

JERZY PYRKO

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego — Akademia Rolnicza
w Warszawie*

O MOŻLIWOŚCIACH WYKORZYSTANIA ENERGII SŁONECZNEJ W ROLNICTWIE Cz.I*)

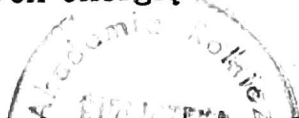
Postępujący kryzys paliwowo-energetyczny i gwałtowny wzrost cen energii ze źródeł konwencjonalnych, spowodował zainteresowanie innymi źródłami energii, uważanymi dotychczas za nieekonomiczne lub mało wydajne.

Jednym z nich może być energia słoneczna, wykorzystywana w urządzeniach cieplnych lub fotoelektrycznych. Urządzenia te, przy szczególnie korzystnych warunkach klimatycznych, mogą zaspokoić nawet do 100% potrzeb energetycznych gospodarstw rolniczych. Współpracując zaś z konwencjonalnymi źródłami energii dają możliwość zaoszczędzenia znacznych ilości paliw i energii elektrycznej. Pozyskanie energii słonecznej, z uwagi na wysoki koszt instalacji, nie jest zbyt tanie, ale w wielu zastosowaniach może być konkurencyjne dla energii ze źródeł konwencjonalnych.

W programach rozwoju energetyki wielu krajów (USA, Francja, RFN, Włochy, Wielka Brytania i in.) przewiduje się, że w roku 2000 wykorzystanie energii słonecznej zaspokoi 8—10% potrzeb energetycznych tych krajów [2]. Liczne publikacje zagraniczne dają już dość dokładny obraz możliwości zastosowań urządzeń słonecznych w różnych gałęziach gospodarki. Szczególnie interesujące dla nas są jednak wyniki badań prowadzonych na obszarach o warunkach klimatycznych zbliżonych do Polski. Potwierdzają one jednoznacznie zasadność wykorzystania energii słonecznej, zwłaszcza w niskotemperaturowych procesach cieplnych (do 373 K).

Jakkolwiek prace badawcze nad niekonwencjonalnym wykorzystaniem energii słonecznej są prowadzone w Polsce w kilku ośrodkach naukowych i przemysłowych, to działalność ta nie jest skoordynowana i ma charakter wycinkowy lub, wobec braku dostatecznych środków, jest zbyt powolna i mało efektywna. Obserwowana jednak tendencja do jak najszybszego wdrożenia do produkcji urządzeń słonecznych, nie zbadanych

*) W części I przedstawiono przegląd możliwości wykorzystania energii słonecznej w rolnictwie w świetle badań zgranicznych. Część II będzie poświęcona analizie warunków słonecznych w Polsce i ocenie możliwości stosowania w polskim rolnictwie systemów wykorzystujących energię słoneczną.



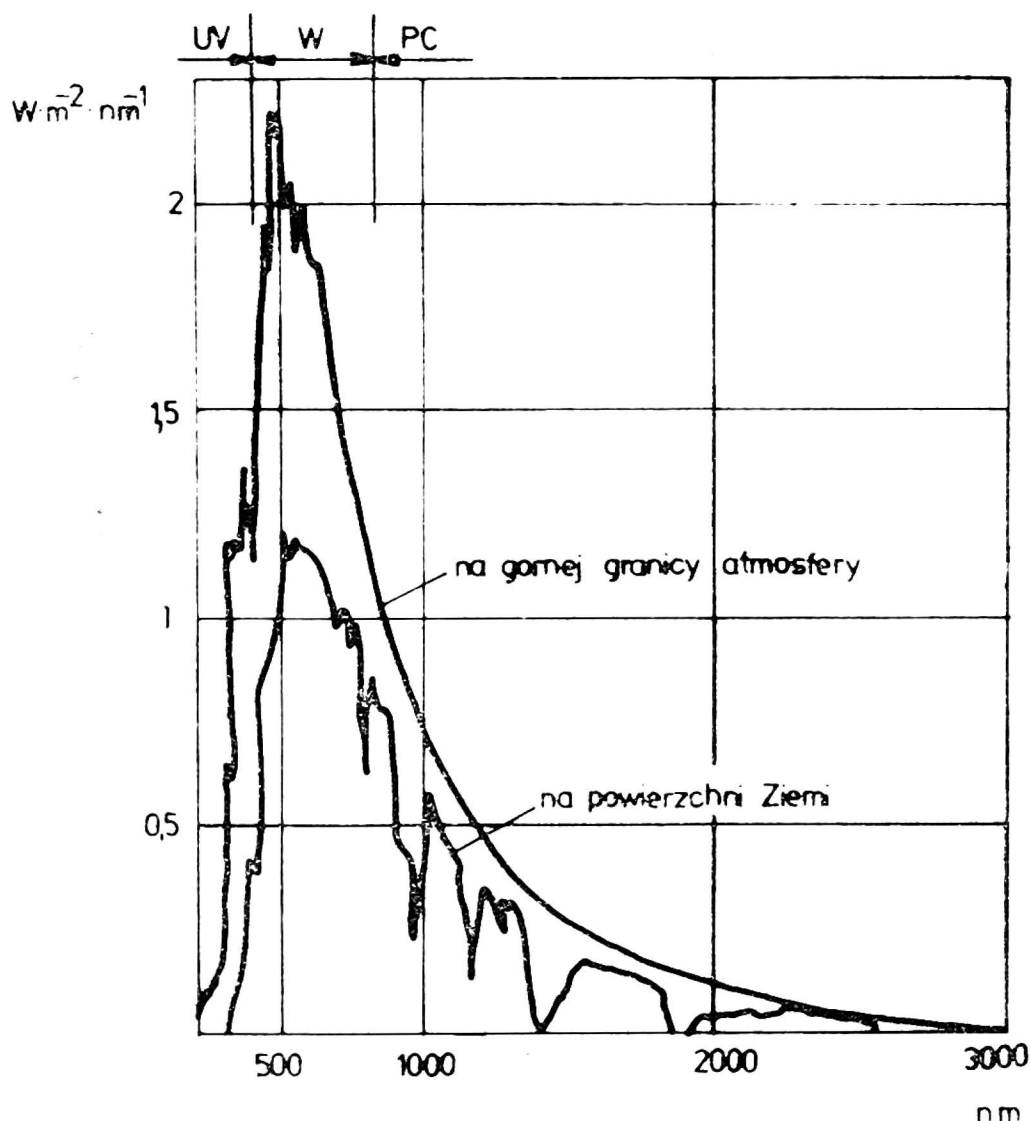
Fnc-2472

w warunkach polskich pod względem parametrów technicznych i ekonomicznych, może spowodować szereg błędów i nieporozumień. Opracowanie szczegółowych technologii musi bowiem być poprzedzone wnikliwą analizą potrzeb i możliwości wykorzystania energii słonecznej w Polsce.

Podstawowe wiadomości o promieniowaniu słonecznym

Średnia moc promieniowania docierającego do górnej granicy atmosfery ziemskiej, nazwana stałą słoneczną, wynosi $1390 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ [12, 19]. Atmosfera ziemska, w zależności od stopnia zachmurzenia, wilgotności i zanieczyszczenia, pochłania i rozprasza ok. 30—40% tej energii. Maksymalna moc docierającego do powierzchni ziemi bezpośredniego promieniowania słonecznego osiąga wartość $855\text{—}1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ [12]. Część energii zatrzymywanej pierwotnie przez atmosferę, dociera jednak do powierzchni ziemi jako promieniowanie rozproszone.

Suma promieniowania bezpośredniego i rozproszonego stanowi promieniowanie całkowite. W meteorologii jest ono mierzone na powierzchni poziomej i podawane jako napromienienie, czyli suma energii pa-



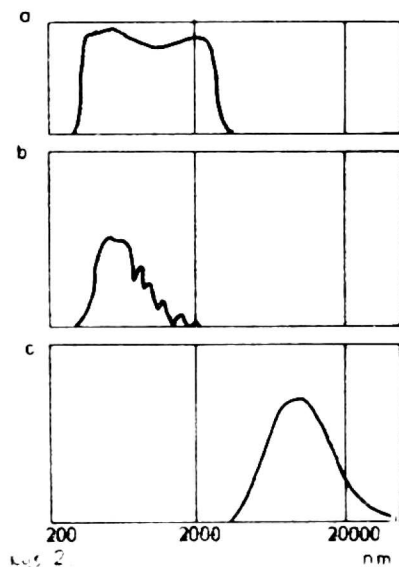
Rys. 1. Rozkład promieniowania słonecznego docierającego na Ziemię — wg [1]:
UV — ultrafiolet, W — promieniowanie widzialne, PC — podczerwień.

dającej na jednostkę powierzchni w danym czasie, mierzona w $J \cdot m^{-2}$ lub $W \cdot h \cdot m^{-2}$

Oprócz napromienienia określa się także usłonecznienie, czyli czas dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego do określonego punktu na powierzchni ziemi, w rozpatrywanym przedziale czasu, np. 1654,3 h w ciągu roku.

Widmo promieniowania słonecznego docierającego do atmosfery ziemskiej mieści się w przedziale o długości fali od ok. 10 do 10^5 nm (rys. 1).

Podstawowym zjawiskiem umożliwiającym budowanie ciepłych urządzeń słonecznych jest tzw. efekt szklarniowy. Polega on na tym że szkło i inne materiały, takie jak szkło organiczne, folie i laminaty z tworzyw sztucznych, przepuszczają promieniowanie widzialne, lecz zatrzymują długofalowe promieniowanie ciepłe (rys. 2). Dzięki temu ciepłe promieniowanie długofalowe, emitowane przez wszystkie ciała znajdujące się pod taką pokrywą, zostaje zatrzymane i może być wykorzystane do celów grzewczych.

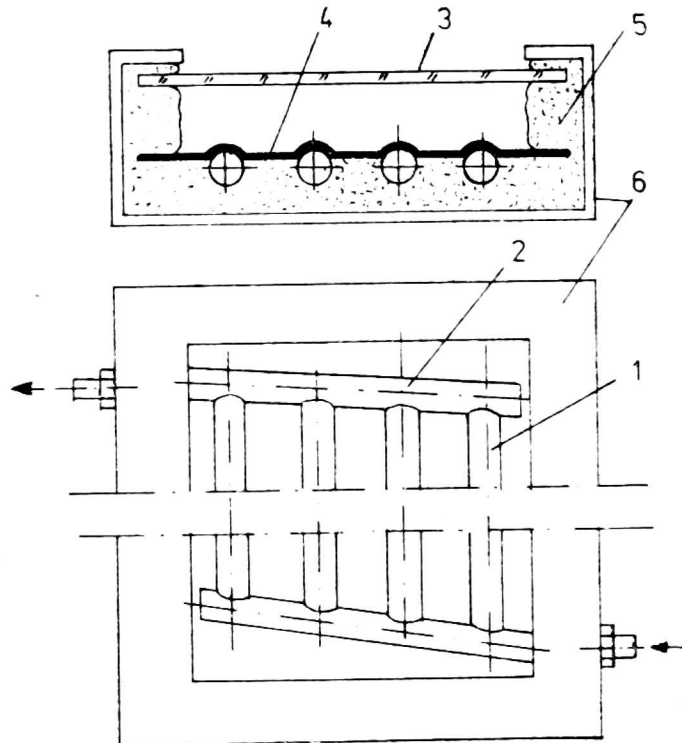


Rys. 2. Podstawa występowania efektu szklarniowego — wg [1]: a — rozkład promieniowania przepuszczonego przez szkło, b — rozkład promieniowania słonecznego docierającego na Ziemię, c — rozkład promieniowania emitowanego przez ciała doskonale czarne podgrzane do temperatury $35^{\circ}C$.

Urządzenie wykorzystujące energię słoneczną w celu zamiany jej w energię ciepłą nazwano kolektorem słonecznym. Można wyróżnić dwa podstawowe typy kolektorów:

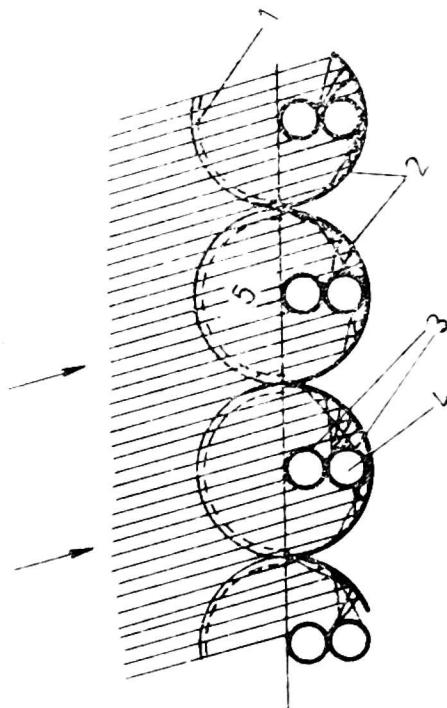
a) z wyklę*) — wykorzystujące padające na ich powierzchnię całkowite promieniowanie słoneczne, dzięki absorbowaniu energii ciepłej przez płytę pochłaniającą (przykładową konstrukcję przedstawiono na rys 3),

*) Jest to propozycja nazwy. Dotychczas używane określenie — „kolektor płaski płytowy”, pochodzące od angielskiej nazwy „flat plate collector”, nie jest poprawne, gdyż kolektor zwykły, zwłaszcza powietrzny, nie musi być płaski ani płytowy.



Rys. 3. Zwykły kolektor rurowy: 1, 2 — rury z czynnikiem grzewczym, 3 — przezroczysta pokrywa, 4 — płyta pochłaniająca (pomalowana na czarno lub pokryta powłoką selektywną), 5 — izolacja, 6 — obudowa.

b) koncentrujące — wykorzystujące głównie promieniowanie bezpośrednie, dzięki zastosowaniu układu optycznego, skupiającego promienie słoneczne na niewielkiej powierzchni grzejnej (przykładową konstrukcję przedstawiono na rysunku 4).



Rys. 4. Koncentrujący kolektor cylindryczny z wewnętrznymi rurami pochłaniającymi firmy Phillips: 1 — rura zewnętrzna, 2 — wewnętrzne lustro, 3 — wewnętrzne czarne rury pochłaniające, 4 — czynnik grzewczy, 5 — przestrzeń obniżonego ciśnienia.

Kolektory słoneczne mogą pracować w trzech, umownie przyjętych, zakresach temperatur, jako:

- niskotemperaturowe — do 373 K,
- średniotemperaturowe — od 373 do 473 K,
- wysokotemperaturowe — do ok. 800 K.

Średnio- i wysokotemperaturowa przemiana energii słonecznej w ciepłą ma uzasadnienie w strefach zwrotnikowych, zaś na obszarach o szerokości geograficznej 40—45° — na terenach górskich [13]. W Polsce, co wynika z badań prowadzonych na zbliżonych szerokościach geograficznych, najbardziej przydatna będzie przemiana niskotemperaturowa z podgrzewaniem czynnika do temperatury 373 K. Zagadnienia te zostaną szczegółowo omówione w drugiej części pracy.

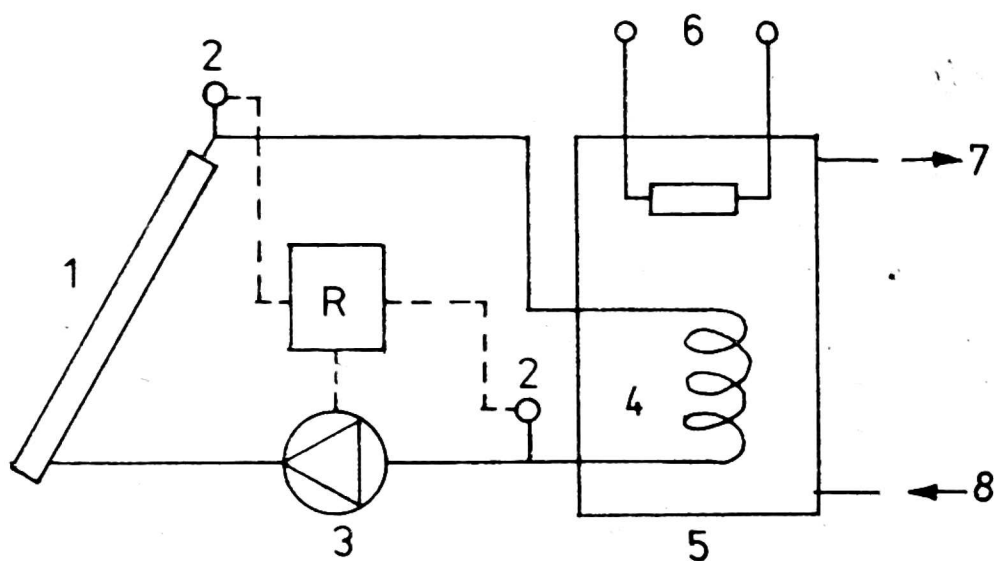
Helio technika w rolnictwie

Badania prowadzone na szerszą skalę od początku lat pięćdziesiątych potwierdzają wyjątkową przydatność helio techniki w rozwiązywaniu energetycznych problemów rolnictwa. Nisko- i średniotemperaturowe systemy słoneczne dostarczają ciepła do ogrzewania wody sanitarnej i pomieszczeń, do chłodzących urządzeń absorpcyjnych, do destylarek i urządzeń odsalających wodę, do napędu pomp i turbin, do urządzeń suszarniczych i innych. Urządzenia kolektorowe są z reguły wyposażone w zbiorniki energii cieplnej (wodne, kamienne, chemiczne itp.) magazynujące energię na okresy bezsłoneczne, a coraz częściej urządzeniem towarzyszącym jest pompa ciepła. Urządzenia słoneczne współpracując z konwencjonalnymi, pozwalają zmniejszyć zużycie paliw i energii elektrycznej.

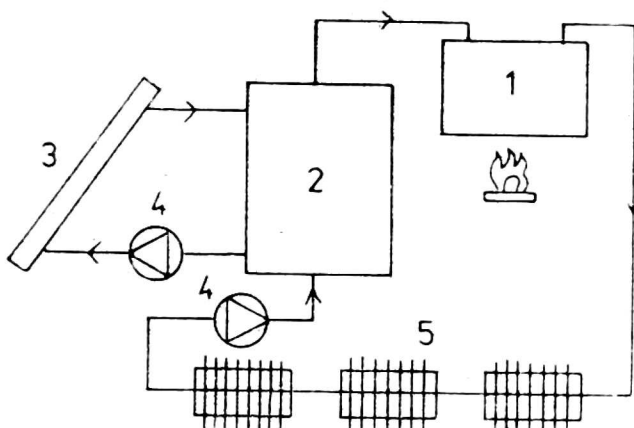
Słoneczne ogrzewanie wody i pomieszczeń

W systemach słonecznego ogrzewania wody i pomieszczeń wykorzystuje się zwykle kolektory cieczowe lub powietrzne. W szerokościach geograficznych zbliżonych do polskich są to z reguły wymuszone obiegi zamknięte z wymiennikami i zbiornikami energii cieplnej (rys. 5).

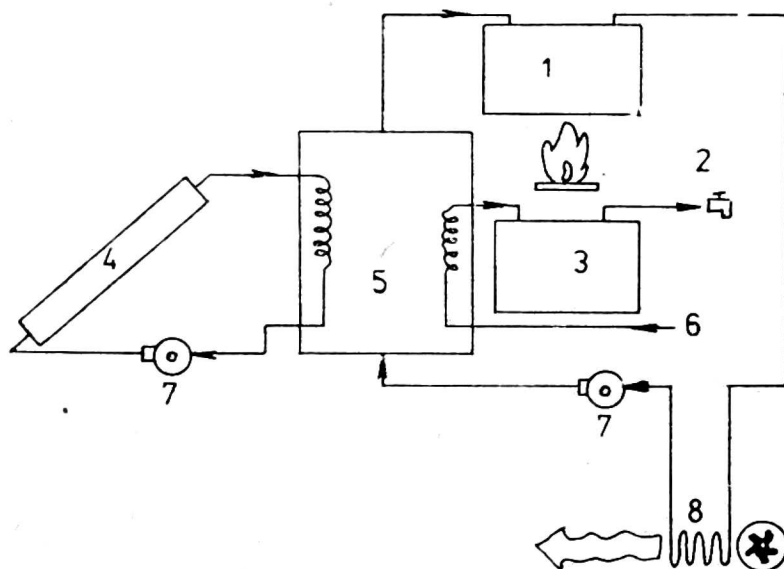
Ogrzewanie pomieszczeń może być realizowane w sposób radiacyjny, za pomocą grzejników ściennych lub podłogowych (rys. 6), albo w sposób konwekcyjny, przy użyciu wentylatora przedmuchującego powietrze przez nagrzewnicę, przy czym obieg taki podgrzewa również wodę użytkową (rys. 7). Każdy z tych systemów ogrzewania musi być wyposażony w dodatkowe, tradycyjne źródło ciepła, uzupełniające niedobory energii w okresach bezsłonecznych.



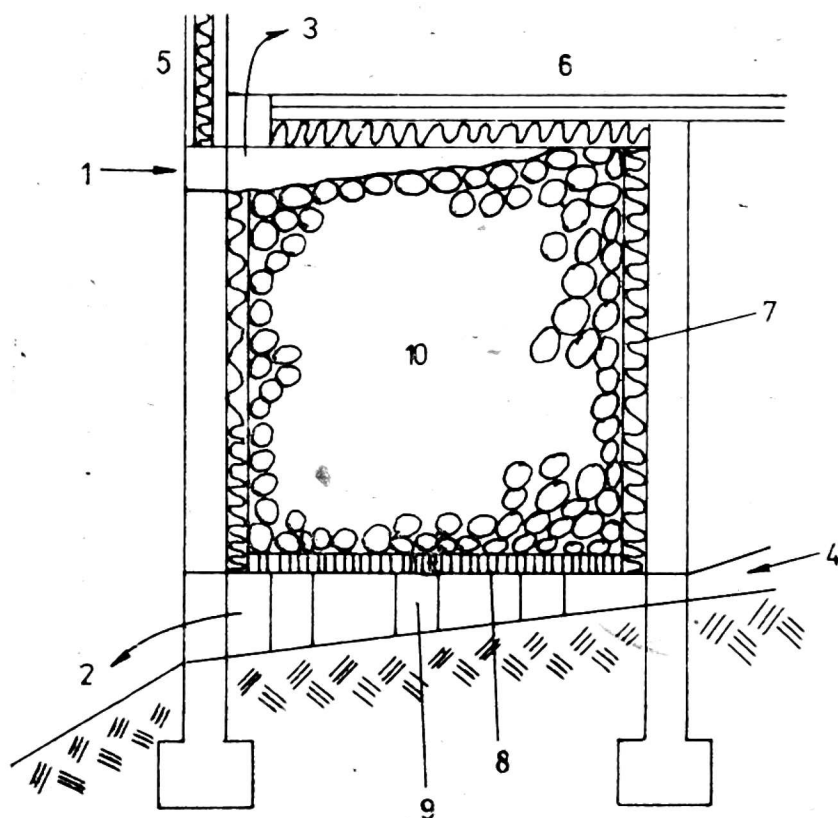
Rys. 5. Schemat wymuszonego obiegu zamkniętego: 1 — kolektor, 2 — termostaty, 3 — pompa obiegowa, 4 — wymiennik ciepła, 5 — zbiornik, 6 — grzejnik konwencjonalny (np. elektryczny), 7 — odpływ ciepłej wody, 8 — dopływ zimnej wody.



Rys. 6. Ogrzewanie słoneczne z grzejnikami radiacyjnymi: 1 — grzejnik zastępczy, 2 — zbiornik, 3 — kolektor, 4 — pompa obiegowa, 5 — grzejniki.



Rys. 7. System ogrzewania pomieszczeń i wody użytkowej: 1 — grzejnik zastępczy, 2 — odpływ ciepłej wody, 3 — zbiornik wody użytkowej, 4 — kolektor, 5 — zbiornik z wymiennikami, 6 — dopływ zimnej wody, 7 — pompa obiegowa, 8 — nagrzewnica powietrza.



Rys. 8. Kamienny zbiornik energii cieplnej — wg [1]: 1 — dopływ powietrza z kolektora, 2 — odpływ powietrza do kolektora, 3 — odpływ powietrza do pomieszczeń mieszkalnych, 4 — powrót oziębionego powietrza, 5 — ściana południowa, 6 — podłoga, 7 — izolacja, 8 — ruszt, 9 — podpory, 10 — kamienie.

Inne rozwiązanie powietrznego ogrzewania pomieszczeń przedstawiono na rysunku 8. Ciepłe powietrze z kolektora ogrzewa tu dom mieszkalny, a nadmiar energii jest magazynowany w kamiennym zbiorniku energii cieplnej, umieszczonym pod budynkiem. Takie usytuowanie zbiornika jest korzystne z uwagi na przechwytywanie przez budynek mieszkalny konwekcyjnych strat ciepłych.

A. J. Muehling i M. D. Hall [17], na podstawie czternastoletnich badań systemów ogrzewania domków jednorodzinnych energią słoneczną, wykazali, że proste, ściennie lub dachowe kolektory słoneczne mogą zaspokoić 50—60% potrzeb grzewczych budynku. Kolektory, wykorzystujące naturalny kształt spadzistego dachu, były wykonane z malowanych na czarno płyt, pod którymi pozostawiono prześwit dla przepływu powietrza, lub z czarnych płyt umieszczonych pod przezroczystą pokrywą z Tedlaru (laminat-fluorek poliwinylu). Kolektory takie osiągały sprawności rzędu 30—35%.

Podobne prace, prowadzone w Uniwersytecie Stanu Kansas [20], dotyczyły zbadania możliwości wykorzystania elementów budynku do ogrzewania zimnego powietrza energią słoneczną. Południowa ściana budynku o grubości 40 cm, wykonana z bloków betonowych z kanałami dla przepływu powietrza, stanowiła kolektor i zbiornik energii cieplnej

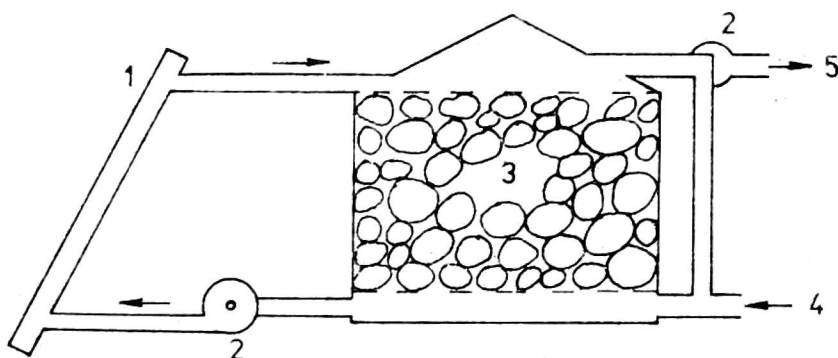
o pojemności $654 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}$ na 1 m^2 powierzchni kolektora. W celu wstępnego ogrzania powietrza, pomalowana na czarno zewnętrzna powierzchnia ściany została przykryta dwiema przezroczystymi płytami z Teldaru, pomiędzy którymi przepływało zasysane powietrze. Badania wykazały, że ok. 65% energii niezbędnej do ogrzewania w nocy pochodziło ze zbiornika energii cieplnej.

Słoneczne ogrzewanie budynków inwentarskich

W systemach ogrzewania budynków inwentarskich najczęściej stosuje się zwykle kolektory powietrzne i kamienne (lub podobne) zbiorniki energii cieplnej. Zbiornik pozwala zmniejszyć wahania temperatury we wnętrzu budynku w porze dnia i nocy.

M. Heiden [10] opracował projekt słonecznego ogrzewania i chłodzenia budynków dla trzody. Kolektory umieszczone na dachu ogrzewały powietrze przedmuchiwane następnie przez podłogę wykonaną z rurek drenarskich zalanych warstwą cementu. Temperaturę regulowano przez otwieranie i zamykanie fragmentów ścian. Kolektory, wystawione podczas pracy na południe, w lecie skierowywano na północ, a system powietrzny był wykorzystywany do chłodzenia budynku.

Również badania R. C. Rokeby'ego i in. [18] potwierdziły dużą przydatność systemów słonecznych do ogrzewania budynków dla drobiu. Do ogrzewania kurnika dla 8000 brojlerów, o powierzchni 557 m^2 , zastosowano zwykły kolektor powietrzny o powierzchni 187 m^2 z kamiennym zbiornikiem energii cieplnej o masie 180 ton (rys. 9). Płytę pochłaniającą kolektora stanowiła tu pomalowana na czarno falista blacha dachowa. Nad nią, w odległości 40 mm, umieszczono dwie pokrywy szklane. Dno kolektora było izolowane warstwą waty szklanej o grubości 50 mm i drewnianą obudową. Natężenie przepływu powietrza przedmuchiwanego pod płytą wynosiło $53 \text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$ na 1 m^2 powierzchni kolektora.



Rys. 9. System ogrzewania słonecznego brojlni — wg [18]: 1 — kolektor, 2 — wentylatory, 3 — kamienny zbiornik energii cieplnej, 4 — wlot zimnego powietrza, 5 — wylot ogrzewanego powietrza.

Badania pozwoliły stwierdzić, że:

— średnia masa kurczaka w wieku 56 dni wynosiła 1,9 kg (w grupie kontrolnej średnio 1,88 kg),

— zużycie paszy wynosiło 2,0 kg na 1 kg przyrostu żywej wagi (w grupie kontrolnej średnio 2,15 kg),

— zużycie paliw i energii elektrycznej było o ok. 50% mniejsze niż w budynkach tradycyjnych.

Podobnie badania M. Esmay'a i C. Flegala [8] wykazały pełną przydatność tanich prostych kolektorów powietrznych do ogrzewania kurników zimą i suszenia pomiotu latem.

Budynek na 5000 niosek został wyposażony w zwykły, jednokanałowy kolektor powietrzny o powierzchni 120 m², przykryty szkłem. Do konstrukcji użyto typowych materiałów gospodarskich takich jak drewno, szkło, płyty aluminiowe malowane na czarno, materiały dachowe i izolacyjne. Kolektory ustawiono pod kątem 60° (na południe), optymalnym dla zimowych miesięcy tego regionu.

Eksperymenty prowadzone od 1 czerwca 1977 do 15 kwietnia 1978 roku oraz w analogicznym okresie 1978—79 roku wykazały, że efekty dodatkowego ogrzewania w pełni uzasadniają koszty poniesione przy budowie kolektora. Temperatura we wnętrzu budynku utrzymywała się na poziomie +16°C przy temperaturze otoczenia obniżającej się nawet do ok. —13°C. Kolektor osiągał maksymalną sprawność ok. 50% dostarczając ok. 27% dobowego zapotrzebowania energii.

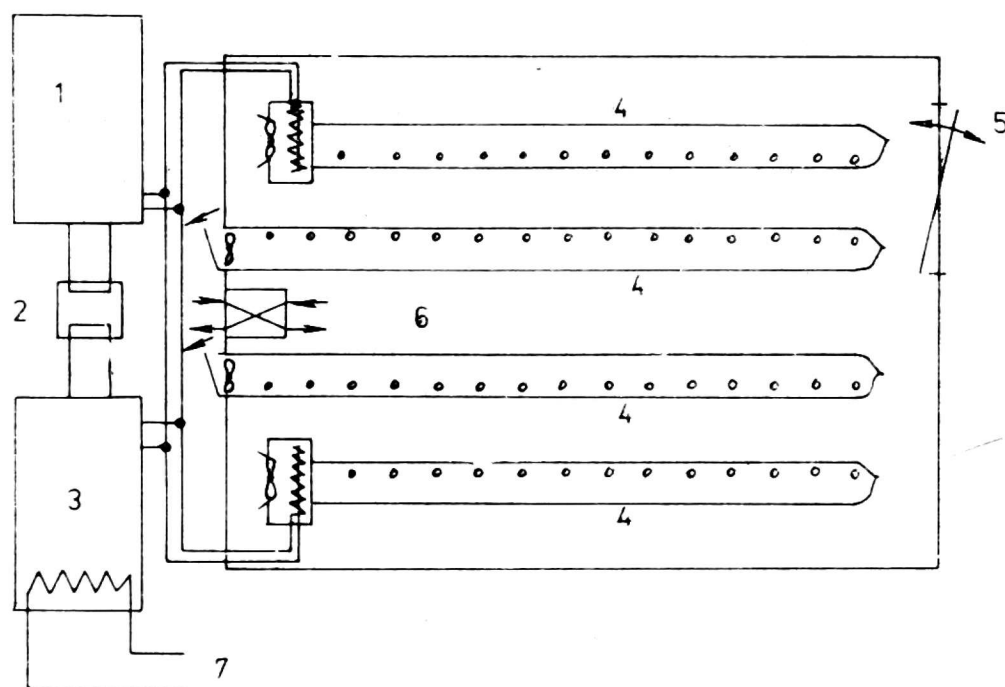
Do ogrzewania budynków inwentarskich stosuje się także kolektory cieczowe. Jak podają D. H. Vaughan, B. J. Holmes i E. S. Bell [22] dobre rezultaty uzyskano przy słonecznym ogrzewaniu budynków dla trzody. Urządzenie składało się z 7 zwykłych kolektorów cieczowych różnych typów (możliwych do nabycia w handlu) o powierzchni całkowitej 15,52 m², wodnego zbiornika o pojemności 3 m³, izolowanego warstwą pianki poliuretanowej o grubości 10 cm, pompy cieplnej o wydajności 12—17 MJ·h⁻¹ oraz pompy obiegowej o mocy 560 W. Ogrzewane pomieszczenie dla prosiąt miało kubaturę 28,2 m³.

Zimą 1977/78 przy wahaniami temperatury zewnętrznej od —18,9° do +15,6°C utrzymywano temperaturę powietrza w budynku na poziomie ok. +25°C, uzyskując z kolektorów słonecznych ponad 50% potrzebnej energii.

Słoneczne ogrzewanie szklarni

Szklarnia, z racji swej konstrukcji, stanowi kolektor słoneczny, ale jest dodatkowo zasilana dużą ilością energii cieplnej ze źródeł tradycyjnych.

C. Damrath i J. Zabeltitz [6] przeprowadzili eksperymenty w celu zbadania możliwości ogrzewania szklarni prawie wyłącznie energią słoneczną. Zbudowano dwie szklarnie o powierzchni 230 m² każda, jedną tradycyjną, drugą słoneczną — bardzo dobrze izolowaną, pokrytą podwójną warstwą szkła. Nadmiar energii cieplnej był odprowadzony do zbiornika wodnego. Powietrzne ogrzewanie i chłodzenie było realizowane za pomocą perforowanych przewodów foliowych, ułożonych pod parapetami szklarniowymi (rys. 10). W układzie znajdowały się dwa zbiorniki, po-



Rys. 10. Szklarnia ogrzewana energią słoneczną — wg [6]: 1 — zbiornik zimnej wody, 2 — pompa ciepła, 3 — zbiornik ciepłej wody, 4 — perforowane rury foliowe, 5 — wywietrznik, 6 — wymiennik powietrza z odzyskiem ciepła, 7 — ogrzewanie tradycyjne.

łączone pompą ciepłą: ciepłej (45°C) i zimnej (6°C) wody. Dzięki nim można było w miarę potrzeby chłodzić lub ogrzewać szklarnię. Zbiornik ciepłej wody mógł być dodatkowo ogrzewany w sposób konwencjonalny.

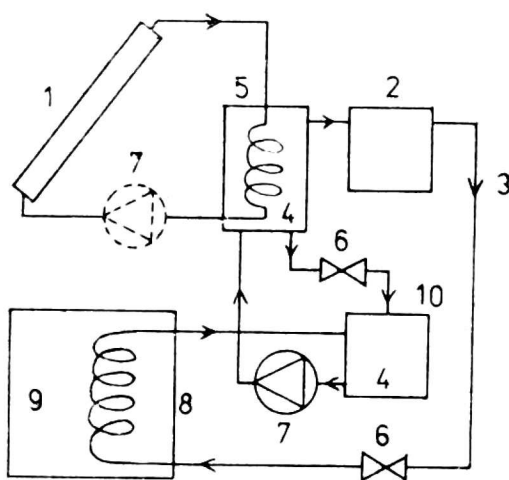
Inne badania, całkowicie bez korzystania z dodatkowego źródła ciepła, przeprowadził T. Takezono w Japonii [21]. Tunel foliowy o powierzchni 116 m² był ogrzewany powietrzem pochodzącym z foliowego kolektora o powierzchni 108 m² podwieszono pod sufitem. Pod tunelem umieszczono kamienny zbiornik energii cieplnej o objętości 89 m³, izolowany od podłoża warstwą polistyrenu o grubości 10 cm.

W okresie zimy 1977/78 stwierdzono, że przy temperaturze otoczenia zmieniającej się w zakresie od +5°C do -20°C, temperatura we wnętrzu tunelu wahała się od +28°C do 0°C.

Słoneczne chłodzenie

Ciepło pochodzące z kolektorów słonecznych może być wykorzystane w absorpcyjnych obiegach chłodniczych.

W obiegu przedstawionym na rysunku 11, w warniku 5, podgrzewanym przez kolektor słoneczny 1, następuje wydzielenie czynnika chłodniczego (np. amoniaku) z roztworu pochłaniającego (wodnego). Czynnik wędruje do skraplacza 2, w którym oddaje ciepło skraplając się, a stąd, poprzez zawór rozprężny 6, przechodzi do parownika 8, w którym paruje pochłaniając ciepło z chłodzonego pomieszczenia. Następnie, w absorberze 10, czynnik zostaje ponownie wchłonięty do roztworu i wędruje do warnika, zamykając w ten sposób pełny cykl obiegu.

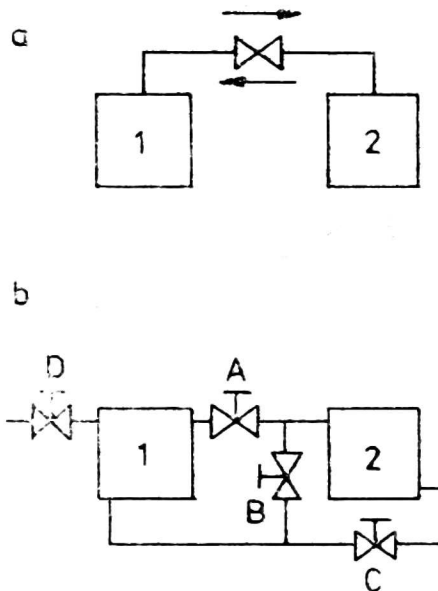


Rys. 11. Absorpcyjny obieg chłodzenia słonecznego: 1 — kolektor, 2 — skraplacz, 3 — czynnik chłodniczy, 4 — roztwór, 5 — warnik, 6 — zawór, 7 — pompa, 8 — parownik, 9 — komora chłodnicza, 10 — absorber.

Ponieważ większość absorpcyjnych urządzeń chłodniczych pracuje przy temperaturze czynnika rzędu 100—200°C, należy się liczyć z koniecznością stosowania kolektorów koncentrujących [1] lub też kilku kolektorów zwykłych połączonych szeregowo [12].

Mieszanina czynnika chłodniczego i roztworu pochłaniającego amoniak-woda jest tylko jednym z możliwych przykładów. Istnieje wiele innych przebadanych możliwości, takich jak: amoniak-chlorek wapnia, bromek litu-woda, amoniak-tiocyanek sodu [3].

R. Chandra i in. [3] przeprowadzili w Indiach badania nad wykorzystaniem słonecznego przerywanego obiegu absorpcyjnego do produkcji lodu i przechowywania żywności. W obiegu wykorzystano amoniak jako czynnik chłodniczy i tiocyanek sodu (NaSCN) jako absorbent.



Rys. 12. Chłodziarka słoneczna z przerywanym obiegiem absorpcyjnym — wg [3]:
 a — schemat teoretyczny, b — schemat konstrukcyjny: 1 — warnik-absorber, 2 —
 skraplacz-parownik, A, B, C, D — zawory.

W obiegu teoretycznym przedstawionym na rysunku 12a połączono działanie dwóch elementów: warnik-absorber i skraplacz-parownik, jako współpracujących ze sobą przez zawór dwukierunkowy. Pierwotnie, podczas ogrzewania, naczynie 1 pracuje jako warnik, naczynie 2 zaś jako skraplacz, a następnie po zmianie kierunku przepływu czynnika, naczynie 2 pełni rolę parownika, zaś naczynie 1 staje się absorberem.

W wykonaniu laboratoryjnym urządzenie skonstruowano zgodnie ze schematem z rysunku 12b. Obieg kolektora napełniono mieszaniną amoniaku z tiocyjankiem sodu przez zawór D. W tym czasie zawory A, B i C były zamknięte. Zapoczątkowanie działania urządzenia polega na ogrzaniu mieszaniny przez promieniowanie słoneczne. Około godziny 11-tej ciśnienie osiąga poziom dostateczny do rozpoczęcia kondensacji, która nastąpi w skraplaczu po otwarciu zaworu A. Skraplanie kończy się z chwilą osiągnięcia przez warnik maksymalnej temperatury. Zawór A zostaje zamknięty. Następnie zdejmuje się szklaną pokrywę kolektora i absorber powoli stygnie. Uzyskuje się w ten sposób różnicę między wysokim ciśnieniem ciekłego amoniaku w skraplaczu-parowniku i niskim ciśnieniem roztworu w warniku-absorberze. Około godziny 22 wkłada się do parownika zbiornik z wodą i powoli otwiera zawór B. Ciśnienie stopniowo wyrównuje się i proces chłodzenia trwa przez całą noc. Następnego dnia, po zamknięciu zaworu B cykl powtarza się od początku.

W badaniach prowadzonych w 1976 roku nie udało się uzyskać zakładanej temperatury -10°C . Zdołano osiągnąć jedynie wartość 0°C . Jednak przy powierzchni kolektora zaledwie $0,4\text{ m}^2$ maksymalna temperatura cieczy w warniku wynosiła 104°C i urządzenie produkowało 2 kg lodu na dobę.

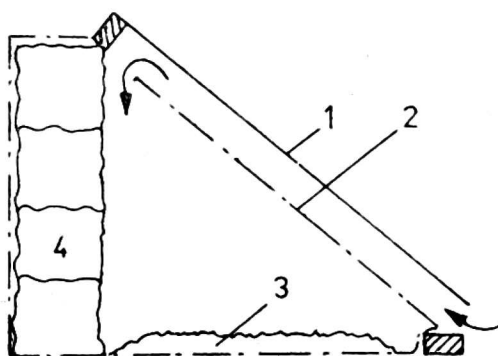
Identyczne badania przeprowadzono w Madras (Indie) dla absorpcyjnego obiegu amoniak-woda i kolektora o powierzchni 1 m^2 [23]. Uzyskano następujące wyniki eksperymentów: temperatura w wanniku wynosiła 102°C , ochłodzono w ciągu 7 godzin 10 kg wody od 30°C do 7°C . Wyniki badań wykazały możliwość schłodzenia cieczy o więcej niż 22 K przy niewielkich rozmiarach urządzenia i niezbyt wysokiej temperaturze kolektora możliwej do uzyskania w zwykłych kolektorach cieczowych.

Bardzo podobne badania, również dla przerywanego absorpcyjnego obiegu chłodniczego amoniak-woda przeprowadzili R. H. B. Exell i S. Kornsakoo w Tajlandii [9]. Zwykły kolektor o powierzchni $1,44 \text{ m}^2$, wraz z absorpcyjnym obiegiem chłodniczym produkował 6 kg lodu dziennie lub mógł utrzymać 3,5 kg owoców w temperaturze niższej od 15°C , przy temperaturze otoczenia sięgającej 37°C .

Inny przykład słonecznego chłodzenia stanowi system zaprojektowany i zbudowany przez firmę Dornier System (RFN) w kooperacji z National Research Centre (Egipt). Założenia projektowe [11] przewidują chłodzenie do temperatury $6\text{--}8^\circ\text{C}$ pomieszczenia o pojemności 10 m^3 , mieszczącego ok. 300 kg żywności. Zwykły cieczowy kolektor o powierzchni czynnej 25 m^2 umieszczony nad chłodnią i ustawiony pod kątem 30° stanowi jednocześnie wannik obiegu absorpcyjnego.

Słoneczne suszenie produktów rolniczych

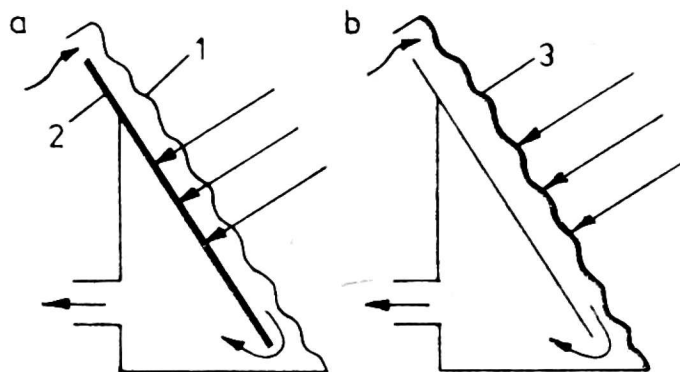
W okresie najintensywniejszego suszenia produktów rolniczych (sierpień, wrzesień, październik) maleje już natężenie promieniowania słonecznego, ale wszystkie badania, prowadzone nawet na 56° szerokości geograficznej północnej, potwierdzają bardzo dużą przydatność kolektorów słonecznych do suszenia ziarna i siana. We wszystkich systemach suszenia słonecznego powietrze, w celu odwilgocenia, jest podgrzewane o kilka kelwinów w kolektorach.



Rys. 13. Prosty tani kolektor powietrzny do suszenia ziarna — wg [15]: 1 — folia przezroczysta, 2 — folia czarna, 3 — suszone ziarno, 4 — konstrukcja z bel słomy.

Badany w Holandii [15] kolektor do suszenia ziarna o powierzchni 185 m² składał się z drewnianych ram z podwójną folią: czarną o grubości 0,15 mm i przezroczystą o grubości 0,2 mm uodpornioną na działanie ultrafioletu (rys. 13). Kolektor pochylono pod kątem 32° i wystawiono na południe. Powietrze przechodziło między foliami zasysane przez wentylator o mocy 3,7 kW i wydatku 29000 m³·h⁻¹. Transmisyjność (zdolność przepuszczania) powłoki przezroczystej wynosiła początkowo 0,9 ale po sześciu tygodniach użytkowania zmalała do 0,69. Dlatego w kolejnym roku powłokę zewnętrzną zastąpiono szkłem, zmniejszając kolektor do 85,5 m². J. M. Lange podaje, że w okresie sierpnia, września i października uzyskano ok. 96 kW·h energii z 1 m² kolektora, co umożliwia odparowanie ok. 55 kg wody czyli wysuszenie 1,5 t ziarna od 22⁰% do 17⁰% wilgotności.

Inne badania przeprowadzone przez D.W. Morrisona [16] wykazały, że kolektory powietrzne o powierzchni 53,5 m² współpracujące z pompą ciepłą o mocy 17,6 kW nadają się do suszenia ziarna w zbiorniku. Podczas 33 dniowego suszenia (15 października — 17 listopada) wysuszono 201 m³ zboża od wilgotności 22,3⁰% do 15,0⁰%, wykorzystując dwa rodzaje



Rys. 14. Proste kolektory powietrzne — wg [16]: a — zakryty, b — odkryty: 1 — przezroczysta pokrywa z falistego laminatu, 2 — czarna drewniana płyta, 3 — czarna płyta z falistej blachy dachowej.

kolektorów. Kolektor zakryty (rys. 14a) pochłaniał ok. 123 kW·h energii dziennie powodując wzrost temperatury powietrza średnio o 5,7 K, zaś kolektor odkryty (rys. 14b) pobierał 86,5 kW·h energii podwyższając temperaturę o 4 K. Pierwszy kolektor pracował ze sprawnością 70⁰%, drugi 49⁰%.

Podczas całego okresu suszenia dmuchawa i pompa ciepła zużyły 6690 kW·h energii elektrycznej. Z obliczeń wynika, że na obniżenie wilgotności 1 m³ ziarna o 1⁰% zużyto zaledwie 4,57 kW·h energii elektrycznej, wobec szacunkowo określanych 8,51 kW·h energii przy suszeniu ziarna powietrzem ogrzewanym tradycyjnie.

Znacznie lepsze parametry techniczne wykazywał kolektor zakryty i jego stosowanie jest bardziej uzasadnione, mimo wyższej ceny.

Jeszcze inną odmianę prostego powietrznego kolektora do suszenia ziarna opisują H. H. Converse i in. [5]. Jest on zbudowany z dwóch koncentrycznych rękawów foliowych: czarnego — wewnętrznego i przezroczystego — zewnętrznego, przez które wentylator tłoczy powietrze. Stwierdzono, że kolektory pracując ze sprawnością zmieniającą się w granicach od 26% do 62%, skracają czas suszenia a końcową wilgotność ziarna była o 2% niższa, niż przy suszeniu zimnym powietrzem atmosferycznym, co ma istotne znaczenie przy chłodnej i wilgotnej pogodzie.

Również zadowalające rezultaty dały eksperymenty prowadzone przez N. Ekströma i G. Gustafssona w Szwecji, na 56° szerokości geograficznej północnej [7]. Porównywano pracę systemu suszenia ziarna zimnym powietrzem z pracą układu kolektorowego o powierzchni 212 m², stanowiącego jeden ze spadów dachu stodoły. Wyniki badań przedstawiono w tabeli.

Tabela

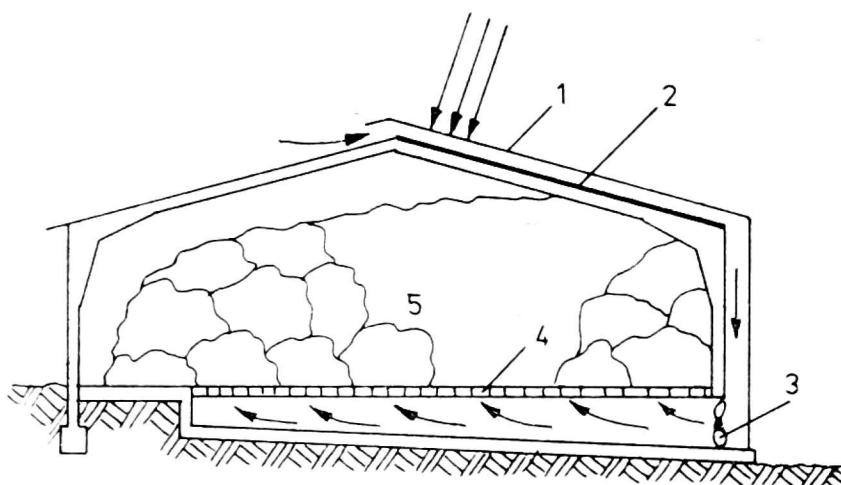
Zestawienie wyników eksperymentów N. Ekströma i G. Gustafssona — wg [7]

Parametry suszenia	Suszenie zimnym powietrzem	Suszenie powietrzem ogrzanim w kolektorze
Ilość ziarna	50 ton	50 ton
Wilgotność początkowa	21,2%	18,8%
Wilgotność końcowa	14,3%	11,4%
Zmiana wilgotności	6,9%	7,4%
Liczba dni suszenia	11,0	7,5
Liczba godzin pracy wentylatora	146	104
Średni przyrost temperatury powietrza	0,8 K	5,7 K

Suszenie siana można prowadzić w urządzeniach z kolektorem wbudowanym w dach lub ścianę stodoły czy brogu.

Przykładowo, V Chiappini przeprowadził badania tanich, prostych kolektorów słonecznych we Włoszech, na szerokości geograficznej 44°45' N [4]. Kolektor (rys. 15) o powierzchni 140 m² pochylony pod kątem 30°, wystawiony na południe z lekkim odchyleniem na zachód, zbudowano z czarnej płyty pochłaniającej i przezroczystej pokrywy, umieszczonej w odległości 15 cm.

W pięciu odmiennych konstrukcjach użyto trzech różnych płyt pochłaniających, wykonanych z falistej cienkiej blachy pomalowanej na czarno, z falistego eternitu malowanego na czarno lub z falistej płyty azbestowo-asfaltowej, naturalnie czarnej. Jako płyt pokrywających użyto:



Rys. 15. Schemat konstrukcji stodoły z dachowym kolektorem słonecznym do suszenia siana: 1 — płyta przezroczysta, 2 — czarna płyta pochłaniająca, 3 — wentylator, 4 — ruszt, 5 — suszone siano.

przezroczystej falistej płyty z tworzywa sztucznego zbrojonego włóknem szklanym, gładkiej płyty z tego samego materiału lub przezroczystej powłoki z polietylenu zbrojonego nićmi nylonowymi.

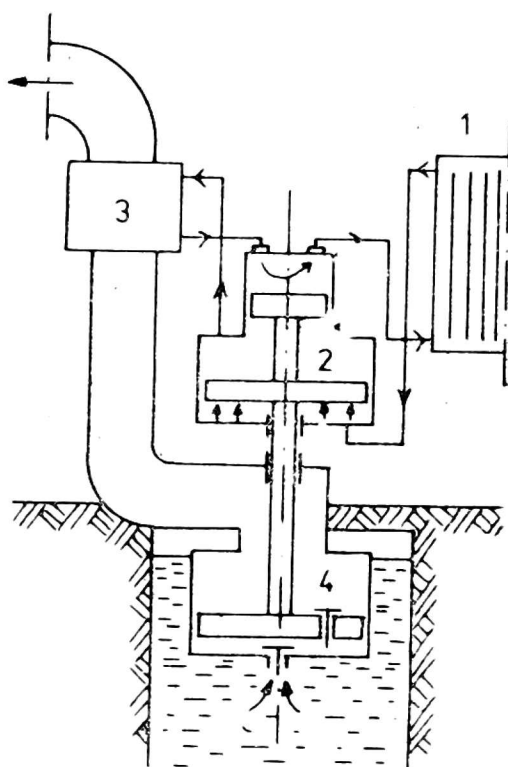
Najkorzystniejsze okazało się wykonanie płyty pochłaniającej z falistej płyty azbestowo-asfaltowej, a pokrywy, z gładkiej płyty zbrojonej włóknem szklanym. Podczas bardzo pogodnego dnia taki kolektor osiągał sprawność 68%, zaś podczas pochmurnego 34% dając wzrost temperatury powietrza od 2 do 7,5 K, średnio o 5 K.

Dla miejscowych warunków (Reggio Emilia) podgrzanie powietrza o 5 K podwaja szybkość suszenia przy wilgotności powietrza 50—55%, ale może ją zwielokrotnić (3—4 razy) w dni, gdy względna wilgotność powietrza jest zbyt wysoka (70—75%) do suszenia siana zimnym powietrzem atmosferycznym. Daje to znaczne skrócenie czasu suszenia czyli oszczędności energii elektrycznej a także polepszenie jakości siana.

Pompowanie wody

Kolejnym procesem, w którym można wykorzystać energię słoneczną w rolnictwie, jest pompowanie wody. Pierwsze próby polegały na wykorzystaniu turbin parowych zasilanych przez wysokotemperaturowe kolektory koncentrujące. Osiągnięto w tej dziedzinie znaczne efekty, ale zakres stosowania urządzeń ograniczały warunki słoneczne. Obecnie produkuje się urządzenia oparte na obiegu termodynamicznym płynnego gazu, np. freonu 12.

Pompa słoneczna (rys. 16) składa się z kolektorów, silnika, skraplacza i pompy głębinowej. W kolektorach płynny freon 12 ogrzewa się i przechodząc w stan gazowy osiąga ciśnienie rzędu 1 MPa. Przechodząc do silnika 2 porusza tłok sprężony z tłokiem pompy głębinowej 4, która zasysa wodę. Następnie gaz wędruje do skraplacza, 3 gdzie ochłodzony zasysaną



Rys. 16. Schemat pompy słonecznej do pompowania wody firmy Mabosun — wg [24]: 1 — kolektor, 2 — silnik, 3 — skraplacz, 4 — pompa głębinowa.

wodą przechodzi w stan ciekły i powraca do kolektorów. Tłok samoczynnie opada w dół pod wpływem siły ciężenia.

Instalacje pompowe, produkowane przez włoską firmę Mabosun, mogą przy powierzchni kolektorów 12 m^2 pompować 4 m^3 wody na godzinę z głębokości 10 metrów, zaś największa produkowana instalacja, przy powierzchni kolektorów 99 m^2 , może pompować 10 m^3 wody na godzinę z głębokości 40 metrów [24].

Podsumowanie

Przedstawiono przykładowe procesy, w których wykorzystano energię słoneczną, wybrane pod kątem przydatności w rolnictwie.

Najbardziej przekonujące jest stosowanie kolektorów słonecznych do suszenia produktów rolniczych. Uzyskany przyrost temperatury powietrza (ok. 3—5 K) jest zbliżony do wartości przyrostu otrzymywanego w konwencjonalnych podgrzewaczach.

Również możliwości ogrzewania wody sanitarnej i budynków stanowiłyby pewne rozwiązanie problemów energetycznych rolnictwa, wobec deficytu węgla i przerw w dostawie energii elektrycznej.

Urządzenia chłodzące, pracujące w oparciu o zwykłe kolektory cieczowe, mogłyby znaleźć zastosowanie w rolnictwie gdyż okresy największych potrzeb na chłodzenie produktów występują jednocześnie z najsilniejszym promieniowaniem słonecznym.

Przegląd technologii niekonwencjonalnego wykorzystania energii słonecznej w rolnictwie wskazuje na pilną potrzebę podjęcia konkretnych badań w Polsce. Przy wyborze rozwiązań szczególnie przydatne mogą być wyniki badań prowadzonych w warunkach klimatycznych podobnych do polskich.

LITERATURA:

1. Anderson B.: The Solar Home Book. Cheshire Books. Harrisville 1976.
2. Brinkworth B. J.: Energia słoneczna w służbie człowieka. PWN. Warszawa 1979.
3. Chandra R. i wsp.: Design and fabrication of a solar ice making machine. Sun — Mankind's Future Source of Energy. Proceedings of the ISES Congress. New Delhi, India. Vol. 3, s. 1477. 1978.
4. Chiappini U.: Low cost experimental solar collector for hay drying. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr IV — 2b — 9. 1979.
5. Converse H. i wsp.: Low temperature grain drying with solar heat. Transaction of the ASAE. Nr 1, s. 170. 1978.
6. Damrath J., Zabeltitz C.: Solarenergie für die Gewachshaush Heizung. Gartenbau und Gewachshaus, s. 1008. 1977.
7. Ekström N., Gustafsson G.: The application of solar collectors for hay drying. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr IV — 2b — 4. 1979.
8. Esmay M., Flegal C.: Solar energy utilization for supplemental heating of laying houses. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr II — 2a — 12, 1979.
9. Exell R. H. B., Kornsakoo S.: Experiments on the prototype solar powered refrigerator for remote areas. Sun — Mankind's Future Source of Energy. Proceedings of the ISES Congress. New Delhi, India. Vol. 3, s. 2114. 1978.
10. Heiden M.: A solar system for swine house heating/cooling. Agricultural Engineering. Nr 3, s. 23. 1978.
11. House R.: Design criteria of solar absorption cooling system for food products. Sun — Mankind's Future Source of Energy. Proceedings of the ISES Congress. New Delhi, India. Vol. 3, s. 1988. 1978.
12. Kotarska K., Kotarski Z.: Wykorzystanie energii słonecznej w gospodarce wiejskiej. Maszynopis książki. Warszawa 1979.
13. Kotarska K., Kotarski Z.: Kolektorowe wymienniki energii słonecznej. Technika Zagraniczna. Nr 7, s. 4. 1978.
14. Koon J. L., Flood J. C. A., Brewer R. N.: Solar heating of poultry houses. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr II — 2a — 15. 1979.
15. Lange J. M.: The use of solar energy for grain drying in the Netherlands. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr IV — 2b — 2. 1979.
16. Morrison D. W.: Solar energy-heat pump low temperature grain drying. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr IV — 2b — 6. 1979.
17. Muehling A. J., Hall M. D.: Solar heating of livestock buildings in Illinois. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr II — 2a — 4. 1979.
18. Rokeby R. C. i wsp.: A solar heating system for commercial chicken brooding. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr II — 2a — 2. 1979.
19. Saby P. R.: The Solar House. Butterworths. London 1978.
20. Spillman C. K., Robbins F. V.: Solar energy for preheating ventilating air. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr II — 2a — 20. 1979.
21. Takezono T.: Use of solar energy through integrated house design. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr II — 2a — 7. 1979.
22. Vaughan D. H., Holmes B. J., Bell E. S.: A solar heating system for swine shelters. IX Congress of CIGR. Michigan, USA. Nr II — 2a — 8. 1979.
23. Venkatesh A., Gupta M. C.: Analysis and performance of ammonia — water intermittent solar refrigerator. Sun — Mankind's Future Source of Energy. Proceedings of the ISES Congress. New Delhi, India. Vol. 3, s. 2095. 1978.
24. Prospekty firmy Mabosun, Włochy.