

ZDZISŁAW M. JARZĘBSKI

Zakład Fizyki Ciała Stałego Polskiej Akademii Nauk w Zabrze

RACJONALNE OGRZEWANIE ENERGIA SŁONECZNA SZKLARNI I TUNELI Z TWORZYW SZTUCZNYCH

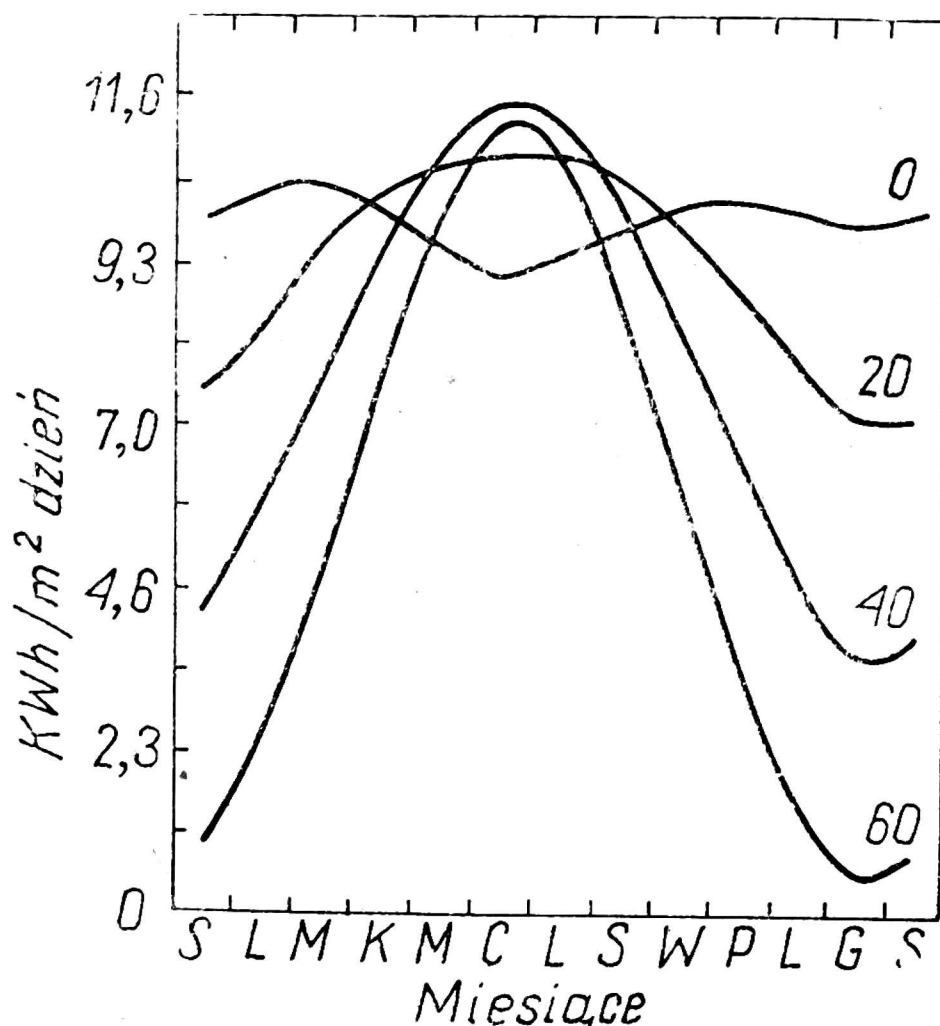
W ostatnich dwudziestu latach nastąpił w krajach rozwiniętych ogromny postęp w technologii i eksploatacji szklarni i tuneli z tworzyw sztucznych. Takie nowe ulepszenia w produkcji warzyw i roślin ozdobnych jak zwiększanie wilgotności, ilości dwutlenku węgla, skracanie nocy dzięki zastosowaniu sztucznego oświetlenia, a także wietrzenie i inne są już w powszechnym użyciu [1]. Prowadzone są też badania zmierzające do bardziej efektywnego wykorzystania w szklarniach energii słonecznej. Wiadomo bowiem, że temperatura powietrza w tych obiektach w słoneczne dni często przewyższa temperaturę optymalną dla uprawy roślin, a nocą lub w dni pochmurne, na wiosnę i jesienią, jest ona za niska. Tradycyjnie chłodzi się szklarnie wietrząc je w dni słoneczne wskutek czego znaczna część ciepła jest tracona. W nocy natomiast ogrzewa się je używając na to duże ilości drogich i coraz trudniej dostępnych paliw konwencjonalnych.

W związku ze światowym kryzysem energetycznym, który rozpoczął się w roku 1973 i trwa nadal, obserwuje się intensywny rozwój wszechstronnych badań zmierzających do pełniejszego wykorzystania energii słonecznej w wielu dziedzinach gospodarki, także w rolnictwie [2]. Między innymi w celu zapobieżenia nieracjonalnemu wykorzystaniu energii słonecznej w szklarniach i tunelach z tworzyw sztucznych opracowano w ostatnich latach wiele metod kolekcji i magazynowania energii cieplnej, które mogą służyć do ogrzewania tych obiektów nocą. Proponuje się także pewne zmiany ich kształtu, zwłaszcza dachów, aby zmniejszyć straty ciepła. Celem tego artykułu jest zapoznanie czytelnika z aktualnym stanem badań w tej dziedzinie oraz zachęcenie użytkowników szklarni i tuneli z tworzyw sztucznych do oszczędnego i tańszego gospodarowania energią.

Bilans cieplny w szklarniach i tunelach z tworzyw sztucznych

W klimacie umiarkowanym nie tylko latem ale również wiosną i jesienią głównym źródłem ciepła w szklarniach i tunelach z tworzyw sztu-

cznych jest promieniowanie słoneczne. Jednakże w miesiącach wiosennych i jesiennych, a zwłaszcza zimowych, nasłonecznienie szybko maleje ze wzrostem szerokości geograficznej powyżej 40° jak to widać na rysunku 1, na którym pokazano wpływ ruchu obrotowego Ziemi wokół własnej osi oraz ruchu Ziemi wokół Słońca na nasłonecznienie poziomej



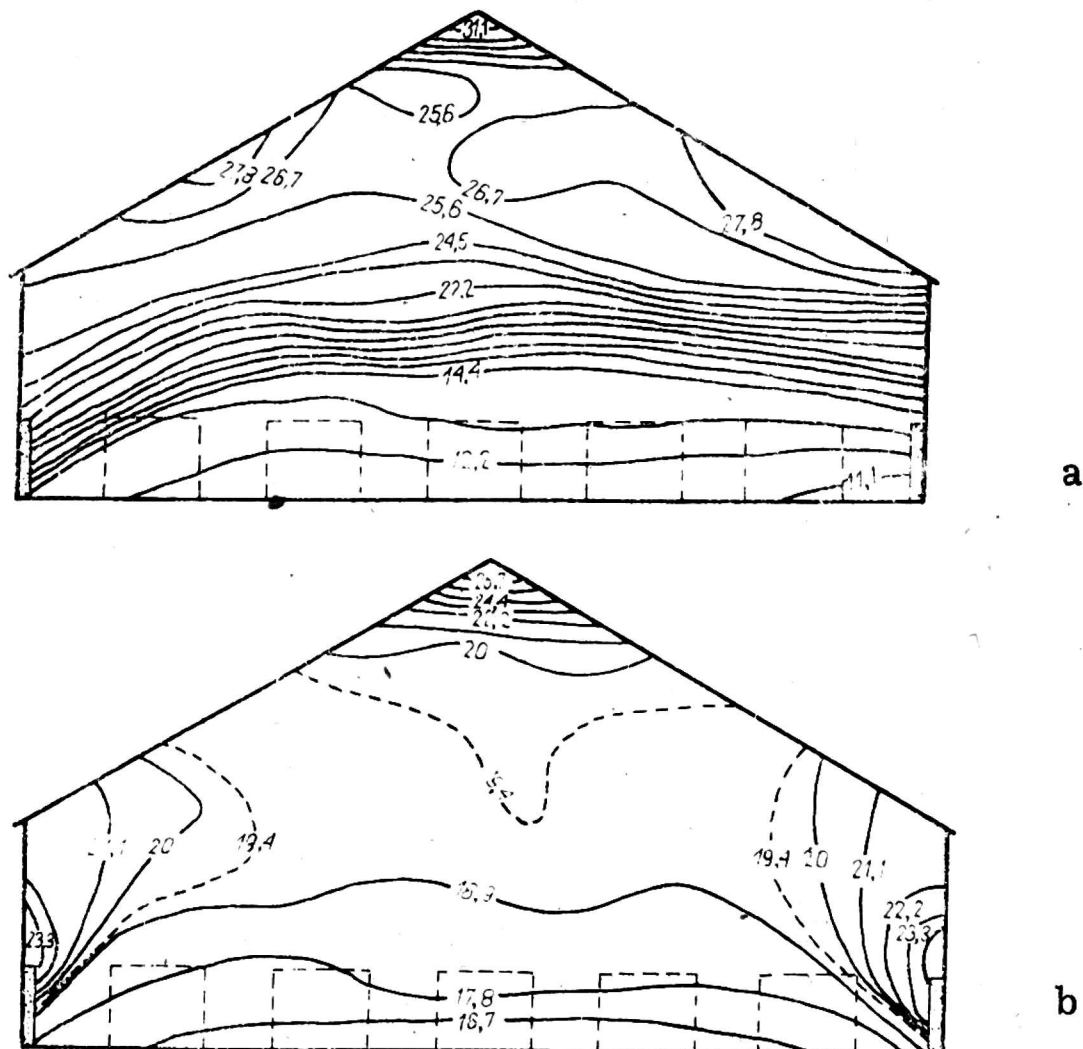
Rys. 1. Przeciętne nasłonecznienie poziomej powierzchni na poziomie morza dla czterech różnych szerokości geograficznych w funkcji czasu w ciągu roku (dla półkuli północnej; uwzględniono tylko ruch obrotowy Ziemi i jej obieg dookoła Słońca) [3].

powierzchni na poziomie morza. Nasłonecznienie to jest dodatkowo modyfikowane przez lokalne warunki klimatyczne (zachmurzenie i wysokość n.p.m.). Dlatego też w porze zimowej, a także wczesną wiosną i późną jesienią konieczne jest stosowanie dodatkowego ogrzewania za pomocą zainstalowanych grzejników, w których są spalane paliwa konwencjonalne (najczęściej węgiel i gaz).

Dużą rolę w słonecznym ogrzewaniu szklarni odgrywa osłona. Powinna ona mieć możliwie największą transmisję (bliską 100%) i nie może się elektryzować, aby nie przyciągała drobin kurzu. W przypadku tworzyw sztucznych najlepiej nadają się do tego celu folie akrylowe i z polichloroku winylu [1].

Pewna ilość ciepła związana z procesami fizjologicznymi zachodzącymi w roślinach, jest wydzielana przy ich oddychaniu. Ponadto ciepło może być dostarczane przez wyposażenie szklarni (np. oświetlenie).

W szklarniach działa wiele mechanizmów powodujących straty ciepła. Z rysunku 2 widać, że powietrze o najwyższej temperaturze gromadzi się w górnej części szklarni, a w przypadku ogrzewania węzownicami paro-

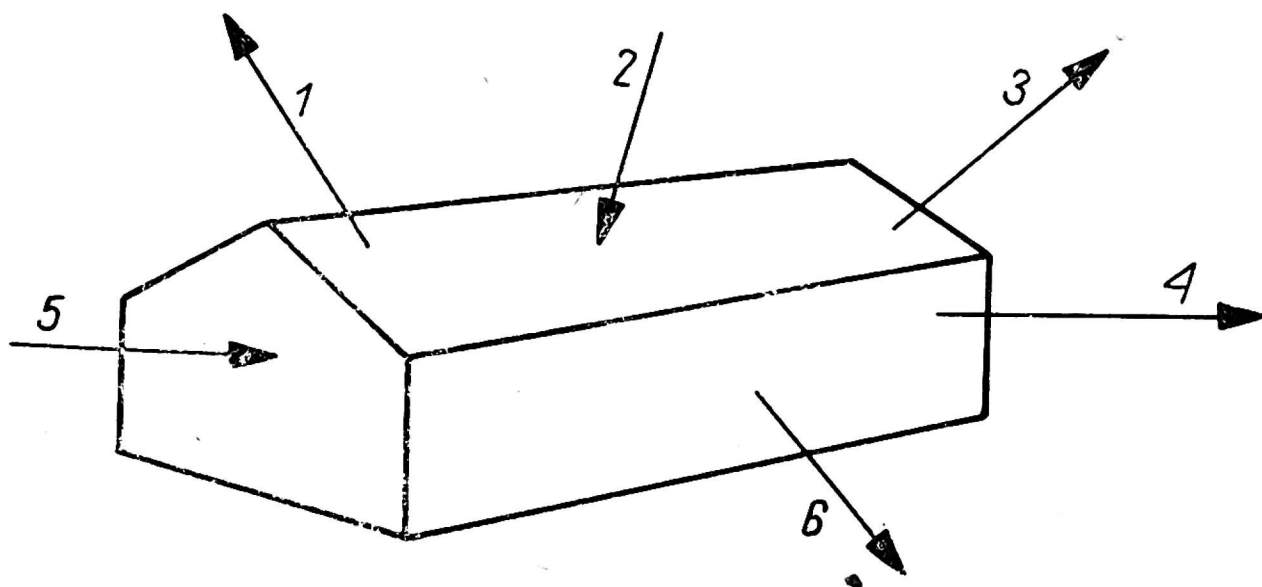


Rys. 2. Pionowy rozkład izoterm (°C) w szklarni:

- a) ogrzewanej grzejnikiem scalonym [4],
- b) ogrzewanej za pomocą węzownic parowych umieszczonych wzdłuż bocznych ścian [5].

wymi umieszczonymi wokół bocznych ścian, także w ich sąsiedztwie (rys. 2 b). W tych częściach szklarni i tuneli największe są straty ciepła spowodowane jego przewodzeniem przez osłonę. W przypadku folii polietylenowej straty te w nocy mogą wynosić do 39% wszystkich strat, jeżeli na osłonie nie kondensuje się para wodna. Gdy występuje kondensacja pary wodnej, zmniejszają się one około 10—15% [1]. Przenikanie zimnego powietrza przez niewłaściwie zainstalowane wentylatory, żaluzje i pęknięcia osłony powiększa straty ciepła, a wiatr je jeszcze mnoży. Dodatkowe straty mogą być również spowodowane przez niewłaściwe spalanie paliw w urządzeniach grzewczych, na przykład ciepło może być traczone

przez komin. Najwięcej jednak ciepła traci się wskutek wadliwej konstrukcji szklarni i przewodzenia przez jej osłonę. Ta ostatnia może też tracić ciepło przez promieniowanie termiczne. Przepływ ciepła między szklarnią i jej otoczeniem ilustruje rysunek 3.



Rys. 3. Ilustracja wymiany ciepła między szklarnią i jej otoczeniem:

- 1 — straty ciepła spowodowane jego przewodnictwem przez osłonę,
- 2 — promieniowanie słoneczne padające na osłonę szklarni,
- 3 — promieniowanie termiczne wysyłane przez osłonę,
- 4 — ciepłe, wilgotne powietrze odpływające ze szklarni,
- 5 — zimne powietrze dopływające do szklarni,
- 6 — straty ciepła do ziemi.

Gdy ilość ciepła dopływającego w określonym czasie do powietrza znajdującego się w szklarni jest większa od ilości ciepła traconego przez nie w tym czasie, temperatura rozważanej objętości powietrza podwyższa się. Równocześnie wraz ze wzrostem różnicy temperatur powietrza wewnątrz szklarni oraz w jej otoczeniu, rosną straty. W stanie ustalonym, gdy ilość ciepła dopływającego do szklarni zrówna się z ilością ciepła traconego, równanie bilansu cieplnego można przedstawić równaniem

$$Q_s + Q_g + Q_o + Q_w = Q_p + Q_t + Q_f + Q_z + Q_i$$

gdzie

- Q_s — ciepło pochodzące z promieniowania słonecznego,
- Q_g — ciepło dostarczane przez grzejniki,
- Q_o — ciepło związane z oddychaniem roślin,
- Q_w — ciepło wydzielane przez wyposażenie szklarni,
- Q_p — ciepło tracone wskutek przewodzenia przez osłonę,
- Q_t — ciepło tracone przez promieniowanie termiczne,
- Q_f — ciepło pobierane w procesie fotosyntezy,
- Q_z — ciepło przewodzone do ziemi,
- Q_i — ciepło tracone przez przepływanie powietrza przez szklarnię.

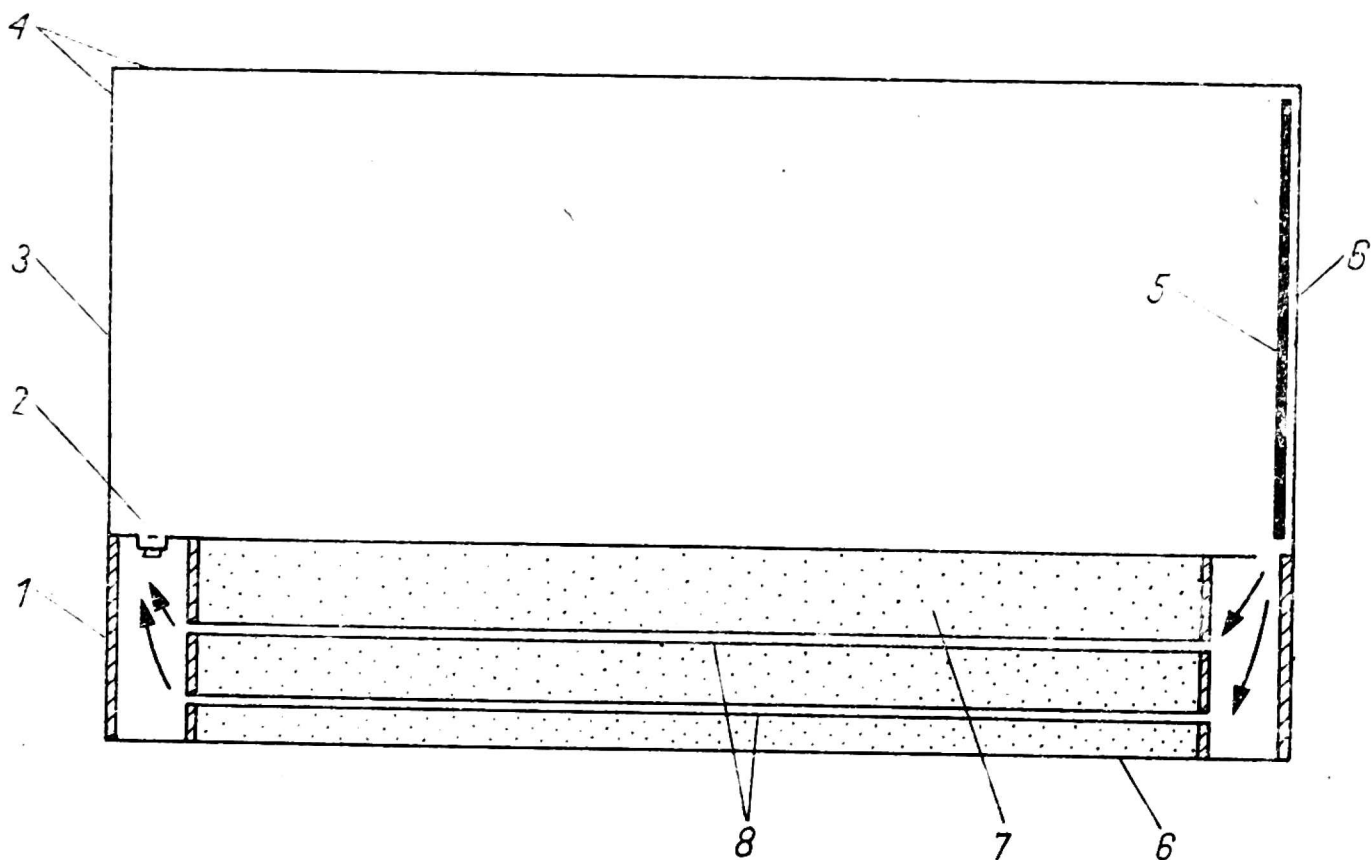
Wszystkie wymienione ciepła są wyrażone w J/s. Bardziej szczegółowy opis tych problemów można znaleźć w cytowanych pracach [6—8].

Bilans cieplny powinien być oczywiście dobrany tak, aby temperatura odpowiadająca stanowi ustalonemu była optymalna dla uprawy określonych roślin. Najbardziej ekonomicznym rozwiązaniem jest zmniejszenie strat ciepła do minimum i maksymalne wykorzystanie energii słonecznej. Tylko wtedy można zminimalizować wartość ciepła otrzymaną z grzejnika a nawet — w niezbyt chłodne noce — zupełnie go wyłączyć. Jest to możliwe wtedy, gdy nadwyżkę ciepła w szklarni, uzyskaną dzięki promieniowaniu słonecznemu w bezchmurne dni, zmagazynuje się w gruncie i wykorzysta do ogrzewania powietrza nocą. Innym sposobem prowadzącym do tego samego celu jest zainstalowanie kolektorów słonecznych, których zadaniem jest zebranie maksymalnej ilości energii cieplnej pochodzącej z promieniowania słonecznego przy minimalnym koszcie. Energię tę magazynuje się następnie w odpowiednim ośrodku stałym lub płynnym i pobiera z niego wtedy, kiedy ona jest potrzebna. Zaproponowano i przebadano wiele technik kolekcji i magazynowania energii słonecznej w szklarniach, na przykład słoneczne kolektory powietrzne i złoża kamienne oraz słoneczne kolektory i zbiorniki wodne.

Magazynowanie ciepła w gruncie

Jak już wspomniano temperatura powietrza w szklarniach w słoneczne dni jest często wyższa od temperatury optymalnej dla uprawy warzyw i roślin ozdobnych. Można więc tę nadwyżkę ciepła zmagazynować w gruncie, aby następnie mógł on nocą ogrzewać powietrze w szklarni [9—12].

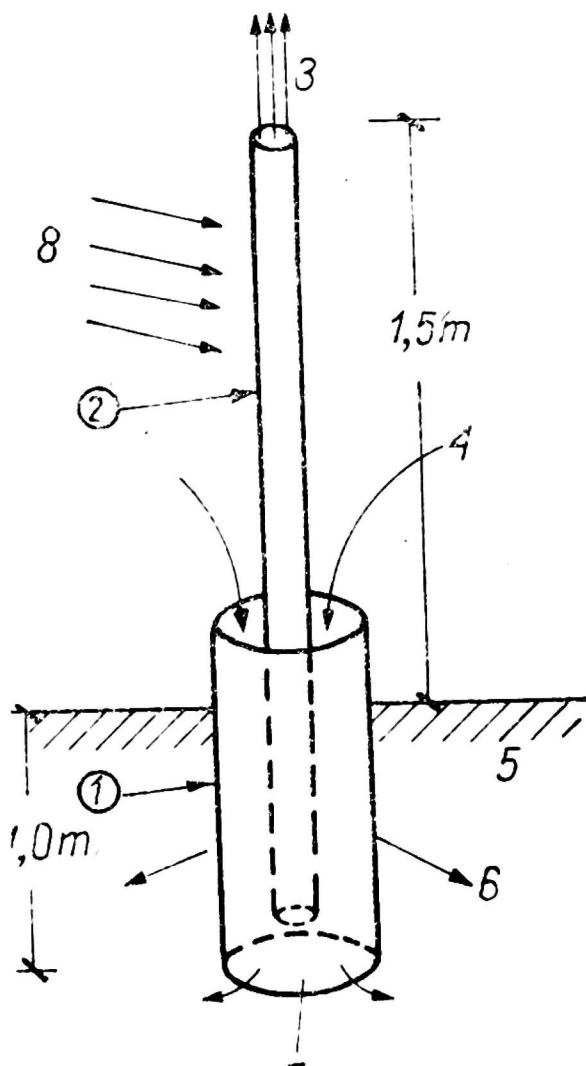
Na rysunku 4 pokazano schemat urządzenia do magazynowania ciepła w gruncie, zaproponowanego przez Japończyków Taga'ę i współpracowników [12]. Mianowicie w celu zmniejszenia strat ciepła przez północną ścianę szklarni umieszczono na niej słoneczny kolektor powietrzny, na który promieniowanie słoneczne pada od strony wnętrza obiektu. Kolektor ten wykonano z czarnej pofalowanej blachy cynkowej, której tylna strona jest izolowana termicznie za pomocą płyty uretanowej. Ogrzane przez kolektor powietrze jest wciągane do betonowych kanałów podziemnych za pomocą wentylatorów. Wskutek ciągłej cyrkulacji powietrza, od kolektora przez podziemne kanały do wnętrza szklarni, ciepło jest oddawane ziemi poprzez bloki betonowe i magazynowane w niej podczas słonecznego dnia. Natomiast w nocy cyrkulujące przez podziemne kanały powietrze pobiera ciepło z gruntu i przenosi je do wnętrza szklarni pod-



Rys. 4. Magazynowanie ciepła w gruncie za pomocą kanałów podziemnych [12]; 1 — blok betonowy, 2 — wentylator, 3 — drzwi, 4 — osłona, 5 — słoneczny kolektor powietrzny, 6 — izolator, 7 — magazyn ciepła, 8 — kanał podziemny.

wyższając jej temperaturę. Przeprowadzone w Japonii badania doświadczalne tego sposobu magazynowania ciepła wykazały, że przeciętny stosunek ilości energii cieplnej odzyskanej w nocy do ilości energii słonecznej dopływającej do szklarni w dzień wynosi 20%.

Inny sposób magazynowania ciepła w gruncie za pomocą prostego urządzenia termosyfonowego pokazanego na rysunku 5, zaproponował Morrison [11]. Pionowa rura, stojąca między roślinami, jest jednym swym końcem umieszczona w otworze o głębokości około 1 m wykonanym w gruncie, a drugim swym końcem wystaje ponad rośliny. Gdy promieniowanie słoneczne zacznie ogrzewać górną część wspomnianej rury, zawarte w niej powietrze unosi się wzwyż. Powoduje to wciąganie ciepłego, wilgotnego powietrza z dolnej części szklarni do otworu w gruncie na zasadzie działania termosyfonu. Podczas przepływu takiego powietrza przez wymieniony otwór w gruncie, ciepło jest oddawane chłodniejszej ziemi: bezpośrednio i dzięki skraplaniu się pary wodnej przy jej zetknięciu z zewnętrzną ścianą otworu. Powstała w ten sposób woda spływa do gruntu, skąd następnie jest pobierana przez rośliny, a z nich w postaci pary dostaje się znów do powietrza w szklarni. W dzień, gdy jego wilgotność jest duża, większa część ciepła magazynowanego w gruncie po-



Rys. 5. Magazynowanie ciepła w gruncie za pomocą urządzenia termosyfonowego [11];

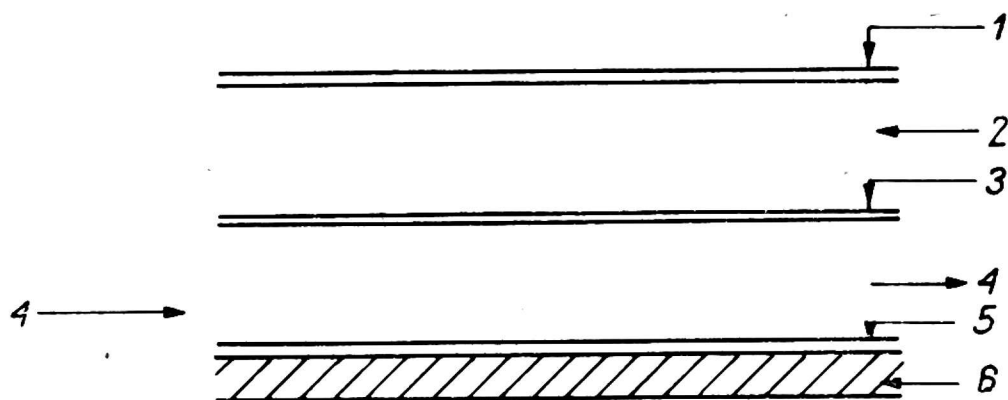
1 — otwór w gruncie o głębokości około 1 m, 2 — rura pionowa, 3 — wypływ powietrza, 4 — dopływ powietrza, 5 — powierzchnia gruntu, 6 — kierunek przepływu ciepła, 7 — skroplona para wodna wracająca do gleby, 8 — promieniowanie słoneczne.

chodzi właśnie ze skraplania się pary wodnej. Aby jednak opisane urządzenie mogło działać na zasadzie termosyfonu, wystająca z roślin rura powinna być dobrze nagrzewana. Wskazane jest więc pokrycie jej materiałem o dużym współczynniku absorpcji promieniowania słonecznego. Można przypuszczać, że jedno takie urządzenie wystarczy na 1 m² powierzchni gruntu.

Przeprowadzone w Sydney (Australia) badania doświadczalne opisanego układu magazynowania ciepła wykazały, że takie termosyfonowe przenoszenie energii cieplnej jest możliwe w praktyce. Głównym czynnikiem ograniczającym działanie tego urządzenia są jednak duże straty ciepła przez ściany szklarni. Urządzenia tego rodzaju mogą być przydatne zwłaszcza w obszarach o klimacie suchym, gdyż woda powstała ze skroplenia pary znajdującej się w powietrzu wraca do gruntu.

Magazynowanie ciepła za pomocą złóż kamiennych

Energię promieniowania słonecznego można przetwarzać na ciepło w różnych typach kolektorów słonecznych, ale w przypadku ogrzewania powietrza w pomieszczeniach, na przykład w szklarniach, najlepiej jest stosować słoneczne kolektory powietrzne [13—15], na przykład płasko-płytowe z nieporowatą płytą absorbującą promieniowanie słoneczne (rys. 6).



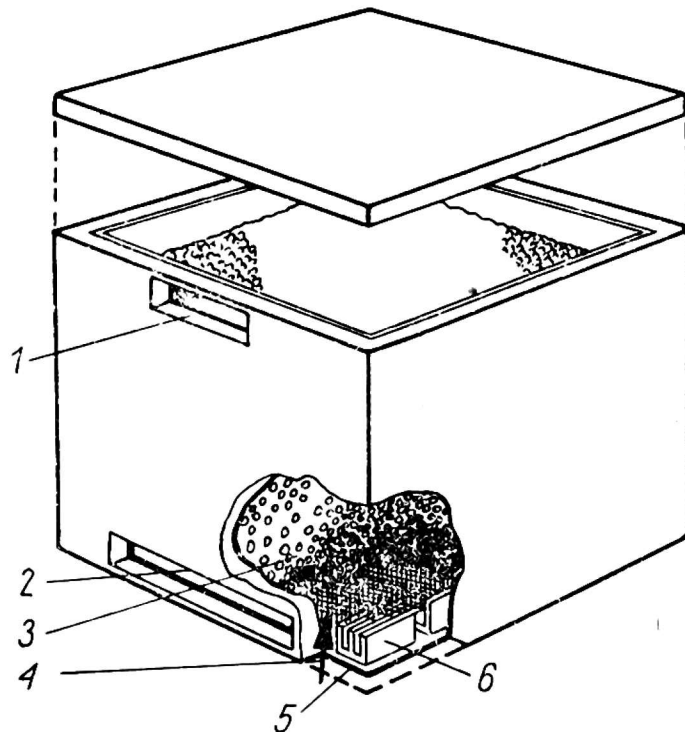
Rys. 6. Schemat płasko-płytowego kolektora powietrznego;

1 — pierwsza płyta szklana, 2 — stojące powietrze, 3 — druga płyta szklana, 4 — przepływające powietrze, 5 — płyta absorpcyjna, 6 — izolacja.

Absorbentem promieniowania słonecznego jest ocynkowana płyta stalowa pokryta czarną pastą. Aby zmniejszyć straty ciepła z tej płyty, związane z promieniowaniem i konwekcją, umieszcza się nad nią jedną lub dwie płyty szklane. Odległość między tymi płytami szklanymi wynosi około 2,5 cm, a między płytą szklaną i płytą absorbującą około 10 cm dla zapewnienia wystarczającej cyrkulacji powietrza [14]. Cały układ jest umieszczony w ocynkowanej żelaznej obudowie. Moc cieplna kolektora rośnie ze zwiększaniem się prędkości przepływu powietrza, początkowo szybko a przy prędkościach większych od około 2 litrów/ m² — nieznacznie.

Moc cieplną takiego kolektora można zwiększyć stosując pokrycia selektywne czyli silnie pochłaniające widzialne promieniowanie słoneczne, a słabo emitujące promieniowanie podczerwone. Jest to jednak celowe tylko wtedy, gdy ich koszt nie jest zbyt duży. Możliwe jest także zwiększenie wydajności kolektora powietrznego przez zastosowanie szorstkich powierzchni absorpcyjnych lub umieszczenie na nich żeber, aby wywołać ruch turbulentny powietrza, a tym samym spowodować konwekcyjne przenoszenie ciepła.

Słoneczne kolektory powietrzne najlepiej działają w połączeniu szeregowym z substancją magazynującą ciepło. Z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia najlepiej nadaje się do tego celu złożo z drobnych kamieni (pebble bed, rock bed), na przykład takie jak na rysunku [16, 17]. To typowe złożo kamienne ma kształt sześcienniej skrzyni wykonanej

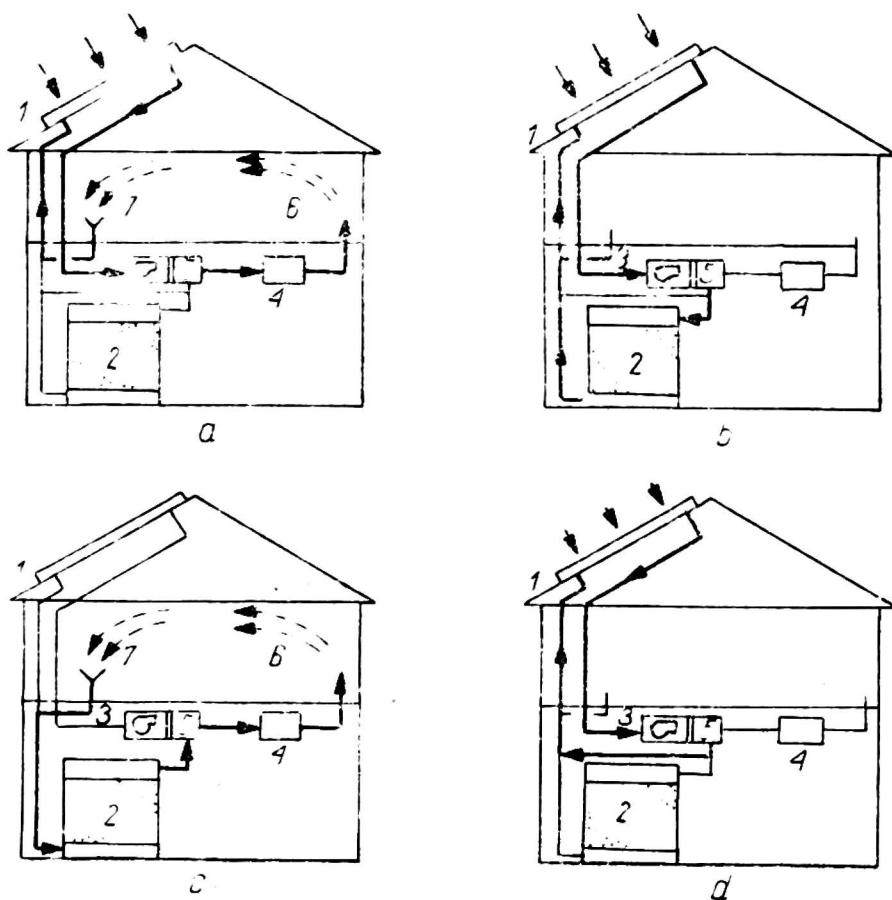


Rys. 7. Złożo kamienne [16];

1 — otwór dla ciepłego powietrza, 2 — otwór dla zimnego powietrza, 3 — kamienie, 4 — siatka druciana, 5 — sztywna izolacja, 6 — bloki betonowe.

z betonu, muru lub z drewna, z otworami u góry i u dołu. Na dnie skrzyni umieszczone są bloki betonowe, na których rozciągnięta jest siatka druciana. Powyżej tej siatki znajdują się drobne kamienie. W przypadku ogrzewania jednorodzinne go domu typowe złożo kamienne ma objętość 3,5 do 9,9 m³ i zawiera od 6 do 17 ton kamieni, natomiast typowa powierzchnia połączonego z nim kolektora powietrznego wynosi 23 do 65 m² [16]. Takie złożo kamienne może zmagazynować całe ciepło jakie daje kolektor powietrzny w bezchmurny dzień.

Na rysunku 8 pokazano cyrkulację powietrza w tym układzie ogrzewania oraz cztery możliwe sposoby jego eksploatacji. Cały układ jest sterowany automatycznie za pomocą termostatów i czujników. Gdy temperatura powietrza w ogrzewanym pomieszczeniu obniży się względem pewnej nastawionej wartości, wówczas sygnał z czujnika umieszczonego w tym pomieszczeniu powoduje automatyczne ustawienie przepustnic tak, aby ciepłe powietrze z kolektorów wchodziło bezpośrednio do pomieszczenia i po ochłodzeniu wracało do kolektorów z pominięciem złoża kamiennego (rys. 8 a). Gdy pomieszczenie nie potrzebuje ogrzewania, wów-



Rys. 8. Model ogrzewania pomieszczenia za pomocą słonecznych kolektorów powietrznych [16];

a) ogrzewanie pomieszczenia bezpośrednio z kolektorów,

b) magazynowanie ciepła,

c) ogrzewanie ze złoża kamiennego,

d) ogrzewanie tylko wody w lecie;

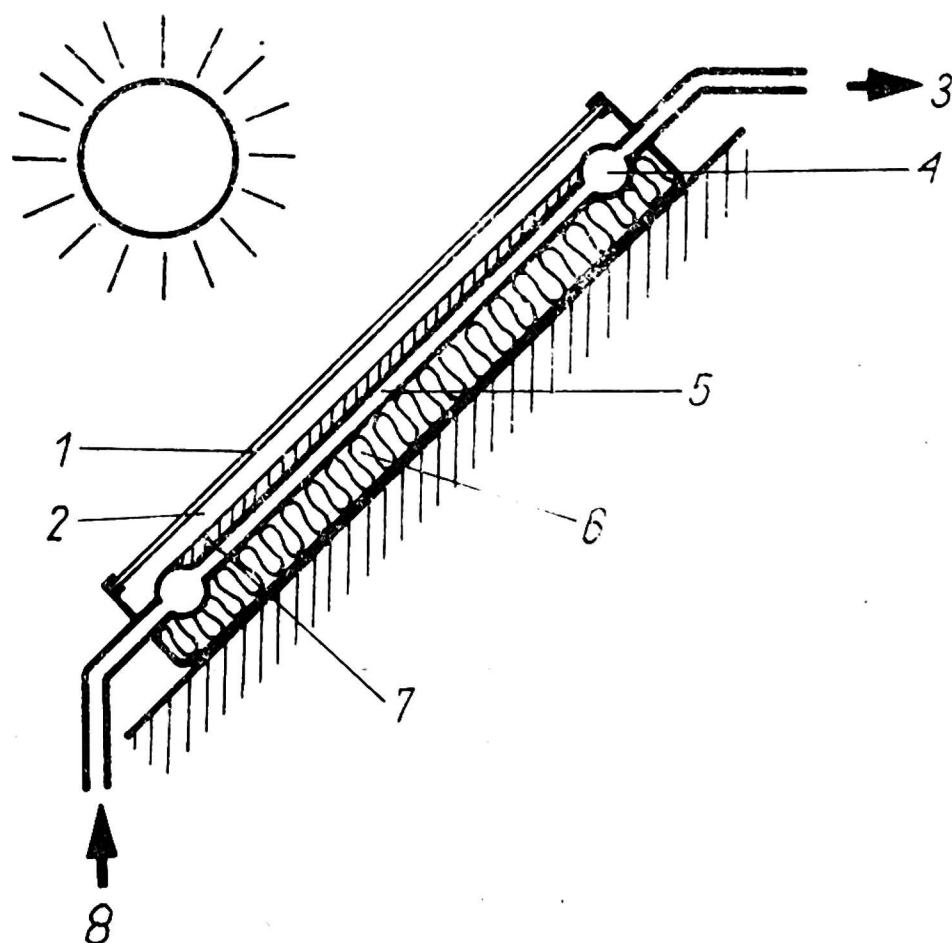
1 — zespół kolektorów, 2 — złożo kamienne, 3 — dmuchawa, 4 — dodatkowy grzejnik, 5 — wodny wymiennik ciepła do ogrzewania wody, 6 — ciepłe powietrze wpływające do pomieszczenia, 7 — chłodne powietrze powracające do kolektorów lub złoża kamiennego.

czas przepustnice automatycznie ustawiają się tak, aby ciepłe powietrze z kolektorów wchodziło do złoża kamiennego i oddawało energię ciepłą kamieniom (rys. 8 b). Ochłodzone w złożu powietrze wraca do kolektorów podobnie jak w przypadku poprzednim. W ten sposób wykorzystuje się zazwyczaj opisywany słoneczny układ grzewczy w ciepłe, bezchmurne dni. Ciepło łatwo przepływa z powietrza do kamieni dzięki dużej ich powierzchni. Gdy termostat różnicowy na kolektorze wykaże, że jego eksploatacja jest bezużyteczna, na przykład wieczorem, a pomieszczenie potrzebuje ogrzewania, wówczas przepustnice są ustawiane automatycznie tak, aby ciepłe powietrze ze złoża kamiennego wpływało do pomieszczenia i po ochłodzeniu wracało do złoża (rys. 8 c). Jeżeli ten sposób ogrzewania nie jest wystarczający samoczynnie włącza się dodatkowy grzej-

nik. W lecie, gdy ani ogrzewanie pomieszczenia, ani też magazynowanie ciepła nie są potrzebne, można gorące powietrze z kolektora wykorzystać do ogrzewania wody w zbiorniku. W tym celu przepustnice ustawia się ręcznie w odpowiednim położeniu (rys. 8 d).

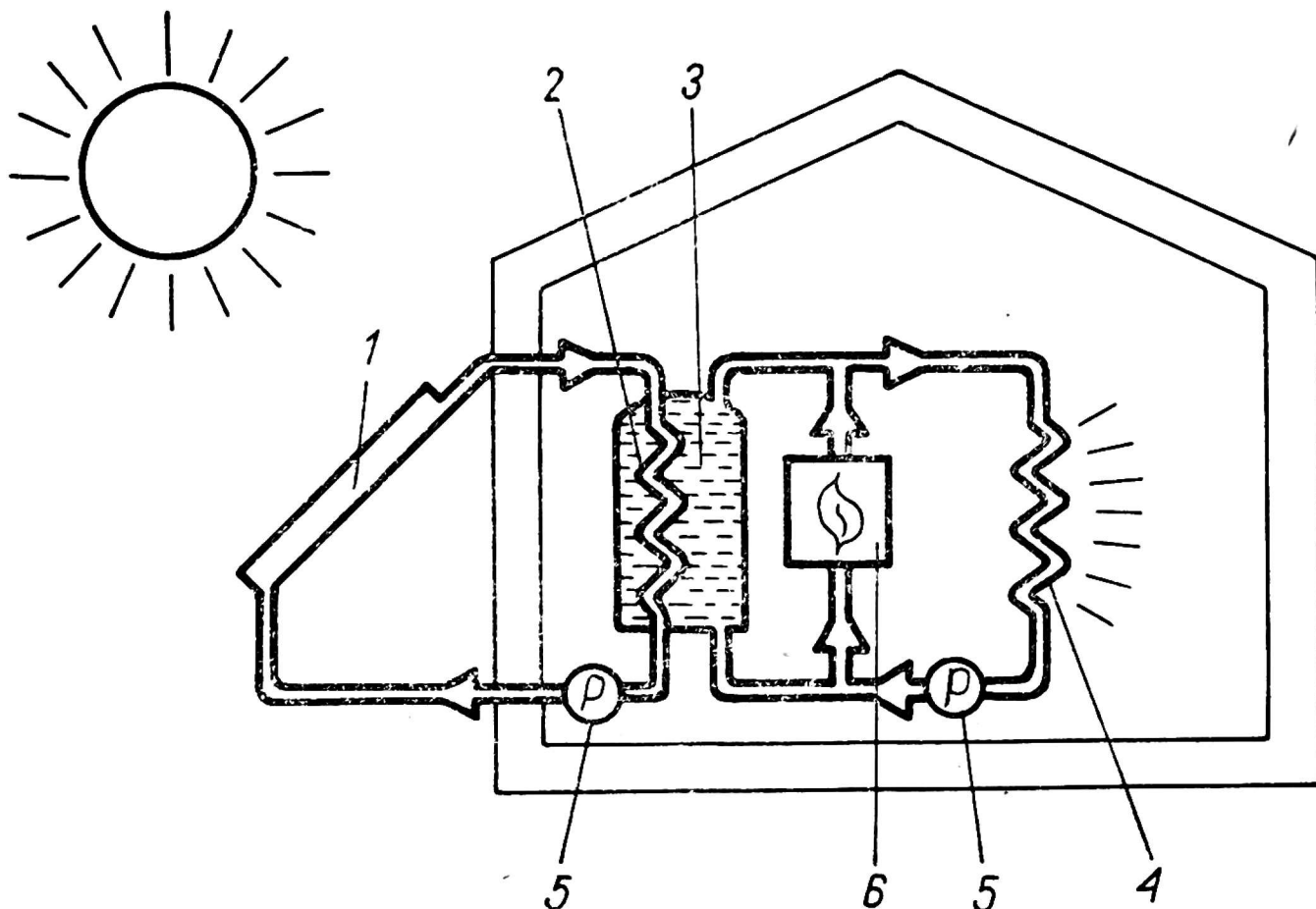
Magazynowanie ciepła w zbiornikach wodnych

W szklarniach stosowane są też inne niż opisany, słoneczne systemy grzewcze, na przykład takie, w których ciepło jest magazynowane w zbiornikach wodnych. W tych przypadkach są stosowane słoneczne kolektory



Rys. 9. Schemat typowego słonecznego kolektora wodnego [18];
 1 — płyta szklana, 2 — przerwa powietrzna, 3 — odpływ wody ciepłej, 4 — rura rozgałęźna, 5 — cyrkulacja wody, 6 — izolacja, 7 — absorbent czarny lub pokrycie selektywne, 8 — dopływ zimnej wody.

wodne (rys. 9) i woda jako nośnik ciepła. Taki system grzewczy składa się z zespołu kolektorów wodnych, zbiornika wodnego magazynującego energię cieplną, pomp oraz emiterów ciepła (rys. 10). Jego wykorzystanie jest w zasadzie podobne do opisanej już eksploatacji słonecznego układu grzewczego, w którym stosowane są kolektory powietrzne i złoże kamienne.



Rys. 10. Schemat słonecznego układu grzewczego przy użyciu zespołu kolektorów wodnych i zbiornika wodnego magazynującego ciepło [18];
1 — kolektor, 2 — wymiennik ciepła, 3 — zbiornik wodny, 4 — emiter ciepła, 5 — pompa, 6 — dodatkowy grzejnik.

Woda ma większe ciepło właściwe niż kamienie, a zatem jej objętość może być odpowiednio mniejsza, ale dochodzą nowe problemy związane m. in. ze stratyfikacją czyli uwarstwieniem ciepła w wodzie [13, 16]. Ciepła woda z kolektorów dopływa bowiem do górnej części zbiornika wodnego, a odpływa z dolnej. W przeciwnym razie najcieplejsza woda płynęłaby z powrotem do kolektora, ponieważ jak wiadomo dzięki konwekcji najcieplejsza woda gromadzi się w jej wierzchniej warstwie. Zatem temperatura wody w zbiorniku szybko maleje wraz z głębokością, gdyż przewodnictwo cieplne wody jest niewielkie. Konieczne jest więc mieszanie wody w zbiorniku celem wyrównania jej temperatury, a w zimie należy jeszcze dodać do niej odpowiedniego, dość drogiego środka obniżającego temperaturę krzepnięcia wody.

Magazynowanie energii cieplnej w materiałach zmieniających fazę

Oprócz kamieni i wody wiele innych materiałów nadaje się również do magazynowania energii cieplnej. W ostatnich latach prowadzi się na świecie intensywne badania nad zastosowaniem do tego celu różnych materiałów zmieniających fazę [19]. Materiały te są interesujące, ponieważ

podczas ich ogrzewania znaczna ilość ciepła jest przez nie pochłaniana przy zmianie jednej fazy na drugą. Ciepło to jest natomiast wyzwalane w procesie odwrotnym podczas chłodzenia. Dzięki wspomnianej właściwości można użyć mniej tych materiałów niż na przykład kamieni lub wody. Mogą być wykorzystane przejścia z jednej fazy stałej w drugą lub z fazy stałej w ciekłą.

Wybrane do magazynowania ciepła materiały zmieniające fazę muszą jednak spełniać następujące wymagania:

— zmiana fazy powinna zachodzić w określonym zakresie średnich temperatur,

— pojemność magazynowania ciepła musi być dostatecznie duża,

— przewodnictwo cieplne powinno być wystarczająco duże,

— muszą cechować się stabilnością cieplną, aby pojemność magazynowania ciepła nie zmniejszała się z czasem,

— nie mogą oddziaływać z materiałem, z którego wykonany jest pojemnik, aby go nie uszkodzić,

— muszą być łatwo dostępne i tanie.

Prowadzone w wielu krajach badania właściwości cieplnych różnych materiałów zmieniających fazę, tak organicznych jak i nieorganicznych, znajdują się jednak jeszcze w początkowym stadium i trudno jest obecnie polecić jakiś taki materiał do magazynowania ciepła w szklarniach.

Wnioski

W dzisiejszych czasach kolekcja i magazynowanie energii słonecznej stają się coraz bardziej ważnym sposobem oszczędzania energii w wielu krajach świata.

W Polsce dotychczas nie stosuje się w szerszym zakresie magazynowania ciepła pochodzącego z niekonwencjonalnych źródeł energii, chociaż od kilku lat prowadzi się badania w tej dziedzinie w niektórych ośrodkach (IBMER, AR w Poznaniu, Instytut Maszyn Przemysłowych PAN w Gdańsku). Brak jest zatem wystarczających danych doświadczalnych z tej dziedziny dla polskich warunków klimatycznych. Wydaje się jednak, że magazynowanie ciepła w gruncie za pomocą kanałów podziemnych, a także w złożach kamiennych i w zbiornikach wodnych mogłoby być z powodzeniem stosowane. Natomiast w przyszłości, po przeprowadzeniu koniecznych badań materiałowych, najlepiej chyba nadałyby się do tego celu wybrane materiały zmieniające fazę w temperaturze zbliżonej do temperatury pokojowej. Ciepło przemiany fazowej jest bowiem wielokrotnie większe od ciepła właściwego, a zatem ilość takiego materiału potrzebna do zmagazynowania określonej ilości ciepła jest znacząco mniejsza od odpowiedniej ilości wody lub kamieni.

LITERATURA

1. Hanan J.J., Holley W.D., Goldsberry K.L.: Greenhouse Management, Springer-Verlag, Berlin—New York 1978.
2. Jarzębski Z.M.: Energia słoneczna. Konwersja fotowoltaiczna, PWN, Warszawa, przyjęta do druku.
3. Albrecht F.: Arch. Met. Geophys. Bioklim. 3, 220—243, 1951.
4. Carpenter W.J., Bark D.L.: Florists Rev. Feb. 9, 21—22, 1967.
5. Carpenter W.J., Bark D.L.: Florists Rev. Feb. 2, 43—45, 1967.
6. Pozin G.N.: Geliotekhnika 7, no. 2, 47—55, 1971.
7. Lawand T.A. i in.: J. Eng. Power ASME, 114—118, 1973.
8. Tiwari G.N., Dhiman N.K.: Energy Convers. Mgmt 25, 217—223, 1985.
9. Shelton J.: Solar Energy 17, 137—143, 1975.
10. Givoni B.: Solar Energy 19, 617—623, 1977.
11. Morrison G.L.: Solar Energy 25, 365—372, 1980.
12. Taga M., Omae Y., Ochi T.: Energy Developments in Japan, 5, 81—89, 1982.
13. Sayigh A.A.M. (red.): Solar Energy Engineering, Academic Press, New York, 1977.
14. Bhargava A.K. i in.: Energy Convers. Mgmt 25, 139—146, 1985.
15. Indrajit, Bansal N.K., Garg H.P.: Energy Convers. Mgmt 25, 135—138, 1985.
16. Kreider J.K., Kreith F.: Solar Energy Handbook, McGraw-Hill Book Company, New York, 1981.
17. Govind, Gopal: Energy Convers. Mgmt 25, 173—174, 1985.
Convers. Mgmt 25, 173—174, 1985.
18. Palz W., Steemers T.C. (red.): Solar Houses in Europe, Pergamon Press, Oxford 1981.
19. Galen van E., Brink van den G.J.: Ambient Energy 7, 31—46, 1986.

Materiały nadesłano do redakcji w lutym 1987 r.