*Acta Agrophysica, 2003, 2(3), 663-675*

*Praca problemowa*

# TERMOGRAFIA W AGROFIZYCE

*Ryszard Walczak, Wojciech Mazurek, Piotr Baranowski*

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: rwalczak@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. Praca przedstawia przykłady zastosowania termografii w agrofizyce na podstawie badań własnych oraz znanych z literatury. Zastosowanie metody zobrazowań termalnych umożliwia określanie warunków cieplnych i wilgotnościowych różnych upraw. Pozwala na stwierdzenie zbliżającego się lub trwającego stresu wodnego roślin oraz umożliwia określenie z dużą dokładnością ewapotranspiracji z obszarów użytkowanych rolniczo. Analiza mapy pola temperaturowego powierzchni roślin pozwala na precyzyjne wyznaczanie zasięgów negatywnych zmian, niewidocznych gołym okiem, np. stany chorobowe we wczesnej fazie, uszkodzenia systemu korzeniowego i in. Termografia jest dobrym narzędziem kontroli warunków termicznych w uprawach pod osłonami i jest coraz częściej stosowana do określania jakości materiałów roślinnych.

Słowa kluczowe: termografia, stres wodny roślin, ewapotranspiracja rzeczywista, stan fitosanitarny, kiełkowanie nasion

## WSTĘP

Specyfika badań agrofizycznych, związana z różnorodnością badanych obiektów, np. system gleba-roślina-atmosfera lub materiały pochodzenia roślinnego, wymaga stosowania nowoczesnych metod pomiarowych pozwalających w sposób obiektywny określać badane cechy i wielkości fizyczne. Metodą spełniającą te warunki jest termografia [5].

Urządzenia termograficzne rejestrują promieniowanie cieplne emitowane przez badane obiekty i przepuszczane przez atmosferę w tzw. "oknach atmosferycznych": 3,5-5 $\mu$m oraz 8-13 $\mu$m. Uzyskuje się obrazy przedstawiające rozkład temperatury radiacyjnej powierzchni emitującej. Zobrazowania termalne, uzyskiwane z dużych pułapów (lotniczych, satelitarnych) dają możliwość uzyskiwania map zróżnicowania termicznego dużych powierzchni Ziemi, co eliminuje konieczność

olbrzymiej liczby pomiarów punktowych i uzyskiwania obrazu rozkładu temperatury drogą interpolacji. Wymagane są jedynie pomiary w wybranych kilku punktach reperowych, co jest niezbędne w ilościowej analizie zobrazowań termalnych [3].

Temperatura radiacyjna w formie obrazów termalnych jest wykorzystywana w badaniach wielu zjawisk w naukach rolniczych. Jako jeden z parametrów jest potrzebna do określania sytuacji stresowej roślin i ewapotranspiracji dużych obszarów. Rośliny porażone chorobami w odróżnieniu od zdrowych wykazują inną temperaturę radiacyjną. Ze zdjęć termalnych można wnioskować o występowaniu płytkich wód gruntowych. W ostatnich latach podjęto również próby wykorzystania termografii do określania stresu fizjologicznego płodów rolnych, przebiegu transpiracji roślin w stadium przed zbiorem, przewodnictwa aparatów szparkowych, stanów chorobowych roślin oraz w mikroskalowych badaniach zachowaniach pojedynczych żywych komórek [4,5].

Spośród wielu potencjalnych zastosowań termografii w agrofizyce na szczególną uwagę zasługują następujące zagadnienia badawcze:

- wykrywanie stresu wodnego roślin;
- określanie ewapotranspiracji z dużych obszarów;
- określanie stosunków wodnych pola uprawnego z możliwością wykorzystania do sterowania systemami nawadniania;
- wykrywanie powierzchni roślinnych zaatakowanych chorobami i szkodnikami;
- badanie warunków temperaturowych w szklarniach pod kątem optymalnej ich eksploatacji;
- wykrywanie zasięgów różnych upraw i ich identyfikacja;
- określanie jakości materiałów roślinnych;

Celem pracy jest przegląd zastosowań techniki odwzorowań termalnych w agrofizyce na podstawie badań własnych oraz doniesień literaturowych.

## WYBRANE ZASTOSOWANIA TERMOGRAFII W AGROFIZYCE

### Wykrywanie stresu wodnego roślin

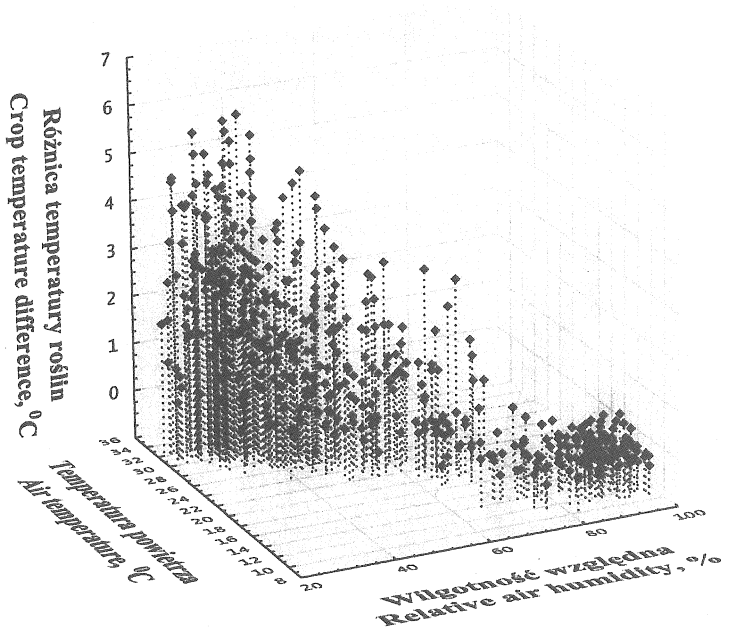
Zapewnienie odpowiedniego zaopatrzenia roślin w wodę przy jednoczesnym oszczędnym jej wykorzystaniu to podstawowy współcześnie problem dysponowania zasobami wodnymi [7,9-12,14-16].

Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie realizował kilkunastoletni cykl badań dotyczących określenia stresu wodnego roślin jako czynnika ograniczającego produkcję biomasy z wykorzystaniem teledetekcyjnych badań termograficznych [3,8,17,19].

Celem tych badań było opracowanie metody pomiaru warunków wodnych użytków zielonych i pól uprawnych w aspekcie sterowania systemami melioracji wodnych obszarów użytkowanych rolniczo.

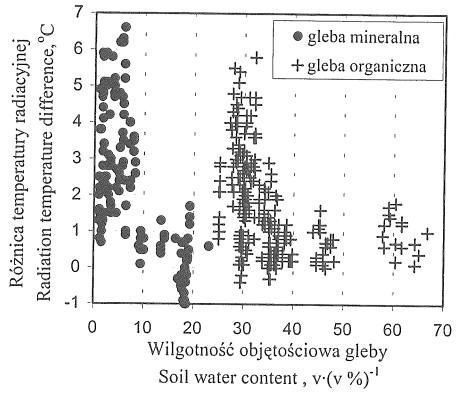
Badania prowadzono w warunkach wazonowych (szklarniowych) i lizymetrycznych (polowych) przy zastosowaniu kamer AGA 680 SWB oraz AGEMA 880 LWB, pracujących odpowiednio w zakresach 3-5 $\mu$m i 8-13 $\mu$m. Z uwagi na to, że temperatura powierzchni roślin jest uwarunkowana licznymi parametrami glebowymi i meteorologicznymi, przyjęto metodykę pomiarów różnicowych, tzn. porównywano temperaturę roślin znajdujących się w identycznych warunkach zewnętrznych z wyjątkiem zróżnicowanych warunków wilgotnościowych w glebie.

Jako obiekt badań wybrano dwie maksymalnie różniące się pod względem fizycznym, chemicznym i biologicznym gleby z porastającą je naturalną roślinnością łąkową. Porównywano temperaturę radiacyjną roślin przy zmiennych warunkach wilgotnościowych gleby z roślinami, które miały zapewniony komfort wodny, tzn. warunki wilgotnościowe nie ograniczały dostępności wody glebowej.



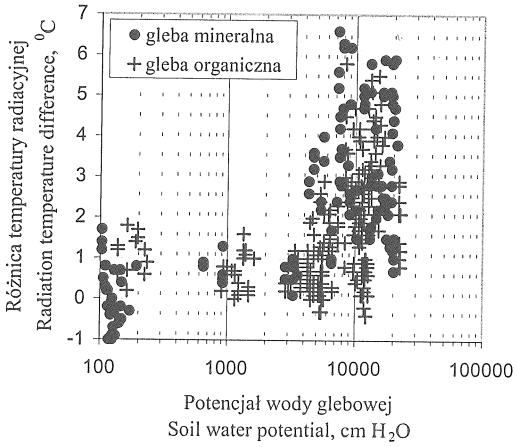

**Rys. 1.** Zależność różnic temperatury pokrywy roślinnej od temperatury i wilgotności względnej powietrza
**Fig. 1.** Relation between differences of plant cover temperature, air temperature and relative air humidity

Pomiary były przeprowadzane w zróżnicowanych warunkach meteorologicznych. Stwierdzono, że dla wartości wilgotności względnej powietrza powyżej 75% oraz temperatury powietrza poniżej 15°C różnice temperatury radiacyjnej roślin znajdujących się w zróżnicowanych warunkach dostępności wody glebowej są bliskie zera (rys. 1). Jednocześnie dla wysokich wartości temperatury powietrza oraz przy niskiej wilgotności względnej powietrza różnice osiągały nawet 7°C w warunkach polowych [3,5,20].




**Rys. 2a.** Zależność różnic temperatury radiacyjnej naturalnej łąkowej pokrywy roślinnej od wilgotności objętościowej gleby

**Fig. 2a.** Relation between radiation temperature of natural meadow plant cover and volumetric soil water content




**Rys. 2b.** Zależność różnic temperatury radiacyjnej naturalnej łąkowej pokrywy roślinnej od potencjału wody glebowej dla gleby mineralnej i organicznej

**Fig. 2b.** Relation between radiation temperature of natural meadow plant cover and soil water potential for mineral and organic soils

Stwierdzono, że pomiar różnicy temperatury radiacyjnej (badany obiekt – obiekt w warunkach komfortu wodnego) nie może być stosowany do określania ilości wody zmagazynowanej w glebie, a jedynie do wyznaczenia wartości wilgotności odpowiadającej ograniczeniu dostępności wody dla roślin. Wartości tych wilgotności są charakterystyczne dla poszczególnych gleb (gleba mineralna około 10%, gleba organiczna około 40% – rys. 2a). Odpowiadają one potencjałowi wody glebowej około 15 000 cm $H_2O$. Wykazano, że głównym czynnikiem warunkującym temperaturę radiacyjną pokrywy roślinnej związaną z warunkami wilgotnościowymi w glebie jest potencjał wody glebowej, którego wartości decydują o ograniczonej lub całkowicie zahamowanej dostępności wody dla roślin (rys. 2b).

Różnica między temperaturą radiacyjną badanej pokrywy roślinnej i znajdującej się w komfortowych warunkach wodnych jest dobrym wskaźnikiem stresu wodnego roślin, determinowanego przez potencjał wody glebowej, jako czynnika fizycznego decydującego o jej dostępności dla roślin.

Różnica temperatur w odniesieniu do warunków komfortu wodnego wzrasta, gdy wartość potencjału wody w glebie przekracza pF 3,7 (około 0,5 MPa), co odpowiada zakresowi wody trudno dostępnej dla roślin, osiągając maksymalne wartości przy pF 4,2 (około 1,5 MPa), co odpowiada punktowi trwałego więdnięcia roślin [17].

**Określanie ewapotranspiracji z dużych obszarów**

Wielkość ewapotranspiracji rzeczywistej stanowi informację o dostępności i możliwości wykorzystania wody glebowej przez rośliny. Jednocześnie istnieje duże zróżnicowanie intensywności ewapotranspiracji rzeczywistej w ciągu doby, co w głównej mierze zależy od warunków meteorologicznych. Informacja na temat potencjalnej możliwości parowania z powierzchni użytkowanej rolniczo może być uzyskana poprzez wyznaczenie ewapotranspiracji potencjalnej. W praktyce rolniczej dąży się do tego, aby na podstawie pojedynczych pomiarów np. temperatury radiacyjnej łanu roślin uzyskać proste do interpretacji wskaźniki intensywności transpiracji a tym samym dostępności wody glebowej dla roślin, co może mieć duże znaczenie dla szybkiej interwencji w celu optymalizacji warunków wodnych w środowisku rozwoju roślin [21,22]. W przypadku dysponowania pojedynczymi pomiarami temperatury radiacyjnej powierzchni łanu wskaźnik taki powinien łączyć wielkość ewapotranspiracji rzeczywistej z referencyjną ewapotranspiracją potencjalną dla danej powierzchni parującej.

Ewapotranspiracja jako proces energochłonny powoduje obniżanie temperatury roślin. Badania prowadzone w Instytucie Agrofizyki PAN ukierunkowano

na możliwość wykorzystania metody termografii do określenia wpływu dostępności wody glebowej dla systemu korzeniowego na intensywność ewapotranspiracji, a zatem na kształtowanie się temperatury liści [3,4,19].

Wybrano metodę określania ewapotranspiracji rzeczywistej bazującą na równaniu bilansu cieplnego:

$$L \cdot E + H + R_n + G = 0 \tag{1}$$

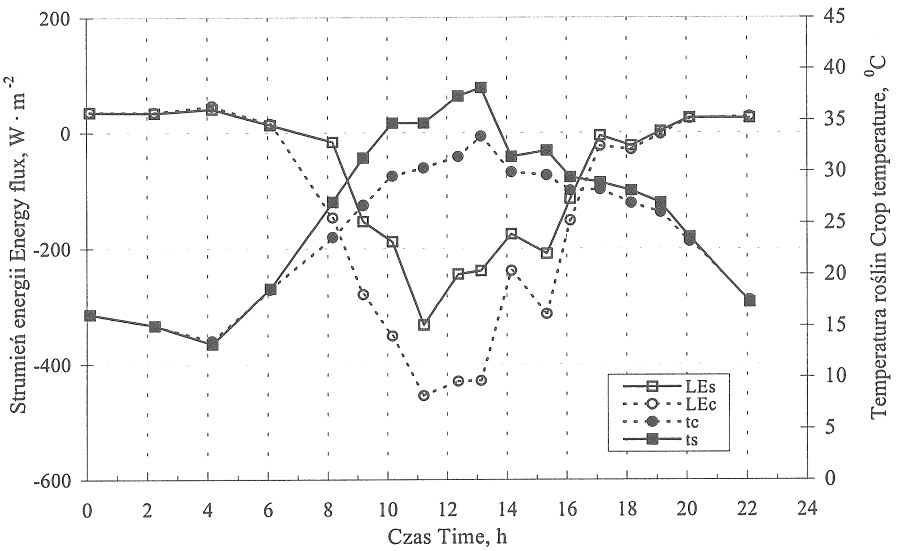
gdzie: $L{\cdot}E$ – gęstość strumienia ciepła utajonego (ekwiwalent energetyczny strumienia ewapotranspiracji) [W·m$^{-2}$], $L$ – ciepło utajone parowania (L = 2,45·10$^6$ J·kg$^{-1}$), $E$ – strumień ewapotranspiracji [kg·m$^{-2}$·s$^{-1}$], $H$ – gęstość strumienia ciepła jawnego [W·m$^{-2}$], $R_n$ – gęstość strumienia salda promieniowania górnej powierzchni rozpatrywanej warstwy [W·m$^{-2}$], $G$ – gęstość strumienia ciepła w glebie [W·m$^{-2}$].

W metodzie tej temperatura radiacyjna powierzchni roślin służy do wyznaczenia strumienia ciepła jawnego. Wybrana metoda wyliczania ewapotranspiracji rzeczywistej wymaga stosunkowo niewielkiej liczby danych wejściowych, dostępnych ze standardowych stacji meteorologicznych, z wyjątkiem temperatury parującej powierzchni. Parametr ten, nawet dla dużych powierzchni, można uzyskiwać z coraz to powszechniej dostępnych i lepszych jakościowo materiałów teledetekcyjnych z różnych pułapów.

Poprzez połączenie równania bilansu cieplnego powierzchni parującej z równaniami transportu dla strumieni ciepła jawnego i ciepła utajonego uzyskuje się związek pomiędzy aktualną wartością temperatury radiacyjnej łanu $T_c$ a parametrami agrometeorologicznymi w przygruntowej warstwie atmosfery [1]:

$$T_c = T_a + \frac{r_a(R_n - G)}{\rho c_p} \cdot \frac{\gamma\left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right) - \left(e_a^* - e_a\right)}{\Delta + \gamma\left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \tag{2}$$

gdzie: $T_a$ – temperatura powietrza [K] mierzona na wysokości odniesienia $z_a$, $G$ – gęstość strumienia ciepła w glebie [W·m$^{-2}$], $\Delta$ – nachylenie krzywej prężności pary wodnej nasyconej względem temperatury [kPa·K$^{-1}$], $e_a$ – ciśnienie aktualne pary wodnej w powietrzu [kPa], $e_a^*$ – ciśnienie pary wodnej nasyconej [Pa] w temperaturze $T_a$, $r_c$ – opór aparatów szparkowych roślin na transport pary wodnej [s·m$^{-1}$], $r_a$ – opór aerodynamiczny [s·m$^{-1}$], $R_n$ – gęstość strumienia salda promieniowania [W·m$^{-2}$], $\gamma$ – stała psychrometryczna [Pa·K$^{-1}$], $\rho$ – gęstość powietrza [kg·m$^{-3}$], $c_p$ – ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu [J·kg$^{-1}$·K$^{-1}$].




**Rys. 3.** Dobowe przebiegi temperatury radiacyjnej pokrywy roślinnej dla lizymetru z warunkami wodnymi komfortowymi *tc* i stresowymi *ts* oraz odpowiadające im strumienie ciepła utajonego *Lc* i *Ls*
**Fig. 3.** Daily courses of radiation temperature of plant cover for lysimeter with comfort water conditions *tc* and stress water conditions *ts* as well as corresponding latent heat fluxes *Lc* and *Ls*

Intensywność ewapotranspiracji wyrażona poprzez strumienie ciepła utajonego, wyznaczona opisaną metodą, wykazywała duże różnice dla lizymetrów o zróżnicowanych warunkach wodnych. W godzinach południowych różnice między strumieniami ciepła utajonego dla lizymetrów z warunkami komfortu wodnego $LE_c$ oraz stresu wodnego $LE_s$ wynosiły ponad 100 $W \cdot m^{-2}$. Na rysunku 3 oprócz strumieni ciepła utajonego przedstawiono zmierzone dobowe przebiegi temperatury radiacyjnej pokrywy roślinnej w lizymetrach, które stanowiły jedną z danych wejściowych do modelu ewapotranspiracji rzeczywistej [3].

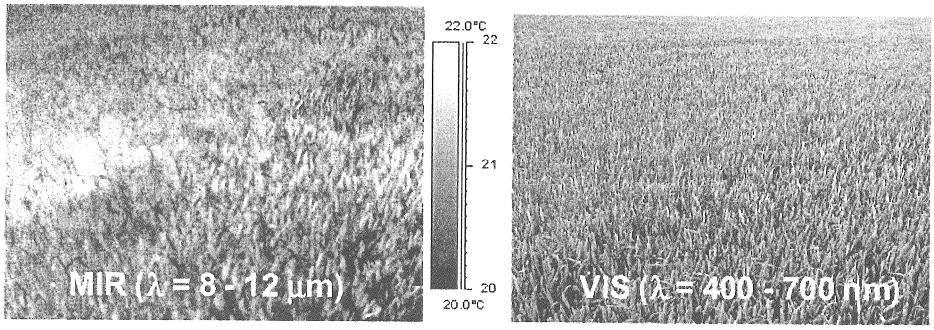
## Wykrywanie powierzchni roślinnych zaatakowanych chorobami i szkodnikami

Interpretacja lotniczych i satelitarnych zobrazowań termalnych umożliwia w połączeniu z materiałami teledetekcyjnymi wykonanymi w innych zakresach elektromagnetycznego spektrum uzyskanie informacji o zasięgach upraw, występowaniu chorób roślin i ich genotypach.

W stacji doświadczalnej ENSA w Rennes – Francja, [11] prowadzono pomiary temperatury radiacyjnej łanu pszenicy. Pole było jednorodne pod względem

warunków glebowych. Niektóre fragmenty łanu wykazywały w godzinach przedpołudniowych, kiedy to wykonano lotnicze zobrazowanie termalne, podwyższoną temperaturę. Stwierdzono u tych roślin znaczne uszkodzenia systemu korzeniowego przez nicienie, w następstwie czego utrudniony był pobór wody z gleby i następował spadek intensywności transpiracji.

Rośliny w łanie zaatakowane chorobami grzybowymi wykazują niższą temperaturę od otaczających je zdrowych roślin, co jest związane ze zmianą procesów metabolicznych w komórkach roślinnych spowodowaną okrywającą warstwą grzybową uszkadzającą zdrowe komórki roślinne [13].



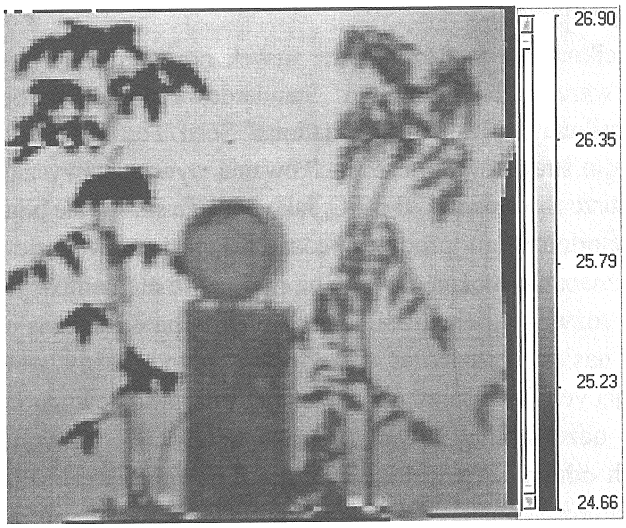

**Fot. 1.** Obraz termalny (z lewej) oraz obraz w świetle widzialnym (z prawej) fragmentu zachwaszczonego pola pszenicy [13]
**Phot. 1.** Thermal image (left) and visible range image (right) of a part of wheat field with weed [13]

Termografia jest pomocna w ilościowym określaniu stopnia zachwaszczenia łanu. W świetle widzialnym łan obraz nie wykazuje dużych różnic tonalnych (fot. 1, prawa). Natomiast na tym samym fragmencie pola, w tym przypadku pszenicy (fot. 1, lewa), zarejestrowanym w podczerwieni termalnej można wyróżnić chwasty posiadające temperaturę wyższą do około 2°C [13].

## Badania warunków temperaturowych w szklarniach pod kątem optymalnej ich eksploatacji

Metoda termowizyjna umożliwia w sposób dynamiczny rejestrację rozkładów temperatury radiacyjnej różnych powierzchni. Może ona mieć istotne znaczenie w badaniach warunków temperaturowych upraw pod osłonami, w celu optymalnej ich eksploatacji.

Zobrazowania termalne pozwalają uzyskiwać mapę rozkładu temperatury powierzchni badanego obszaru. Temperatura radiacyjna roślin zawiera informację o ich stanie fizjologicznym. Zaburzenia pola temperaturowego wskazują na zmiany chorobowe roślin, zaatakowanie szkodnikami, brak dostępności wody, stres tlenowy, niedobór składników pokarmowych i innych.




**Fot. 2.** Termogram dwóch roślin pomidora rosnących w różnych warunkach wilgotnościowych podłoża
**Phot. 2.** Thermogram of two tomato plants growing in different water content conditions of their beds

Warunki termiczne panujące w różnych częściach stanowiska uprawowego mają istotny wpływ na prawidłowy rozwój roślin, przy czym poszczególne gatunki roślin mają różne wymagania temperaturowe (fot. 2). Pomiary termowizyjne całej powierzchni uprawowej pod osłonami pozwalają poznać warunki temperaturowe i w następstwie na planowanie i wyznaczanie miejsc pod poszczególne uprawy. W przypadku niepełnego pokrycia projekcyjnego możliwa jest również doraźna termowizyjna kontrola stanu podłoża. Pomiary termowizyjne mogą być również bardzo pomocne w ocenie stanu izolacji cieplnej osłon [2].

Analiza mapy pola temperaturowego powierzchni roślin pozwala na precyzyjne wyznaczenie zasięgów negatywnych zmian, niewidocznych gołym okiem. Stanowi to wskazówkę by przeprowadzić w tych miejscach badania i analizy wyjaśniające ich przyczyny. Umożliwia to szybką interwencję i zapobieżenie rozprzestrzeniania się negatywnych zmian.

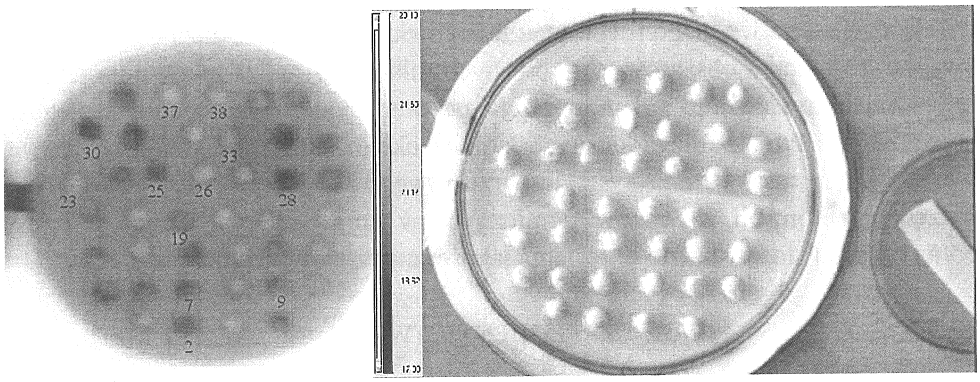
## Badanie jakości materiałów roślinnych

W Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie rozpoczęto badania dotyczące możliwości wykorzystania techniki termowizyjnej do badania jakości materiałów roślinnych. Jednym z realizowanych zadań badawczych jest wykorzystanie pomiaru temperatury radiacyjnej do określania zdolności kiełkowania nasion roślin strączkowych [6,18].

Zdolność kiełkowania jest to procent siewek normalnych wyrosłych z nasion w optymalnych warunkach środowiska. Standardowa procedura oceny zdolności kiełkowania określona jest normą International Seed Testing Association 1999 r. W przypadku roślin strączkowych czas kiełkowania wynosi zazwyczaj od 5 do 9 dni w stałej temperaturze z przedziału 20-30°C. Jako podłoże stosuje się bibułę lub piasek.

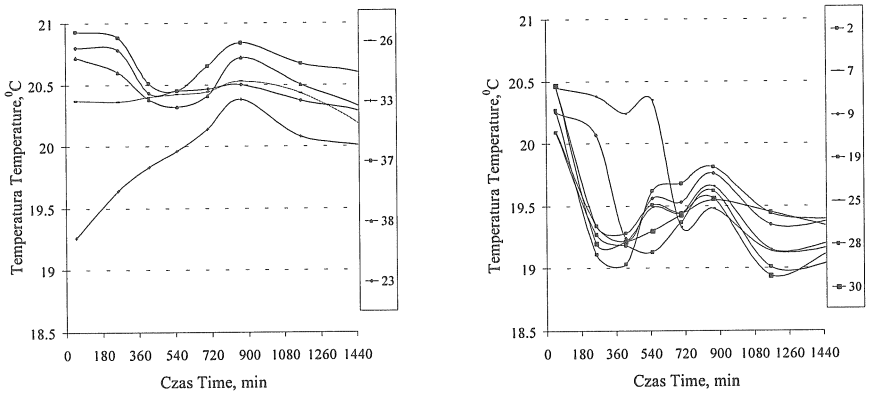
Efektem wielodniowego procesu pęcznienia jest rozwój siewki do etapu, w którym jednoznacznie można określić na podstawie elementów jej budowy, czy możliwy jest jej rozwój w pełną roślinę. Ze względu na długi czas oczekiwania na wykiełkowanie nasion, poszukuje się nowych metod oceny zdolności kiełkowania, pozwalających na krótszy czas selekcji materiału siewnego. Takie metody są szczególnie oczekiwane w przypadkach rzadkich, cennych nasion, przy hodowli nowych odmian, kiedy to często nie dysponuje się wymaganą standardem badań liczebnością nasion.

Przy określeniu zdolności kiełkowania nasion ważnym jest porównywanie zmian temperatury nasion, w których pojawiły się kiełki i korzonki podczas procesu pęcznienia oraz tych, które nie wykiełkowały. Na fotografii 3 przedstawiono zobrazowania termalne oraz jednoczesne w świetle widzialnym uzyskane po pierwszej dobie procesu pęcznienia nasion grochu. Spośród nasion wyselekcjonowano dwie grupy: nasiona, które nie wykiełkowały do końca doświadczenia oraz nasiona, w których po pierwszych 24 godz. procesu pęcznienia pojawiły się kiełki. Rysunek 4 przedstawia przebiegi temperatury radiacyjnej nasion w czasie pierwszej doby procesu pęcznienia dla obu grup. Dla nasion, które nie wykiełkowały w czasie doświadczenia spadek temperatury radiacyjnej nie przekroczył 0,5°C (rys. 4a). Przebiegi temperatury radiacyjnej nasion, w których w ciągu pierwszej doby wytworzyły się kiełki i korzonki charakteryzują się znacznym spadkiem temperatury (ponad 1°C) w pierwszych 12 godz. procesu pęcznienia (rys. 4b). Po pierwszej dobie wartości temperatury radiacyjnej tych nasion zawierają się w zakresie 19,1-19,4°C przy temperaturze otaczającego powietrza 25°C [6].




**Fot. 3.** Obraz termalny (z lewej) oraz w świetle widzialnym (z prawej) nasion grochu. Zmiany temperatury radiacyjnej ponumerowanych nasion są przedstawione na rysunku 4

**Phot. 3.** Thermal images (left) and visible images (right) of pea seeds. Radiation temperature changes of the numbered seeds are presented in figure 4




a. b.

**Rys. 4.** Zmiany temperatury radiacyjnej: a – nasion, które nie wykiełkowały, b – nasion, które wypuściły kiełek po pierwszym dniu procesu pęcznienia

**Fig. 4.** Changes of radiation temperature of: a – seeds which did not germinate, b – seeds that formed radicle after the first day of the swelling process

## PODSUMOWANIE

Termografia w podczerwieni umożliwia rejestrację dynamicznych rozkładów temperatury radiacyjnej różnych powierzchni. Znajduje z powodzeniem zastosowanie w badaniach agrofizycznych, szczególnie przy określaniu warunków cieplnych i wilgotnościowych różnych upraw. Pozwala na stwierdzenie zbliżającego się lub

trwającego stresu wodnego roślin oraz umożliwia określenie z dużą dokładnością ewapotranspiracji z obszarów użytkowanych rolniczo. Analiza mapy pola temperaturowego powierzchni roślin pozwala na precyzyjne wyznaczanie zasięgów negatywnych zmian, niewidocznych gołym okiem, np. stany chorobowe we wczesnej fazie, uszkodzenia systemu korzeniowego i in. Termografia jest dobrym narzędziem kontroli warunków termicznych w uprawach pod osłonami i jest coraz częściej stosowana do określania jakości materiałów roślinnych.

## PIŚMIENNICTWO


1. **Aston A.R., van Bavel C.H.M.:** Soil surface water depletion and leaf temperature. Agron. J., 64, 368-373, 1972.
2. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.**: Ocena warunków termicznych w uprawie pod osłonami z wykorzystaniem termowizji. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 429, 37-43, 1996.
3. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.:** Zastosowanie termografii do badania stresu wodnego roślin i ewapotranspiracji rzeczywistej. Monografia. Acta Agrophysica, 21, 1999.
4. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.:** Zastosowanie pomiaru temperatury powierzchni łanu do określania strumienia ciepła jawnego przy zróżnicowanej dostępności glebowej. Acta Agrophysica, 34, 9-18, 2000.
5. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.:** Wykorzystanie techniki zobrazowań termanych w badaniach rolniczych. Acta Agrophysica, 72, 7-14, 2002.
6. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.:** The use of thermography for pre-sowing evaluation of seed germination capacity. Proc. Int. Conf. Quality in Chains. Acta Hort., 604, ISHS, 459-465, 2003.
7. **Burke J.J., Hatfield J.L., Wanjura D.F.:** A thermal stress index for cotton. Agron. J., Vol. 82, 526-530, 1990.
8. **Carbone, G.J., Narumalani S., King M.:** Application of remote sensing and GIS technologies with physiological crop models. Photogram. Eng. Remote Sens., 62, 171-179, 1996.
9. **Clawson K.L., Blad B.L.:** Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. Agron. J., 74, 311-316, 1982.
10. **Clawson K.L., Jackson R.D., Pinter P.J.:** Evaluating plant water stress with canopy temperature differences. Agron. J., 81, 858-863, 1989.
11. **Dieng S.B.:** Detection precoce d'une attaque de pietin-verse par radiothermometrie dans l'infrarouge thermique. These doc. Ing de l'ENSA de Rennes, 89, 1988.
12. **Ehrler W.L.:** Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. Agron. J., 65, 404-409, 1973.
13. **Hellebrand H.J., Linke M., Beuche H., Brehme U., Geyer S., Dammer K. H.:** Application of infrared imaging in agriculture and horticulture. Absracts of BioPhys Spring 2003 - 2nd International Workshop for Young Scientists, www.bps.czu.cz, Praha, 2003.
14. **Idso S.B., Jackson R.D., Pinter P.J. Jr., Reginato R.J., Hatfield J.L.:** Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agric. Meteorol., 24:45-55, 1981.
15. **Jackson R.D., Idso S.B., Reginato R.J., Pinter P.J.:** Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resour. Res., Vol.17, No.4, 1133-1138, 1981.
16. **Jackson R.D.:** Canopy temperature and crop water stress. Adv. Irrig., 1, 43-85, 1982.

17. **Mazurek W.:** Zastosowanie pomiaru temperatury radiacyjnej w modelowych badaniach stresu wodnego roślin. Ogólnopolska Konferencja Naukowa "Modelowanie i monitorowanie procesów agrofizycznych w środowisku glebowym", 6.września, 72-74. 1999,
18. **Mazurek W., Dobrzański B. jr., Walczak R.T., Baranowski P., Rybczyński R.:** Zastosowanie pomiaru temperatury radiacyjnej w przedsiewnej ocenie zdolności kiełkowania nasion. Referaty i Doniesienia, II Zjazd Naukowy PTA, Lublin, 217-219, 2000.
19. **Mazurek W., Baranowski P.:** The use of chosen water stress indices for meadow plant cover. VIII International Poster Day, Transport of Water, Chemicals and Energy in the System Soil-Crop Canopy-Atmosphere, Bratislava, 2000.
20. **Mazurek W., Walczak R., Baranowski P.:** Analiza statystyczna wpływu czynników meteorologicznych i glebowych na wartość temperatury radiacyjnej powierzchni roślin. Acta Agrophysica, 38, 157-164, 2000.
21. **Moran, S.M., Maas S.J., Pinter P.J., Jr.:** Combining remote sensing and modeling for estimating surface evaporation and biomass production. Remote Sensing Reviews, 12, 335-353, 1995.
22. **Nieuwenhuis G.J.A., Smidt E.H., Thunnissen H.A.M.:** Estimation of regional evapotranspiration of arable crops from thermal infrared images. Int. J. Remote Sensing, Vol. 6, No. 8, 1319-1334, 1985.

# THERMOGRAPHY IN AGROPHYSICS

*Ryszard Walczak, Wojciech Mazurek, Piotr Baranowski*

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: rwalczak@demeter.ipan.lublin.pl

Abstract. This paper presents some examples of the application of thermography in agrophysics on the base of investigations performed by the present authors and known from literature. Application of thermal imaging method enables to determine heat and water conditions of different cultures. It also makes it possible to determine both the approaching or persisting plant water stress and the actual evapo-transpiration from arable areas with high accuracy. The analysis of a temperature map of a crop surfaces enables to select precisely the ranges of negative changes which are not observed by eyes, e.g. plant diseases in the early stage, root system damages etc. Thermography is a good tool of the controlling of thermal conditions in hot-bed cultures and is more and more often used for plant materials quality determination.

Keywords: thermography, plant water stress, actual evapo-transpiration, phyto-sanitary status, seed germination