

## BADANIE ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW POWIETRZA W PODWÓJNEJ PRZEGRODZIE SZKLARNI

Sławomir GRABARCZYK\*

\* Politechnika Warszawska, Instytut Budownictwa, Zakład Instalacji Budowlanych i Fizyki Budowli  
ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock, e-mail: slawekg@pw.plock.pl

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono wyniki badań parametrów powietrza w podwójnej przegrodzie szklarni. Analizie poddano różne miejsca w przekroju poprzecznym szklarni: ścianę boczną, połąc dachową i dach w kalenicy.

**Słowa kluczowe:** szklarnia, ekran termoizolacyjny, parametry powietrza

### 1. WPROWADZENIE

Szklarnie wyposażone w ekrany termoizolacyjne wykazują mniejsze straty ciepła przez przegrody zewnętrzne, a tym samym mniejsze zużycie energii na cele grzewcze. Zalecana odległość między pokryciem ze szkła a ekranem termoizolacyjnym powinna wynosić 20 cm [3]. Taka grubość szczeliny powietrznej między przegrodą szklaną i ekranem ogranicza konwekcję powietrza, a także minimalizuje wymianę ciepła na drodze promieniowania między powierzchniami tych przegród. W praktyce, głównie ze względów technicznych, zachowanie jednakowej odległości między szkłem a ekranem, nie zawsze jest możliwe. Do oceny zastosowanego ekranu termoizolacyjnego często używa się ilorazu różnic temperatur  $V$ :

$$V = \frac{t_o - t_e}{t_i - t_e} \quad (1)$$

gdzie:

- $t_i$  – temperatura powietrza w szklarni;
- $t_e$  – temperatura powietrza zewnętrznego;
- $t_o$  – temperatura powietrza między ekranem i przegrodą ze szkła.

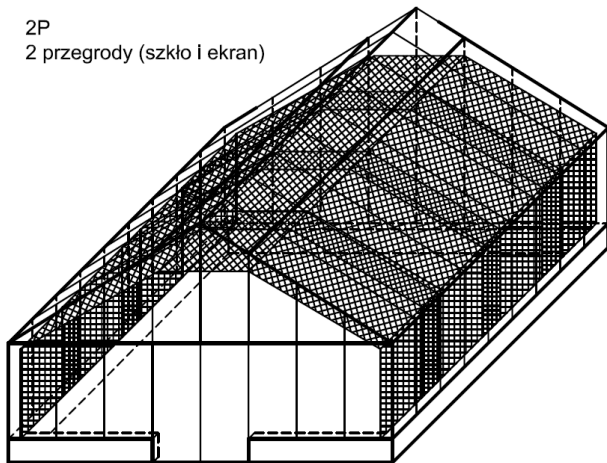
W literaturze niemieckiej wielkość tą odnosiło do całości pokrycia szklarni [2]. Podobne wielkości bezwymiarowe stosowano również w ocenie strat ciepła przez przegrody zewnętrzne innych obiektów budowlanych [1]. W przedstawionych analizach, z uwagi na różnice w „kon-

strukcji” przegród badanego obiektu, zaproponowano „wydzielenie” charakterystycznych jej części w przekroju poprzecznym szklarni. Stąd iloraz różnic temperatur oznaczano jako:

- $V_b$  – dla ściany bocznej pionowej szklarni; szkło + ekran w odległości 20 cm z dodatkową osłoną z folii pęcherzykowej, przytwierdzoną na zewnątrz;
- $V_d$  – dla połączenia dachowej szklarni; szkło + ekran w odległości 30 cm;
- $V_k$  – dla dachu szklarni w kalenicy; szkło + ekran, przy czym przegroda szklana nachylona pod kątem  $27^\circ$  do poziomu, natomiast ekran usytuowany poziomo.

### 2. ZAŁOŻENIA DO BADAŃ I ANALIZ

Badania wykonano w szklarni, stanowiącej obiekt dużego kompleksu przystosowanego do prowadzenia upraw kwiatowych w doniczkach. W badanej szklarni zainstalowano równolegle wzdłuż połączenia dachowej i ścian bocznych ekran termoizolacyjny ULS 16. Ekran ten to tkanina pasków poliestru i aluminium. Otwieranie i zamykanie ekranu termoizolacyjnego w szklarni jest sterowane automatycznie pogodową. Ekran jest zamykany nocą podczas niskich temperatur i stanowi wtedy drugą wewnętrzną osłonę szklarni. W ciągu dnia ekran jest otwierany tak, aby nie ograniczał dostępu światła do wnętrza szklarni, przy czym nadmierna intensywność promieniowania słonecznego jest ograniczana przez częściowe przysmykanie ekranu. Na przegrodach pionowych szklarni po stronie zewnętrznej przytwierdzono dodatkową osłonę z folii pęcherzykowej. Kubatura szklarni z ekranem termoizolacyjnym, ograniczona przez jego powierzchnię oraz powierzchnię pozostałych przegród, nieznacznie różni się od kubatury szklarni bez dodatkowych osłon (rys. 1).



Rys. 1. Szklarnia pojedyncza z ekranem termoizolacyjnym.  
Fig. 1. Free-standing greenhouse with thermal screen.

Podłoże szklarni jest przystosowane do prowadzenia upraw doniczkowych. Grunt rodzimy jest przykryty warstwą piasku o grubości ok. 20 cm. Wierzchnią warstwę podłoża stanowi 2 cm izolacja termiczna (styropian) pokryta tkaniną z tworzywa sztucznego typu LS Hortiweef Black o grubości 2 mm.

W okresie przeprowadzania pomiarów rejestrowano szereg innych parametrów, które mogą mieć wpływ na rozkład temperatury i wilgotności względnej powietrza w podwójnej przegrodzie szklarni. Są to min.: natężenie promieniowania słonecznego na płaszczyznę poziomą, prędkość wiatru, stan zamknięcia ekranu termoizolacyj-

nego, stan otwarcia wietrzników, zużycie energii cieplnej oraz temperatury zasilania górnego i dolnego systemu ogrzewczego szklarni. Pomiary w/w wielkości realizowane były przez system kontroli mikroklimatu szklarni zintegrowany ze stacją pogodową, uzupełniony o zestaw do pomiaru i rejestracji zużycia energii cieplnej.

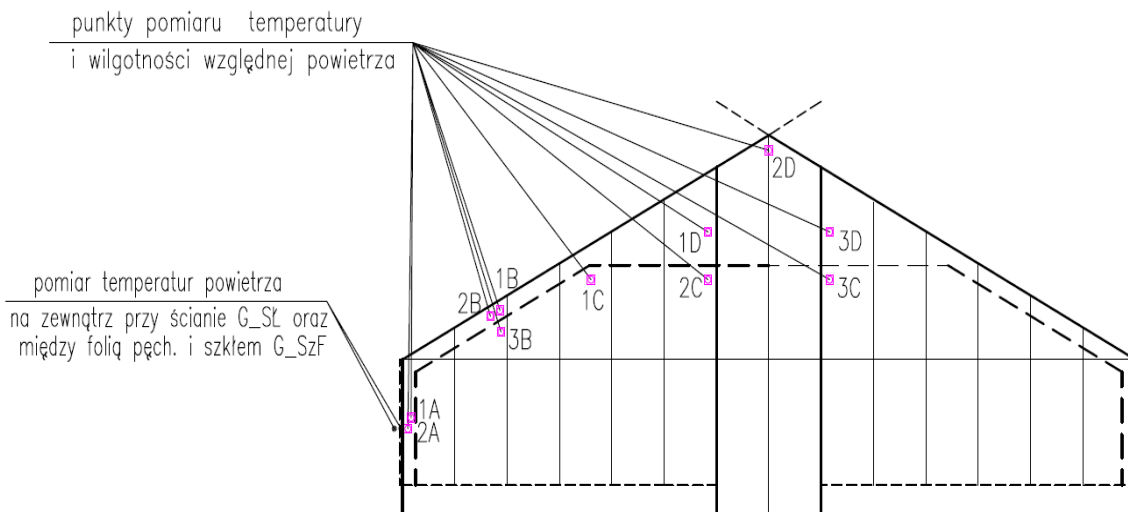
Analizy wykonane w pracy dotyczyły głównego okresu funkcjonowania ekranu termoizolacyjnego w szklarni, określonego w ogólnym schemacie eksploatacji jako 2P (dwie przegrody: szkło + ekran). Stan ten występuje w zasadzie w przekroju całego roku w okresie nocnym i ma istotne znaczenie zwłaszcza, gdy temperatura zewnętrzna jest niższa niż temperatura wewnątrz szklarni (okres zimowy i przejściowy).

Zaprezentowane na rys. 2 punkty pomiarowe temperatury i wilgotności względnej powietrza usytuowano tak, aby odpowiadały zaproponowanym częściom przegrody w przekroju poprzecznym szklarni:

- przegrody pionowej bocznej – pkt.: 1A, 2A oraz G\_SŁ i G\_SzF;
- połaci dachowej – pkt.: 1B, 2B i 3B;
- dachu – części kalenicowej – pkt.: 1C, 2C, 3C oraz 1D, 2D i 3D.

Pomiary temperatury w w/w punktach były podstawą obliczeń ilorazu różnic temperatur:  $V_b$  – charakterystycznego dla ściany bocznej pionowej szklarni;  $V_d$  – dla połaci dachowej szklarni oraz  $V_k$  – dla dachu szklarni w kalenicy (u wierzchołka).

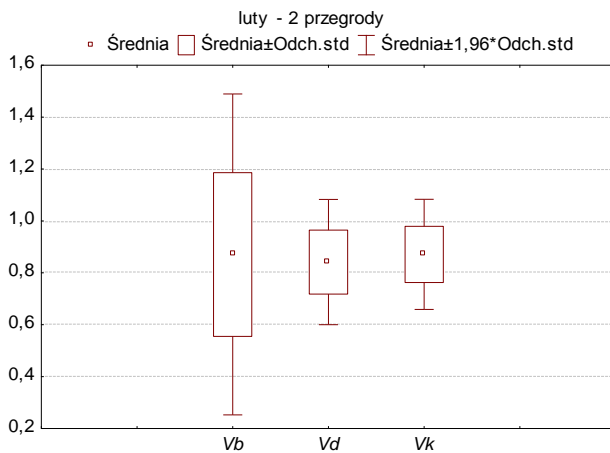
Wielkość  $V$  jest jednym z mierników jakości zastosowanego ekranu jako dodatkowej osłony termoizolacyjnej w szklarni.



Rys. 2. Punkty pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza w podwójnej przegrodzie szklarni z ekranem termoizolacyjnym.  
Fig. 2. Measuring point of temperature and relative humidity in double cover of greenhouse with thermal screen.

### 3. WYNIKI BADAŃ

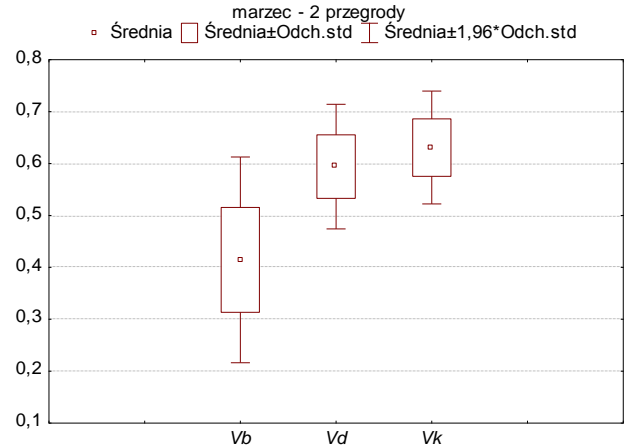
Na podstawie analiz materiału badawczego określono występowanie wielkości ilorazu temperatur  $V$  w charakterystycznych częściach przegrody w przekroju poprzecznym badanej szklarni. Analizy wykonano z podziałem na okres zimowy i przejściowy. Jako okres zimowy przyjęto miesiące: grudzień, styczeń i luty, okres przejściowy to miesiące: październik i listopad oraz marzec i kwiecień. Analiza zmienności występowania wielkości  $V_b$ ,  $V_d$  i  $V_k$  w miesiącach zimowych wskazuje, że wartości średnie mieszczą się w granicach 0.6 – 0.87, natomiast obserwowany rozrzut występowania jest ponad dwukrotnie większy dla ściany pionowej bocznej niż dla pozostałych części pokrycia szklarni. Na przedstawionym poniżej wykresie (rys. 3) zaprezentowano rozrzut występowania ilorazów temperatur dla poszczególnych części przegrody w miesiącu lutym. Średnie wartości  $V_b$ ,  $V_d$  i  $V_k$  są zbliżone do siebie, natomiast wraz z wysokością (usytuowaniem poszczególnych części przegród) zmniejsza się amplituda wahań temperatury wewnątrz podwójnej przegrody szklarni.



Rys. 3. Wykres ramka-wąsy dla zmiennej  $V_b$ ,  $V_d$  i  $V_k$  w miesiącu lutym - szklarnia z ekranem termoizolacyjnym.

Fig. 3. Box and whiskers plot for variable  $V_b$ ,  $V_d$  and  $V_k$  in February - greenhouse with thermal screen.

W miesiącach okresu przejściowego średnie wartości ilorazów temperatur są niższe i wynoszą odpowiednio  $V_b = 0.42$ ,  $V_d = 0.60$  oraz  $V_k = 0.65$ . Charakterystyczne dla miesięcy tego okresu jest to, że wraz z wysokością maleje amplituda wahań w poszczególnych częściach przegrody. Jednocześnie zmniejszają się rozrzuty występowania ilorazów  $V_b$ ,  $V_d$  i  $V_k$  w odniesieniu do analogicznych wielkości w miesiącach zimowych (rys. 4).



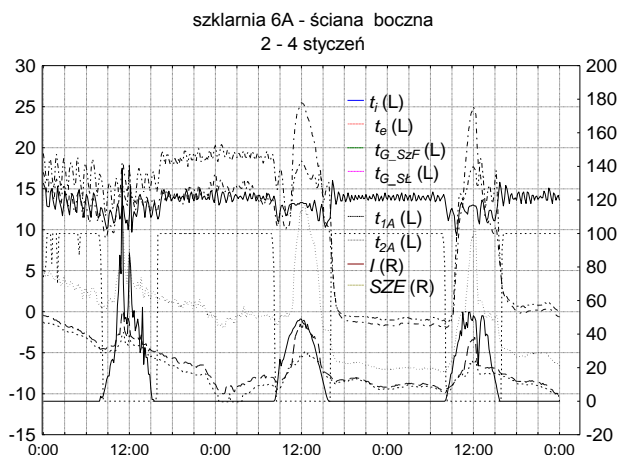
Rys. 4. Wykres ramka-wąsy dla zmiennej  $V_b$ ,  $V_d$  i  $V_k$  w miesiącu marcu - szklarnia z ekranem termoizolacyjnym.

Fig. 4. Box and whiskers plot for variable  $V_b$ ,  $V_d$  and  $V_k$  in March - greenhouse with thermal screen.

Poniżej zaprezentowano przykładowe przebiegi zmienności występowania temperatury (rys. 5, 7 i 9) i wilgotności względnej powietrza wewnątrz analizowanych części przegrody w przekroju poprzecznym badanej szklarni (rys. 6, 8 i 10). Wybrano trzydniowy zapis wielkości mierzonych w okresie, kiedy zaobserwowano kilkustopniowy spadek temperatury zewnętrznej z jednoczesnym wzrostem prędkości wiatru. Wybór dni wietrznych był celowy, z racji na to, że wiatr istotnie zwiększa wielkość strat ciepła, zwłaszcza z przestrzeni między ekranem a pokryciem szklanym. Średnie dobowe prędkości wiatru wynosiły odpowiednio: 2 stycznia – 4,4 m/s, 3 stycznia – 5,4 m/s oraz 4 stycznia 7 m/s.

Skutkiem obniżenia temperatury zewnętrznej i znacznego wzrostu wietrzności jest znaczące obniżenie temperatur (rys. 5, 7 i 9) a tym samym wzrost wilgotności względnej powietrza (rys. 6, 8 i 10) w przestrzeni między ekranem i pokryciem szklanym. Szczególnie jest to widoczne porównując wyniki pomiarów w porze nocnej z 2-3 stycznia oraz 3-4 stycznia. Wystąpienie niekorzystnych warunków atmosferycznych na zewnątrz szklarni wiąże się z obniżeniem temperatury z kilkunastu stopni do ok.  $+5^{\circ}\text{C}$  w części połaciowej i dachu w kalenicy (rys. 7 i 9), natomiast w ścianie bocznej nawet do poziomu ok.  $-2^{\circ}\text{C}$  (rys. 5).

Temperatury powietrza w przestrzeni między szkłem i ekranem wykazuje silną zależność od zmiennych warunków zewnętrznych. Jedynie w przypadku temperatury mierzonej między szkłem i folią (przegroda pionowa boczna) wpływ temperatury wewnętrznej na temperaturę między tymi warstwami jest nieistotny (rys. 5).

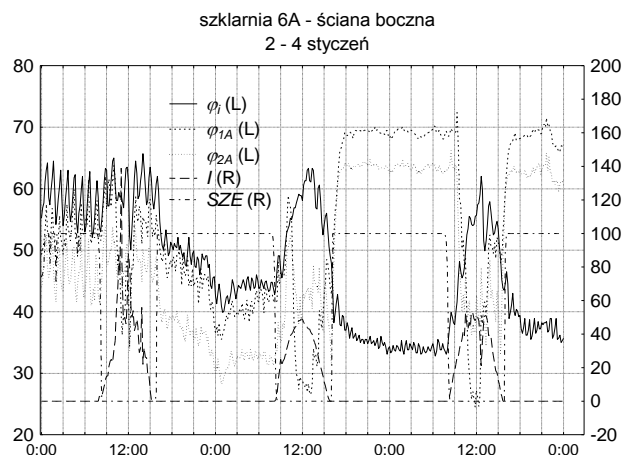


Rys. 5. Przebiegi zmienności temperatury powietrza dla ściany bocznej szklarni w dniach 2 – 4 stycznia. Oznaczenia:  $t_i$  – temperatura wewnątrz szklarni,  $t_e$  – temperatura zewnętrzna,  $t_{G\_SzF}$  – temperatura powietrza między szkłem i folią pęcherzykową,  $t_{G\_SL}$  – temperatura powietrza zewnętrznego na zewnątrz ściany bocznej,  $t_{1A}$  – temperatura powietrza między szkłem i ekranem – czujnik w słońcu,  $t_{2A}$  – temperatura powietrza między szkłem i ekranem – czujnik w cieniu,  $I$  – promieniowanie słoneczne na płaszczyznę poziomą [ $W/m^2$ ],  $SZE$  – stan zamknięcia ekranu termoizolacyjnego [%].

Fig. 5. Courses of variability air temperature for side wall of greenhouse in days 2 – 4 January. List of symbols:  $t_i$  – inside air temperature,  $t_e$  – outside air temperature,  $t_{G\_SzF}$  – air temperature between glass and air bubble film,  $t_{G\_SL}$  – air temperature outside the side wall,  $t_{1A}$  – air temperature between glass and thermal screen – the sensor in the sun,  $t_{2A}$  – air temperature between glass and thermal screen – the sensor in the shadow,  $I$  – solar radiation outside the greenhouse for the horizontal surface [ $W/m^2$ ],  $SZE$  – state close of the thermal screen [%].

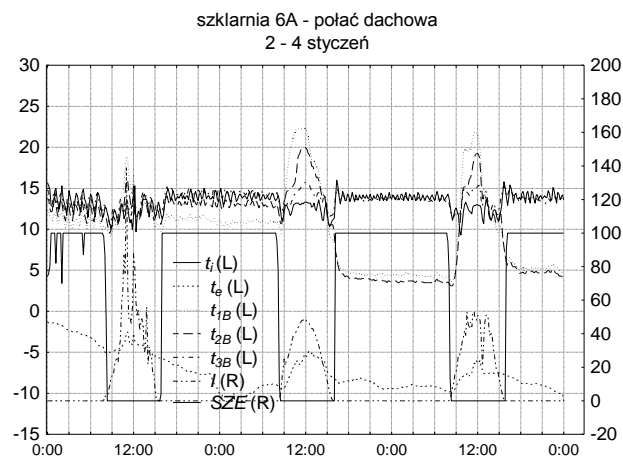
Wartości temperatur wewnątrz szklarni w punktach pomiarowych pod ekranem wykazują silną korelację z wartością temperatury w strefie uprawy roślin. Oznacza to, że ekran właściwie ogranicza straty ciepła z przestrzeni ogrzewanej do przestrzeni buforowej między szkłem i ekranem (rys. 5, 7 i 9). Nawet znaczący wzrost wietrzności nie spowodował istotnych zmian w temperaturze powietrza w punktach pomiarowych pod ekranem – w pobliżu wychłodzonej przestrzeni między przegrodą szklaną a ekranem.

Wahania wilgotności względnej powietrza wewnątrz podwójnej przegrody (rys. 6, 8 i 10) mieszczą się w granicach 30-70% oraz wykazują mniejsze oscylacje w okresie występowania niższych temperatur zewnętrznych i wysokiej prędkości wiatru.



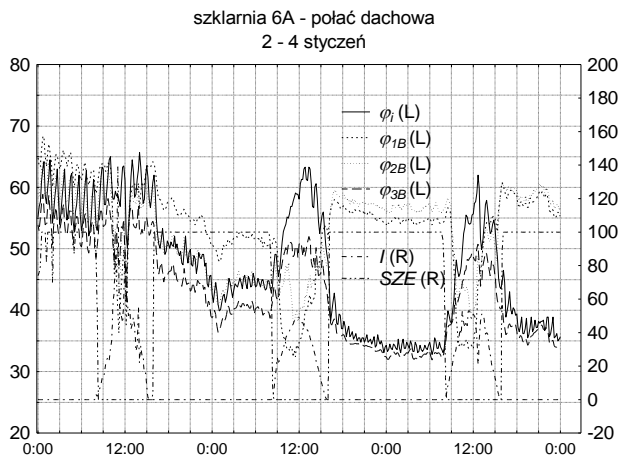
Rys. 6. Przebiegi zmienności wilgotności względnej powietrza dla ściany bocznej szklarni w dniach 2 – 4 stycznia. Oznaczenia:  $\varphi_i$  – wilgotność względna powietrza w szklarni,  $\varphi_{1A}$  – wilgotność względna powietrza między szkłem i ekranem – czujnik w słońcu,  $\varphi_{2A}$  – wilgotność względna powietrza między szkłem i ekranem – czujnik w cieniu, pozostałe oznaczenia jak pod rys. 5.

Fig. 6. Courses of variability relative humidity of air for side wall of greenhouse in days 2 – 4 January. List of symbols:  $\varphi_i$  – inside relative humidity,  $\varphi_{1A}$  – relative humidity of air between glass and thermal screen – the sensor in the sun,  $\varphi_{2A}$  – relative humidity of air between glass and thermal screen – the sensor in the shadow, other symbols under fig. 5.



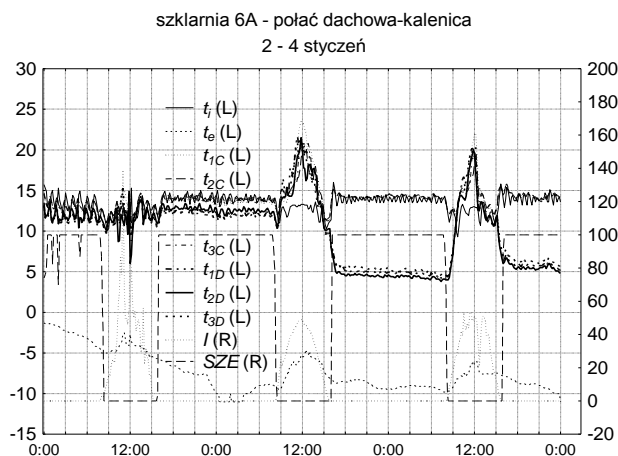
Rys. 7. Przebiegi zmienności temperatury powietrza dla połaci dachowej szklarni w dniach 2 – 4 stycznia. Oznaczenia:  $t_{1B}$  – temperatura powietrza między szkłem i ekranem – czujnik nad ekranem,  $t_{2B}$  – temperatura powietrza między szkłem i ekranem – czujnik w słońcu,  $t_{3B}$  – temperatura powietrza pod ekranem, pozostałe oznaczenia jak pod rys. 5.

Fig. 7. Courses of variability air temperature for roof surface of greenhouse in days 2 – 4 January. List of symbols:  $t_{1B}$  – air temperature between glass and thermal screen – the sensor above screen,  $t_{2B}$  – air temperature between glass and thermal screen – the sensor in the sun,  $t_{3B}$  – air temperature under screen, other symbols under fig. 5.



Rys. 8. Przebiegi zmienności wilgotności względnej powietrza dla połaci dachowej szklarni w dniach 2 – 4 stycznia. Oznaczenia:  $\varphi_{1B}$  – wilgotność względna powietrza między szkłem i ekranem – czujnik nad ekranem,  $\varphi_{2B}$  – wilgotność względna powietrza między szkłem i ekranem – czujnik w słońcu,  $\varphi_{3B}$  – wilgotność względna powietrza pod ekranem, pozostałe oznaczenia jak pod rys. 5 i 6.

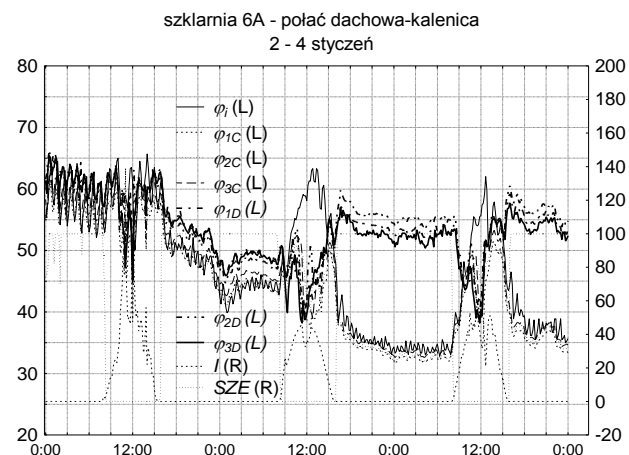
Fig. 8. Courses of variability relative humidity of air for roof surface of greenhouse in days 2 – 4 January. List of symbols:  $\varphi_{1B}$  – relative humidity of air between glass and thermal screen – the sensor over screen,  $\varphi_{2B}$  – relative humidity of air between glass and thermal screen – the sensor in the sun,  $\varphi_{3B}$  – relative humidity of air under screen, other symbols under fig. 5 and 6.



Rys. 9. Przebiegi zmienności temperatury powietrza dla połaci dachowej – kalenicy szklarni w dniach 2 – 4 stycznia. Oznaczenia:  $t_{1C}$  – temperatura powietrza pod ekranem – przy części połaciowej,  $t_{2C}$  – temperatura powietrza pod ekranem – część centralna,  $t_{3C}$  – temperatura powietrza pod ekranem – część centralna,  $t_{1D}$  – temperatura powietrza nad ekranem – nad pkt. 2C,  $t_{2D}$  – temperatura powietrza nad ekranem – wierzchołek kalenicy,  $t_{3D}$  – temperatura powietrza nad ekranem – nad pkt. 3C, pozostałe oznaczenia jak pod rys. 5.

Fig. 9. Courses of variability air temperature for roof ridge of greenhouse in days 2 – 4 January. List of symbols:  $t_{1C}$  – air tem-

perature under screen – near roof surface,  $t_{2C}$  – air temperature under screen – central part,  $t_{3C}$  – air temperature under screen – central part,  $t_{1D}$  – air temperature over screen – over point 2C,  $t_{2D}$  – air temperature over screen – top of roof ridge,  $t_{3D}$  – air temperature over screen – over point 3C, other symbols under fig. 5.



Rys. 10. Przebiegi zmienności temperatury powietrza dla połaci dachowej – kalenicy szklarni w dniach 2 – 4 stycznia. Oznaczenia:  $\varphi_{1C}$  – wilgotność względna powietrza pod ekranem – przy części połaciowej,  $\varphi_{2C}$  – wilgotność względna powietrza pod ekranem – część centralna,  $\varphi_{3C}$  – wilgotność względna powietrza pod ekranem – część centralna,  $\varphi_{1D}$  – wilgotność względna powietrza nad ekranem – nad pkt. 2C,  $\varphi_{2D}$  – wilgotność względna powietrza nad ekranem – wierzchołek kalenicy,  $\varphi_{3D}$  – wilgotność względna powietrza nad ekranem – nad pkt. 3C, pozostałe oznaczenia jak pod rys. 5 i 6.

Fig. 10. Courses of variability relative humidity of air for roof ridge of greenhouse in days 2 – 4 January. List of symbols:  $\varphi_{1C}$  – relative humidity of air under screen – near roof surface,  $\varphi_{2C}$  – relative humidity of air under screen – central part,  $\varphi_{3C}$  – relative humidity of air under screen – central part,  $\varphi_{1D}$  – relative humidity of air over screen – over point 2C,  $\varphi_{2D}$  – relative humidity of air over screen – top of roof ridge,  $\varphi_{3D}$  – relative humidity of air over screen – over point 3C, other symbols under fig. 5 and 6.

#### 4. WNIOSKI

W pracy przedstawiono wybrane aspekty związane z tematem badań zmienności temperatury i wilgotności względnej wewnątrz podwójnej przegrody szklarni. Przyjęty podział przegrody zewnętrznej pokrycia szklarni na trzy charakterystyczne części, wynikający z różnic w „konstrukcji” poszczególnych przegród na:

- ścianę boczną pionową,
- połac dachową,
- dach w części kalenicowej,

pozwolił na zwrócenie uwagi na różny wpływ zewnętrznych czynników klimatycznych na parametry powietrza wewnątrz tych przegród. Potwierdza to zatem słuszność

użycia wielkości  $V$  do opisu nie całego pokrycia szklarni, a wyodrębnionych jego części, różniących się w konstrukcji.

Analiza wartości ilorazów różnic temperatur wykazała występowanie zbliżonych wartości średnich wielkości  $V_b$ ,  $V_d$  i  $V_k$  w miesiącach grudzień, styczeń i luty (rys. 3). Może to wskazywać na rosnące znaczenie cyrkulacji powietrza wewnątrz przegrody podwójnej w okresie zimowym, co zamierza się sprawdzić w dalszych analizach.

W miesiącach okresów przejściowych: październiku i listopadzie oraz marcu i kwietniu, obserwuje się gradację w wartościach średnich wielkości  $V_b$ ,  $V_d$  i  $V_k$ , jak również charakterystyczny trend wzrostowy wartości ilorazów różnic temperatur  $V$ , zależny od usytuowania rozpatrywanych części przegrody w przekroju poprzecznym szklarni. (rys. 4).

W miesiącach okresu zimowego ściana pionowa boczna wykazuje prawie dwukrotnie większą zmienność temperatury i wilgotności względnej niż połać dachowa oraz dach w części kalenicowej. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest usytuowanie tej przegrody w dolnej części obiektu. Wyższe wartości temperatur są z kolei skutkiem lepszych właściwości termoizolacyjnych tej części przegrody (dodatkowo zainstalowana folia pęcherzykowa od strony zewnętrznej), co obserwuje się przy wyższych wartościach temperatur zewnętrznych i mniejszym oddziaływaniu zmiennych czynników klimatu zewnętrznego na przestrzeń między ekranem i pokryciem szklanym.

Zamierzeniem autora jest zgromadzenie odpowiednio dużego materiału badawczego do analiz, mające na celu ustalenie wpływu zmienności temperatury i wilgotności względnej w przegrodzie podwójnej szklarni. Pozwoli to, na określenie strumieni ciepłych w poszczególnych częściach przegród zewnętrznych szklarni w zależności od właściwości termoizolacyjnych przegrody oraz zmiennych warunków klimatu zewnętrznego.

#### RESEARCH OF AIR PARAMETERS VARIABILITY IN DOUBLE COVER OF GREENHOUSE

**Summary:** The paper presents the research result of air parameters in double cover of greenhouse with thermal screen. Analyses were executed for different places: side wall, roof surface and roof ridge.

#### Literatura

- [1] Krajewska A., *Wpływ kształtu budynku oraz właściwości termicznych przegród na parametry mikroklimatu w obiektach wielkokubaturowych*. Politechnika Warszawska, Rozprawa doktorska, Płock 2005
- [2] Meyer J., *Bewegliche Energieschirme*. ITG, Hannover 1981

[3] Tantau H. J., *Der Einfluss von Einfach und Doppelbedachungen auf das Klima und der Warmehaushalt von Gewächshäusern*. ITG, Hannover 1975