ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1966
Seria: INŻYNIERIA SANITARNA z. 10 Nr kol. 164

STANISŁAW MIERZWIŃSKI, MARIA JEDYNAK
KRYSTYNA TURKIEWICZ

BADANIA CIEPLNE W SZKLARNI Z DOŚWIADCZALNĄ INSTALACJĄ OGRZEWCZĄ

1. Wstęp

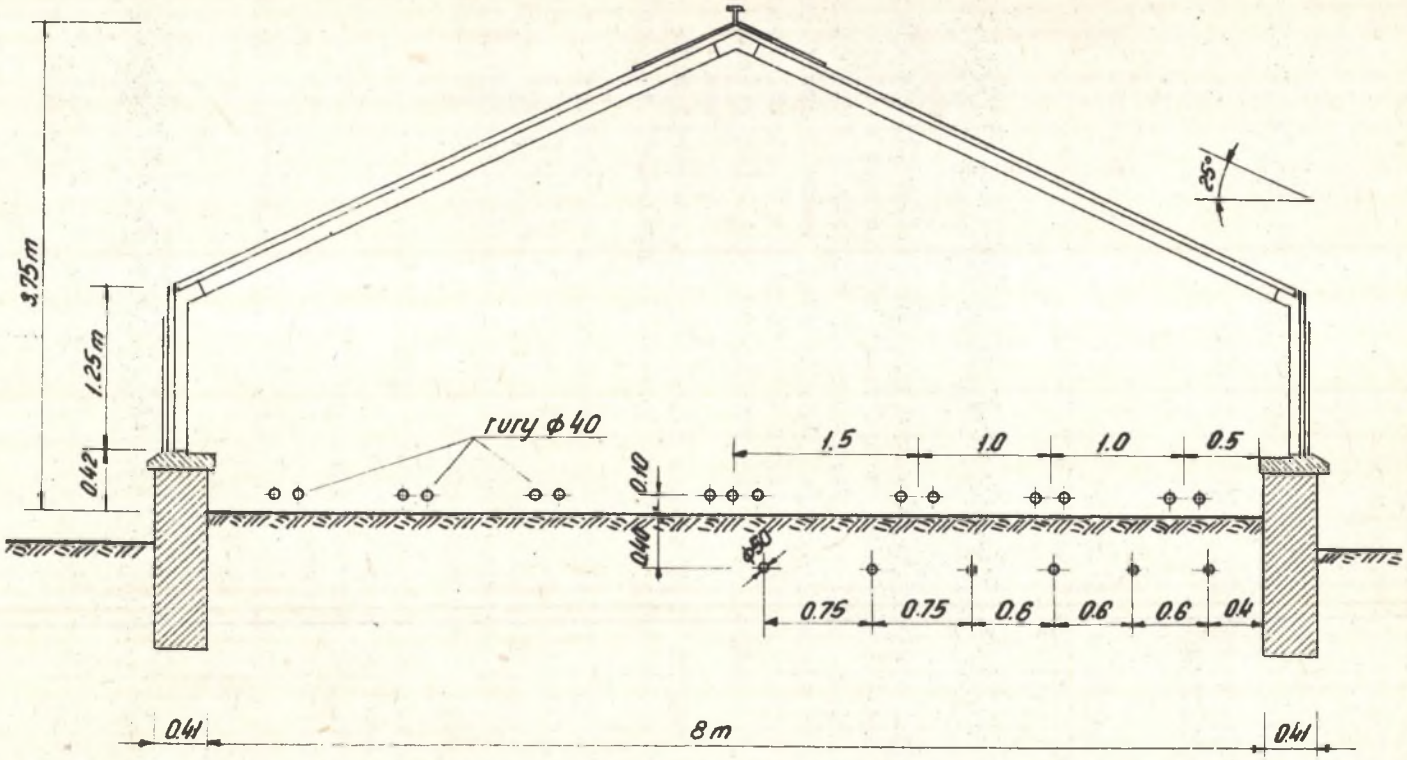
Poszczególne systemy ogrzewania szklarni stwarzają w niej określone warunki cieplne, które mogą różnić się między sobą ukształtowaniem pól temperaturowych wnętrza i intensywnością konwekcyjnej wymiany ciepła. Wynika stąd pewne zróżnicowanie wysokości strat ciepła obiektu do otoczenia i stopnia zaspokojenia w nim wymagań ekologii roślin pod względem klimatu wnętrza.

Konstrukcyjne rozwiązanie instalacji ogrzewczej może zatem mieć wpływ na koszty i jakość produkcji roślinnej w szklarniach.

W ciągu zimy 1964/65 przeprowadzono, w porozumieniu z Ministerstwem Rolnictwa - badania warunków cieplnych i bilansu energetycznego produkcyjnej szklarni, specjalnie do tego wyposażonej w doświadczalną instalację ogrzewczą. Instalacja ta pozwalała na prowadzenie badań z:

- ogrzewaniem rurowym (rury przy ziemi),
- ogrzewaniem powietrznym,
- ogrzewaniem rurowo-powietrznym,
- ogrzewaniem gruntu.

Omawiane badania są kontynuacją prac badawczych, prowadzonych w poprzednich latach [1].



Rys. 2. Szklarnia w PGO Pszczyna. Główne wymiary, rozmieszczenie rur grzejnych 1:50

2. Opis badanego obiektu

2.1. Szklarnia

Badań dokonywano w PGO w Pszczynie. Gospodarstwo to posiada 24 szklarnie o łącznej powierzchni uprawnej pod szkłem 10 000 m^2. Do prowadzenia badań przystosowano szklarnię nr 3 przeznaczoną do uprawy w gruncie. Wymiary nawy w przekroju poprzecznym podaje rys. 1, dane charakterystyczne ujęto w tablicy 1. Badana szklarnia posiada stalową konstrukcję nośną, do której od zewnątrz przymocowany jest drewniany szkielet oszklenia. Powtarzalny segment konstrukcji nawy posiada długość 2,5 m

Tablica 1

Dane charakterystyczne szklarni w Pszczynie

Wymiary szklarni:		
długość		50 m
szerokość		8 m
wysokość do kalenicy		3,7 m
Powierzchnia gruntu	F_g	400 m^2
Powierzchnia oszklenia	F_s	620 m^2
w tym: dach	$2F_1$	480 m^2
ściany boczne	$2F_2$	120 m^2
ściana szczytowa	F_3	20 m^2
Cokół murowany:		
wysokość		420 mm
grubość	d	410 mm
powierzchnia	F_m	46 m^2
Pojemność szklarni:	V	1100 m^3

Wielkości względne:

$F_s : F_g$		1,55
$V : F_g$		2,75

Rury ogrzewcze instal.dośw.:

powierzchnia ogrzewalna	F_r	105 m^2
Średnica		40 mm

Oszklenie:

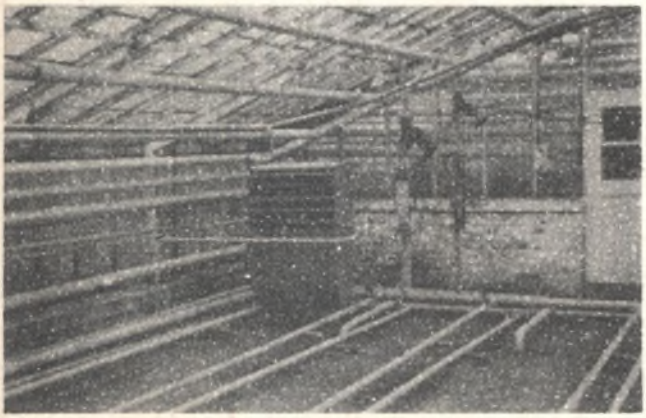
wymiary szyb		460 x 1100 mm
grubość szyb	d_s	3 mm
ramy drewniane		45 x 60 mm

Pojemność cieplna:

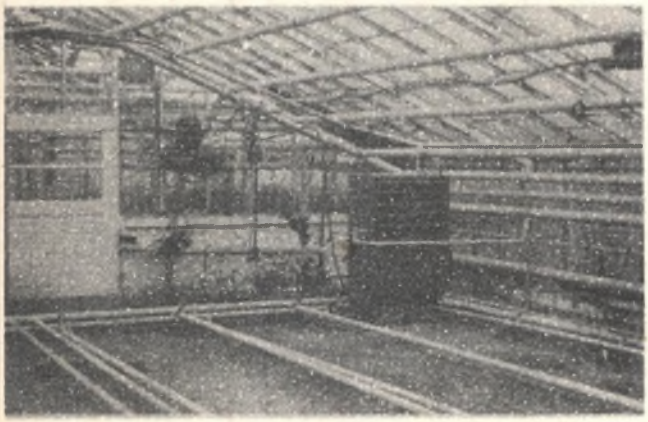
oszklenia	w_s	1350 kcal/grd
cokołu	w_m	9650 kcal/grd
rur grzewczych bez wody	w_v	277 kcal/grd
rur grzewczych z wodą	w_{co}	1287 kcal/grd
powietrze w szklarni	w_w	330 kcal/grd

Szklarnie PGO w Pszczynie ogrzewane są normalnie wodą w nominalnych temperaturach 90/65°C za pomocą rur grzewczych Ø 80 do 90 mm rozmieszczonych w tradycyjnym układzie. Źródłem ciepła kombinatu jest kotłownia posiadająca 10 kotłów typu KCO 80 W o łącznej wydajności ciepła około 5 Gcal/h. W badanej szklarni istniejąca instalacja ogrzewcza w okresie badań została wyłączona z eksploatacji. Na jej miejsce podłączono instalacje badawcze. Zasilanie nowych instalacji odbywało się za pomocą odgałęzienia od istniejącej sieci C.O. z wbudowaną pompą cyrkulacyjną. Pompa ta umożliwiała uzyskanie w każdej z badanych instalacji odpowiedniej prędkości krążenia wody.

Rys. 2. Instalacja doświadczalna rur nad ziemią, stanowisko do pomiarów termoelementami



Rys. 3. Instalacja doświadczalna, aparatura do pomiaru natężenia przepływu czynnika grzejnego w instal. rur nad ziemią i ogrzewania gruntu



Rys. 4. Instalacja doświadczalna, aparat ogrzewczo-wentylacyjny, w głębi pompa obiegowa

Tablica 2

Zestawienie metod pomiarów cieplnych w szklarni

Wielkość mierzona	Oznaczenia	Punkty pomiaru		Aparatura pomiarowa
		nad/pod pow. ziemi cm	ilość	
<u>Temperatura</u>				
gruntu w szklarni	ϑ_g	0, 2, 5, 10 15, 25, 50	7	TE_g
		5, 10, 30, 40, 50	25	T alkoholowe
powierzchni : szyb				
zewnątrz	ϑ_{sz}		6	TE_p
cokołu	$\vartheta_{mw,z}$		2	TE_p
powietrza wewnątrz	t_w	1, 50, 120, 200, 300,	5	TE_o
		50, 120	2	psychrometr Assmana
		120	6	T rtęciowe
powietrza zewnątrz	t_z	200	1	psychrometr Assmana
czynnika grzejnego	t_{co}		6	termometry rtęciowe
<u>Wilgotność powietrza</u>				
wewnątrz	φ_w	50, 120	2	psychrometr Assmana
zewnątrz	φ_z	200	1	psychrometr Assmana
<u>Parametry gruntu:</u>				
wilgotność	w	10, 25	4	suszarka waga

Cd. tablicy 2

Wielkość mierzona	Oznaczenia	Punkty pomiaru		Aparatura pomiarowa
		nad/podpow. ziemi cm	ilość	
porowatość suchej substancji	P	10, 25	4	piknometry
gęstości suchej substancji	s	10, 25	4	waga
Wiatr				
kierunek	-		1	dym z komina
szybkość	w	400	2	anemometr skrzydełkowy i czaszowy
Promieniowanie słońca:				
bezpośrednie	I_b	50	1	solarymetr
rozproszone	I_d	50	1	solarymetr
Czynnik ogrzewczy:				
natężenie przepływu	m		3	kreza norm.

TE_g - termoelementy glebowe

TE_p - termoelementy powierzchniowe

TE_o - termoelement osłonięty

T - termometry

2.2. Instalacja badawcza dla ogrzewania szklarni za pomocą cienkich rur przy ziemi

Instalacja ta została wykonana z rur Ø 40 mm stalowych czarnych, spawanych. Rozmieszczenie rur i sposób połączenia podaje rys. 1 do 4. Rury te zostały ułożone na podparciach z cegieł co około 1,5 m na wysokości około 10 cm nad powierzchnią gruntu.

2.3. Instalacja badawcza dla ogrzewania szklarni ciepłym powietrzem

Ogrzewanie ciepłym powietrzem potraktowane zostało jako szczytowe dogrzanie za pomocą czterech aparatów ogrzewczo-wentylacyjnych typu AW/III - Nr 3 prod. wytwórni "Termowent" Warszawa. Aparaty te, przystosowane do ogrzewania hal fabrycznych, nie odpowiadały dobrze potrzebom ogrzewania szklarni, niemniej pozwalały na przeprowadzenie zasadniczych obserwacji warunków cieplnych przy ogrzewaniu powietrznym. Aparaty te ustawiono na postumentach w taki sposób, aby wyloty ciepłego powietrza znajdowały się na wysokości około 1,5 m, a wloty około 0,5 m przy ziemi, rys. 3 i 4.

3. Metodyka badań i pomiarów

3.1. Organizacja i zakres pomiarów

Prace pomiarowe oraz badania potrzebne dla bilansu energetycznego i ustalenia warunków cieplnych wnętrza przeprowadzone w ciągu zimy 1964/65 roku obejmowały pomiary:

- temperatury gruntu ogrzanego i niegrzanego;
- temperatury powierzchni przegród i rur ogrzewczych;
- temperatury i wilgotności powietrza w szklarni;
- wilgotności, porowatości i gęstości gruntu w szklarni;
- parametrów otoczenia: temperatury i wilgotności powietrza szybkości i kierunku wiatru oraz natężenia promieniowania słonecznego i ciśnienia barometrycznego;
- strumienia ciepła dostarczanego przez czynnik grzejny.

Rozmieszczenie punktów pomiaru temperatury powietrza, przegród i gruntu w szklarni zostało poprzedzone wstępnym określeniem charakteru pól temperaturowych dla znalezienia miejsc, których temperatury wystarczająco dokładnie reprezentują średnie wartości tych pól. Okazało się, że temperatury te zmierzone w środkowym przekroju badanej szklarni odpowiadały potrzebom badań.

W ramach badań temperatury powietrza przeprowadzono pomiary temperatur wzdłuż nawy szklarniowej oraz pionowego rozkładu temperatury w szklarni.

Badania temperatury gruntu były prowadzone w kilku pionach a to: 1 pion w gruncie nieogrzewanym oraz 6 pionów w gruncie ogrzewanym celem określenia rozkładu temperatur w różnych odległościach od rur grzejnych.

Termoelementy dla pomiarów temperatury przegród szklarni rozmieszczono w taki sposób, ażeby średnia z wyników reprezentowała średnią temperaturę oszklenia.

Rozmieszczenie punktów pomiarowych i zastosowane metody pomiarowe wymieniono w tablicy 2. Wszystkie pomiary dokonywane były równocześnie co 15 minut, pomiary temperatury i natężenia przepływu czynnika grzejnego co 5 minut. Technikę przeprowadzania pomiarów, użytą aparaturę i sposób zainstalowania ilustrują rys. 2 do 6.

3.2. Aparatura pomiarowa

Dla pomiaru temperatur gruntu, powierzchni przegród i powietrza użyto termoelementów miedź - konstantan Ø 0,3 mm ekranowanych koszulką miedzianą.

Natężenie bezpośredniego i rozproszonego promieniowania słonecznego mierzono za pomocą solarymetru typu Gorczyńskiego.

Ilości ciepła dostarczone do instalacji doświadczalnych przez czynnik grzejny ustalono przez równoczesny pomiar krezami normalnymi natężenia przepływu tego czynnika i pomiar jego temperatury na wlocie i wylocie z instalacji rys. 3 i 4. Pozostałe metody pomiarowe nie wymagają objaśnień.

4. Badania warunków cieplnych wnętrza

4.1. Temperatura gruntu, powietrza i oszklenia

W okresie pomiarów szklarnia była normalnie ogrodniczo eksploatowana i w zależności od utrzymywanej temperatury powietrza i rur nad ziemią występowały zmiany temperatury gruntu. Zarówno w ciągu dni pochmurnych jak i pogodnych zmiany temperatury gruntu przebiegały warstwowo i występowały tylko nieznaczne wahania poziomych pól temperatur na szerokości nawy. Temperatura powierzchni gruntu niegrzanego wynosiła przeciętnie 10 do 12°C w nocy i 12 do 16°C w ciągu słonecznego dnia (rys. 11). Na głębokości 15 cm wynosiła przeciętnie 11-13°C przez cały okres pomiarów.

Rys. 5. Stanowisko do pomiaru pionowego rozkładu temperatury powietrza w szklarni

Rys. 6. Pomiar temperatury gruntu, punkt pomiarowy przy obserwacjach eksploatacji

Przy ogrzewaniu gruntu wodą o temperaturze 45 do 60°C w instalacji wg rysunku 1 uzyskuje się na głębokości 15 do 20 cm temperatury gleby 20 do 22°C rys. 7, a tuż pod powierzchnią temperaturę 16 do 18°C. Temperatury takie uzyskano przy temperaturze zewnętrznej t_z = -17°C.

Średnia temperatura powierzchniowej warstwy gruntu grzanego była wyższa o około 5 grd w stosunku do gruntu niegrzanego.

Rozbieżność temperatury powierzchniowej warstwy gruntu, grzanego do głębokości około 15 cm, wynosiła 1 do 2 grd przy roztawie rur grzejnych 600 mm.

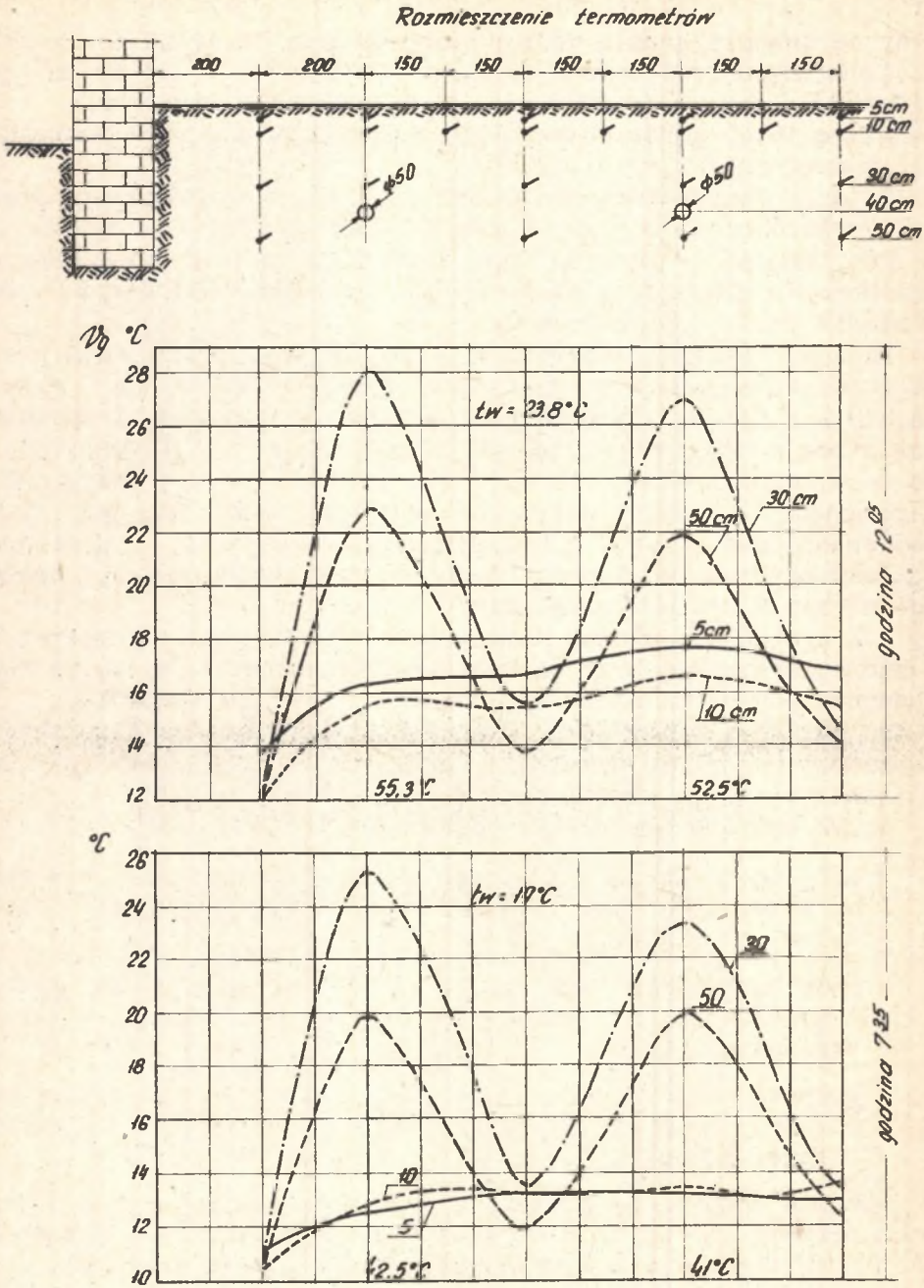
Pionowy rozkład temperatury powietrza w szklarni oraz przebieg tej temperatury w czasie pokazano przykładowo na rysunkach 8 i 9 dla nocy pochmurnej. W pionowym profilu temperatur powietrza w szklarni występują dość wyraźnie dwie strefy: dolna do wysokości około 0,5 m, w której zaznacza się wpływ chłodnego gruntu i lokalny wpływ rur grzejnych ułożonych nad gruntem oraz górna strefa, w której profil temperatur powietrza uzależniony jest od innych czynników jak zachmurzenie, nasłonecznienie i system ogrzewania.

Jak wynika z pomiarów najmniejsze zróżnicowanie temperatury w pionie występuje przy całkowitym zachmurzeniu. W czasie bezchmurnej pogody zaznacza się różnica w profilu temperatur w ciągu dnia i w ciągu nocy. W nocy występuje spadek temperatury powietrza w pobliżu oszklenia, natomiast w dzień w górnych partiach znacznie zmniejsza się jego wychłodzenie.

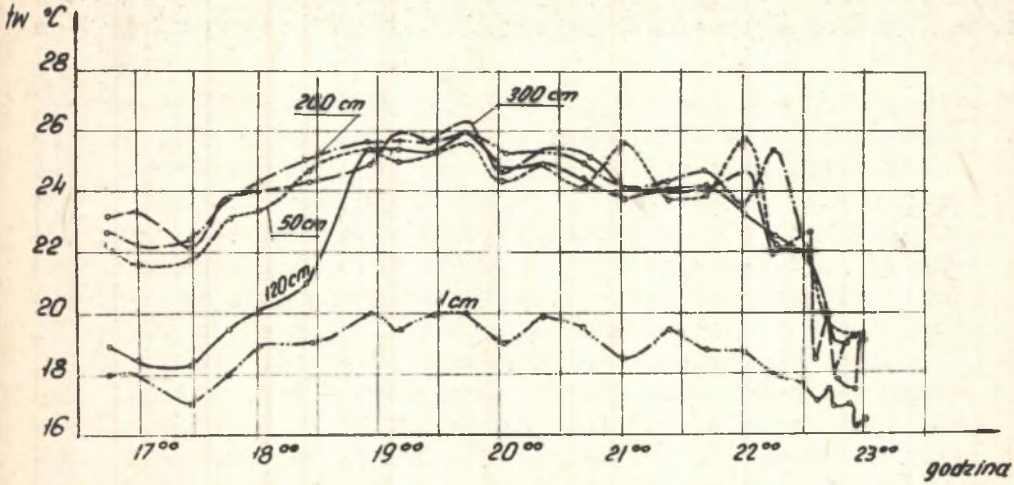
Wpływ systemu ogrzewania można ująć następująco:

- przy ogrzewaniu rurami przy ziemi górne partie szklarni są słabiej ogrzane na korzyść strefy do wysokości około 1,5 m nad gruntem;
- przy ogrzewaniu powietrznym temperatura powietrza rośnie z wysokością, na skutek czego górna strefa jest lepiej ogrzana niż dolna;
- przy ogrzewaniu rurowo-powietrznym profil temperatury jest zbliżony do pionowego, co wskazuje na równomierne ogrzanie całego wnętrza.

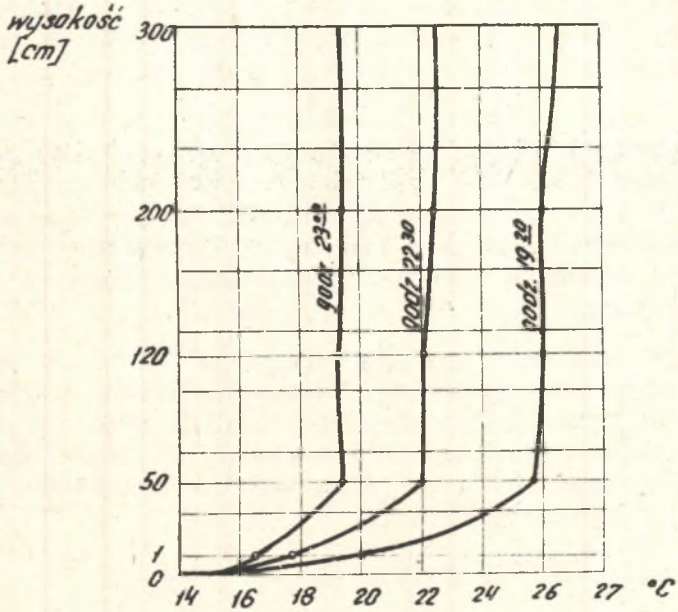
Rozkład temperatur powietrza przy podanych powyżej systemach ogrzewania znajduje niewątpliwie swój wyraz w warunkach cieplnych wnętrza i w wysokościach strat ciepła szklarni.



Rys. 7. Profil temperatury grzanego gruntu 7 ÷ 11 godzin po uruchomieniu ogrzewania w dniu 5.III.1965, B = 0,7



Rys. 8. Przebieg temperatury powietrza w szklarni na wysokości 1÷300 cm w dniu 6. II.1965. B = 1, ogrzewanie rurowo-powietrzne

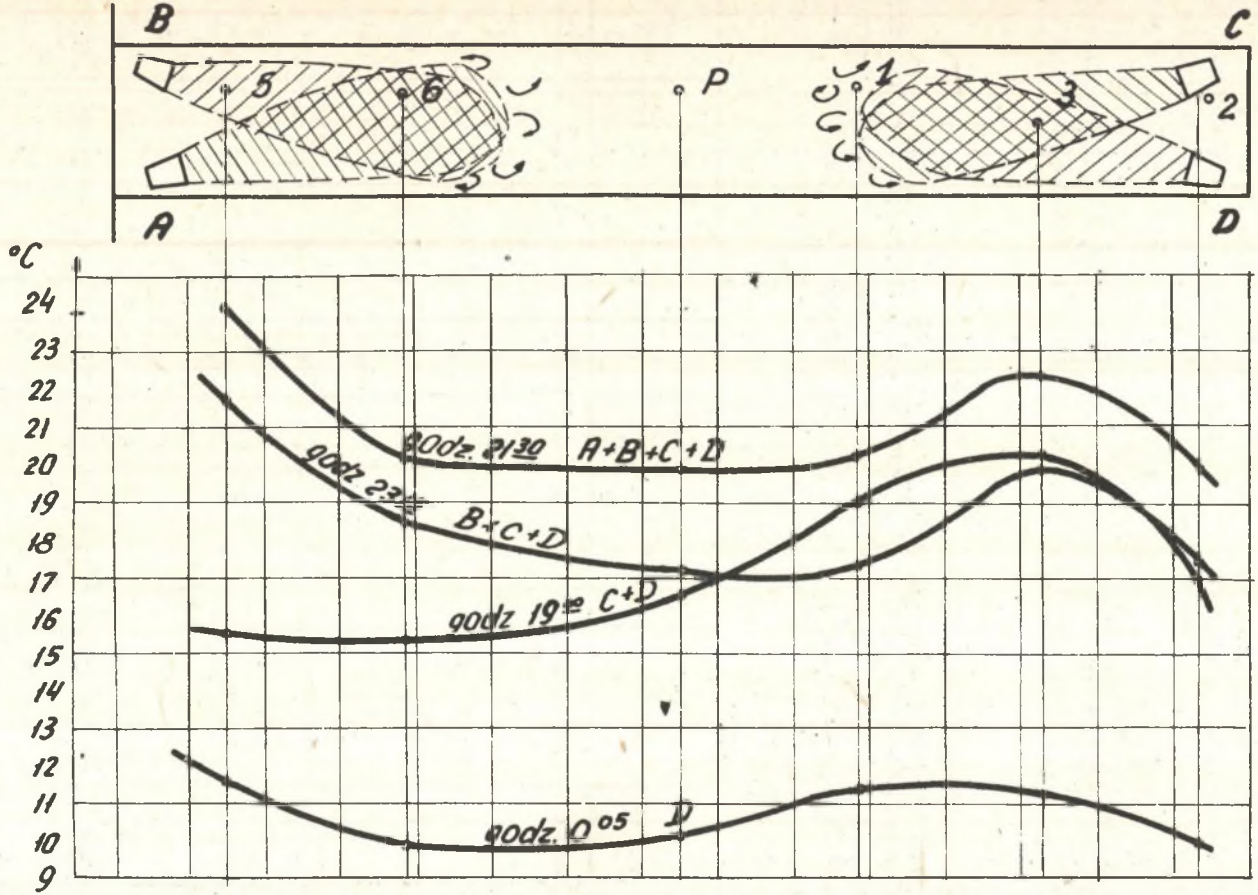


Rys. 9. Pionowy profil temperatury powietrza w szklarni w dniu 6.II.1965

Rozpatrując poziomy przebieg temperatury wzdłuż nawy szklarniowej, podany przykładowo na rys. 10, można stwierdzić co następuje:

- Podane na rysunkach przebiegi temperatur należy rozpatrywać jako obraz możliwości poziomej regulacji temperatury wzdłuż szklarni za pomocą rur ogrzewczych przy ziemi i nagrzewnic powietrznych. Wykresy natomiast nie mogą być traktowane jako charakterystyczne przebiegi temperatur dla wyżej wymienionych systemów ogrzewania, ponieważ instalacja badawcza każdego z tych systemów nie była swoją wydajnością przystosowana do samodzielnej pracy w szklarni. Ponadto zgromadzenie kolektorów, pompy i.td. w pobliżu łącznika powodowało znaczne przegrzanie tego rejonu. Natomiast zewnętrzna ściana szczytowa nie była ochroniona żadną instalacją i stąd znaczny spadek temperatury powietrza w jej pobliżu.
- Przy ogrzewaniu powietrznym (rys. 10) zaznacza się wyraźnie zasięg działania strumieni ciepłego powietrza wypływających z nagrzewnic. Przez włączenie poszczególnych aparatów można wyrównywać rozkład temperatur powietrza w szklarni. Należy jednak wziąć pod uwagę, że zasięg ich działania nie przekracza około 15 m. Przy rozmieszczeniu tych aparatów pod ścianami szczytowymi środkowa część nawy w zakresie około 1/3 długości była słabiej ogrzana.
- Przy ogrzewaniu rurowo-powietrznym, przyjmując odpowiedni stosunek wydajności obu części instalacji, można dogodnie regulować zarówno przeciętną wysokość temperatury wnętrza jak i jej równomierność wzdłuż nawy szklarniowej. Proces ogrzewania mógłby być lepiej prowadzony przy odpowiednim dobraniu ilości i konstrukcji aparatów ogrzewczo-wentylacyjnych.

Temperatura oszklenia spadała poniżej $0^{o}C$ dopiero przy temperaturach zewnętrznych poniżej $-10^{o}C$. Zewnętrzna powierzchnia szyb była sucha przez cały okres badań (przy pogodzie bez opadów), za wyjątkiem miejsc w pobliżu nieszczelności oszklenia. Od strony wewnętrznej była ona wilgotna lub oblodzona. Wysychała tylko przy nasłonecznieniu.



Rys. 10. Rozkład temperatury powietrza wzdłuż szklarni przy ogrzewaniu powietrznym w ciągu nocy - 4.II.1965

4.2. Wilgotność powietrza w szklarni

Przebieg zawartości wilgoci w powietrzu szklarni wykazuje wyraźny dobowy cykl, związany ze zmianą temperatury powietrza i gruntu wewnątrz. Głównym źródłem wilgoci jest grunt systematycznie zraszany wodą. W ciągu całej doby istnieją sprzyjające warunki przenikania wilgoci z jego powierzchni do powietrza. Odparowanie gruntu jest szczególnie duże w ciągu słonecznego dnia, kiedy jego temperatura powierzchniowa gwałtownie wzrasta.

5. Badania bilansu energetycznego szklarni

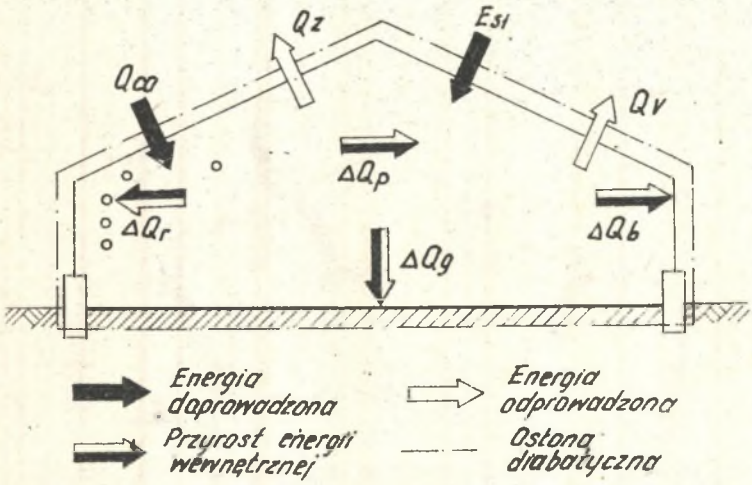
Bilanse energetyczne szklarni sporządzono dla badanych trzech systemów ogrzewań ze szczególnym uwzględnieniem charakterystycznych zewnętrznych warunków klimatycznych. Do analizy wykonanych badań wybrano następujące bilanse zestawione wg systemów ogrzewania:

Ogrzewanie	Nr. bil.	Data	Godz.	Ilość nagrzewn.	t_z	t_w	Wiatr w	Wiatr kier.	Zachm. B
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OR	1a	3/4.II.65	$22^{15}-3^{00}$	-	-6,2	12,9	1,35	SW	0,9
OR	8a	12.II.65	$13^{30}-16^{30}$	-	2,0	18,6	3,4	SW	0,7
OR	8b	12.II.65	$16^{30}-21^{00}$	-	0,7	15,0	3,1	SW-W	1,0
OR	5	7.II.65	$7^{20}-11^{45}$	-	-13,4	17,6	1,2	NE	0,0
OR	7	11.II.65	$17^{15}-22^{30}$	-	-3,1	15,0	1,2	SW-W	0,7
ORP	1b	4.II.65	$3^{00}-5^{00}$	2	-4,9	18,9	2,0	SW	1,0
ORP	4	6.II.65	$16^{35}-22^{30}$	2	-13,3	24,6	4,3	SW	1,0
ORP	6	10.II.65	$19^{00}-23^{45}$	4	-4,0	20,0	4,9	SW	1,0
ORP	9	3.III.65	$19^{45}-0^{25}$	1	-2,4	17,4	4,5	SW	0,8
ORP	10	4.III.65	$18^{40}-0^{10}$	1	-3,4	16,7	1,5	SW	0,7
OP	2	4.III.65	$18^{30}-23^{20}$	2-4	-3,2	17,8	2,9	SW-W	1,0
OP	3	5.II.65	$17^{00}-22^{25}$	4	-17,6	17,6	0,6	N	0,0
OP	11	5.III.65	$7^{25}-12^{30}$	4-2	-1,2	22,3	2,4	SW	0,7

Oznaczenia systemów ogrzewania:

OR - ogrzewanie rurowe
OR - ogrzewanie powietrzne
ORP- ogrzewanie rurowo-powietrzne

Schematy ilustrujące zestaw bilansów oraz oznaczenia strumieni podano na rys. 11 do 14. Wyniki pomiarów podano w tablicy 3 oraz na rys. 15 i 16, a bilanse w tabelach 4 do 8.

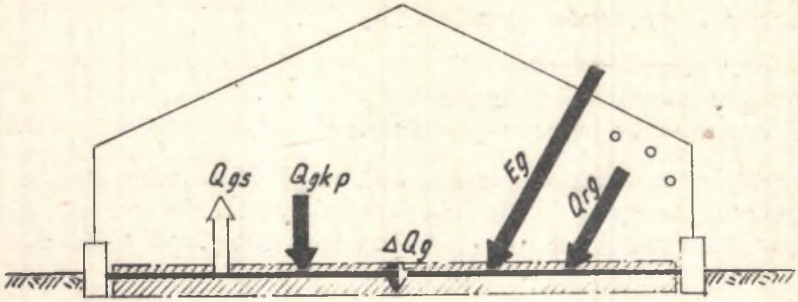


Rys. 11. Schemat ogólnego bilansu cieplnego szklarni

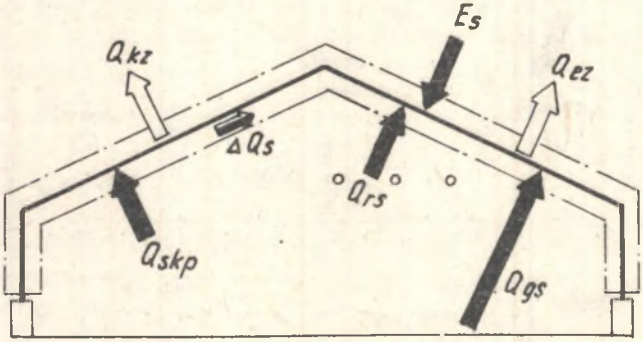
5.1. Ogólny bilans cieplny szklarni

Ogólny bilans cieplny szklarni (rys. 11 i tablica 4) charakteryzuje energię dostarczaną do obiektu, energię odprowadzaną do otoczenia, czyli straty ciepła budynku i akumulację ciepła w poszczególnych jego częściach.

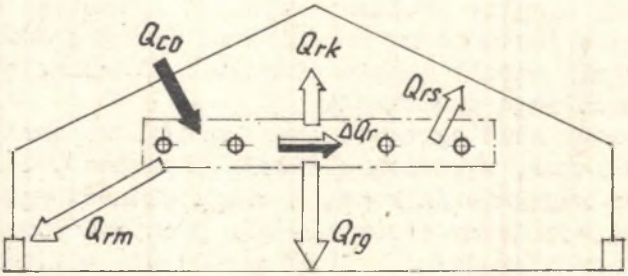
W ciągu nocy zład ogrzewczy jest niemal wyłącznym dostawcą ciepła w szklarni, strumienie ciepła oddawane przez ostygające przegrody są zupełnie znikome. W ciągu słonecznego dnia jest on częściowo odciążany przez energię promieniowania słonecznego. W miesiącach grudzień - luty ogrzewanie szklarni jest jednak konieczne również w godzinach południowych. Natomiast w słoneczny dzień marcowy może wystąpić przegrzewanie szklarni i trzeba zapobiegać temu przez jej przewietrzanie.



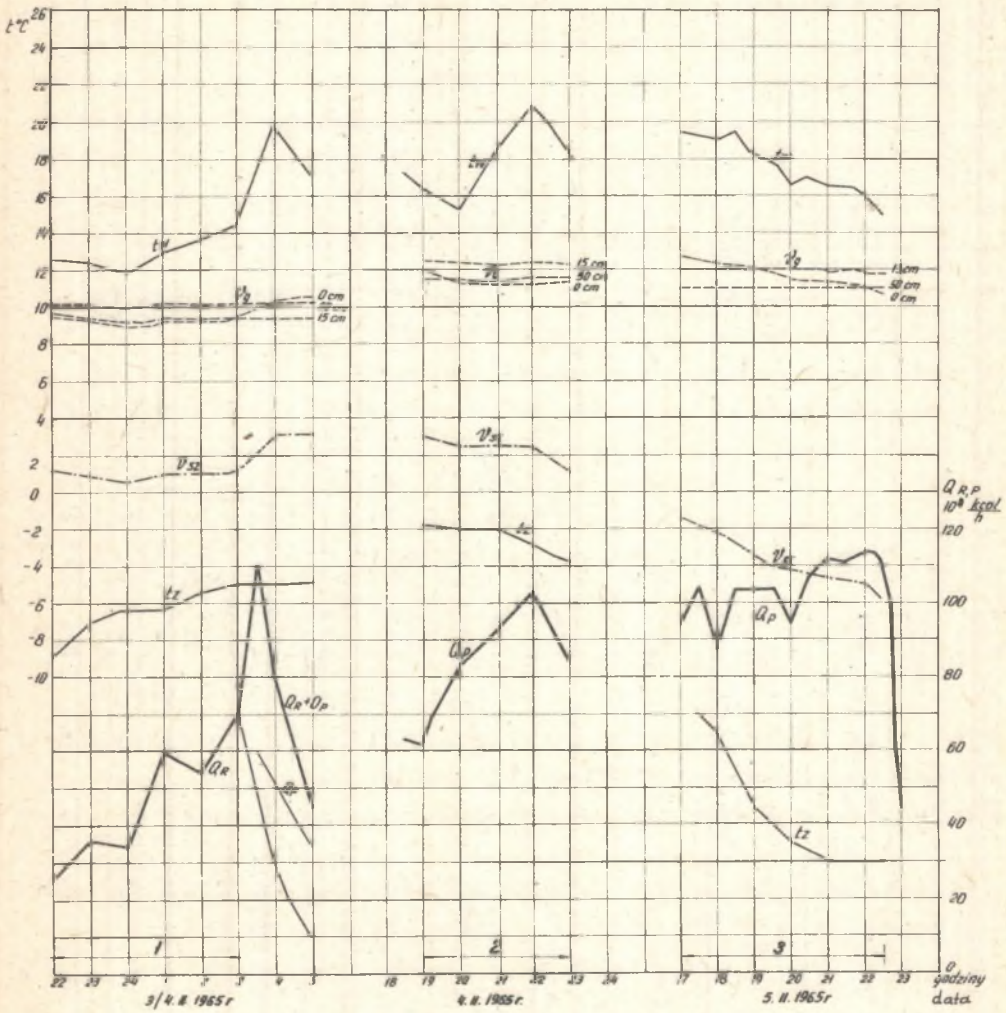
Rys. 12. Schemat bilansu cieplnego gruntu w szklarni



Rys. 13. Schemat bilansu cieplnego oszklenia

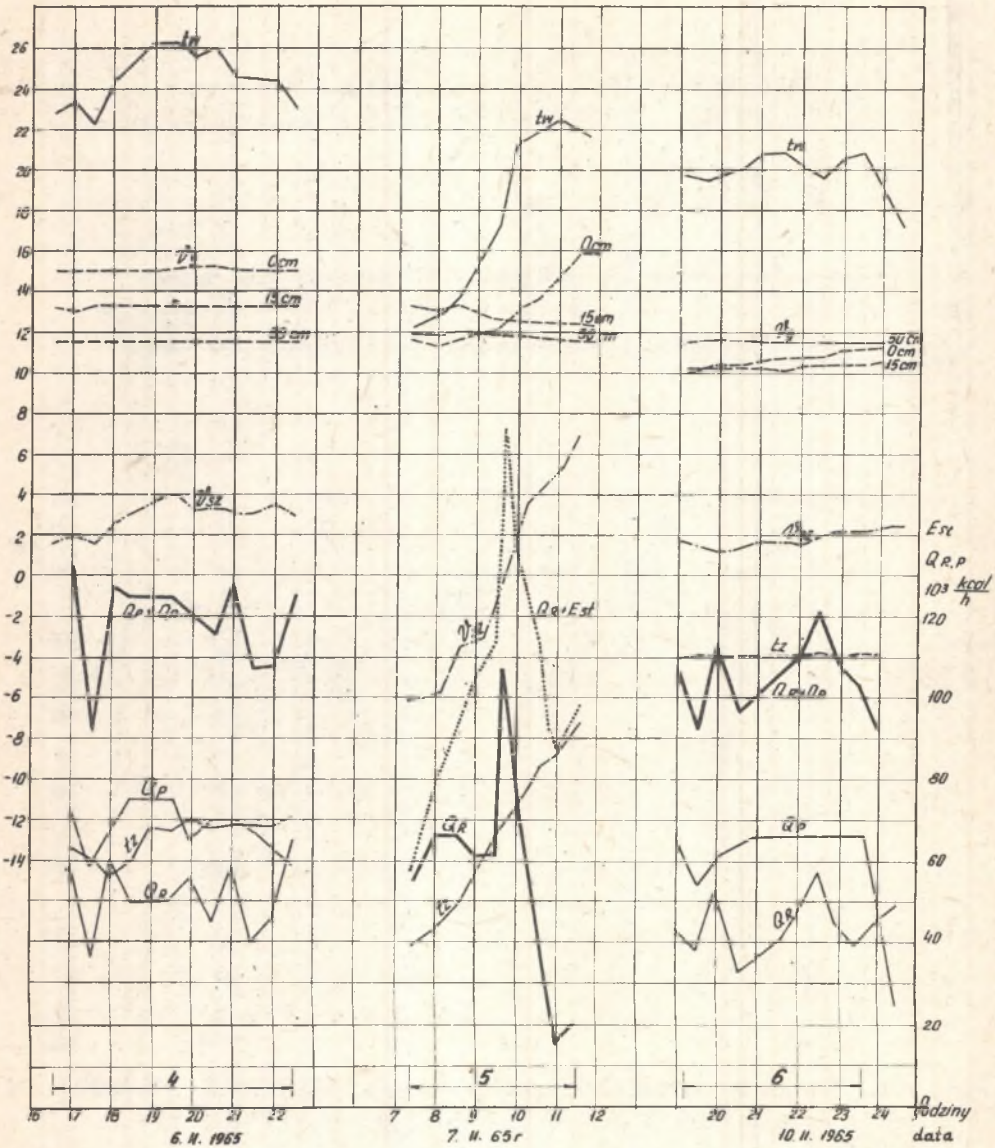


Rys. 14. Schemat bilansu cieplnego zładu ogrzewczego



Rys. 15. Przebieg temperatur oraz zmiany strumieni ciepła w badanej szklarni w dniach 3/4 - 5.II.1965 r.

t_w - temperatura powietrza w szklarni, t_z - temperatura powietrza zewnętrznego, ϑ_g - temperatura gruntu w szklarni, ϑ_{sz} - temperatura zewnętrznej pow. szyb., Q_R - strumień ciepła dostarczonego przez rury nad gruntem, Q_P - strumień ciepła dostarczonego przez nagrzewnice



Rys. 16. Przebieg temperatury oraz zmiany strumieni ciepła w badanej szklarni w dniach 6-7 i 10.II.1965

t_w - temperatura powietrza w szklarni, t_z - temperatura powietrza zewnętrznego, ϑ_g - temperatura gruntu w szklarni ϑ_{sz} - temperatura zewnętrznej pow. szyb., Q_R - strumień ciepła dostarczonego przez rury nad gruntem, Q_P - strumień ciepła dostarczonego przez nagrzewnice

Tablica 3

Dane do bilansów cieplnych szklarni

Nr bilansu Data Czas pomiarów			1a 3/4.II. $22^{15}-3^{00}$ R	1b 4.II.65 $3^{00}-5^{00}$ R+P	2 4.II.65 $18^{30}-23^{30}$ P	3 5.II.65 $17^{00}-22^{25}$ P	4 6.II.65 $16^{35}-22^{20}$ R+P	5 7.II.65 $7^{20}-11^{45}$ R+S	6 10.II.65 $19^{00}-23^{45}$ R+P	7 11.II.65 $17^{15}-22^{30}$ R	8a 12.II.65 $12^{30}-16^{30}$ R+S	8b 12.II.65 $16^{30}-21^{00}$ R	9 3.III.65 $19^{45}-0^{25}$ R+P	10 4.III.65 $18^{40}-0^{10}$ R+P	11 5.III.65 $7^{25}-12^{30}$ P+S
Temperatury															
powietrze w szklarni	t_w	°C	12,9	18,9	17,8	17,6	24,6	17,6	20,0	15,0	18,6	16,0	15,0	16,7	22,3
powietrze zewnętrzne	t_z	°C	-6,2	-4,9	-3,2	-17,2	-13,0	-13,4	-4,0	-3,1	2,0	0,7	-2,4	-3,4	-1,2
grunt w szklarni - powierzch.	ϑ_g	°C	9,5	10,2	11,5	11,7	16,4	15,5	10,7	12,6	17,2	12,9	12,4	14,0	17,6
szyby - zewnętrzna powierzch.	ϑ_{sz}	°C	1,3	3,2	2,6	-3,5	3,0	0,0	1,7	2,8	8,8	4,9	1,0	3,0	9,8
- różnica obliczeniowa	$\vartheta_{sw}-\vartheta_{sz}$	grd	0,2	0,5	0,4	0,4	0,7	0,1	0,3	0,4	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2
cokół - zewnętrzna powierzch.	ϑ_{mz}	°C	-2,1	-1,3	-4,5	-8,0	-6,3	-8,1	-2,3	-2,1	-2,2	-0,38	-2,2	-3,0	0,0
- wewnętrzna powierzch.	ϑ_{mw}	°C	7,7	8,1	3,2	7,7	9,6	7,4	6,6	7,2	8,6	7,7	8,6	8,8	9,6
- różnica	$\vartheta_{mw}-\vartheta_{mz}$	grd	9,8	9,4	13,7	15,7	15,9	15,5	8,9	9,3	10,8	8,1	10,8	11,8	9,6
woda grzejna	ϑ_r	°C	50,5	54,7	-	-	62,8	61,9	55,9	47,5	37,6	43,9	53,8	48,0	-
Przyrost temperatury															
szyby	$\Delta\vartheta_s$	grd	0,0	-1,9	-2,6	-4,7	-0,5	14,5	0,9	-2,0	-5,2	-0,7	-1,7	1,3	8,6
cokół	$\Delta\vartheta_m$	grd	-0,3	-1,4	-1,1	-3,4	-0,3	3,0	0,8	-2,0	-1,5	-0,7	-1,5	0,8	3,4
powietrze w szklarni	Δ_{tw}	grd	1,8	2,6	0,7	-4,4	0,0	9,4	1,0	-0,4	-7,8	0,4	0,0	4,0	4,8
rury ogrzewcze	$\Delta\vartheta_r$	grd	5,8	-12,0	-	-	3,5	6,5	0,2	-0,7	-5,2	8,5	9,1	17,9	0,0
Wilgotność powietrza															
w szklarni	φ_w	%	53,0	41,0	45,0	38,0	34,0	40,0	34,0	55,0	51,5	58,0	51,5	54,0	53,0
na zewnątrz	φ_z	%	95,0	95,0	96,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	72,5	57,0	72,5	77,0	73,0
Dane meteorologiczne															
prędkość wiatru		w m/sec	1,35	1,7	2,9	0,6	0,5	1,4	4,9	0,7	3,4	3,1	4,5	1,5	2,4
opad		- kg/m²					0,47								
zachmurzenie		B -	0,9	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,5	0,7	1,0	0,8	0,7	0,5

Tablica 4

Ogólny bilans cieplny szklarni

Nr bilansu		1a	1b	2	3	4	5	6	7	8a	8b	9	10	11
Data		3/4.II.65	4.II.65	4.II.65	5.II.65	6.II.65	7.II.65	10.II.65	11.II.65	12.II.65	12.II.65	3.III.65	4.III.65	5.III.65
Czas pomiaru	godz.	$22^{15}-3^{00}$	$3^{00}-5^{00}$	$18^{30}-23^{20}$	$17^{00}-22^{25}$	$16^{35}-22^{30}$	$7^{20}-11^{45}$	$19^{00}-23^{45}$	$17^{15}-22^{30}$	$12^{30}-16^{30}$	$16^{30}-21^{00}$	$19^{45}-0^{25}$	$18^{40}-0^{10}$	$7^{25}-12^{30}$
		R	R+P	P	P	R+P	R+S	R+P	R	R+S	R	R+P	R+P	P+S
Dane charakterystyczne														
temperatura powietrza w szklarni	t_w °C	12,9	18,9	17,8	17,6	24,6	17,6	20,0	15,0	18,6	15,0	15,0	16,7	22,3
temperatura zewnętrzna	t_z °C	-6,9	-4,9	-3,2	-17,2	-13,0	-13,4	-4,0	-3,1	2,0	0,7	-2,4	-3,4	-1,2
różnica temperatur	t_w-t_z grd	19,1	23,8	21,0	34,8	37,6	31,0	24,0	18,1	16,6	14,3	17,4	20,1	23,5
różnica temperatur	$\vartheta_{sz}-t_z$ grd	7,5	8,1	5,8	13,7	16,0	13,4	5,7	5,9	6,8	4,2	3,4	6,4	11,0
prędkość wiatru	w m/s	1,35	2,0	2,9	0,6	0,5	1,2	4,9	1,2	3,4	3,1	4,5	1,5	2,4
kierunek wiatru	- -	SW	SW	SW-W	W	SW	NE	SW	SW-W	SW	SW-W	SW	SW	SW
zachmurzenie	B -	0,9	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,7	01-1,0	1,0	0,8	0,7	0,1-09
opad	- kg/m²h	0,0	0,0	0,47	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Energia doprowadzona														
czynnik grzewczy: rury nad ziemią	Q_R kcal/h	45000	32000	-	-	52000	52500	45500	43000	17500	39000	42000	35500	-
nagrzewnice	Q_P kcal/h	-	47200	83000	105000	68800	-	62700	-	-	-	16900	27700	42500
promieniowanie: słońce - - grunt	E_g kcal/h	-	-	-	-	-	18200	-	-	16400	-	-	-	33000
promieniowanie: słońce - - szyby	E_s kcal/h	-	-	-	-	-	18500	-	-	15300	-	-	-	22500
razem:	kcal/h	45000	79200	83000	105000	120800	89200	108200	43000	49200	39000	58900	63200	98000
Przyrost energii wewnętrznej														
grunt w szklarni	ΔQ_g kcal/h	-	4950	-1600	-4600	400	7100	-700	-6400	8400	-5300	-4200	-3150	18100
oszklenie	ΔQ_s kcal/h	-	-1200	-700	-1200	-100	4600	300	-400	-1800	-200	-400	300	2400
murowany cokół	ΔQ_m kcal/h	-600	-6000	-2200	-6000	500	6900	1700	-3700	-1800	-1500	-2700	-1400	6700
powietrze w szklarni	ΔQ_v kcal/h	100	-800	-	-300	-	1200	200	-200	-1100	-	-	-500	700
rury grzewcze	ΔQ_r kcal/h	300	1500	-	-	-200	400	-	-	-400	400	500	900	-
razem:	kcal/h	-200	-1150	-4500	-12100	600	20200	6900	-10700	3300	-6600	-6800	-3850	27900
Energia odprowadzona														
oszklenie przez promieniowanie	Q_{sz} kcal/h	9000	3900	1400	43000	12600	47800	3900	17500	22200	4800	10200	14000	31500
oszklenie przez konwekcję	Q_{k-z} kcal/h	31400	76600	56500	64350	98550	13800	86200	31700	17600	35900	42250	47150	30200
śnieg	Q kcal/h	-	-	19300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
cokół murowany	Q_m kcal/h	800	700	1100	1200	1250	1200	700	700	600	800	850	900	800
wymiana powietrza	Q_v kcal/h	4000	5520	9150	8550	7800	6200	10500	3800	5500	4100	12400	5000	7600
razem:	kcal/h	45200	80750	87450	117100	120200	69000	101300	53700	45900	45600	65700	67050	70100
konwekcyjny współczynnik wnikania ciepła na zewn. powierzch. oszklenia	α_{kz} kcal/m²h grd	6,8	14,2	15,7	7,6	10,0	1,7	24,3	8,5	4,15	13,7	20,1	12,0	4,4
wskaźnik strat ciepła $\frac{\sum Q}{F(t_w-t_z)}$	q_o kcal/grd m²	3,9	5,5	6,75	5,45	5,2	4,3	6,8	4,8	5,7	5,15	6,04	5,35	4,8

Tablica 5

Bilans cieplny gruntu

Nr bilansu			1a	1b	2	3	4	5	6	7	8a	8b	9	10	11
Data			3/4.II.65	4.II.65	4.II.65	5.II.65	6.II.65	7.II.65	10.II.65	11.II.65	12.II.65	12.II.65	3. VI .65	4.III.65	5.III.65
Czas pomiaru	godz.		$22^{15}-3^{00}$	$3^{00}-5^{00}$	$18^{30}-23^{20}$	$17^{00}-22^{25}$	$16^{35}-22^{30}$	$7^{20}-11^{45}$	$19^{30}-23^{45}$	$17^{15}-22^{30}$	$12^{30}-16^{30}$	$16^{30}-21^{00}$	$19^{45}-0^{25}$	$18^{40}-0^{10}$	$7^{25}-12^{30}$
			R	R+P	P	P	R+P	R+S	R+P	R	R+S	R	R+P	R+P	P+S
Dane charakterystyczne															
temperatura: powietrza wewn.	t_w	°C	12,9	18,9	17,8	17,6	24,6	17,6	20,0	15,0	18,6	15,0	15,0	16,7	21,3
powietrza zewn.	t_z	°C	-6,2	-4,9	-3,2	-17,2	-13,0	-13,4	-4,0	-3,1	2,0	0,7	-2,4	-3,4	-1,2
powierzchni gruntu	ϑ_g	°C	9,5	10,2	11,5	11,7	16,4	15,5	10,7	12,6	2,0	12,9	12,4	14,0	17,6
Energia doprowadzona															
Promieniowanie: słońce - grunt	Q_g	kcal/h	-	-	-	-	-	18200	-	-	16400	-	-	-	33000
rury - grunt	Q_{r-g}	kcal/h	9000	10300	-	-	11400	11100	10050	7700	4300	6750	9450	7500	-
konwekcja powietrze - grunt	Q_{gk}	kcal/h	3500	8950	26700	25400	8600	1000	14900	4100	1200	1100	8350	8800	5900
razem:	ΣQ	kcal/h	12500	19250	26700	25400	20000	30300	24950	11800	21900	7850	17800	16300	38900
Przyrost energii wewnętrznej gruntu															
gruntu	ΔQ_g	kcal/h	-	4950	-1600	-4600	400	7100	4700	-6400	8400	-5300	-4200	-3150	18100
Energia odprowadzona															
promieniowanie grunt - szyby	Q_{gs}	kcal/h	10300	7850	11200	18700	16100	19300	11400	12800	11500	9350	14300	9250	10500
parowanie gruntu	Q_{gp}	kcal/h	2200	6450	17100	11300	3500	3900	8850	5400	2000	3800	7650	10200	10300
razem:		kcal/h	12500	19250	28300	30000	20000	23200	24950	18200	21900	7850	17750	16300	38900
Konwekcyjny współczynnik wnikania ciepła na powierzchnię gruntu	α_{gk}	kcal/m²h	2,6	2,6	12,6	10,8	2,6	1,2	4,0	6,0	2,15	1,3	8,0	8,2	3,1

Tablica 6

Bilans cieplny oszklenia

Nr bilansu		1a	1b	2	3	4	5	6	7	8a	8b	9	10	11
Data		3/4.II.65	4.II.65	4.II.65	5.II.65	6.II.65	7.II.65	10.II.65	11.II.65	12.II.65	12.II.65	3.III.65	4.III.65	5.III.65
Czas pomiaru		$22^{15}-3^{00}$	$3^{00}-5^{00}$	$10^{00}-23^{20}$	$17^{00}-22^{25}$	$16^{35}-22^{30}$	$7^{20}-11^{45}$	$19^{00}-23^{45}$	$17^{15}-22^{30}$	$12^{30}-16^{30}$	$12^{30}-21^{00}$	$19^{45}-0^{25}$	$18^{40}-0^{10}$	$7^{25}-12^{30}$
		R	R+P	P	P	R+P	R+S	R+P	R	R+S	R	R+P	R+P	P+S
Dane charakterystyczne														
temperatura powietrza: wewnętrzna	t_w °C	12,9	18,9	17,8	17,6	24,6	17,6	20,0	15,0	18,6	15,0	15,0	16,7	22,3
zewnętrzna	t_z °C	-6,2	-4,9	-3,2	-17,2	-13,0	-13,4	-4,0	-3,1	2,0	0,7	-2,4	-3,4	-1,2
temperatura powierzch. szyb wewn.	ϑ_{sw} °C	1,5	3,7	3,0	-3,1	3,7	0,2	2,0	3,2	9,0	5,2	1,3	3,3	10,0
różnica stopnia zawilżenia	Δ_s kg/kg	$0,7.10^{-3}$	$0,6.10^{-3}$	$2,0.10^{-3}$	$1,9.10^{-3}$	$1,6.10^{-3}$	$1,0.10^{-3}$	$0,8.10^{-3}$	$1,0.10^{-3}$	$0,2.10^{-3}$	$0,6.10^{-3}$	$1,1.10^{-3}$	$1,5.10^{-3}$	$1,5.10^{-3}$
Energia doprowadzona														
promieniowanie: słońce - szyby	E_s kcal/h	-	-	-	-	-	18500	-	-	15300	-	-	-	22500
mury - szyby	Q_{m-s} kcal/h	10800	11700	-	-	14100	14300	12000	19800	6100	8550	11800	9800	-
grunt szyby	Q_{g-s} kcal/h	10300	7850	11200	18700	16100	19300	11400	12800	11500	9350	14300	9300	10500
konwekcja powietrze - szyby	Q_{sk} kcal/h	20400	53100	49300	75600	68000	12000	63000	19800	4900	19600	21200	33000	24000
kondensacja powietrze - szyby	Q_{sp} kcal/h	-1100	650	16050	11850	12850	2100	4000	6400	200	3000	4750	9350	7100
razem:	ΣQ kcal/h	40400	73300	76550	106150	111050	66200	90400	48800	38000	40500	52050	61450	64100
Przyrost energii wewnętrznej														
oszklenia	ΔQ_s kcal/h	-	1200	700	-1200	-100	4600	-300	-400	-1800	-200	-400	300	2400
Energia odprowadzona														
promieniowanie szyby - atmosfera	Q_{sz} kcal/h	9000	-3900	1400	4300	12600	47800	3900	17500	22200	4800	10200	14000	31500
konwekcja szyby - powietrze zewn.	Q_{kz} kcal/h	31400	70600	56550	64350	98550	13800	86200	31700	17600	35900	42250	47150	30200
śnieg	Q kcal/h	-	-	19300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
razem:	kcal/h	40400	74500	77250	107350	111150	61600	90100	49200	39800	40700	52450	61[illegible]50	61700
konwekcyjny współczynnik wnikania ciepła na wewn. powierzch. oszklenia	α_{sk} kcal/hm²grd	2,4	5,2	5,4	5,9	5,2	1,12	5,6	3,0	0,82	3,2	2,5	4,0	3,2

Tablica 7

Bilans cieplny zładu ogrzewczego

Nr bilansu		1a	1b	2	3	4	5	6	7	8a	8b	9	10	11
Data		3/4.II.65	4.II.65	4.II.65	5.II.65	6.II.65	7.II.65	10.II.65	11.II.65	12.II.65	12.II.65	3.III.65	4.III.65	5.III.65
Czas pomiaru	godz.	$22^{15}-3^{00}$	$3^{00}-5^{00}$	$18^{30}-23^{20}$	$17^{00}-22^{25}$	$16^{35}-22^{30}$	$7^{00}-11^{45}$	$19^{00}-23^{45}$	$17^{15}-22^{30}$	$12^{30}-16^{30}$	$13^{30}-21^{00}$	$19^{45}-0^{25}$	$18^{40}-0^{10}$	$7^{25}-12^{30}$
		R	R+P	P	P	R+P	R+S	R+P	R	R+S	R	R+P	R+P	P+S
Dane charakterystyczne														
temperatura powietrza:														
wewnętrz.	t_w °C	12,9	18,9	17,8	17,6	24,6	17,6	20,0	19,0	18,6	15,0	15,0	16,7	22,3
zewnętrz.	t_z °C	-6,2	-4,9	-3,2	-17,2	-13,0	-13,4	-4,0	-3,1	2,0	0,7	-2,4	-3,4	-1,2
rur grzewczych	t_r °C	50,5	54,7	-	-	62,8	61,9	55,9	47,5	37,6	44,0	53,8	48,0	-
Energia doprowadzona														
czynnik grzejny:														
rury nad ziemnią	Q_R kcal/h	45000	32000	-	-	52000	52050	45500	43000	17500	39000	42000	35500	-
nagrzewnice	Q_P kcal/h	-	47200	83000	105000	68800	-	62700	-	-	-	16900	27700	42500
Przyrost energii wewnętrznej														
rury ogrzewcze	ΔQ_r kcal/h	300	1500	-	-	200	400	-	-	-400	400	500	900	-
Energia odprowadzona														
promieniowanie:														
rury - grunt	Q_{r-g} kcal/h	9000	10300	-	-	11400	11100	10050	7700	4300	6750	9450	7500	-
rury - szyby	Q_{r-s} kcal/h	10800	11700	-	-	14100	14300	12000	9800	6100	8500	11800	9800	-
rury - cokół	Q_{r-m} kcal/h	700	800	-	-	900	900	800	600	400	600	700	600	-
konwekcja rur do powietrza	Q_{r-k} kcal/h	24200	7700	-	-	25800	25800	22650	24900	7100	22700	19550	16700	-
razem:	ΣQ kcal/h	44700	30500	83000	105000	52200	52100	45500	43000	17900	38550	41500	34600	42500
konwekcyjny współczynnik wnikania ciepła do powierzchni rur	α_{rk} kcal/m²hgrd	6,3	2,1	-	-	6,6	5,7	6,2	7,5	3,7	7,7	4,8	5,2	-

Tablica 8

Bilans masowy wilgoci

Nr bilansu		1a	1b	2	3	4	5	6	7	8a	8b	9	10	11
Data		3/4.II.65	4.II.65	4.II.65	5.II.65	6.II.65	7.II.65	10.II.65	11.II.65	12.II.65	12.II.65	5.III.65	4.III.65	5.III.65
Czas pomiaru		$22^{15}-3^{00}$	$3^{00}-5^{00}$	$18^{30}-23^{20}$	$17^{00}-22^{25}$	$16^{35}-22^{30}$	$7^{20}-11^{45}$	$19^{00}-23^{45}$	$17^{25}-22^{30}$	$12^{30}-16^{30}$	$16^{30}-21^{00}$	$19^{45}-0^{25}$	$18^{40}-0^{10}$	$7^{25}-12^{30}$
		R	R+P	P	P	R+P	R+S	R+P	R	R+S	R	R+P	R+P	P+S
Dane charakterystyczne														
temperatura:														
powietrza wewnątrz	t_w °C	12,9	18,9	17,8	17,6	24,6	17,6	20,0	15,0	18,6	15,0	15,0	16,7	22,3
powietrza na zewn.	t_z °C	-6,2	-4,9	-3,2	-17,2	-13,0	-13,4	-4,0	-3,1	2,0	0,7	2,4	3,4	1,2
powierzchni gruntu	ϑ_g °C	9,5	10,2	11,5	11,7	16,4	15,5	10,7	12,6	17,2	12,9	12,4	14,0	17,6
wewn. powierzch. oszkl.	ϑ_{sw} °C	1,5	3,7	3,0	-3,1	3,7	0,2	2,0	3,2	9,0	5,2	1,3	3,3	10,0
różnica stopni zawilżenia:	X_w-X_z kg/kg	$2,7.10^{-3}$	$3,2.10^{-3}$	$4,6.10^{-3}$	$4,1.10^{-3}$	$5,3.10^{-3}$	$3,9.10^{-3}$	$2,7.10^{-3}$	$3,0.10^{-3}$	$4,5.10^{-3}$	$-0,1.10^{-3}$	$4,2.10^{-3}$	$4,3.10^{-3}$	$6,6.10^{-3}$
	X_w-X_s kg/kg	$0,7.10^{-3}$	$0,6.10^{-3}$	$2,0.10^{-3}$	$1,9.10^{-3}$	$1,6.10^{-3}$	$1,2.10^{-3}$	$0,8.10^{-3}$	$1,0.10^{-3}$	$0,2.10^{-3}$	$0,6.10^{-3}$	$1,1.10^{-3}$	$1,5.10^{-3}$	$1,5.10^{-3}$
Dane obliczeniowe														
współczynnik wnikania masy:														
powietrze - oszklenie	σ_w kg/m²h	9,6	20,8	21,6	23,6	20,8	4,5	22,4	12,0	3,3	12,8	10,0	16,0	12,8
wskaźnik wymiany powietrza	z -	0,47	0,52	0,64	0,6	0,48	0,47	1,1	0,46	0,62	0,61	1,1	0,51	0,60
Masa doprowadzona														
odparowanie z gruntu	m_{pg} kg/h	5,92	10,93	29,1	19,3	7,0	6,62	15,0	9,2	3,4	6,4	13,0	17,3	17,5
Przyrost masy														
para w powietrzu szklarni	Δm_p kg/h	0,03	0,97	-0,1	-0,3	0,0	0,85	0,2	-0,1	-0,7	-0,03	0,05	0,05	0,7
Masa odprowadzona														
kondensacja na oszkleniu	m_{ps} kg/h	4,16	7,66	26,9	16,1	3,7	3,34	10,7	7,45	0,45	4,8	6,8	14,3	11,7
wymiana powietrza	m_{pv} kg/h	1,73	2,3	2,3	3,5	3,3	2,43	4,1	1,9	3,7	1,6	6,25	2,96	5,1
razem:		5,89	9,96	29,2	19,6	7,0	5,77	14,8	9,35	4,15	6,4	13,05	17,26	16,8

Strumień ciepła Q_{kz} oddawany przez oszklenie do otoczenia drogą konwekcji jest dominującą pozycją w stratach ciepła. W warunkach przeprowadzonych pomiarów wynosi on 56 do 85% tych strat. Konwekcyjny współczynnik wnikania ciepła α_{kz} na zewnętrznej powierzchni oszklenia wykazuje dużą zależność od prędkości wiatru. Zależność tę przedstawiono na rys. 17, gdzie podano również doświadczalną krzywą $\alpha_{kz} = f(w)$ wyznaczoną dla szklarni przez Hillera [2].

Na rysunku tym zaznaczono obszar zmienności α_{kz}, wynikający z pomiarów. Wartości α_{kz} uzyskane z bilansów w dni słoneczne są wyjątkowo niskie.

Ciepło Q_{ez} oddawane przez szklarnie do otoczenia drogą promieniowania stanowi znaczną pozycję bilansu cieplnego przy bezchmurnej pogodzie. Wartości Q_{ez} wynoszą przeciętnie 10 do 30% ogólnych strat ciepła szklarni, a w pogodne dni słoneczne mogą wzrastać nawet do 70% (bilans 5-7.II.65).

Strumień ciepła Q_v tracony na rzecz otoczenia drogą wymiany powietrza stanowił tylko około 5-10% ogólnych strat ciepła. Należy jednak wziąć pod uwagę, że w czasie pomiarów występowały nieduże prędkości wiatru, w granicach 0,5 do 5 m/s i szczelność okien była dobra.

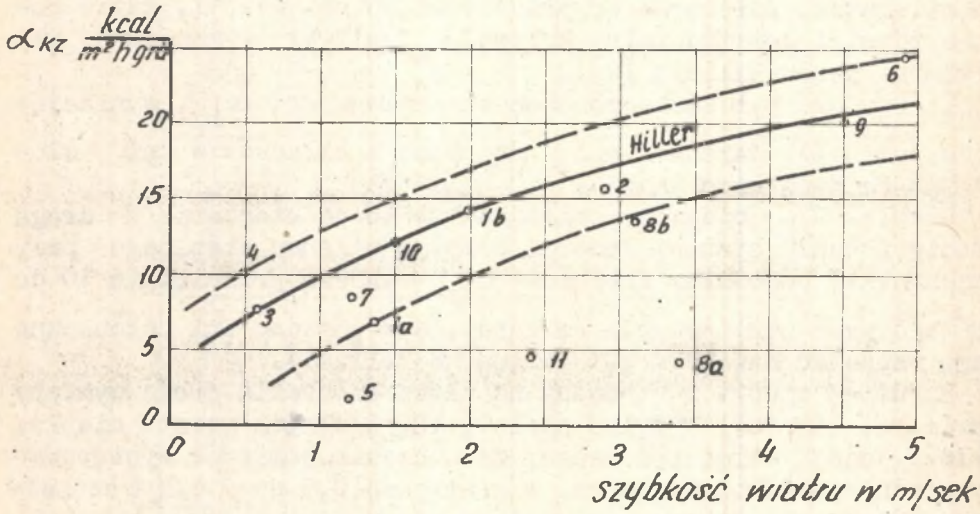
Budynek szklarni odznacza się bardzo małą pojemnością cieplną i energia akumulowana w przegrodach nie odgrywa praktycznie żadnej roli w bilansie cieplnym szklarni. Energia słoneczna absorbowana w ciągu dnia przez grunt wywołuje dość znaczny wzrost jego temperatury i posiada dodatnie znaczenie z punktu widzenia ekologii roślin. Natomiast jej udział w pokrywaniu nocnych strat ciepła jest niewielki i zostaje wyczerpany już w ciągu godzin wieczornych.

Ogólne straty ciepła szklarni do otoczenia ilustruje wskaźnik strat ciepła q_o (tablica 4). Na straty te składają się głównie trzy czynniki:

- różnica temperatur powietrza wewnętrznego i zewnętrznego;
- prędkość wiatru;
- stopień zachmurzenia atmosfery.

Wskaźnik strat ciepła eliminuje wpływ różnicy temperatur $t_w - t_z$ i ujawnia wpływ pozostałych dwóch czynników, ale łączny, dla pewnego przypadkowego ich występowania w warunkach bilansów.

Porównując wartości q_o można wyraźnie stwierdzić, że wzrost zachmurzenia zmniejsza ogólne straty ciepła, a wzrost prędkości wiatru straty te powiększa.



Rys. 17. Konwekcyjny współczynnik wnikania ciepła α_{kz} na zewnętrznej powierzchni oszklenia. Podano wartość α_{kz} wg bilansów

Porównując wartości q_o przy ogrzewaniu rurowym oraz ogrzewaniu powietrznym lub rurowo-powietrznym przy zbliżonej prędkości wiatru i stopniu zachmurzenia (bilanse 1a, 7 i 10 oraz bilanse 8b i 2 - tablica 4), można stwierdzić, że przy ogrzewaniu rurowym z rurami przy gruncie straty ciepła są niższe niż przy ogrzewaniu ciepłym powietrzem.

Jak wynika z tablicy 9 instalacja z rurami przy ziemi powoduje również obniżenie strat ciepła w stosunku do instalacji rurowej tradycyjnej z rurami pod dachem.

Ilościowa analiza strat ciepła przy różnych systemach ogrzewania w warunkach pomiarów w rzeczywistym obiekcie jest trudna do przeprowadzenia z uwagi na występowanie w pewnych przypadkowych zestawieniach czynników klimatycznych warunkujących te straty. Analiza ta będzie przeprowadzona w ciągu dalszych prac na modelu analogowym. W ten sposób zostaną ustalone rzeczywiste straty ciepła szklarni, jakie powinny być przyjmowane przy projektowaniu ogrzewania takich obiektów.

Tablica 9

Rozdział ciepła instalacji ogrzewczej rurowej

Strumień ciepła	Rury pod dachem		Rury przy ziemi	
	φ_{i-k}	q%	φ_{i-k}	q %
Promieniow. do szyb	0,66	39	0,48	27
Promieniow. do gruntu	0,29	12	0,49	22
Promieniow. do muru	0,05	2	0,03	2
Konwekcja	-	47	-	49
	1,00	100	1,00	100

5.2. Bilanse cieplne zładu ogrzewczego, gruntu i oszklenia

Bilanse te, podane w tablicach 5 do 8, ilustrują procesy cieplne wewnątrz szklarni. Duża rola w przekazywaniu ciepła w obrębie szklarni przypada na promieniowanie cieplne, które w bilansie zładu stanowi około 50% oddawanej energii. Rozdział ciepła z instalacji ogrzewczej rurowej tradycyjnej z rurami pod dachem oraz doświadczalnej z rurami przy ziemi - podaje tablica 9. Uwidacznia się z niej korzystniejszy rozdział energii cieplnej przy zbliżeniu rur do ziemi.

Ustalone w bilansach wartości konwekcyjnych współczynników wnikania ciepła dla powierzchni gruntu α_{gk} i oszklenia α_{sk} wiążą się z ruchem powietrza w pobliżu omawianych powierzchni. Przy działaniu ogrzewania powietrznego oba współczynniki wzrastają. Jako przeciętne wartości dla szklarni w ciągu nocy można przyjąć:

- ogrzewanie z rurami przy ziemi:

α_{sk} = 3,0 kcal/m^{2}h grd

α_{gk} = 2,0 kcal/m^{2}h grd

- ogrzewanie powietrzne i rurowo-powietrzne:

α_{sk} = 5,0 kcal/m^{2}h grd

α_{gk} = 6,0 do 7,0 kcal/m^{2}h grd

Wysokie wartości współczynników α_{sk} występujące przy ogrzewaniu powietrznym wywołują większy napływ konwekcyjny na oszklenie. Jednocześnie jednak oszklenie nie otrzymuje ciepła drogą promieniowania, jak to ma miejsce przy ogrzewaniu rurowym i dlatego straty ciepła przy tych systemach odbiegają od siebie tylko w granicach kilku do kilkunastu procent.

Duże wartości współczynników α_{gk} przy ogrzewaniu powietrznym sprawiają, że wbrew utartym poglądom grunt przy tym systemie ogrzewania nie będzie zbytnio ostygał. Należy jednak wziąć pod uwagę, że uzyskane w czasie pomiarów wartości α_{gk} odnoszą się do gruntu nieporośniętego roślinnością. Przy zarośniętym gruncie ruchy powietrza będą dużo słabsze i wartości α_{gk} mogą kształtować się niżej.

6. Wnioski

6.1. Warunki cieplne szklarni

1. Ogrzewanie rurowo-powietrzne stwarza możliwości bardzo równomiernego ogrzania całego wnętrza szklarni bez wyraźnych różnic w temperaturze powietrza wzdłuż i na wysokość szklarni.

2. Ogrzewanie rurowe z rurami przy ziemi stwarza dogodniejsze warunki cieplne dla roślin w stosunku do instalacji tradycyjnej z rurami pod dachem.

3. Przy ogrzewaniu powietrznym zaznacza się zasięg działania strumieni powietrza, wypływających z nagrzewnic. Dlatego potrzebne jest opracowanie specjalnie dla potrzeb szklarni przystosowanych aparatów ogrzewczych, które zapewnią równomierny rozdział powietrza o odpowiednim zasięgu jego strumieni.

4. Ogrzewanie powietrzne szklarni dla roślin wysokopiennych nie zapewni dostatecznego ogrzania gruntu. Korzystne jest połączenie tego systemu ogrzewania z ogrzewaniem rurami przy ziemi oraz z grzaniem gruntu.

6.2. Bilans cieplny szklarni

1. Na straty ciepła szklarni składają się 3 główne strumienie ciepła, a to:

drogą konwekcji	55-85%
drogą promieniowania	30-10%
drogą infiltracji	10- 5%

Wartości tych strumieni ciepła zależą od warunków klimatycznych i systemu ogrzewania.

2. Ogrzewanie rurowe z rurami przy ziemi powoduje mniejsze straty ciepła szklarni w stosunku do ogrzewania powietrznego oraz ogrzewania rurowego tradycyjnego. Ilościowe określenie różnic w stratach ciepła wymaga dodatkowej analizy poza pomiarami w rzeczywistym obiekcie.

3. Opracowane bilanse pozwalają określić przeciętnie dla szklarni wartości konwekcyjnych współczynników wnikania ciepła do oszklenia α_{sk} i do gruntu α_{gk} oraz zależność współczynnika wnikania ciepła na zewnętrznej powierzchni oszklenia od prędkości wiatru $\alpha_{kz} = f(w)$.

LITERATURA

[1] Mierzwiński S.: Warunki ogrzewania szklarni. Praca doktorska, Gliwice 1963, Biblioteka Politechniki Śląskiej.

[2] Hiller F.: Wärmehaushalt und Klimafaktoren des Gewächshauses - Praca doktorska - Heizung, Lüftung Haustechnik 1957.

ТЕПЛОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТЕПЛИЦЕ ОБОРУДОВАННОЙ В ОПЫТНУЮ УСТАНОВКУ

Р е з ю м е

Обсуждены результаты исследований, проведённые в продуктивной теплице, оборудованной дополнительно в опытную отопительную установку.

При четырёх способах отопления проведены подробные измерения тепловых параметров внутренности теплицы, а также исследования энергетического баланса этого объекта в разных атмосферных условиях в продолжении дня и ночи.

Обсуждён метод проведения исследований, а также выводы.

Силезский политехнический институт
Кафедра отопления и вентиляции

INVESTIGATION OF THERMAL CONDITIONS IN A GLASSHOUSE WITH RESEARCH HEATING INSTALLATION

S u m m a r y

Investigations were made on production glasshouse eguiped with four different heating installations.

Detailed measurements of thermal parameters were taken in order to form total energy balance in various weather conditions, day and nigth time.

The methode of investigation as well as inferences are discussed.

Silesian Technical University at Gliwice
Chair of Heating and Ventilation