybkość suszenia dla wartości  $u$  w zakresie  $0,66 \leq u/u_0 \leq 1$  daje się przedstawić równaniem:

$$\frac{d_u}{d_\theta} = -K_u$$

Obliczony współczynnik suszarniczy  $K$  jest zależny od natężenia napromieniania wywołanego zmianą odległości  $H$  lamp od powierzchni ziarna. Zależność tę przedstawiono na rysunku 12.

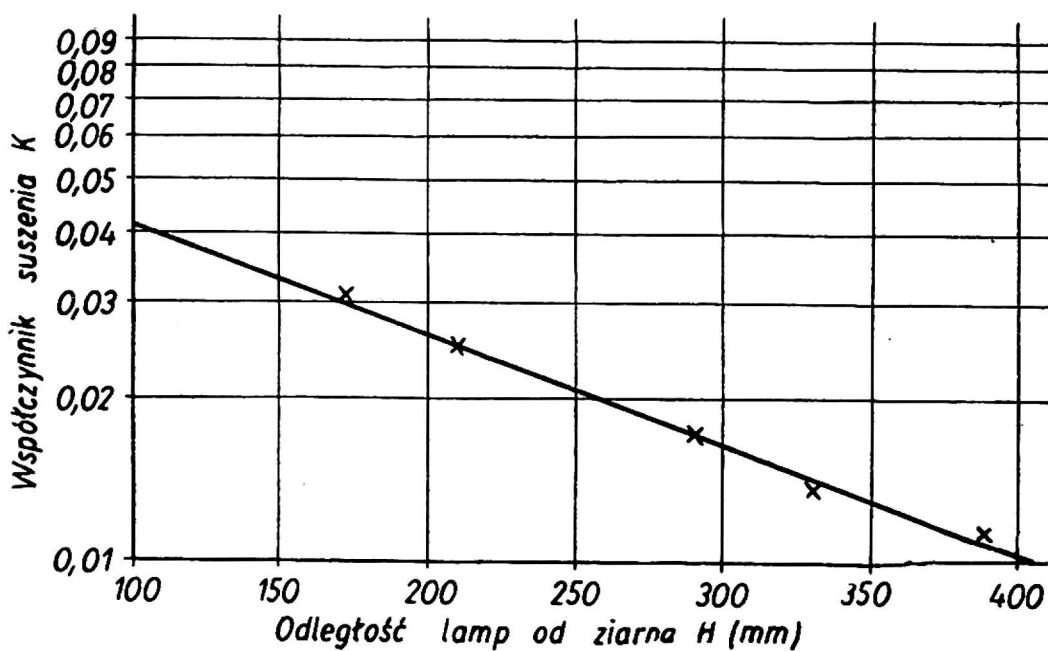
Przeniesiono ją na podziałkę półlogarytmiczną. Rys. 13. Określono równanie dla otrzymanej prostej, które po przekształceniu i wyliczeniu współczynników kierunkowych daje wartości współczynnika suszarniczego  $K$ :

$$K = 0,0642 \cdot e^{-0,00448 H}$$



Rys. 12. Wpływ odległości lamp od powierzchni ziarna na wielkości współczynnika suszenia  $K$

Influence of distance of bulbs above grain surface on value of drying coefficient  $K$



Rys. 13. Wielkość współczynnika suszenia  $K$  w zależności od odległości lamp od powierzchni napromienianego ziarna przy nieprzerwanym nagrzewaniu

Value of drying coefficient  $K$  as determined by the distance between bulbs and surface of irradiated grain at continuous heating

Znajomość wartości tego współczynnika jest potrzebna do określenia czasu suszenia wg równania:

$$\Theta = \frac{1}{K} \ln \frac{u_0}{u}$$

Zastosowanie suszenia z przerwami powoduje zwiększenie czasu suszenia. Dotychczas nie próbowano określić tego związku w formie ścisłej zależności. Dla celów praktycznych można posługiwać się wzorem wprowadzającym poprawkę  $E$ .

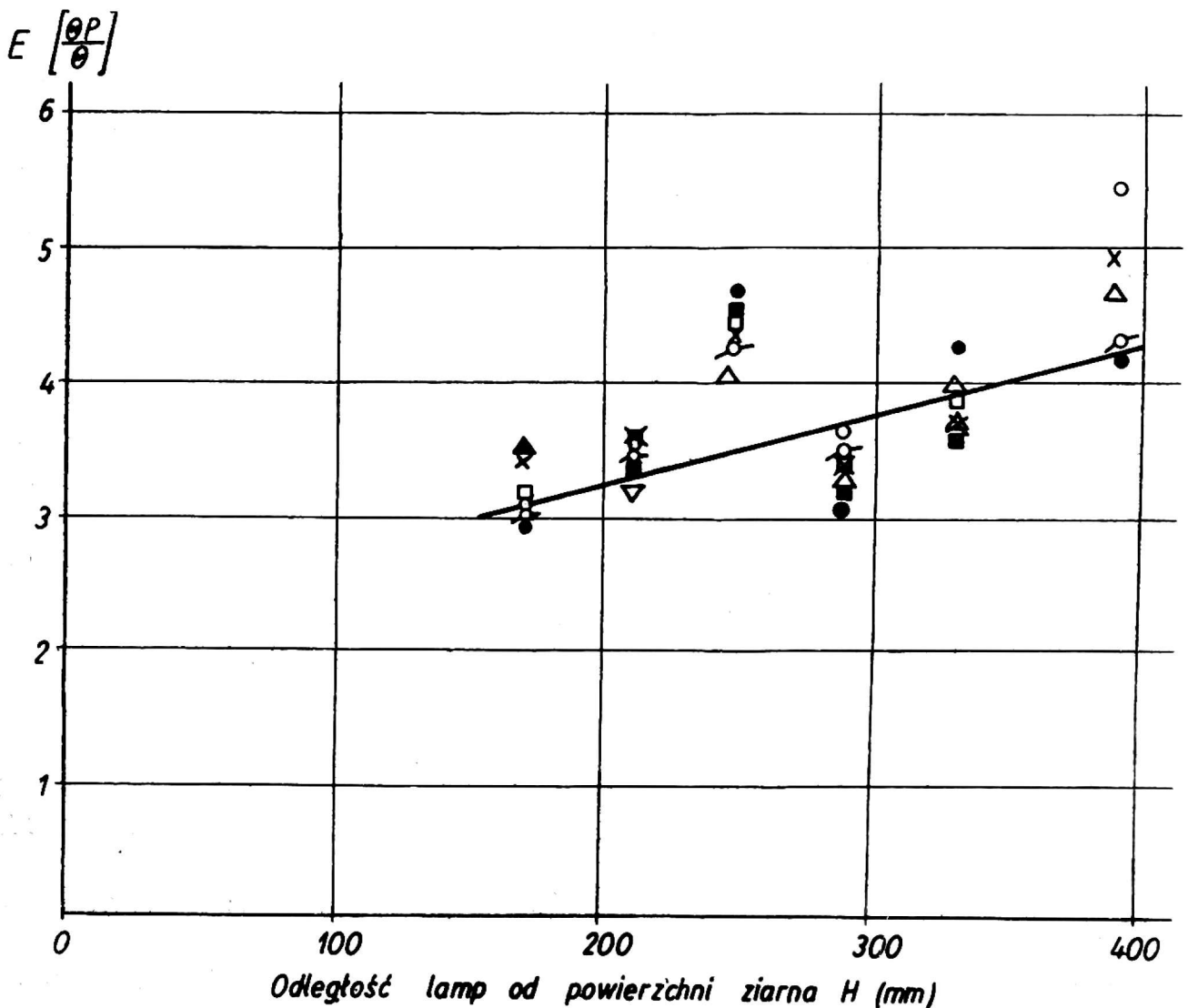
$$E = \frac{\Theta_p}{\Theta}$$

gdzie:  $\Theta_p$  — czas napromieniania z przerwami,

$\Theta$  — czas napromieniania bez przerw.

Wartość poprawki  $E$  jest funkcją natężenia napromieniania. Tę zależność przedstawia rys. 14. Równanie tej prostej jest następujące:

$$E = 2,25 + 0,0052 \cdot H$$



Rys. 14. Wielkość poprawki  $E$  dla obliczania czasu nagrzewania przy przerywanym napromienianiu w zależności od natężenia napromieniania  
Value of correction  $E$  for calculation of heating time at intermittent irradiation, depending upon intensity of irradiation

Wyniki obliczone wg podanych wzorów pokrywają się z nieznacznymi odchyleniami z czasem mierzonym w doświadczeniu.

Wyniki prowadzonych obserwacji wykorzystano do konstrukcji prototypu suszarki promiennikowej. W bieżącym roku dalsze badania będą prowadzone już na zbudowanym prototypie suszarki.

Wyniki prowadzonych badań można ująć w następującym podsumowaniu.

Gradient temperatury w warstwie jest zależny od natężenia napromieniania, wilgotności początkowej ziarna i głębokości w warstwie.

Najintensywniej nagrzewa się ziarno w warstwie grubości 7 mm. Im większe jest natężenie napromieniania, tym szybszy jest wzrost temp. nagrzania ziarna. Wprowadzono napromienianie z przerwami wg kombinacji: jedna minuta napromieniania + dwie minuty przerwy. Wywołuje to wahania temperatur w stosunkowo cienkiej warstwie nagrzewanych nasion. Suszenie z przerywanym napromienianiem ma znaczenie ze względu na zachowanie żywotności nasion. Przedstawiono także wpływ temperatury nagrzania na siłę i energię kiełkowania.

Ubytki wilgotności w pięciomilimetrowej warstwie nasion są znacznie wyższe niż ubytki wilgotności w warstwach sąsiadujących.

Wyniki opracowano w układzie zredukowanej zawartości wody  $u = u/u_0$  i czasu suszenia  $\Theta$ . Stwierdzono możliwość stosowania wzoru na obliczenie szybkości suszenia. Znalaziono wartość współczynnika suszarniczego oraz wartość poprawki konieczną do obliczenia czasu suszenia przy napromienianiu z przerwami.

#### LITERATURA

1. Haman J. — Badania nad suszeniem zboża przy użyciu promienników podczerwieni. Materiały z sesji poświęconej zagadnieniom suszarnictwa produktów rolnych w Polsce. Poznań 1957.
2. Lityński M. — Suszenie nasion cebuli promieniami podczerwonymi „Przeгляд Ogrodniczy“ nr 10, 1956 r.
3. Łykowski A. B. — Teoria suszki — Moskwa 1950 r.
4. Mazur M. — Nagrzewanie promiennikowe. Warszawa 1953 r.
5. Maksimow J. — Fizjologia roślin. Warszawa 1950 r.
6. Siergiejew M. D., Boronienko J. A. — Osnownyje parametry suszki siemiennowo ziarna infrakrasnym izluczenijem „Sielchozmaszina“ nr 11, 1955 r.
7. Wilkojć A. — Zastosowanie podczerwieni do suszenia nasion „Postęp Nauk Rolniczych“ nr 2 — 1955 r.
8. La Toison M. — Chauffage et Séchage par Lampes á Rayonnement Infra-Rouge. F. G. Ribaud. Paris 1952.
9. — — L'essiccazione del grano con i raggi infrarossi — Conconio Agrario Provinciale Asti 1956 r.