

4.41 — optymalizacja
8. — energetyka

K. Wiśniewski, J. Holnicki-Szulc

ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE
I STEROWANIE PRACĄ
CIEPLARNI SŁONECZNEJ

40/1987
40/1987

P. 269



WARSZAWA 1987

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 13 listopada 1987 r.



56894



Na prawach rękopisu

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 160 egz. Ark.wyd.3,24 Ark.druk.4,75

Oddano do drukarni w listopadzie 1987 r.

Nr zamówienia 603/87

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,
ul. Śniadeckich 8

Krzysztof WIŚNIEWSKI
ZTK, IPPT PAN
Jan HOLNICKI-SZULC
ZTOC, IPPT PAN

ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE I STEROWANIE PRACĄ
CIEPLARNI SŁONECZNEJ*

Streszczenie

Praca zawiera przegląd zagadnień związanych z konstrukcją i sterowaniem pracą cieplarni słonecznej w aspekcie poprawienia jej bilansu energetycznego.

W pracy scharakteryzowano udział energii słonecznej w całkowitym bilansie energetycznym cieplarni w powiązaniu z warunkami klimatycznymi i typem konstrukcji cieplarni. Zestawiono rozwiązania konstrukcyjne cieplarni związane z pozyskiwaniem promieniowania słonecznego oraz zachowywaniem i magazynowaniem ciepła. Ponadto, omówiono problemy sterowania przepływem ciepła i masy w cieplarni i jej instalacji słonecznej.

Zamieszczono obszerną bibliografię przygotowaną między innymi z wykorzystaniem bazy danych Compendex.

*Praca wykonana częściowo w ramach CPBP 02.21 "Podstawy i mechanizmy racjonalnej gospodarki energetycznej budownictwa mieszkaniowego".

1. WSTĘP

Celem pracy jest przegląd zagadnień związanych z poprawą bilansu cieplnego obiektów cieplarnianych przeznaczonych do uprawy roślin. Uwzględniając fakt, że funkcja cieplarni polega przede wszystkim na ochronie roślin przed niekorzystnym działaniem klimatu, potraktowano ją jako urządzenie techniczne wykorzystujące energię promieniowania słonecznego. Nie chodzi oczywiście o wykorzystywanie wyłącznie tzw. efektu szklarniowego - jak to ma miejsce w tradycyjnych cieplarniach. Nowoczesne tzw. cieplarnie słoneczne są skomplikowanymi urządzeniami do maksymalnego pozyskiwania, zachowywania i magazynowania energii słonecznej - zbudowanymi przy użyciu materiałów o odpowiednio dobranych charakterystykach optycznych i cieplnych. Optymalne dla rozwoju roślin parametry klimatyczne wewnątrz cieplarni utrzymywane są przy pomocy mikrokomputera sterującego procesami wymiany ciepła i przepływu masy wewnątrz obiektu i między obiektem a otoczeniem. Wymaga to oczywiście wielu urządzeń do pomiaru tych parametrów, modelowania złożonych procesów przepływu energii oraz stosowania złożonych kryteriów sterowania całą instalacją, w skład której wchodzi instalacja słoneczna.

Tezą niniejszej pracy jest, że odpowiednio dobierając charakterystyki konstrukcyjne i materiałowe cieplarni oraz sterując procesami wymiany ciepła i masy w cieplarni można poprawić jej bilans energetyczny tym samym minimalizując zużycie energii konwencjonalnej.

2. BILANS ENERGETYCZNY CIEPLARNI SŁONECZNEJ.

2.1. UDZIAŁ ENERGII SŁONECZNEJ W BILANSIE.

W przypadku cieplarni słonecznej (maksymalnie wykorzystującej energię Słońca) udział energii słonecznej w całkowitym bilansie cieplnym zależy od rozwiązań konstrukcyjnych i położenia obiektu na kuli ziemskiej. Bowiem od położenia zależne są :

- 1) droga Słońca na nieboskłonie (wyznaczająca kąt padania promieni słonecznych) ,
- 2) strumień energii promieniowania docierającego na powierzchnię Ziemi ,
- 3) widmo promieniowania słonecznego.

Czynniki te mają decydujący wpływ na warunki klimatyczne panujące na danym obszarze.

Oszacowanie udziału energii słonecznej w bilansie energetycznym niezbędne jest do właściwego zaprojektowania instalacji grzewczej w cieplarni oraz oceny ekonomicznych aspektów poszczególnych rozwiązań technicznych. Najczęściej tego typu dane zamieszczane są w przypadku badań porównawczych.

Na przykład w pracy [16] porównywano zapotrzebowanie energetyczne cieplarni o pokryciu jedno- i dwuwarstwowym. Stwierdzono, że stosowanie podwójnego pokrycia zmniejsza współczynnik przenikania ciepła 1.8-2.1 razy.

W pracach [60] i [87] porównywano cieplarnię wyposażoną w obrotowy reflektor-izolator z konwencjonalną cieplarnią. Badane rozwiązanie zredukowało potrzeby energetyczne do 1/6 energii zużywanej przez obiekt konwencjonalny w warunkach klimatycznych stanu Michigan.

W pracy [104] zestawiono wyniki dla trzech typów cieplarni : a) z niesymetrycznym dachem opracowanej w Brace Institute b) konwencjonalnej, pokrytej podwójnym polietylenem oraz c) tradycyjnej szklarni.

Maksymalizowanie udziału energii słonecznej w bilansie cieplarni prowadzi, w sprzyjających warunkach klimatycznych, do cieplarni samowystarczalnej ciepłnie co oznacza, że nie są wykorzystywane żadne dodatkowe, konwencjonalne źródła ciepła. W chłodnym klimacie, o znikomej ilości promieniowania słonecznego, skonstruowanie cieplarni samowystarczalnej ciepłnie natrafia na bariery energetyczne, własności materiałów i kosztów. Tym niemniej w wielu przypadkach zbudowano obiekty eksperymentalne i przeszły one próbę trudnych warunków zimowych, np. [66, 70, 122, 123, 133].

Szklarnia zbudowana w stanie Oklahoma [66] posiadała rozbudowany system magazynowania ciepła - izolowaną podłogę do przechowywania ogrzanej wody oraz wypełnione skałami rowy pod podłogą. Dokonano porównań temperatur obliczeniowych i rzeczywistych mierzonych zimą w nocy.

W pracy [70] opisano szklarnię zbudowaną w stanie Arkansas, w której zimą uprawiano odmiany roślin niskotemperaturowych.

W pracy [123] opisano system, dzięki któremu nocą utrzymywano przeszło 15°F różnicę między temperaturą wewnętrzną a temperatura otoczenia. Jako czynnik magazynujący użyto wodę i przebadano dwie metody wymiany ciepła w cieplarni.

Zbiornik wodny zastosowano także w pracy [133]. Izolację termiczną stanowiły przesuwne płyty plankowe. Nadmierne ilości ciepła w dzień wykorzystywano do ogrzewania przyłączonego budynku mieszkalnego.

2.2. KLIMAT A BUDOWA CIEPLARNI.

Klimatolodzy powszechnie uważają ([A6], t.1), że o warunkach klimatycznych decyduje energia promieniowania słonecznego docierająca na powierzchnię Ziemi. Jednak równocześnie podkreślają wpływ także innych czynników, takich jak: temperatura powietrza, amplitudy temperatury powietrza, opady atmosferyczne oraz układ prądów morskich i powietrznych. Z tego względu wyróżnianie stref klimatycznych czy porównywanie klimatów jest sprawą dość złożoną i wieloaspektową, patrz np. [A7] porównanie klimatu Europy i USA.

Generalną ocenę związku lokalnych warunków klimatycznych z zastosowanymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi powinny umożliwić następujące prace:

Indie, północna część [62]

Kanada, Ontario [98, 119]

Quebec [137]

Turcja [110]

USA [111]

Alabama [72]

Arizona [48, 65, 89, 90, 92]

Arkansas [70]

Colorado [122]

Oregon [81]

Wyoming [71]

ZSRR, Turkmenia [97]

Uzbekistan -Buchara [2, 6, 12], Karszin [13, 23, 31, 56, 82, 125]

Natomiast poszukiwanie podobnych warunków klimatycznych do panujących w Polsce w celu skopiowania zastosowanych tam rozwiązań konstrukcyjnych wydaje się być - z punktu widzenia konstruktora ciepłarni - ryzykowne i niewarte podjęcia. Efektywniejsze jest bazowanie na pomiarach całorocznych lokalnej stacji meteorologicznej i uwzględnienie rozwiązań innych autorów tylko w ich ogólnym aspekcie konstrukcyjnym, z pominięciem oszacowań energetycznego bilansu tych konstrukcji. O ile tylko dane klimatyczne są dostępne, modelowanie przepływów ciepła i masy powinno umożliwić właściwe zaprojektowanie ciepłarni. Podejście to ma tę zaletę, że symulowanie wspomnianych przepływów jest też niezbędne do sterowania pracą ciepłarni, por. rozdział 4.

3. PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM ENERGII SŁONECZNEJ.

3.1. POZYSKIWANIE ENERGII SŁONECZNEJ.

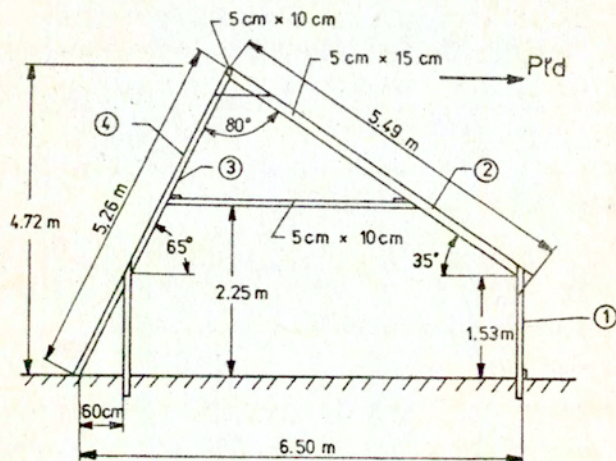
3.1.1. Ciepłarnia jako kolektor słoneczny.

Zastosowane przy projektowaniu ciepłarni rozwiązania architektoniczno-budowlane mają istotne znaczenie dla bilansu energetycznego ciepłarni. Obecnie istnieje tendencja do traktowania ciepłarni jako kolektora, który powinien w możliwie maksymalny sposób (tzn. bez tworzenia ograniczeń w uprawie roślin) pozyskiwać (zbierać) energię słoneczną. W nowoczesnych ciepłarniach w tym celu stosowane są następujące rozwiązania :

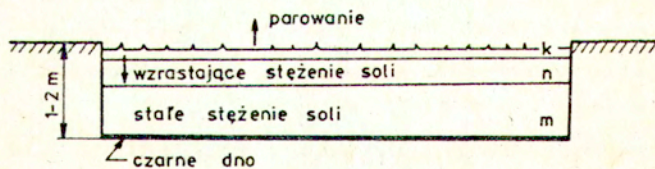
1) lokalizacja - miejsca bardzo dobrze nasłonecznione, południowe stoki wzniesień [54]. Możliwe jest wtedy zagłębienie ściany północnej ciepłarni w gruncie co poprawia jej izolacyjność i chroni przed stratami ciepła spowodowanymi przez opływ powietrza [7,49].

2) orientacja - kalenica ciepłarni powinna mieć kierunek równoleżnikowy, patrz [1,45,57,137]. W pracy [1] przeprowadzono obliczenia teoretyczne i eksperyment, które wykazały, że strumień promieniowania słonecznego docierającego do ciepłarni jest wtedy znacznie większy niż przy innej jej orientacji.

3) kształt - asymetryczny, z dużą przezroczystą ścianą południową odpowiednio nachyloną w celu umożliwienia maksymalnej ekspozycji słonecznej. Ściana północna, silnie izolowana cieplnie, pokryta



Rys.3.1. Ciepłarnia o asymetrycznym kształcie zaprojektowana w Brace Institute.



Rys.3.2. Schemat stawu słonecznego z solanką.
 k - powierzchniowa warstwa konwekcyjna
 n - warstwa niekonwekcyjna
 m - warstwa magazynująca.

po stronie wewnętrznej materiałem odbijającym promieniowanie co zwiększa stopień wykorzystania energii, [45,135,104]. Przykładem tego rodzaju rozwiązania jest ciepłarnia zaprojektowana w Brace Institut, patrz rys.3.1. W klimacie gorącym asymetryczny kształt dachu ma dodatkowo umożliwić lepsze przenikanie promieniowania zimą i odbijać promieniowanie latem [126], co poprawia funkcjonowanie obiektu o 20-30 procent. Oczywiście używane są nadal ciepłarnie starszego typu o półokrągłym dachu (qonset style) [73,99] lub dachu parabolicznym [100], lecz wykorzystuje się je raczej ze względów ekonomicznych bo nie są to konstrukcje optymalne w sensie energetycznym.

4) podział przestrzeni wewnętrznej - oddzielenie przestrzeni pod kalenicą ciepłarni za pomocą przegrody zacieniającej umożliwia wykorzystanie tak utworzonego stryszku jako niezwykle taniego kolektora [117]. Nagrzane w kolektorze powietrze transportowane jest do podziemnego magazynu ciepła.

5) własności pokrycia wymagania stawiane materiałom używanym na pokrycia omówiono w punkcie 3.2.1.

3.1.2. Kolektory słoneczne.

Problematyka zastosowań kolektorów słonecznych w ciepłarniach bujnie rozwijała się pod koniec lat siedemdziesiątych. Wtedy to :

- tworzone koncepcje zastosowań tradycyjnych kolektorów w ciepłarniach [135]. Wykorzystywano kolektory na wodę [74,101] lub powietrze [42,67,74,101,106]. Umieszczano je zwykle na dachu sąsiedniego budynku lub na ścianie północnej, wewnątrz ciepłarni. Kolektory umieszczane wewnątrz są tańsze bo nie wymagają ochronnego pokrycia zewnętrznego.

- budowano instalacje zawierające kolektory (i akumulatory ciepła) [74,101] i badano ich udział w bilansie energetycznym, koszty zainstalowania [67] oraz właściwe proporcje powierzchni cieplarni do powierzchni kolektora i objętości złoża magazynującego [74].
- konstruowano nowe typy kolektorów, o większej wydajności [105,A14].
- zaopatrywano kolektory w powierzchnie odbijające promieniowanie, umieszczane u góry i u dołu, i badano ich efektywność przy zimowym i letnim położeniu kolektora [42,106].
- stosowano ściany Zomeworks Drum jako samoaktywujące się kolektory [119].
- eksperymentowano z kolektorami selektywnie absorbującymi promieniowanie [A5,121], patrz rozdział 3.2.F, pokrycie selektywne.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że w klimacie gorącym ,w którym w dzień latem istnieją spore nadwyżki ciepła, kolektory służą jako urządzenia chłodzące. Nocą wypromieniowują ciepło, które w dzień trzeba było zmagazynować bo nie można go było wypromieniować do atmosfery.

3.1.3. Stawy słoneczne z solanką.

Stawy słoneczne z solanką służą do zbierania i magazynowania energii słonecznej. Składają się ze zbiornika z czarnym dnem wypełnionego roztworem soli kamiennej o dużym stężeniu ,rys 3.2. Duże stężenie soli eliminuje konwekcję w cieczy co zmniejsza straty ciepła do atmosfery. W stawie z solanką parowanie jest znikome a temperatura warstwy magazynującej osiąga 103 deg C. Efektywność stawu sięga 16-18% i uważa się, że stosowanie go ma

sens tylko do 40° szerokości geograficznej, [A12].

Prace [40,44,51,55,64,134] opisują kilkuletnie doświadczenia związane z eksploatacją stawu z solanką w Wooster, Ohio, USA służącego do ogrzewania ciepłarni i domu mieszkalnego. W [134] opisano cały system instalacji słonecznej związanej z tym stawem. W [64] porównano ciepłarnię ogrzewaną przy pomocy stawu z identyczną ciepłarnią ogrzewaną gazem. W pracach [51,55] scharakteryzowano system z dodatkowo wykorzystywaną pompą ciepłą. Stwierdzono, że zastosowanie pompy ciepłej znacznie poprawiło efektywność całego systemu zwiększając wahania temperatury cieczy w stawie. W pracy [44] zajęto się modelowaniem komputerowym działania stawu i całego systemu. Określono efektywność magazynowania energii w stawie i wyniki obliczeniowe porównano z danymi pomiarowymi. W [40] przestudowano metody odzyskiwania ciepła z solanki a także analizowano parametry niezbędne przy projektowaniu stawów. Zamieszczono też sugestie dotyczące możliwości poprawiania działania stawu.

3.2. ZACHOWANIE CIEPŁA.

W strefach klimatycznych charakteryzujących się małą intensywnością promieniowania słonecznego równie ważnym jak pozyskiwanie energii słonecznej jest jej zachowanie. Ochrona przed stratami ciepła sprowadza się do stosowania następujących rozwiązań konstrukcyjnych :

- 1) szczelna konstrukcja - uniemożliwiająca wpływ ciepłego powietrza na skutek konwekcji i działania wiatru.
- 2) właściwe pokrycie - przezroczyste i o odpowiednio dobranych charakterystykach cieplnych , patrz p.3.2.1.

3) osłony termiczne - umieszczane na zewnątrz lub we wnętrzu obiektu i służące do izolowania cieplarni w okresach słabej radiacji słonecznej, patrz p.3.2.2.

4) inne sposoby :

- izolacja ściany północnej, fundamentów oraz magazynów energii cieplnej [5,45,104,135],
- okrywanie roślin folią [4,8],
- zagłębianie i okrywanie cieplarni ziemią [7,49],
- podgrzewanie warstwy gleby i wody [107].

3.2.1. POKRYCIE

Zarysowują się dwie tendencje w konstruowaniu idealnego pokrycia dla cieplarni. Obie łączy wymóg by pokrycie było całkowicie przenikalne dla promieniowania widzialnego, ważnego ze względu na proces fotosyntezy (inne własności optyczne mają znikome znaczenie dla efektywności wykorzystywania energii słonecznej [59]). Natomiast tendencje te różnią się w traktowaniu promieniowania z obszaru podczerwonego, ciepłego. Rezultatem pierwszej tendencji jest pokrycie izolujące wykonane z materiału zupełnie nieprzenikalnego dla promieniowania ciepłego. Skutkiem drugiej tendencji jest pokrycie absorbujące promieniowanie ciepłe. Pokrycie to nazywa się selektywnym, wymaga ono dodatkowej instalacji do odbierania ciepła i magazynowania go.

a) Pokrycia izolujące.

- ze szkła
- z polietylenu [86,99,120,130]
- z włókna szklanego [41,86,99,118].

Często w jednym obiekcie używanych jest kilka rodzajów pokryć, np. w pracy [86] opisano cieplarnię o dachu wykonanym z polietylenu a ścianach z włókna szklanego. W pracy [73] na starą, wykonaną z włókna szklanego cieplarnię nałożono pokrycie składające się z trzech warstw materiału o nazwie Solar Membrane, rozdzielonych powietrzem. Konstrukcje tego rodzaju tworzone są raczej ze względów praktycznych a nie dlatego, że są lepsze od konstrukcji z pokryciem jednego rodzaju.

Szkło jest tradycyjnym materiałem pokryciowym, o znanych własnościach termicznych i optycznych. Porównując je do tworzyw sztucznych, jest bardziej kruche i nie daje się łatwo formować w płyty żebrowane lub z pustką powietrzną. Obecnie bada się własności szkła specjalnego z domieszkami uszlachetniającymi lub z warstwą powierzchniową - natomiast tradycyjne szkło przestało być obiektem badań naukowych.

Pokrycie polietylenowe najczęściej składa się z dwóch warstw rozdzielonych powietrzem o podwyższonym ciśnieniu. Używany jest polietylen odporny na działanie promieniowania ultrafioletowego. Pokrycie tego typu używane jest nie tylko w obiektach o sztywnej konstrukcji ale także stosowane było w cieplarni o kablowej konstrukcji dachu, patrz [86].

Pokrycia z włókna szklanego (pojedyncza warstwa) są uważane za gorsze od podwójnego pokrycia polietylenowego [41]. Istotną sprawą jest czy własności używanych materiałów zmieniają się z czasem. Między innymi tej kwestii poświęcona jest praca [99] - w której omówiono efektywność nowych i ośmioletnich pokryć z włókna szklanego. W pracy tej zawarta jest konkluzja, że niezbędne jest określenie granicznej wartości transmisyjności pokrycia w

powiązaniu z optymalnym wzrostem roślin i zużyciem energii konwencjonalnej.

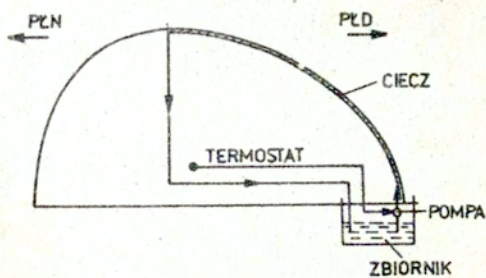
W wielu pracach analizowanych jest kilka rodzajów pokryć i ich wpływ na bilans energetyczny cieplarni np. [14,33,37]. W pracy [37] stwierdzono, że stosowanie podwójnych pokryć może zredukować potrzeby energetyczne cieplarni o 25-50% w zależności od użytego materiału.

b) Pokrycia selektywne.

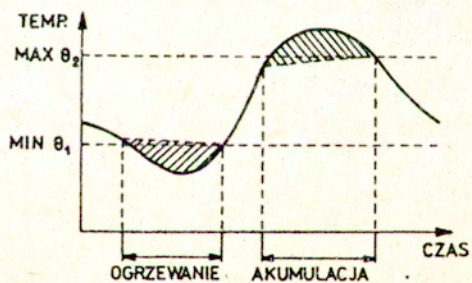
- szkło sodowo-wapienne z domieszką żelaza,
- pokrycie z cyrkulującym roztworem chlorku miedzi.

Szkło sodowo-wapienne ma własność absorpcji promieniowania o długości fali większej niż 750nm natomiast jest przepuszczalne dla promieniowania widzialnego [30]. Dodatkowo powierzchnię tego szkła pokrywa się cienką warstwą odbijającą z SnF co łącznie daje materiał chroniący przed nadmiernym nagraniem od słońca latem i stratami ciepła zimą. Zaletą tego materiału jest jego taniość.

Słabe roztwory wodne CuCl_2 silnie absorbują promieniowanie podczerwone (700-3000nm) natomiast są prawie przezroczyste dla promieniowania widzialnego (400-700nm). Pozwala to rozdzielić promieniowanie słoneczne na część widzialną (potrzebną do fotosyntezy) i część cieplną, którą w upalne dni można (bez zacielenia obiektu i bez ryzyka przegrzania roślin) zbierać i magazynować. Pierwsze konstrukcje z pokryciem selektywnym zaproponowano w pracy [A4]. Stosowano 2.5% roztwór CuCl_2 cyrkulujący w podwójnej plastikowej ścianie pokrywającej część



Rys.3.3. Schemat pokrycia selektywnego.



Rys.3.4. Zasady regulacji temperatury w ciepłarni.

południową cieplarni , rys.3.3. Później próbowano efekt selektywnej absorpcji wykorzystać w konstrukcji kolektorów przystosowanych do zamontowania na dachu cieplarni [A5,121].

Problem selektywanego pokrycia podjęto ponownie w pracach [36,75, 103]. Zastosowano gruby dach z warstw 5mm poliwęglanu oraz 4mm warstwę 3% roztworu $CuCl_2$. Opracowano model symulacyjny do przewidywania temperatury i ilości zmagazynowanej energii dla zadanych stanów pogody. Zbudowano eksperymentalną cieplarnię i zestawiono zmierzone w niej wartości z rezultatami obliczeniowymi. Autorzy podkreślają, że zanim omawiana koncepcja zostanie wykorzystana praktycznie muszą zostać usunięte problemy z instalacją i cyrkulacją cieczy. Należy bowiem zauważyć, że wyciek roztworu $CuCl_2$ grozi zniszczeniem roślin.

Absorpcyjnością pokryć z cyrkulującymi roztworami jonów zajmowano się także w pracy [33].

3.2.2.OSŁONY TERMICZNE.

Osłony termiczne służą do dodatkowej izolacji cieplarni w celu zmniejszenia strat ciepłych przez pokrycie cieplarni. W literaturze przedmiotu opisano następujące typy osłon :

1)Ruchome osłony,z materiałów izolujących, zwijane w ciągu dnia [6,37,39,43,45,76,104,105,112]

a) wielowarstwowe silnie izolujące osłony [43,76,104] zmniejszyły o połowę potrzeby ogrzewcze cieplarni typu asymetrycznego. Łącznie instalacja słoneczna zmniejszyła potrzeby

o 80-90% w warunkach klimatycznych stanu Nowy Yořk. W pracy [43] opisano mechanizm rozwijania tych osłon.

b) W pracach [39,105,112] stwierdzono, że osłony termiczne mają zasadnicze znaczenie dla efektywności działania ciepłarni słonecznej. Sprawdzono i oceniono kilkanaście różnych materiałów pod kątem ich przydatności na osłony, m.in. polietylen oraz pokryty aluminium mylar-winyl. Osłony opracowano dla ciepłarni pokrytej podwójną warstwą polietylenu.

c) W pracy [37] napisano, że zastosowanie osłon termicznych łącznie z podwójnym pokryciem zmniejszyło zużycie energii o 25-50%

d) W [6] opisano rezultaty zastosowania osłon w postaci rolet. Zamieszczono przykładowe wykresy średniodobowych temperatur (w lutym i marcu) dla szedowej ciepłarni z roletą, ze stryszkciem wydzielonym za pomocą poziomej warstwy szkła oraz tradycyjnej. Temperatury w ciepłarni z roletami były wyższe (w nocy o 8-10°C a rano o 4-5°C) niż w pozostałych typach ciepłarni.

2)Obrotowe reflektory-izolatory, które słuŹą do zbierania promieniowania w ciągu dnia a w nocy przekształcane są w izolujący sufit [85,87,A8]. W ognisku reflektora umieszczona jest rura z wodą, która zbiera odbite promienie słoneczne. Urządzenie słuŹy do usuwania lub dostarczania ciepła do ciepłarni.

3)Rury z mylaru . Umieszczane parami, po nadmuchianiu tworzą szczelny sufit [138]. W tej postaci są wykorzystywane jako izolacja nocna, w dzień po częściowym lub całkowitym wypompowaniu powietrza zwisają w dół. Zewnętrzna połowa każdej pary była pokryta aluminium. Nocne straty ciepła zredukowano o 48% . DopiŹyw światła w południe może być ograniczony o 7-85% .

4) Warstwa drobnych kulek polistyrenowych, które wpompowywane są między pokrycia ciepłarni. W [35] opisano efekt zastosowania 10 centymetrowej warstwy izolującej ; redukuje ona nocne zużycie energii o 80-90% . W rezultacie całkowite zużycie energii spadło o 62% .

3.3. PRZECHOWYWANIE CIEPŁA.

Wydażność i ekonomiczne przechowywanie ciepła jest czynnikiem decydującym o wykorzystaniu energii słonecznej w ciepłarniach. Dzięki przechowywaniu nadwyżki ciepła występujące w ciągu dnia mogą być wykorzystane w porze nocnej kiedy temperatura znacznie się obniża, patrz rys.3.4. Możliwe jest także przechowywanie ciepła przez dłuższe okresy czasu.

Systemy przechowywania (magazyny, akumulatory) ciepła, które są obecnie w użyciu wykorzystują następujące własności materiałów:

- a) zdolności akumulacyjne, charakteryzowane przez ich ciepło właściwe ,
- b) zdolności do pochłaniania i wydzielania ciepła związane z przemianami fazowymi , charakteryzowane przez parametr ciepła utajonego i temperaturę zmiany stanu skupienia .

Większość stosowanych systemów bazuje na takich materiałach jak woda i skały, co wiąże się z wykorzystaniem własności typu a). Natomiast większą gęstość magazynowania energii zapewniają

materiały o odpowiednio dobranych własnościach typu b) /oczywiście posiadają one też własność a)/ np. niektóre sole uwodnione. Zestawienie ilości ciepła magazynowanego przez wodę, skalę i sześciowodny chlorek wapniowy pokazano na rys.3.5.

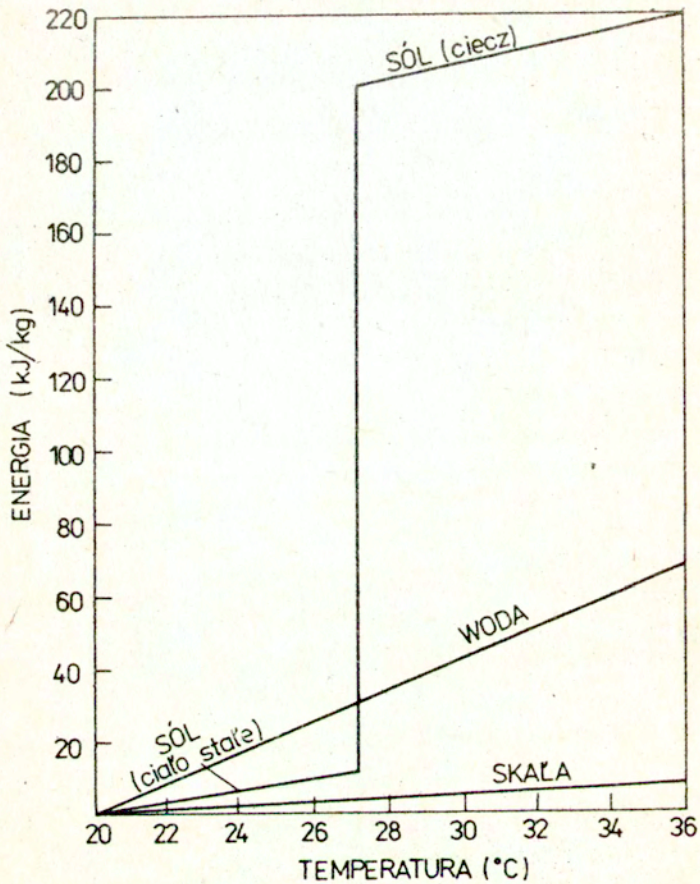
W poniższym rozdziale omówione zostaną magazyny wykorzystujące następujące materiały :

- wodę, punkt 3.3.1
- ziemię, punkt 3.3.2
 - a)glebę
 - b)grunt
 - c)grunt - pochyłe kanały akumulacyjne
- ziemię i wodę gruntową, punkt 3.3.3
- materiał skalny, punkt 3.3.4
 - a)kamienie rzeczne
 - b)żwir
 - c)okruchy skalne
- sole uwodnione, punkt 3.3.5.

3.3.1.WODA.

Stosowane są następujące rodzaje rozwiązań konstrukcyjnych wykorzystujących wodę jako czynnik magazynujący :

- a)plastikowe kanistry napełnione wodą i umieszczone pod północną ścianą cieplarni, np.[43,76,89]. Kanistry służą jako kolektor i magazyn ciepła o cyklu dobowym. W [43,76] podano, że w warunkach klimatycznych stanu Nowy York, w zimie, kanistry typu "Q-Mat"



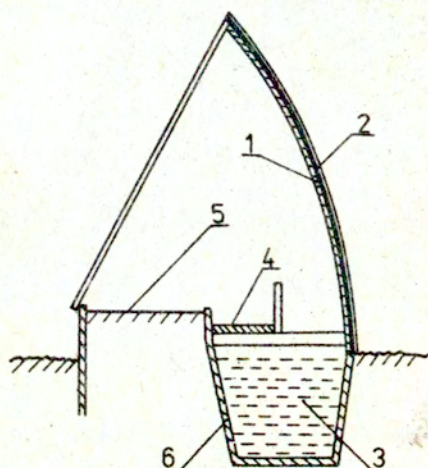
Rys.3.5. Porównanie energii magazynowanej przez wodę, skałę i sól uwodnioną $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

dostarczały około 10% ciepła potrzebnego w nocy do ogrzania ciepłarni z asymetryczny dachem.

b) otwarte zbiorniki z wodą wewnątrz ciepłarni konstruowane są jako zagłębione lub sięgające od podłogi do wysokości stołu, patrz rys.3.6. Zbiorniki zagłębione pokrywane są pomostem metalowym umożliwiającym poruszanie się po nich. Zbiorniki tego typu mają dużą pojemność ; np.zbiornik omówiony w pracy [A10] wypełniony był 22 tys. litrów wody.

c) zbiorniki wodne [77,100] lub z solanką (omówione w punkcie 3.1.3) nagrzewane bezpośrednio przez słońce. Są to obiekty o bardzo dużych rozmiarach mające postać basenów lub stawów. Odzyskiwanie ciepła z tych obiektów wymaga dodatkowej instalacji, której efektywność polepsza zastosowanie pompy ciepłej. Zbiornik z wodą może równocześnie spełniać inne funkcje : w opisanym w [100] zbiorniku hodowano ryby.

d) instalacje hydrauliczne składające się z urządzeń do wymiany i gromadzenia ciepła oraz systemu rur i zaworów , np [46,74,123,127,133,135]. Instalacje te najczęściej są dwuobwodowe a elementem łączącym jest zbiornik na wodę ,patrz rys.4.3. W jednym obwodzie woda nagrzewana jest w kolektorze słonecznym przy czym możliwy jest obieg wody na zasadzie konwekcji ,bez pompy hydraulicznej (np. w [9] opisano matematyczny model przepływu cieczy w termosyfonie). Drugi obwód służy do dostarczania lub usuwania ciepła z ciepłarni. Najczęściej składa się z pompy hydraulicznej i wymienników ciepła. W obwód ten zwykle włącza się urządzenie, elektryczne lub na paliwo naturalne, do dodatkowego ogrzewania



Rys.3.6. Cieplarnia z magazynem ciepła w postaci zbiornika z wodą.

- 1 - warstwa refleksyjna
- 2 - warstwa izolująca
- 3 - zbiornik z wodą
- 4 - pomost
- 5 - miejsce do uprawy roślin
- 6 - izolacja zbiornika.

wody.

e) instalacja do uprawy hydroponicznej może też być wykorzystywana do magazynowania ciepła [115].

3.3.2. ZIEMIA.

a) GLEBA.

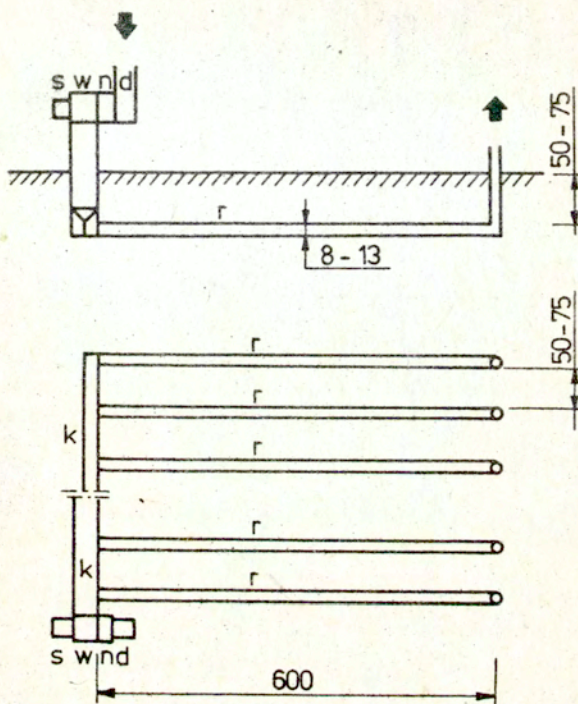
Warstwa uprawowa gleby ma zauważalny udział w dobowym cyklu magazynowania energii. Na przykład w pracy [31] oszacowano, że 5-6% ciepła słonecznego docierającego do cieplarni jest akumulowana przez warstwę ziemi o grubości 20 cm. Poza tym w pracy tej zamieszczono wyniki pomiarów przesunięcia fazy przepływu ciepła w głąb gleby i gradientu temperatury w warstwie przypowierzchniowej. W pracy [82] zapisano równanie bilansu cieplnego na powierzchni gleby i określono strumień ciepła, który musi być dostarczony na powierzchnię gleby by utrzymać odpowiednią temperaturę w strefie korzeni roślin. Podano zmierzone wartości temperatury w gruncie na różnych głębokościach w ciągu całej doby.

b) GRUNT.

Zagadnienia związane z magazynowaniem ciepła w gruncie pod cieplarnią podejmowane były w pracach [2, 11, 12, 28, 46, 47, 89, 119, 136]. Akumulatory ziemne składają się z systemu poziomych kanałów (rur), którymi tłoczone jest powietrze. Wyjątkowo jako nośnik ciepła używana jest woda [12].

Przykładowy schemat konstrukcji akumulatora ziemnego zamieszczono w [47], patrz rys. 3.7. Praca ta dotyczy przepływu powietrza i wymiany ciepła w okrągłych rurach akumulacyjnych. Obliczono w niej optymalną prędkość powietrza w rurach z punktu widzenia intensyfikacji wymiany ciepła. Optymalna jest najmniejsza prędkość wywołująca przepływ turbulentny, bardzo korzystny przy wymianie ciepła. Określono opory ruchu powietrza i wyznaczono parametry techniczne wentylatora niezbędne do wymuszenia pożądanej cyrkulacji powietrza. W pracy [28], tych samych autorów, zamieszczono wyniki badań doświadczalnych dla wspomnianych rur. Stwierdzono, że wymiana ciepła była o 7-12% wyższa od obliczeniowej. Różnica spowodowana była przez kondensację pary wodnej, intensyfikującą wymianę ciepła a nie uwzględnioną w obliczeniach. Podano wykresy dobowych wartości temperatury powietrza u wlotu, w środkowej części i u wylotu rury oraz temperaturę ścianki rury. Zamieszczono także wykres energii akumulowanej i traconej na wymuszenie cyrkulacji powietrza w zależności od średnicy rury i prędkości powietrza.

Charakter doświadczalny mają także prace [2] i [12], w których pomiarów dokonywano na niewielkich modelach. W [2] porównywano cieplarnię z akumulatorem i konwencjonalną. Zamieszczono wykresy dobowych wartości temperatury: wewnątrz obiektu, powietrza przed i po wyjściu z rury akumulacyjnej oraz gruntu na głębokości 0, 10, 35 cm (rury o średnicy 4 cm umieszczono na głębokości 40 cm). Oceniono globalną ilość energii akumulowanej w rozkładzie godzinowym oraz energię zużywaną przez wentylator. Natomiast w pracy [12] badano dwa modele cieplarni z instalacją rurową pod i nad powierzchnią ziemi - przy czym nośnikiem ciepła była woda.



Rys.3.7. Schemat gruntowego akumulatora ciepła.

Wymiary w centymetrach.

r - rury /20-50 sztuk/

k - kolektor rozprowadzający powietrze

w - wentylator

s - silnik

n - nagrzewnica

d - kanał doprowadzający ciepłe powietrze.

Instalacja podpowierzchniowa okazała się dużo lepsza, magazynowała 2.6 raz więcej ciepła. Ponadto stwierdzono, że w warstwie gruntu do 40 cm akumulowanych jest 60% a w warstwie głębszej 40% ciepła.

Inny charakter ma praca [139]. Problem akumulacji ciepła zredukowano do 2 wymiarowego zadania: półprzestrzeni obciążonej niestacjonarnym polem temperatury. Oszacowano przesunięcie w fazie temperatury powietrza i powierzchni ścianki co zależy od stosunku współczynnika przejmowania ciepła α do współczynnika przewodności cieplnej λ . Scałkowano po czasie (równym półokresowi wahań temperatury) równanie przewodnictwa Fouriera. Określono czas gdy strumień ciepła osiąga minimum i maksimum. Praca pozwala dla konkretnych parametrów gruntu i zadanych wahań temperatury powietrza w cieplarni określić strumień ciepła z akumulatora. Rezultaty przykładowych obliczeń zestawiono na rysunku z danymi doświadczalnymi.

W pracy [11] grunt potraktowano jako nieskończony ciągły ośrodek izotropowy o zerowej temperaturze początkowej i zadany współczynnik przewodnictwa cieplnego. Kanał akumulacyjny potraktowano jako nieskończony cylinder o zadanej średnicy i temperaturze. Między cylindrem a ośrodkiem założono konwekcyjną wymianę ciepła - warunek typu Newtona. Określono niestacjonarne pole temperatury rozwiązując metodami analitycznymi równanie przewodnictwa cieplnego. Rezultaty obliczeniowe porównano z wynikami doświadczalnymi i wykazały one zadawalającą zbieżność.

c) GRUNT - POCHYLE KANAŁY AKUMULACYJNE.

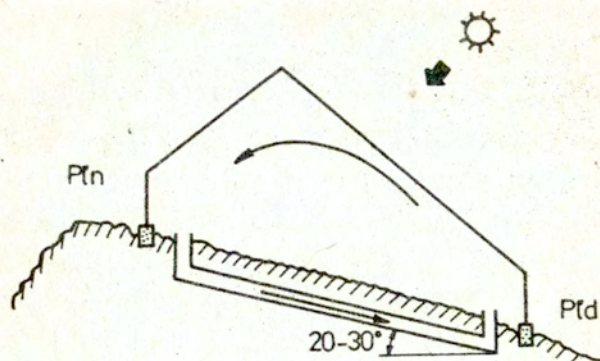
W przypadku wznoszenia ciepłarni, a szczególnie grupy ciepłarni, na pochyłym terenie istnieje możliwość umieszczania kanałów akumulacyjnych w dół stoku, tzn. pod pewnym kątem do poziomu, patrz rys. 3.8. Ruch powietrza w kanałach i w ciepłarni może odbywać się na zasadzie konwekcji bez wymuszenia mechanicznego. Gdy temperatura ścianek kanału jest niższa od temperatury powietrza w ciepłarni, wtedy powietrze oddaje ciepło (akumulator gromadzi ciepło) i opada w dół. Gdy akumulator oddaje ciepło kierunek ruchu powietrza jest przeciwny. Zjawisko konwekcji zachodzi nie tylko wzdłuż osi kanałów ale także w płaszczyznach ich przekrojów poprzecznych, patrz rys. 3.9. Wywołuje to turbulencję przepływu co korzystnie wpływa na intensywność wymiany ciepła.

Problematyce magazynowania ciepła w pochyłych kanałach poświęcone są prace [3, 54, 56, 58] wykonane w Instytucie Karszinskim w Uzbekistanie, ZSRR.

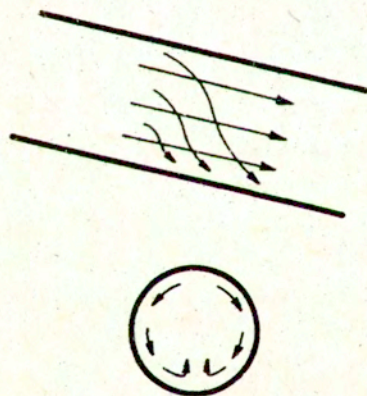
W pracy [58] zaprezentowano sposób określania spadku ciśnienia w kanałach (wywołanego tarciem i lokalnymi oporami ruchu) oraz wielkość wymiany ciepła. Pokazano zależność współczynnika tarcia λ oraz współczynnika wymiany ciepła α od liczby Reynoldsa. Praca ma charakter analityczny.

W pracy [56] omówiono stanowisko eksperymentalne do badania konwekcji w pochyłych kanałach. Określono prędkość cyrkulacji powietrza oraz rozkład temperatury wzdłuż osi i w przekrojach poprzecznych kanałów. Wyznaczono współczynnik wymiany ciepła α i porównano go z otrzymanym dla obiektu rzeczywistego.

W pracy [3] badano zjawiska ciepłno-wilgotnościowe w kanałach.



Rys.3.8. Schemat konwekcji powietrza w pochylonym kanale akumulacyjnym podczas ładowania akumulatora. Przy rozładowywaniu ruch powietrza odbywa się w kierunku przeciwnym.



Rys.3.9. Schemat konwekcji powietrza w przekroju poprzecznym pochylego kanału akumulacyjnego podczas ładowania akumulatora. Przy rozładowywaniu ruch powietrza odbywa się w kierunku przeciwnym.

Zapisano dwa równania wymiany ciepła wywołanej różnicą temperatury ścianki i powietrza : gdy w przypadku kondensacji i konwekcji zmienia się temperatura powietrza oraz dla przypadku kondensacji pary wodnej gdy zmienia się wilgotność powietrza. Przyjęto wykładniczy rozkład wilgotności powietrza wzdłuż osi kanału i wyznaczono rozkład temperatury wzdłuż osi kanału. Pokazano, w jaki sposób temperatura powietrza w kanale zależy od temperatury i wilgotności powietrza w cieplarni. Przeprowadzono pomiary eksperymentalne i określono współczynniki wymiany ciepła przy konwekcji i kondensacji oraz współczynnik wymiany masy. Stwierdzono, że ciepło kondensacji stanowi 25-30% ciepła przejmowanego na skutek konwekcji.

3.3.3. ZIEMIA I WODA GRUNTOWA.

W pracach [42,106] omówiono wykorzystanie akumulatora ciepła, składającego się z odizolowanego obszaru gruntu i wody gruntowej, do ogrzewania zimą i chłodzenia latem cieplarni. W pracy [42] zastosowano 3 wymiarowy model metody różnic skończonych do analizy nieustalonych przepływów ciepła między rurami zagłębionymi w ziemi a gruntem z wodą.

3.3.4. MATERIAŁ SKALNY.

a) KAMIENIE RZECZNE.

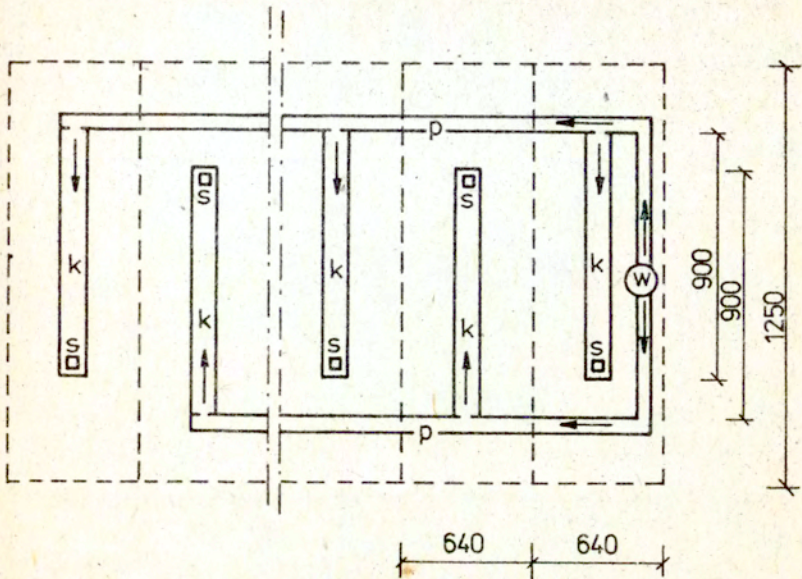
Kamienie rzeczne używane są jako element akumulujący do wypełniania kanałów umieszczonych pod ciepłarnią. Kanałami tymi tłoczony jest powietrze służące jako nośnik ciepła, patrz [23, 31, 46, 82, 125].

Szczegóły techniczne konstrukcji takiego akumulatora podano w pracach [31, 125].

W pracy [31] zamieszczono schemat i wymiary akumulatora, patrz rys. 3.10. Ponadto oszacowano, że 24-26% ilości ciepła pochodzącego od radiacji słonecznej jest magazynowanych. Zamieszczono wykresy pokazujące wpływ akumulacji energii na temperaturę w ciepłarni, w porównaniu z obiektem konwencjonalnym. Oszczędności paliwa sięgały 35-55% w zależności od liczby dni słonecznych w roku.

W pracy [82] stwierdzono badając działanie akumulatora, że 45% doprowadzonego ciepła jest magazynowanych. Akumulator pracował w cyklu dobowym.

W pracy [23] podano zależności dla wymiany masy (wilgoci) i ciepła przy ochładzaniu się nagrzanego powietrza w kanałach wypełnionych kamieniami. Zamieszczono wykresy zależności współczynników wymiany masy β i wymiany ciepła α przy kondensacji w zależności od różnicy temperatur powietrza i powierzchni kamieni oraz różnicy wilgotności powietrza w ciepłarni i w kanale. Wykazano konieczność regulowania prędkości przepływu powietrza dla zapewnienia maksymalnej wymiany ciepła.



Rys.3.10. Schemat akumulatora ciepła wypełnionego kamieniami rzecznyymi umieszczonego pod ciepłarnią blokową.

k - kanały akumulacyjne wypełnione kamieniami rzecznyymi o średnicy 5-10 cm. Wymiary kanałów 100x100x900 cm. Głębokość ułożenia 50-70 cm pod powierzchnią gruntu.

w - wentylator

p - przewody rozprowadzające powietrze

s - szyb wyprowadzający powietrze.

b) ŻWIR.

Zwirowe akumulatory ciepła opisano w pracach [5,47].

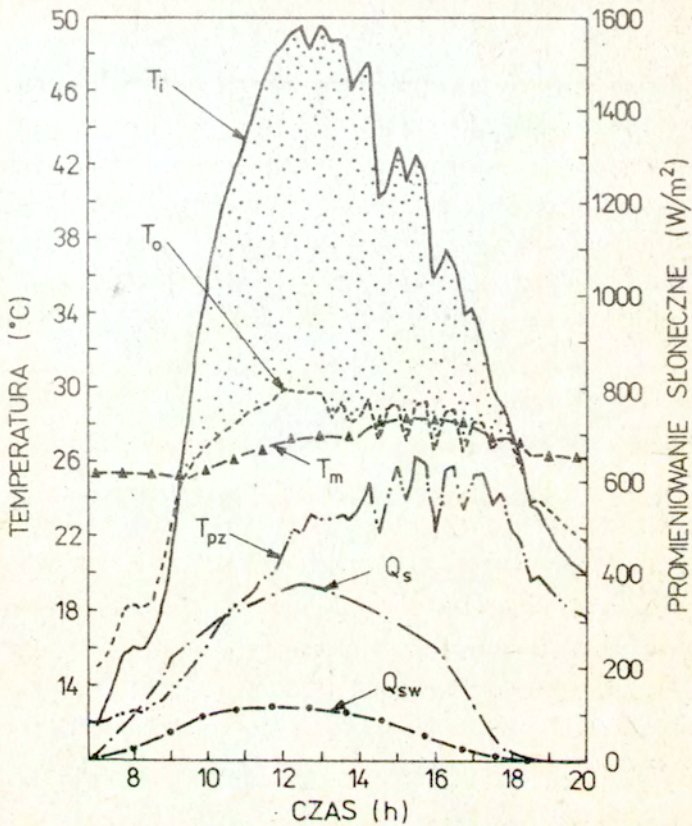
Akumulator z pracy [5] składał się ze 157 t żwiru o średnicy 12.7 do 50.8 mm i plastikowych, sfałdowanych rur o średnicy 24 cm. Rury umieszczono u spodu złoża żwirowego, które znajdowało się w betonowym kanale pod podłogą obiektu. Testy laboratoryjne wykazały, że falistość rury wyrównywała rozkład ciśnienia w rurze tak, że przepływ powietrza był równomierny co zapewnia najbardziej efektywne magazynowanie ciepła. Stwierdzono, że gęstość magazynowania energii wynosiła około 1.34 MJ/Km^3 przy gęstości 2650 kg/m^3 oraz ciepłe właściwym 0.5 kJ/(kg K) .

c) OKRUCHY SKALNE.

Pokruszone skały używane są w systemach magazynowania wykorzystujących jako nośnik ciepła : wodę [66] lub powietrze [67, 73, 117]. Akumulator może być umieszczony pod podłogą cieplarni [66,67,117,124] lub na zewnątrz cieplarni [41,68,73] a czasami nawet pod gruntem.

3.3.5. SOLE UWODNIONE.

Do przechowywania ciepła wykorzystywane są sole uwodnione o niskiej temperaturze zmiany fazy, takie jak na przykład sól glauberska ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - temperatura topnienia 32.4°C) czy sześciowodny chlorek wapnia ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - temperatura topnienia 29.7°C). Przeglądu materiałów tego typu, uwzględniając zagadnienia



Rys.3.11. Charakterystyki systemu magazynowania z rurami oddzielnymi za pomocą pierścieni. Materiał magazynujący $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Temperatura :

- T_i - powietrza wchodzącego do magazynu
- T_o - powietrza wychodzącego z magazynu.
- T_m - materiału magazynującego
- T_z - powietrza na zewnątrz obiektu

Promieniowanie słońca :

- Q - całkowite
- Q_w - całkowite wewnątrz obiektu.

ich topnienia i krzepnięcia, dokonano w pracy [A1]. Przeprowadzane są dalsze próby obniżenia temperatury przemiany fazowej ; np. w pracy [A9] opisano materiał ,dla którego przemiana zachodzi pomiędzy 15°C (połowiczne zestalenie) a 25°C (zupełne zestalenie). Jednak najczęściej do przechowywania ciepła słonecznego wykorzystywany jest sześciowodny chlorek wapnia, np. [A2,5].

W pracy [5] analizowano pracę magazynu ciepła złożonego z plastikowych rur (średnica 10 cm, długość 183 cm) wypełnionych sześciowodnym chlorkiem wapnia. Rury te mają nazwę handlową "Thermol 81- The Energy Rod" i są produkowane przez Dow Chemical Company. Zbadano dwie konstrukcje magazynu różniące się sposobem wzajemnego oddzielania rur i w odmienny sposób opływane przez nośnik ciepła , którym tutaj jest powietrze. Na rys. 3.11 przedstawiono charakterystyki działania tej konstrukcji magazynu, która okazała się lepsza . Było to rozwiązanie wykorzystujące do separacji rur magazynujących pierścienie nakładane na rury. Na tym rysunku obszar zakreskowany jest proporcjonalny do ilości zmagazynowanej energii. Oceniono pojemność cieplną magazyn przy zmianie temperatury od 20 do 35°C i porównano ją z pojemnością akumulatora żwirowego. Okazało się, że analizowany magazyn ma pojemność, w przeliczeniu na jednostkę objętości, przeszło 10 krotnie większą niż akumulator żwirowy. Pozwala to na znaczną oszczędność miejsca oraz obniża koszty wykonania pojemnika, w którym mieści się akumulator i jego izolacji a także koszty robocizny. Łatwiejsze jest też wyposażanie już istniejących obiektów w magazyn ciepła.

4. STEROWANIE PRZEPLYWEM CIEPŁA I MASY W CIEPLARNIACH.

4.1. SCHEMAT PRZEPLYWU CIEPŁA I MASY.

W zagadnieniach sterowania parametrami fizycznymi obiektów takich jak ciepłarnia wyróżnić można dwa podejścia [A12] :

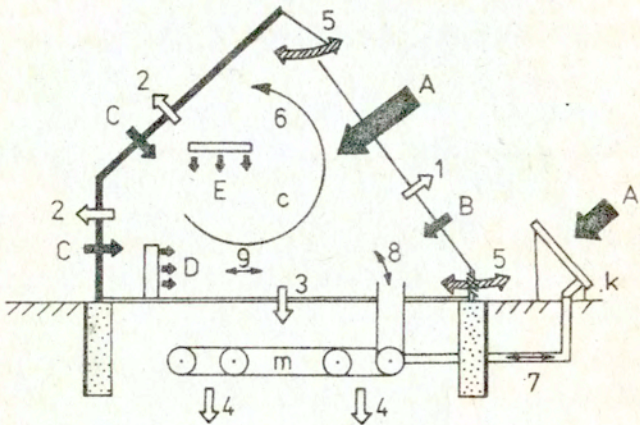
1) cybernetyczne - kiedy obiekt traktuje się jak "czarną skrzynkę" i ważny jest tylko związek parametrów wejściowych i wyjściowych . Z podejściem tym mamy do czynienia gdy używane są proste regulatory lub sterowanie półautomatyczne, wymagające obecności operatora.

2) termodynamiczne - kiedy modeluje się procesy wymiany ciepła i masy zachodzące w obiekcie. Podejście to wymaga użycia złożonych metod obliczeniowych i pomiarowych lecz umożliwia całkowicie automatyczne sterowanie pracą obiektu. Możliwe jest wyłącznie przy użyciu komputera.

Podejście termodynamiczne i związane z nim modelowanie wymiany ciepła i masy wiąże się z symulacją komputerową takich procesów jak :

- a) przewodzenie ciepła przez konstrukcję i wyposażenie obiektu
- b) konwekcja i wymuszony ruch powietrza
- c) adwekcja i infiltracja powietrza

oraz uwzględnienie m.in. takich zjawisk jak przenikanie promieniowania słonecznego przez pokrycie i kondensacja pary wodnej. Zwykle wykorzystywane przy sterowaniu pracą ciepłarni, podejście do części z tych procesów i zjawisk omówione zostanie w



Rys.4.1. Schemat przepływu ciepła i masy.

c - cieplarnia, k - kolektor słoneczny,
m - magazyn ciepła

Źródła energii :

- A - promieniowanie słońca
- B, C - promieniowanie rozproszone
- D - grzejnik
- E - sztuczne oświetlenie

Straty ciepła :

- 1 - przez pokrycie
- 2 - przez ściany
- 3 - przez podłogę
- 4 - do ziemi z magazynu ciepła

Przepływ ciepła i masy :

- 5 - adwekcja, infiltracja powietrza
- 6 - konwekcja i wymuszony przepływ powietrza
- 7 - między kolektorem a magazynem ciepła
- 8 - między magazynem ciepła a cieplarnią.

punkcie 4.3 . W tym miejscu ograniczymy się do przedstawienia, patrz rys 4.1. ,schematu przepływu ciepła i masy w cieplarni oraz między cieplarnią, kolektorem słonecznym i magazynem ciepła.

4.2.ELEMENTY SYSTEMU STEROWANIA.

Skomputeryzowane systemy sterowania pracą cieplarni składają się z trzech zasadniczych modułów :

- 1) urządzeń pomiarowych (cyfrowych lub analogowych z przetwornikami cyfrowymi) dostarczających dane o parametrach obiektu do komputera,
- 2) minikomputera ze stacją dysków oraz odpowiednich programów problemowo zorientowanych,
- 3) urządzeń wykonawczych sterowanych sygnałami wysyłanymi przez komputer lub przez operatora.

Ad.1. Poniżej zestawiono parametry, które są mierzone w nowoczesnych cieplarniach komercyjnych (nie hobbystycznych) oraz używane do tego celu urządzenia [A3] :

I. Parametry mierzone na zewnątrz obiektu :

- promieniowanie słoneczne bezpośrednie : za pomocą solarometru
- promieniowanie słoneczne rozproszone : za pomocą solarometru z pierścieniem zacieniającym
- temperatura powietrza : za pomocą czujników z osłoną pochłaniającą promieniowanie słoneczne
- prędkość i kierunek wiatru : za pomocą anemometru i przewodów

kierunkowych , z wyjściem elektrycznym

-opad deszczu : za pomocą ogniwa z mierzona przewodnością elektryczną

II. Parametry mierzone wewnątrz obiektu :

-temperatura powietrza: jak wyżej

-wilgotność powietrza : za pomocą czujników mierzących przewodność elektryczną

-promieniowanie słoneczne wewnątrz obiektu : za pomocą solarometru

-promieniowanie widzialne (400-700nm) : za pomocą fotoogniw z filtrami optycznymi

-temperatura liści : za pomocą termometrów do podczerwieni

-stężenie CO₂ : za pomocą analizatora gazu na podczerwień (mierzącego absorpcję światła przez powietrze zaczerpnięte z obiektu) lub miernika przewodności wodnego roztworu CO₂

-ilość dostarczonego ciepła : za pomocą licznika kWh, licznika zużycia gazu (lub oleju), dla instalacji na gorącą wodę lub powietrze za pomocą elektrycznych termometrów oporowych i przepływomierzy z wyjściem elektrycznym

-kaloryczność paliwa (gazu, oleju lub paliwa stałego) : za pomocą przyrządu z mikroprocesorem i wymiennymi czujnikami elektrochemicznymi, który podaje temperaturę i zawartość tlenu w spalinach i oblicza kaloryczność paliwa

-położenie zaworów w instalacjach rurowych : za pomocą czujników elektrycznych

-otwarcie wywietrzników : za pomocą czujników elektrycznych.

Ad.3. Do elementów wyposażenia ciepłarni, których funkcjonowanie

podlega sterowaniu zaliczyć można :

- kolektory słoneczne (patrz punkt 3.1) : sterowaniu podlega przepływ nośnika ciepła
- osłony termiczne (patrz punkt 3.2.2) : sterowany jest stopień rozwinięcia osłony
- pokrycie selektywne (patrz punkt 3.2.1) : sterowaniu podlegają parametry przepływu cieczy przez pokrycie
- akumulator ciepła (patrz punkt 3.3) : sterowaniu jest przepływ nośnika ciepła
- pompa ciepła : sterowana jest wydajność cieplna poprzez regulację prędkości obrotowej sprężarki
- wywietrzniki : sterowany jest kąt otwarcia wywietrznika lub zmiana stanu otwarty-zamknięty
- wentylatory : sterowana jest wydajność poprzez regulację prędkości obrotowej
- nawilżacz : sterowana jest wydajność poprzez regulację prędkości obrotowej wirnika
- grzejniki powietrza, gleby, wody (pożywki) : sterowana jest wydajność cieplna
- lampy oświetlające : sterowana jest intensywność oświetlenia
- dozownik CO₂ : sterowany jest wypływ gazu z butli lub proces spalania propanu
- zawory w instalacjach rurowych : sterowane jest położenie zaworu.

Najprostsze systemy sterowania parametrami ciepłarni ograniczają się do kontroli, z pewną ustaloną częstotliwością, wybranych parametrów charakteryzujących warunki klimatyczne w ciepłarni i do manualnego zmieniania stanu elementów instalacji wpływających na te warunki. Aparatura kontrolna zwykle sygnalizuje

niedopuszczalne wartości mierzonych parametrów. Systemy te często wyposażone są w urządzenia do zapisu wartości mierzonych parametrów co umożliwia przeprowadzenie ex post analizy statystycznej wiążącej wysokość plonów z warunkami wzrostu roślin. Pozwala to oceniać wartość wprowadzanych nowych rozwiązań technicznych oraz sprawdzać skuteczność działań modyfikujących stan parametrów obiektu.

W pracy [113] opisano systemy kontroli zastosowane w dwóch ciepłarniach eksperymentalnych i jednej użytkowej. Zastosowano kontrolę: wentylacji, przesuwnej izolacji, zbierania ciepła słonecznego, wymiany ciepła oraz magazynowania ciepła. Oddzielnie kontrolowano system ogrzewania podłogi (zastosowano system magazynowania ciepła w podłodze, patrz też [52,94]) oraz system ogrzewania powietrza.

W pracy [84] opisano system, wykonany na zamówienie klienta, służący do zbierania danych o warunkach klimatycznych w ciepłarni. W systemie tym jeden mikroprocesor próbuje 16 kanałów i zapisuje wyniki na zwykłej taśmie magnetofonowej. Drugi mikroprocesor odczytuje taśmę i przesyła dane do dużego komputera gdzie przeprowadza się obliczenia, opracowuje graficznie i magazynuje dane. W pracy opisano także konstrukcję czujników temperatury, nawilżacza, miernika małych prędkości powietrza oraz solarometru do mierzenia promieniowania rozproszonego Słońca.

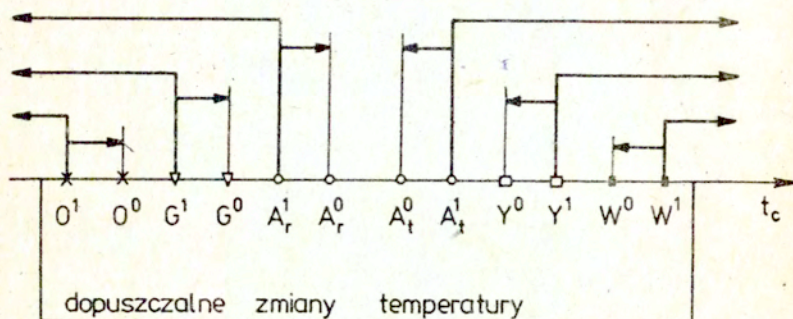
4.3. KRYTERIA STEROWANIA PRACĄ URZĄDZEŃ.

Poniżej podano kryteria, które mogą być stosowane przy

sterowaniu pracą podstawowych urządzeń, stanowiących wyposażenie ciepłarni. Założono, że instalacja wyposażona jest w kolektor słoneczny i akumulator ciepła oraz, że zmagazynowane ciepło słoneczne powinno być wykorzystywane w pierwszej kolejności.

Pracą prawie wszystkich urządzeń (z wyjątkiem kolektora słonecznego) można sterować stosując kryterium, które w pracy nazywane jest kryterium dopuszczalnych zmian wybranego parametru wewnątrz ciepłarni. Tym parametrem może być np. temperatura powietrza lub inny czynnik klimatyczny, którego uwzględnienie jest ważne dla wzrostu roślin. Formułując to kryterium zakłada się, że jeśli praca urządzenia przynosi pożądany efekt (np. włączenie grzałki powoduje podniesienie się temperatury) to po zmianie parametru o pewną wartość urządzenie powinno być wyłączone. Jeśli pożądany efekt nie następuje to urządzenie pracuje nieprzerwanie. Poszczególne urządzenia włączane są do pracy sekwencyjnie, patrz rys.4.2 sporządzony dla temperatury powietrza w ciepłarni. Tego typu sterowanie, pomimo że pozwala utrzymać pożądany stan klimatu w ciepłarni, nie jest zbyt precyzyjne. Ma charakter doraźnego reagowania i brak w nim elementów przewidywania rozwoju sytuacji.

Bardziej złożone zasady sterowania sformułowano dla grzejnika i osłon termicznych. Nie bazują one wyłącznie na pomiarach temperatury w obiekcie lecz na pomiarach także innych parametrów w obiekcie i jego otoczeniu. Celem tego sterowania jest utrzymanie stałej temperatury powietrza w ciepłarni mimo zmian strumieni ciepła docierających do niego. Uwzględnienie niestacjonarności procesów przepływu ciepła i masy (dla grzejnika) czyni możliwym przewidywanie zmian warunków i odpowiednio wcześniejsze



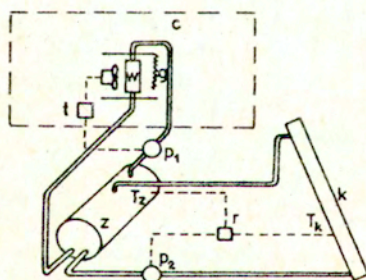
Rys.4.2. Zakresy temperaturowe pracy poszczególnych urządzeń.

G - grzejnik, Y - wywiewnik, W - wentylator,
 O - osłona, A_r - rozładowywanie akumulatora,
 A_z - ładowanie akumulatora

t_c - temperatura powietrza w cieplarni

Indeksy : 0 - wyłączenie urządzenia

1 - włączenie urządzenia.



Rys.4.3. Schemat systemu ogrzewania cieplarni wg McCormicka.

r - termostat różnicowy, t - termostat kontrolny,
 w - wymiennik ciepła, g - grzejnik pomocniczy,

P₁, P₂ - pompy, k - kolektor słoneczny, z - zbiornik,
 c - cieplarnia

reagowanie.

Możliwe są także inne sformułowania zagadnienia wykorzystujące np. stochastyczne metody przewidywania zmian sytuacji lecz nie będą one omawiane w niniejszej pracy.

W poniższym rozdziale zastosowano następujące oznaczenia :

u_0 - urządzenie u jest wyłączone (nie pracuje)

u_1 - urządzenie u jest włączone (pracuje)

$u(0 \Rightarrow 1)$ - włączenie urządzenia u

$u(1 \Rightarrow 0)$ - wyłączenie urządzenia u .

1. KRYTERIA UŻYCIA DODATKOWEGO ŹRÓDŁA CIEPŁA.

a) Kryterium dopuszczalnych temperatur powietrza w ciepłarni.

$$G_0 \wedge (t_c \leq G^1) \Rightarrow G(0 \Rightarrow 1)$$

$$G_1 \wedge (t_c \geq G^0) \Rightarrow G(1 \Rightarrow 0)$$

Grzejnik G jest włączany gdy temperatura powietrza t_c spada do wartości G^1 i wyłączany gdy osiągnie wartość G^0 .

b) Kryterium stałej temperatury w ciepłarni

Zakładając, że temperatura powietrza w ciepłarni jest stała możemy zapisać równanie bilansu cieplnego powietrza w postaci pozwalającej obliczyć wydajność grzejnika :

$$Q_G = Q_S + Q_A + Q_P - Q_Z - Q_I - Q_Y - Q_W$$

przy czym Q oznacza strumienie ciepła z następujących źródeł :

- G - grzejnik, S - Słońce, A - akumulatory,
- P - przedmioty, urządzenia i gleba wewnątrz cieplarni,
- Z - powietrze wokół obiektu, I - infiltracja powietrza,
- Y - wentylator, W - wentylator.

-Q_S mierzony jest za pomocą solarometru wewnątrz obiektu.

-Q_A określamy na podstawie pomiarów termometrami oporowymi temperatury nośnika ciepła przed i po wyjściu z akumulatora (odpowiednio t_i i t_o) oraz pomiaru objętości przepływającego nośnika V_A za pomocą przepływomierza :

$$Q_A = c (t_o - t_i) V_A \rho$$

gdzie c to ciepło właściwe nośnika ciepła.

-Q_P określamy na podstawie konwekcyjnego warunku brzegowego

$$Q_P = \alpha (t_p - t_c)$$

gdzie α jest współczynnikiem przejmowania ciepła właściwym dla danego przedmiotu znajdującego się wewnątrz cieplarni, t_p to temperatura przedmiotu.

-Q_Z określamy wykorzystując równanie przewodnictwa cieplnego (dla ścian zewnętrznych), które w przypadku jednowymiarowym ma postać :

$$c \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(y) \frac{\partial t}{\partial y} \right) \pm c_p \int \frac{\partial t}{\partial y}$$

gdzie t=t(y,τ) dla 0<y<δ, τ>0 przy czym :

c to ciepło właściwe materiału [cal/(g deg)]

ρ to gęstość materiału [g/cm³]

λ to współczynnik przewodnictwa cieplnego [cal/(cm sek deg)]

c_p to ciepło właściwe powietrza [cal/(g deg)]

j_i to współczynnik infiltracji powietrza [g/(cm² sek)].

Rozwiązania poszukujemy dla warunku początkowego $t=t(y,0) = 0$

i warunków brzegowych :

na powierzchni wewnętrznej $y=0$ $t=f(\tau)$

na powierzchni zewnętrznej $y=\delta$ $-\lambda(\delta) \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_z (t - t_z(\tau))$

gdzie α_z to współczynnik przejmowania ciepła z powierzchni zewnętrznej ściany przez opływające powietrze. Jest zależny od prędkości opływającego ścianę powietrza, którą mierzymy anemometrem z wyjściem elektrycznym. t_z to temperatura powietrza na zewnątrz ciepłarni.

Po rozwiązaniu równania przewodnictwa strumień ciepła na powierzchni wewnętrznej Q_z określamy z równania :

$$Q_z = q(0,\tau) = -\lambda(0) \frac{\partial t}{\partial y}(0,\tau)$$

Ponieważ podane równanie przewodnictwa zależy tylko od jednej zmiennej przestrzennej y stąd niezbędne jest określenie wartości $f(\tau)$, która byłaby reprezentatywna dla całego obiektu. Ścisłe rozwiązanie tego problemu wymaga uwzględnienia zjawiska konwekcji i określenia rozkładu temperatur we wnętrzu obiektu z równań Naviera-Stokes'a z członem wypornościowym Boussinesqa. Jest to problem bardzo złożony obliczeniowo. Łatwiej jest wyznaczać pola temperatur w oparciu o badania eksperymentalne, ważne dla obiektu określonego typu. W obu przypadkach $f(\tau)$ można określić jako

wartość średnią pola temperatury na powierzchni wewnętrznej analizowanej ściany.

- Q_I i Q_V mogą być wyznaczone z wzorów :

$$Q_I = c (t_c - t_z) V_I \rho$$

$$Q_V = c (t_c - t_z) V_V \rho$$

gdzie V_I i V_V to objętości powietrza infiltrującego i docierającego przez wywietrzniki wyznaczone eksperymentalnie dla każdego obiektu.

- Q_W wyznaczany na podstawie wydajności wentylatora V_W :

$$Q_W = c (t_c - t_z) V_W \rho$$

2. KRYTERIA UŻYCIA OSŁONY TERMICZNEJ.

a) Kryterium wschodu i zachodu słońca

$$O1 \wedge (h = h_v) \Rightarrow O(1 \Rightarrow 0)$$

$$O0 \wedge (h = h_z) \Rightarrow O(0 \Rightarrow 1)$$

gdzie h to godzina (wskazanie zegarowe)

h_v i h_z to godzina wschodu i zachodu słońca.

b) Kryterium dopuszczalnych temperatur powietrza w ciepłarni.

$$O0 \wedge (t_c \leq 0^{\circ}) \Rightarrow O(0 \Rightarrow 1)$$

$$O1 \wedge (t_c \geq 0^{\circ}) \Rightarrow O(1 \Rightarrow 0)$$

Kryterium to wiąże użycie osłon z minimalizowaniem strat ciepła przez pokrycie obiektu. Rozwinięcie osłon w dzień odcina obiekt od promieniowania słonecznego i dlatego może być stosowane tylko w

przypadku skrajnie niskiej temperatury wewnętrznej.

c) Kryterium energetyczne.

$$O0 \wedge (D_p \geq D_{p0}) \Rightarrow O(0 \Rightarrow 1)$$

$$O1 \wedge (D_p \leq D_{p0}) \Rightarrow O(1 \Rightarrow 0)$$

gdzie

$$D_p = L_p - R_p$$

$$D_{p0} = L_{p0} + R_f - R_{p0}$$

D_p oznacza straty ciepłe przez pokrycie obiektu L_p pomniejszone o zyski energii od promieniowania słonecznego przechodzącego przez pokrycie R_p .

D_{p0} oznacza straty ciepłe przez pokrycie obiektu i osłonę termiczną L_{p0} oraz wydatek energii R_f na doświetlanie roślin na poziomie promieniowania f pomniejszone o energię promieniowania słonecznego przechodzącą przez pokrycie i osłonę termiczną R_{p0} .

R_f nie uwzględnia wydatków energetycznych na oświetlenie o optymalnej długości czasu trwania i intensywności lecz tylko na oświetlenie na poziomie naturalnym. Na przykład dla warunków nocnych $R_f = 0$. Dla osłon nieprzeźroczystych $R_{p0} = 0$.

3. KRYTERIA WYMIANY MASY I CIEPŁA MIĘDZY CIEPLARNIĄ A AKUMULATOREM.

Przepływ nośnika ciepła przez akumulator i cieplarnię oznacza odbieranie z akumulatora lub magazynowanie w nim ciepła i odpowiednio ogrzewanie lub chłodzenie cieplarni. Jednakże często, np. w systemie McCormicka, przepływ nośnika inicjowany jest tylko w celu ogrzewania cieplarni.

a) Kryterium dopuszczalnych temperatur w ciepłarni.

Ładowanie akumulatora

$$A_0 \wedge (t_c \geq A_{\frac{1}{0}}^i) \Rightarrow A(0 \Rightarrow 1)$$

$$A_1 \wedge (t_c \leq A_{\frac{0}{1}}^i) \Rightarrow A(1 \Rightarrow 0)$$

Rozładowywanie akumulatora

$$A_0 \wedge (t_c \leq A_r^i) \Rightarrow A(0 \Rightarrow 1)$$

$$A_1 \wedge (t_c \geq A_r^0) \Rightarrow A(1 \Rightarrow 0)$$

przy czym

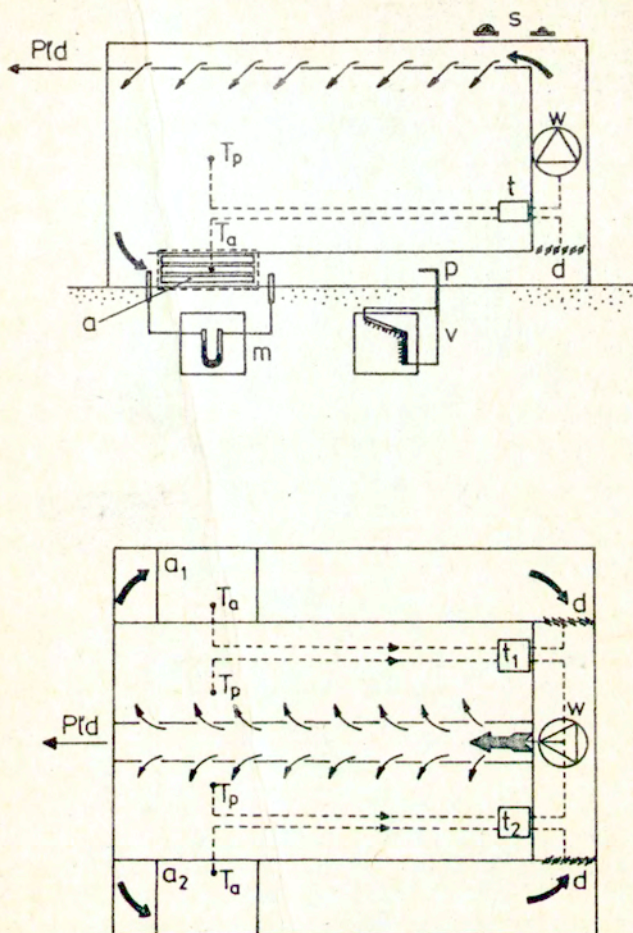
$A_{\frac{1}{0}}^i$, $A_{\frac{0}{1}}^0$ to temperatury rozpoczęcia i zakończenia ładowania

A_r^i , A_r^0 to temperatury rozpoczęcia i zakończenia rozładowywania.

Na przykład w systemie McCormicka $A_r^i = 60$ deg F, patrz rys. 4.3.

b) Kryterium dopuszczalnej różnicy temperatur między ciepłarnią i akumulatorem.

Schemat, wg pracy [5], systemu kontroli przepływu powietrza pomiędzy ciepłarnią a magazynem ciepła zbudowanym z rur wypełnionych $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (przemiana fazowa w temperaturze 27.22 deg C) pokazano na rys 4.4. Temperaturę w akumulatorze ciepła mierzono za pomocą 27 termopar umieszczonych na spodzie 9 rur z różnych poziomów akumulatora. Temperaturę powietrza wchodzącego i wychodzącego z akumulatora mierzono 8 termoparami. Spadek ciśnienia mierzono manometrem a prędkość przepływu rurką Pitota. Ponadto co 15 minut mierzono całkowite i rozproszone promieniowanie słoneczne nad ciepłarnią i całkowite promieniowanie wewnątrz obiektu. Wszystkie wartości temperatury i promieniowania były rejestrowane za pomocą mikrokomputerowego systemu zbierania danych.



Rys.4.4. Schemat kontroli przepływu powietrza w ciepłarni słonecznej z magazynem ciepła.

Temperatury : T_p - powietrza, T_a - akumulatora

a - akumulator w postaci rur wypełnionych $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

a_1 - z przegrodami, a_2 - z pierścieniami

w - wentylator, d - przepustnica, t - termostat różnicowy, p - rurka Pitota, v - przyrząd do pomiaru prędkości powietrza, m - manometr, s - solarometr.

W czasie ładowania akumulatora praca wentylatora i przepustnicy (zasady), które działały niezależnie, kontrolowana była przez termostaty różnicowe, ustawione na temperaturę 5 deg C.

Ładowanie akumulatora

$$A0 \wedge (t_c - t_a > t_d) \wedge (t_a \leq t_{pf}) \Rightarrow A(0 \Rightarrow 1)$$

$$A1 \wedge (t_c \geq t_{pf}) \Rightarrow A(1 \Rightarrow 0)$$

gdzie t_d to temperatura ustawiona na termostacie różnicowym

t_{pf} to temperatura przemiany fazowej.

Gdy różnica między temperaturą powietrza w ciepłarni i temperaturą w akumulatorze osiąga wartość t_d wtedy termostat uruchamiał wentylator i przepustnicę. Ładowanie było kontynuowane aż do przekroczenia temperatury przemiany fazowej. Wtedy przepustnica była zamykana, żeby ograniczyć straty ciepła.

Roziadowywanie akumulatora przeprowadzano manualnie na podstawie wskazań termostatów, obserwowanych na pulpicie kontrolnym. W pracy [5] nie podano bliższych szczegółów na temat stosowanego przy roziadowywaniu kryterium.

4. KRYTERIA UŻYCIA WYWIETRZNIKA.

a) Kryterium dopuszczalnych temperatur powietrza w ciepłarni.

$$Y0 \wedge A1 \wedge (t_c \geq Y^1) \Rightarrow Y(0 \Rightarrow 1)$$

$$Y1 \wedge (t_c \leq Y^0) \Rightarrow Y(1 \Rightarrow 0)$$

gdzie Y^0 i Y^1 to temperatura wyłączenia i włączenia wywietrznika.

Można także podać bardziej złożone kryteria regulujące kąt otwarcia wywietrznika w zależności od kierunku i siły wiatru oraz

zamykające wywietrznik kalenicowy w przypadku deszczu.

5. KRYTERIA UŻYCIA WENTYLATORA ZEWNĘTRZNEGO.

a) Kryterium dopuszczalnych temperatur powietrza w cieplarni.

$$W^0 \wedge Y^1 \wedge A^1 \wedge (t_c \geq W^1) \Rightarrow W(0 \neq 1)$$

$$W^1 \wedge (t_c \leq W^0) \Rightarrow W(1 \neq 0)$$

gdzie W^0 i W^1 to temperatura wyłączenia i włączenia wentylatora.

Dzięki temu, że wentylator jest włączany tylko wtedy gdy wywietrznik jest otwarty to zawsze spełnione jest równanie zachowania masy (przy założeniu stałej w czasie gęstości) powietrza w obiekcie :

$$m_I + m_Y + m_W = 0$$

przy czym

m_I to masa powietrza infiltrującego do wnętrza przez nieszczelności pokrycia

m_Y to masa powietrza napływająca przez wywietrznik

m_W to masa powietrza tłoczona przez wentylator.

6. KRYTERIA WYMIANY MASY I CIEPŁA MIĘDZY AKUMULATOREM A KOLEKTOREM SŁONECZNYM.

a) Kryterium dopuszczalnej różnicy temperatur akumulatora i kolektora.

Poniżej omówimy sposób sterowania wymianą ciepła w systemie McCormicka (rys.4.3), w którym zastosowano jako akumulator ciepła zbiornik z wodą o objętości 500 galonów oraz podłączono do niego dwie instalacje rurowe : jedną z kolektorem słonecznym umieszczonym na zewnątrz ciepłarni a drugą z wymiennikiem ciepła usytuowanym w ciepłarni.

$$K0 \wedge (t_k - t_c = K^1) \Rightarrow K(0 \Rightarrow 1)$$

$$K1 \wedge (t_k - t_a = K^0) \Rightarrow K(1 \Rightarrow 0)$$

gdzie t_a to temperatura akumulatora a t_k to temperatura kolektora słonecznego. W systemie McCormicka $K^0 = 3 \text{ deg F}$ a $K^1 = 20 \text{ deg F}$ przy czym pompa tłocząca wodę jest sterowana przy pomocy termostatu różnicowego.

7. KRYTERIA UŻYCIA NAWILŻACZA.

a) Kryterium dopuszczalnej wilgotności.

$$N0 \wedge (g \leq g_{\min}) \Rightarrow N(0 \Rightarrow 1)$$

$$N1 \wedge (g \geq g_{\max}) \Rightarrow N(1 \Rightarrow 0)$$

gdzie g_{\min} , g_{\max} to dopuszczalne zakresy wilgotności względnej powietrza.

b) Kryterium tworzenia mgły porannej.

$$N0 \wedge ((h \geq h_v \wedge h \leq h_v + a) \vee (g \leq g_{\min}^a)) \Rightarrow N(0 \Rightarrow 1)$$

$$N1 \wedge ((h < h_v \vee h \geq h_v + a) \vee (g \geq g_{\max}^a)) \Rightarrow N(1 \Rightarrow 0)$$

gdzie a oznacza czas trwania porannego zamglenia, g_{\min}^a i g_{\max}^a to zwiększona wilgotność minimalna i maksymalna odpowiadająca zamgleniom porannym.

8. KRYTERIA UŻYCIA LAMP OŚWIETLAJĄCYCH.

a) Kryterium naturalnego czasu oświetlenia.

$$L0 \wedge (h_v \leq h \leq h_z) \wedge O1 \Rightarrow L(0 \Rightarrow 1)$$

$$L1 \wedge (h < h_v \vee h > h_z) \Rightarrow L(1 \Rightarrow 0)$$

Kryterium to umożliwia utrzymanie naturalnego czasu oświetlenia pomimo wcześniejszego (przed zachodem słońca) rozwinięcia lub późniejszego (po wschodzie słońca) zwinięcia osłon termicznych (na przykład zgodnie z kryterium energetycznym) .

b) Kryterium ustalonego czasu oświetlenia.

$$L0 \wedge (h_p \leq h \leq h_k) \wedge (O1 \vee h < h_v \vee h > h_z) \Rightarrow L(0 \Rightarrow 1)$$

$$L1 \wedge (h < h_p \vee h > h_k) \Rightarrow L(1 \Rightarrow 0)$$

Kryterium to może być wykorzystane w przypadku gdy ustalony czas oświetlenia jest dłuższy od naturalnej długości dnia.

5. UWAGI KOŃCOWE.

Dokonany przegląd zagadnień konstruowania i sterowania przepływem ciepła i masy w ciepłarniach słonecznych skłania do następujących uwag :

1) Rozwiązania poszczególnych elementów ciepłarni i jej instalacji klimatyzacyjnej (w tym słonecznej) ,które dostępne są w literaturze przedmiotu mogą być wykorzystywane tylko w ich ogólnym aspekcie konstrukcyjnym - konkretne parametry muszą być dostosowane do warunków klimatycznych i potrzeb użytkownika.

2) Oszacowanie globalnego bilansu energetycznego ciepłarni, w tym udziału energii słonecznej, należy przeprowadzać w oparciu o dane meteorologiczne właściwe dla miejsca usytuowania obiektu. Gdy wykorzystywane są nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne, dające możliwość regulowania parametrów, wtedy bazowanie na zgrubnych szacunkach jest niewystarczające i ma sens przeprowadzenie symulacji komputerowej przepływów masy i ciepła w skali całego roku.

3) Modelowanie komputerowe jest także niezbędne do sterowania urządzeniami mającymi wpływ na parametry klimatyczne w ciepłarni. Modelowanie umożliwi stosowanie złożonych kryteriów sterowania w oparciu o dane z wielu urządzeń pomiarowych i przewidywane stany przyszłe układu oraz pozwala na optymalizowanie funkcjonowania obiektu w oparciu o kryteria energetyczno-ekonomiczne.

Reasumując : projektowanie, kontrola i sterowanie profesjonalnymi obiektami cieplarnianymi są zbyt złożonymi problemami by mogły być właściwie rozwiązane za pomocą tradycyjnych metod inżynierskich. Konieczne są badania i wykorzystanie komputerowych metod modelowania obiektu i "inteligentnego" sterowania jego pracą. Tylko to podejście może poprawić bilans energetyczny cieplarni i prowadzić do istotnych oszczędności energetyczno - ekonomicznych.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1. WEDŁUG BAZY DANYCH COMPENDEX (za okres od 1975 do 1986r)

1. Yakubov Yu.N. : Comparative investigation of the dependence of the operating regime in greenhouses on their design and orientation.
Applied Solar Energy v 22 n 2 1986 64-67
2. Imamkulov A.I. : Storage of solar energy by forced circulation of air in shed greenhouses.
Applied Solar Energy v 22 n 2 1986 55-57
3. Vardiashvili A.B., Kim V.D. : Temperature-humidity regime in inclined thermal-storage channels of a solar greenhouse.
Applied Solar Energy v 22 n 2 1986 51-54
4. Avezov R.R., Niyazov Sh.K., Abdullaev A.A., Zhamurathov K. : Effect of plant cover on the amount of solar energy accumulated in greenhouse soil.
Applied Solar Energy v 22 n 1 1986 34-37
5. Huang B.K., Toksoy M., Cengel Y.A. : Transient response of latent heat storage in greenhouse solar system.
Solar Energy v 37 n 4 1986 279-292
6. Akhtamov R.A., Saidov S.A. : Results of experimental investigations of various designs for shed greenhouses.
Applied Solar Energy v 21 n 4 1985 93-94
7. Bairamov R.B., Rybakova L.E., Durdyev A., Karpaev K., Penzhiev A.M. : Mathematical model for describing the thermal regime of a trench-type solar greenhouse.
Applied Solar Energy v 21 n 4 1985 50-54
8. Avezov R.R., Niyazov Sh.K., Abdullaev A.A., Zhomuratov K. : Effect of plant cover on the temperature regime of a solar-heated greenhouses.
Applied Solar Energy v 21 n 5 1985 47-49
9. Teimurkhanov A.T., Kachura V.P., Vardiashvili A.B., Tovarhykh G.N. : Thermohydraulic processes in a system of solar preheating of water in a greenhouse.
Applied Solar Energy v 21 n 3 1985 52-57

10. Sadykov T., Khairiddinov B., Rakhimov N., Kholliyev B. :
Mathematical model of thermal-regime formation in a modular
greenhouse with underground heat accumulator.
Applied Solar Energy v 21 n 3 1985 48-51
11. Khairiddinov B., Dilmuradov N., Tashev Zh. : Non-steady-state
temperature field around a below-ground cylindrical heat
accumulator.
Applied Solar Energy v 21 n 1 1985 74-79
12. Imamkulov A.I., Yakubov Yu.N. : Comparative experiments on
periodic heat storage in hothouses.
Applied Solar Energy v 20 n 5 1984 48-50
13. Khairiddinov B.E., Khasanova M.Kh., Sadykov T. : Penetration of
thermal waves into the soil of solar hothouses.
Applied Solar Energy v 20 n 6 1984 67-69
14. Beccali G., Giaccòne A., Panno G. : Influence of the geometric
configuration and covering materials of greenhouses on their
thermal conditions.
Energie Alternative Habitat Territorio Energia v 6 n 31
Sep-Oct 1984 445-453
15. Masoreo M., Rossi A. : Use of air solar collectors for ground
heating in greenhouse for horticulture and flower growing.
Energie Alternative Habitat Territorio Energia v 6 n 32
Nov-Dec 1984 511-518
16. Chambaev R.K. : Determining the share of solar radiation as a
heat source in the thermal balance of a commercial greenhouse
under the climatic conditions of Uzbekistan.
Applied Solar Energy v 20 n 3 1984 88-89
17. Avezov R.R., Niyazov Sh.K., Abdullaev A.A. : Finite-difference
method of calculating the temperature conditions of a solar
greenhouse with experimental confirmation of calculations.
Applied Solar Energy v 20 n 3 1984 85-87
18. Akhmatov R.A., Saidov S.A. : Combined use of solar energy and
geothermal water in greenhouses.
Applied Solar Energy v 20 n 3 1984 67-70
19. Arinze E.A., Schoenau G.J., Besant R.W. : Dynamic thermal
performance simulation model of an energy conserving

- greenhouse with thermal storage.
Transactions Am.Soc.Agricult.Eng. v 27 n 2 Mar-Apr 1984
508-519
20. Vardiashvili A.B., Teimurkhanov A., Kim V.D. : Comparison of the heat-engineering qualities of transparent film shielding for solar hothouses.
Applied Solar Energy v 19 n 2 1983 54-59
 21. Sadykov T., Khasanova M., Khairitdinov B. : Choice of pitch angle for block hothouses.
Applied Solar Energy v 18 n 6 1982 73-75
 22. Radzhabov N.K., Yakubov Yu.N. : Experimental studies of solar energy accumulation in solar hothouses.
Applied Solar Energy v 18 n 6 1982 42-47
 23. Vardiashvili A.B., Khairitdinov B. : Investigation of heat and mass transfer process in a subsurface regenerative gravel heat accumulator of a block solar hothouse.
Applied Solar Energy v 18 n 6 1982 38-41
 24. Yakubov Yu.A., Imamkulov A.I., Radzhabov N.K. : Problem of accumulation of solar energy in the form of heat.
Applied Solar Energy v 18 n 5 1982 77-81
 25. Temurkhanov A.T., Vardiashvili A.B., Umarov G.Ya., Kim V.D. : On the determination of the heat-insulating characteristics of transparent film shielding for solar hothouses.
Applied Solar Energy v 18 n 5 1982 65-70
 26. Fava G. : Solar energy for greenhouse heating.
Energie Alternative Habitat Territorio Energia v 4 n 19
Sep-Oct 1982 422-426
 27. Morris W.S., Reiniger C. : New Mexico solar greenhouse study.
Passive Solar Journal v 1 n 1 Jan 1982 21-28
 28. Vardiashvili A.B., Kim V.D. : Experimental investigation of the heat storage characteristics of an underground heat storage trench with forced air circulation.
Applied Solar Energy v 17 n 5 1981 99-101
 29. Khairitdinov B., Vardiashvili A. : Evaluating the thermal regime of a solar greenhouse.

- Applied Solar Energy v 17 n 5 1981 76-78
30. Silverstein S.D. : All season thermal control greenhouse glasses with selective transmission of photosynthesis active radiation.
Solar Energy Materials v 4 n 1 Dec 1980 47-65
 31. Umarov G.Ya., Khairitdinov B., Vardiashvili A.B., Avezov R., Gafurov A., Babayants S.A. : Results of tests of a greenhouse with solar energy storage combined with a fuel boiler plant.
Applied Solar Energy v 17 n 4 1981 68-72
 32. Al Kasabi T.O., Abdel-Khalik S.I., Dix T.E., Hagenson R., Hussein A.A., McLagan G.P., Laporta C., Matthews J. : Design of commercial solar-powered greenhouse.
Desalination v 39 n 1-3 Dec 1981 Proc of the Int Cong on Desalin and Water Reuse, Manama, Bahrain, Nov 29-Dec 3, 1981 53-62
 33. Welchman F.L. : Channelled plastic for greenhouse and skylight use.
Solar Energy v 27 n 6 1981 571-575
 34. Spillmann C.K., Greig J.K., Johnson G.A., Hartford J.R., Koch B.A., Hines R.H. : Solar energy utilization in a greenhouse/animal shelter combination.
ASAE Publ 3. 81, Agric Energy, Sel Pap and Abstr from the ASAE Natl Energy Symp, v 2, Kansas City, Mo USA, Sep 29-Oct 1, 1980. Publ by ASAE, St. Joseph, Mich, USA, 1981, 573-577
 35. Newman J.O., Goodbey L.C., Davis M.A. : Solar energy and waste heat utilization with greenhouse-residence combinations.
ibid em , 568-572
 36. van Bavel C.H.M., Sadler E.J., Heathman G.C. : Infrared filters as greenhouse covers : preliminary test of a model for evaluating their potential.
ibid em , 552-557
 37. Sherry W.J., White J.W., Schmidt F.W., Sanders G.A. : Energy conservation and solar energy utilization for greenhouses.
ibid em , 545-551
 38. Cipolletti J.P., Mears D.R., Roberts W.J., Kendall P.W. : Kube Pak commercial greenhouse solar demonstration project.
ibid em , 540-544

39. Mears D.R., Roberts W.J., Simpkins J.C., Janes H.W. : Low temperature solar heating of greenhouses.
ibid em ,536-539
40. Fynn R.P., Short T.H., Shah S.A. : Practical operation and maintenance of a solar pond for greenhouse heating.
ibid em ,531-535
41. Willits D.H., Chandra P., Miller C.H. : Solar energy collection / storage system for greenhouses : observed and simulated performance.
ibid em ,524-530
42. Dale A.C., Puri V.M., Barrett J.R., Hammer P.A. : Analysis and summary of a solar air collector-groundwater heat storage - greenhouse heating system.
ibid em ,513-523
43. Albright L.D., Langhans R.W., White G.B., Danohoe A.J. : Enhancing passive solar heating and commercial greenhouses.
ibid em ,509-512
44. Shah S.A., Short T.H., Fynn R.P. : Modeling of a salt gradient solar pond - greenhouse heating system.
ibid em ,126-130
45. Gregoire R.G. : Solar heated greenhouse.
Energy Technol Proc Energy Technol Conf 7th, v 2, Expanding Supplies and Conserv, Washington DC, USA, Mar 24-26 1980.
Publ by Gov Inst Inc, Washington DC, USA, 1980, 1174-1180
46. Vardiashvili A.B., Muradov M., Kim V.D. : Combination solar hothouse and silkworm breeding house.
Applied Solar Energy v 16 n 6 1980 70-73
47. Vardiashvili A.B., Kim V.D. : Hydraulic and thermal design of subsoil storage system for solar hothouses.
Applied Solar Energy v 16 n 6 1980 44-49
48. Costion J.M. : Arizona solar action team.
Proc Annu Meet Am Sect Int Sol Energy Soc AS/ISES 1980, 51st Jubilee 25 Years of the Sun at Work, v 3.2, Phoenix, Ariz, USA, Jun 2-6 1980. Publ by Am Sect of Int Sol Energy Soc, Inc, Newark, Del, USA, 1980, 1326-1330

49. Cook J. : Earth-wrapped solar greenhouse house - passive vs active.
ibid em, 771-775
50. Mears D.R. : Residential application of the Rutgers System for solar heating of greenhouses.
ibid em, v 3.1 247-250
51. Shah S.A., Short T.H., Fynn R.P. : Solar pond-assisted heat pump heating system for commercial greenhouses.
ibid em, 67-71
52. Mears D.R., Kendall P.W., Roberts W.J., Cipolletti J.P., Simpkins J.C., Janes H.W. : Rutgers system for solar heating of commercial greenhouses.
ibid em, 59-63
53. Albright L.D. : Passive solar heating system for commercial greenhouses.
ibid em, 54-58
54. Kim V.D., Vardiashvili A.B., Kim M.D., Muradov M. : Multi-unit solar hot house on sloping ground with subsoil heat storage.
Applied Solar Energy v 16 n 5 1980 50-54
55. Shah S.A., Short T.H., Fynn R.P. : Solar pond-assisted heat pump for greenhouses.
Solar energy v 26 n 6 1981 491-496
56. Kim V.D., Vardiashvili A.B. : Experimental study of the heat transfer process in the accumulating channels of an inclined solar hothouse.
Applied Solar Energy v 16 n 4 1980 85-89
57. Rybakova L.E., Gurbanov N.G. : Radiation balance of grouped solar hothouses.
Applied Solar Energy v 16 n 4 1980 54-59
58. Kim V.D., Vardiashvili A.B., Temirkhanov A. : Investigation of heat-exchange and hydrodynamic characteristics of a subsurface heat accumulator in an inclined solar greenhouse.
Applied Solar Energy v 16 n 2 1980 51-53
59. Stroi A.F. : Influence of enclosing structures on effectiveness of solar energy utilization in hothouses.

Applied Solar Energy v 16 n 1 1980 48-53

60. Maes R.,McKenney H.,Riseng C. : Design,experimental results and socio-economic impact of a northern climate commercial greenhouse.
Sun 2,Proc of the Int Sol Energy Soc, Silver Jubilee Congr, Atlanta, Ga, May 1979 v2. Publ by Pergamon Press, Elmsford, NY and Oxford, Engl, 1979 1708-1712
61. McGowan Th.F. : Commercial growers passive solar greenhouse at the Hidden Springs Nursery, Cookeville, Tennessee.
Ibid em, 1704-1707
62. Mannan K.H.,Cheema L.S. : Year-round studies on natural cooling and heating of greenhouses in northern India.
ibid em, 1699-1703
63. Zornig H.F.,Goodbey L.C. : Construction and performance of greenhouse-residence prototypes SGR-2 and SGR-4.
ibid.em, 1694-1698
64. Short T.H.,Badger Ph.C.,Roller W.L. : Development and demonstration of a solar pond for heating greenhouses.
ibid em, 1021-1025
65. Kimball B.A. : Energy storage for greenhouses in an arid climate.
Pap ASAE presented at Summer Meet, San Antonio, Tex ,Jun 15-18 1980. Publ by ASAE, St. Joseph, Mich, 1980
Pap 80-4029,18p
66. Mahoney G.W.A.,Paine M.D.,Whitecomb C.E. : Performance of an insulated solar greenhouse.
ibid em, Pap 80-4028,20p
67. Click L.S.,Pile R.S. : Performance of a greenhouse with an integral flat plate solar collector.
ibid em, Pap 80-4026,12p
68. Chandra P.,Willits D.H. : Analysis to predict thermal behavior of a greenhouse collection/storage system.
ibid em, Pap 80-4025,21p
69. Stickney B.,Cicero A. : Thermal performance of an attached solar greenhouse.
Proc of the Natl Passive Sol Conf, 4th, Kansas City, Mo, Oct 3-5 1979 Publ by Int Sol Energy Soc, Inc, Am Sect, Univ of

- Del, Newark, 1979 p 715-718
70. Lawson J., Skiles A. : Solar greenhouses in Arkansas : an aggressive initiative.
ibidem, p 346-350
 71. Nations Ch.H. : Passive solar greenhouse program in Wyoming.
ibid em, p 65-68
 72. Staton B.G. : Commercial greenhouse solar system performance.
Proc-Annun Conf on Sol Energy for Heat of Greenhouses and Greenhouse-Resid Comb, 4th, Piscataway, NJ, Apr 1-4 1979
Sponsored by DOE (Conf-7904119), Washington, DC, 1979
Available from Rutgers Univ, Cook Coll, Dep of Biol and Agric Eng, New Brunswick, NJ, p 167-173
 73. Droll P.W., Tilford C.L. : Solar membrane greenhouse : winter performance.
ibid em, p 152-160
 74. Wells J.M., Baggett H.V. : Construction of two solar energy heating systems for existing glass greenhouses.
ibid em, p 137-141
 75. van Bavel C.H.M., Sadler E.J. : Experimental tests of a fluid-roof greenhouse concept.
ibid em, p 128-136
 76. Albright L.D., Seginer I., Langhans R.W., Donohoe A. : Q-mats as passive solar collector.
ibid em, p 61-72
 77. Brown E., Straub D., Baylon D., Worthman S. : Operating performance of a solar aquaculture greenhouse.
ibid em, p 50-60
 78. Zornig H.F. : ERDA-USDA projects on solar heating and cooling of greenhouses and rural residences.
ibid em, p 1-8
 79. Mears D.R. (Ed.) : Proceedings--Annual conference on solar energy for heating of greenhouses and greenhouse-residence combinations, 4th, 1979
ibid em, 214p
 80. Weesling F.C. : Greenhouse unit #1 as a solar collector.
Technol Energy Conserv proc of the Natl Conf; 3rd, Tucson,

- Ariz, Jan 23-25 1979, Publ by Transfer Inc, Silver Spring, Md, 1979 p 300-304
81. Mackie B. * Solar greenhouses in the northwest.
ibid em, p 294-297
 82. Vardiyashvili A.B., Khairitdinov B. : Heat exchange in a solar greenhouse with a soil heating system.
Applied Solar Energy v 15 n 3 1979 66-70
 83. Hundemann A.S. : Greenhouse design, construction and operation (citations from the Engineering Index Data Base)
NTISearch NTIS/PB-80/804222/EES, Search period covered 1970- Jan 1980. Publ by NTIS, Springfield, Va, Feb 1980.
Available from NTIS 196p
 84. Brown E.C. : Custom-built temperature and solar data collection and transmission system based on the "Motorolla MC6800 Evaluation KIT II".
Proc of the Annu Meet of the Am Sect of the Int Sol Energy Soc, Inc Sol Diversification, Denver, Colo, Aug 28-31 1978
Publ by Am Sect of Int Sol Energy Soc, Inc, Univ of Del, Newark, 1978 v 2.1, p 681-690
 85. Maes R.E. : Large scale northern climate solar garden.
ibid em, p 10-16
 86. Steel G.B. : Solar Aquafarms, Inc. greenhouse laboratory.
Proc of the Natl Passive Sol Conf, 3rd, San Jose, Calif, Jan 11-13 1979 Publ by Int sol Energy soc, Inc, Am Sect, Univ of Del, Newark, 1979. Available from UNIPUB, New York ,NY
p 796-804
 87. Maes R.E., McCoy J.L., Kauth R.J. : Applications of the pivoted-reflector-insulator within an optical cover.
ibid em, p 691-698
 88. McGovan Th.F. : Commercial growers greenhouse at the Hidden Springs Nursery.
ibid em, p 688-690
 89. Welch J.H., Olson K.R., MacKinnon D.R. : Thermal performance of a totally passive solar greenhouse in Flagstaff, Arizona.
ibid em, p 674-677
 90. MacKinnon D.J. : Analysis of two years of temperature records

- for a totally passive solar greenhouse in Flagstaff, Arizona.
 ibid em, p 669-673
91. Straub D., Harrison Ph. : Solar greenhouse in western Washington : theory and practice.
 ibid em, p 577-581
92. MacKinnon D.J. : Designing a solar greenhouse to survive extreme winter conditions.
 ibid em, p 572-576
93. Speed R.S. : Thermal balance and transfer in solar greenhouses. Five years of design evolution.
 ibid em, p 563-566
94. Roberts W.J., Simkins J.C., Janes H.W., Mears D.R. : Performance of the Rutgers solar heated greenhouse vegetable facility. Pap ASAE for Presentation at Jt ASAE and CSAE (Can Soc Agric Eng) Summer Meet, Univ of Manit, Winnipeg, Jun 24-27 1979. Publ by ASAE, St. Joseph, Mich, 1979 Pap 79-4032, 18p
95. Aldrich R.A., White J.W. : Energy conservation systems for greenhouses.
 ibid em, Pap 79-4025, 18p
96. Bundrett E., Turkewitsch A. : Energy balances for solar storage greenhouses.
 ibid em, Pap 79-4024, 15p
97. Bairamov R., Bilishov E., Mezilov A., Rybakova L.E. : Analysis of the temperature conditions of a solar greenhouse with a soil heat accumulator.
 Applied Solar Energy v 15 n 2 1979 p 37-40
98. Hundemann A.S. (Ed.) : Greenhouse design, construction and operation (citations from the Engineering Index Data Base). NTISearch NTIS/PS-79/0028/5EES, Search period covered 1970-Dec 1978. Publ by NTIS, Springfield, Va, Feb 1979. Available from NTIS 156p
99. Goldsberry K.L. : Insolation available in commercial greenhouses.
 Conf on Sol Energy for Heat of Greenhouses and Greenhouse-Residence Comb, 3rd Annu, Proc, Fort Collins, Colo, Apr 2-5 1978 Sponsored by DOE (Conf-7804110), Washington, DC,

Dec 1978. Available from NTIS, Springfield, Va p 99-100

100. Straub D., Coppinger E., Baylon D., Reichmuth H. : Modeling the performance of a passively-heated parabolic aquaculture / greenhouse.
 ibid em, p 93-97
101. White J.W., Aldrich R., Rotz A., Tecza J., Milburn F., Mueller C.A. : Heating commercial greenhouses with solar energy.
 ibid em, p 83-92
102. Walker J.N., Ewen L.S., Buxton J.W. : Reducing energy losses from greenhouses to enhance solar energy utilization.
 ibid em, p 75-81
103. van Bavel C.H.M., Sadler E.J. : Analysis of the fluid-roof solar greenhouse.
 ibid em, p 67-74
104. Albright L.D., Reines R.G., Anderson S.E., Chandra P., Price D.R., Langhans R.W., Cerilli R.V. : Experimental results of solar heating a Brace Institute style greenhouse.
 ibid em, p 61-65
105. Simpkins J., Mears D.R., Roberts W.J., Kendall P.W., Manning Th.O., Tecza J., Garrison S.A. : Progress in solar heating of plastic film greenhouses.
 ibid em, p 47-53
106. Dale A.C., Turner L.W., Okos M.R., Eckhoff S.R., Hammer P.A. : Solar energy collection, storage & utilization system for heating greenhouses.
 ibid em, p 37-45
107. Smith C.C., Farrer R.G., Hanan J.J. : Solar space and soil heating in a combination greenhouse-residence structure.
 ibid em, p 29-35
108. Davis M., Ezell D., Goodbey L.C., Zornig H.F. : Construction and performance of a solar greenhouse-residence.
 ibid em, p 17-27
109. Smith Ch.(Ed) : Conference on solar energy for heating of greenhouses and greenhouse-residence combinations, 3rd annual, proceedings, 1978.
 ibid em, 130p

110. Tran Van-Vi : Technical and economical aspects of a solar still couples with a greenhouse in arid lands of developing countries.
Sun Mankind's Future Source of Energy Proc of the Int Sol Energy Soc Congr, New Delhi, India, Jan 16-21 1978 . Publ by Pergamon Press, New York, NY and Oxford , Engl. , 1978 v 3 p 2031-2035.
111. Rotz C.A., Aldrich R.A. : Thermal insulation and solar heat for commercial greenhouses across the United States.
Pap ASAE for Winter Meet, Chicago, Ill, Dec 18-20 1978. Publ by ASAE, St. Joseph, Mich, 1978 Pap 78-4515, 15p
112. Mears D.R., Roberts W.J., Kendall P.W. : Development of a greenhouse solar heating demonstration.
ibid. em, Pap 78-4512, 10p
113. Roberts W.J., Mears D.R. : Control system for a solar heated greenhouse.
ibid em, Pap 78-5019, 11p
114. Hundemann A.S. (Ed.) : Greenhouse design, construction and operation (citations from the Engineering Index Data Base).
NTISearch NTIS-PS-78/0006/3EES, Search Period Covered 1970-Dec 1977. Publ by NTIS, Springfield, Va, Jan 1978.
Available from Eng Index, New York, NY, or NTIS 123p
115. Glaub J.C., Trezek G.J. : Thermal characteristics of hydroponic growing beds.
American Society of Mechanical Engineers (Paper) n 78-WA/HT-53 for Meet Dec 10-15 1978 7p
116. Milburn W.F., Aldrich R.A., White J.W. : Internal/external solar collectors for greenhouse heating.
Pap ASAE for Annu Meet , NC State Univ, Raleigh, Jun 26-29 1977 . Publ by ASAE, St. Joseph, Mich., 1977 Pap 77-4008, 12p
117. Baird C.D., Waters W.E., Mears D.R. : Greenhouse solar heating system utilization underbench rock storage.
ibid em, Pap 77-4012, 19p
118. Tecza J., Aldrich R. : Collection of excess solar heat within a fiberglass greenhouse.
ibid em, Pap 77-3547, 11p

119. Thomsen M.L. : Thermal performance of a northern solar greenhouse.
Sunworld n 6 Nov 1977 p 22-23
120. Mears D.R., Roberts W.J., Simpkins J.C. : Performance of a practical solar greenhouse heating system.
Proc of the Annu Meet Am Sect of the Int Sol Energy Soc, v 1, Orlando, Fla, Jun 6-19 1977 Publ by am Sect Of the Int Sol Energy Soc, Cape Canaveral, Fla, 1977 Sect 33 Sess K-4, 5p
121. Winegarner R.M. : Greenhouse selective baffle collector.
ibid em, 3 p
122. Davis W.D. : 100% solar heated greenhouse demonstration in one of the coldest cities in the United States.
Sharing the Sun Sol Technol in the Seventies, Jt Conf of the Int Sol Energy Soc, Am Sect and Sol Energy Soc of Can, Inc, Winnipeg, Manit, Aug 15-20 1976 Publ by Int Sol Energy Soc, Am Sect, Cape Canaveral, Fla, 1976 v 10 p 194-198
123. Nash R.T., Williamson J.W. : Thermally self sufficient greenhouses.
ibid em, v 7 p 64-78
124. Willits D.H., Bowers C.G. Jr., Nelson P.V., Huang B.K. : Energy storage system for greenhouses.
Pap ASAE for Winter Meet, Chicago, Ill, Dec 14-17 1976 Pap 76-3507 13p
125. Khairiddinov B., Umarov G.Ya., Vardiashvili A.B., Sadykov T.A. : Solar glasshouse with subsol heat accumulator.
Geliotekhnika n 6 1976 p 78-81
126. Vatasever A. : Greenhouses oriented to the sun.
Heliotech and dev, Proc of the Int Conf, Dhahran, Saudi Arabia, Nov 2-6 1975 Publ by Dev Anal Assoc, Cambridge, Mass, 1976 v 2 p 396-400
127. Elrimhen F., Khalid J. : Solar energy utilization for greenhouse air conditioning.
ibid em, p 381-395
128. Iqbal M. : Solar and wind induced internal and external coefficients from greenhouses.
ibid em, p 374-380

129. Smith J., Aldrich R.A., White J.W., Duda J.L. : Greenhouse as a solar collector.
Pap ASAE for Annu Meet, Univ of Nebr, Lincoln, Jun 27-30 1976
Pap 76-4052, 10p
130. Roberts W.J., Simpkins J.C., Kendall P.W. : Using solar energy to heat polyethylene film greenhouses.
ibid em, Pap 76-4011, 20p
131. Duncan G.A., Loewer O.J. Jr., Colliver D.G. : Simulation of solar energy availability, utilization, and storage in greenhouses.
ibid em, Pap 76-4010, 43p
132. Baird C.D., Lucas R.F., Woltz S.S. : Utilization of solar energy for greenhouse heating.
Pap ASAE for Annu Meet, Chicago, Ill, Dec 15-18 1975
Pap 75-3503, 16 p
133. Kusianovich J. : Solar heated greenhouse with a one year payout.
Int Sol Energy Congr and Expo, Extended Abstr Sol Use Now A Resour for People, univ of Calif, Los Angeles, Jul 28-Aug 1 1975 p 67-68. Publ by ISES (Int Sol Energy Soc), Smithsonian Rad Biol Lab, Rockville, Md, 1975
134. Short T.H., Badger Ph.C., Roller W.L. : OARDC's solar-heated greenhouse.
Agricultural Engineering v 57 n 7 Jul 1976 p 30-32
135. Liu R.C., Carlson G.E. : Concept for use of solar energy in greenhouses.
Energies : Journal of the Solar Energy Society of America v 1 n 5 Dec 1975 p 10-11
136. Bairamov R., Gurbanov N., Rybakova L.E. : Heat storage in solar greenhouses.
Geliotekhnika n 5 1975 p 39-43
137. Lawand T.A., Alward R., Saulnier B., Brunet E. : Development and testing of an environmentally designed greenhouse for colder regions.
Solar Energy v 17 n 5 Nov 1975 p 307-312
138. Perry R.L. : Reducing night heat losses and daytime solar extremes in greenhouses.

ASAE Pap, 68th Annu Meet, Univ of Calif, Davis, Jun 22-25
1975 Pap 75-4021, 26 p. Publ by ASAE, St. Joseph, Mich, 1975

139. Huang B.K., Abrams C.F. Jr., Coates L.L., Bowers C.G. Jr. :
Development of greenhouse bulk drying systems for solar
energy utilization and plantbed mechanization.
ibid em, Pap 75-1018, 20 p.

6.2. INNE PRACE.

- A1. Abhat A. : Low temperature latent heat thermal energy storage.
Solar Energy 30, 313-332 (1983)
- A2. Carlsson B. et al. : An incongruent heat-of-fusion system -
CaCl₂ 6H₂O - made congruent through modification of the
chemical composition of the system.
Solar Energy 23, 343-350 (1979)
- A3. Cox S.W.R. : Microelectronics/ in agriculture and horticulture.
Electronics and computers in farming.
Granada Publ. 1982
- A4. Damagnez J., Chiapale J.P., Denis P., Jourdan P. : Solar
greenhouse : new process for heating, cooling and water
economy under greenhouses.
ISES Conf., Los Angeles, California 1975
- A5. Deminet C. : Glass solar collectors for greenhouses and
integrated greenhouse residential systems.
Proc. Solar Energy Food-Fuel Workshop, Univ of Arizona,
Tucson (M.H. Jensen, ed) 1976
- A6. Geografia Powszechna.
PWN, Warszawa 1962
- A7. Gorczyński W. : Comparison of climate of the United States
and Europe.
New York 1945
- A8. Iqbal M. : Solar heating of greenhouses.
Solar Energy Application in Buildings, ed. A.A.M. Sayigh.
Academic Press, 1979, pp. 371-376
- A9. Jaffrin A., Cadier P. : Latent heat storage applied to

horticulture. La Baronne solar greenhouse.
Solar Energy 28, 313-321 (1982).

- A10. Kalbarczyk J. : Mała szklarnia na działce.
Inst. Wyd. Zw. Zawod., Warszawa 1986
- A11. McCormick : Performance of non-integral solar collector
greenhouses.
Proc. Solar Energy Food-Fuel Workshop, Univ. of Arizona,
Tucson, 1976
- A12. Tabunschikov Yu., Hromiec D.Yu., Matrosov Yu.A. : Teplovaja
zaschita ograzdjuschih konstrukcij zdaniij i sooruzenij.
Moskva, Strojizdat 1986
- A13. Potter D.S. : Salt-gradient Solar Ponds.
California Engineer Oct 1982, Vol 62, No1, pp.12-14
- A14. Solar Energy Engineering. Ed A.A.M.Sayigh
Academic Press 1977

SPIS TREŚCI

	strona
Streszczenie	
1. WSTĘP	4
2. BILANS ENERGETYCZNY CIEPLARNI SŁONECZNEJ	5
2.1. Udział energii słonecznej w bilansie	5
2.2. Klimat a budowa cieplarni	7
3. PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM ENERGII SŁONECZNEJ	9
3.1. Pozyskiwanie energii słonecznej	9
3.2. Zachowanie ciepła	13
3.3. Przechowywanie ciepła	20
4. STEROWANIE PRZEPŁYWEM CIEPŁA I MASY W CIEPLARNIACH	37
4.1. Schemat przepływu ciepła i masy	37
4.2. Elementy systemu sterowania	39
4.3. Kryteria sterowania pracą urządzeń	42
5. UWAGI KOŃCOWE	56
6. BIBLIOGRAFIA	58
6.1. Wędiug bazy danych Compendex	58
6.2. Inne prace	72