



Różnorodne metody obróbki materiałów w trudno dostępnych miejscach, gdzie nie ma możliwości pracy normalnymi, dużymi narzędziami, stają się możliwe tylko przy użyciu wałka giętkiego. Jak taki wałek wykonać piszemy na str. 67



PLASKI KOLEKTOR SŁONECZNY

W związku z rosnącym zapotrzebowaniem na energię, rozpatruje się różne niekonwencjonalne metody jej uzyskiwania. Jedną z nich jest energia słoneczna. Można wykazać, że wykorzystanie energii słonecznej nawet w naszych warunkach klimatycznych jest uzasadnione ekonomicznie, o ile stosowane jest do pewnych określonych celów. Wynika to ze specyfiki naszego położenia geograficznego i klimatu. Energia słoneczna, która dociera do powierzchni ziemi w Polsce ma duży udział energii rozproszonej (bez określonego kierunku padania). Do odbioru energii o takiej strukturze najlepiej nadają się urządzenia zwane płaskimi kolektorami słonecznymi. Absorbują one zarówno energię słoneczną bezpośrednio padającą ze słońca (o określonym kierunku padania promieni), jak też i energię rozproszoną. Płaskie kolektory na ogół nie koncentrują energii słonecznej, a jeżeli już, to w niewielkim stopniu. Koncentrować można tylko energię słoneczną bezpośrednio padającą ze słońca. W naszych polskich warunkach jest to nieopłacalne. Stąd też w kolektorach płaskich uzyskuje się stosunkowo niską temperaturę podgrzania czynnika roboczego, ze względu na małą gęstość energii słonecznej, w porównaniu z powszechnie stosowanymi w praktyce źródłami energii. Podgrzany w płaskim kolektorze czynnik roboczy, najczęściej woda lub powietrze, może być wykorzystany do ogrzewania budynków mieszkalnych, obiektów rekreacyjnych, basenów kąpielowych itp. W dalszej części artykułu zajmiemy się opisem zasady działania oraz konstrukcją prostego kolektora słonecznego, który może służyć np. do podgrzewania wody w domku rekreacyjnym lub w warun-

kach polowych i może być zbudowany we własnym zakresie przez majsterkowicza.

Zasada działania

Ważnym elementem decydującym o efektywności działania słonecznego jest intensywność nasłonecznienia. Postaramy się bliżej określić jej wielkość dla polskich warunków i od czego ona zależy.

W górnych warstwach atmosfery ziemskiej natężenie promieniowania słonecznego (prędkość przepływu energii przez jednostkową powierzchnię ustawioną prostopadle do biegu promieni) wynosi około 1,3 kWh co odpowiada gęstości promieniowania 1300 W/m². Jednakże część promieniowania nie dociera do powierzchni ziemi. Dzieje się tak wskutek działania atmosfery (absorpcja, rozproszenie, odbicie, ugięcie itp.). Działanie atmosfery zmniejsza natężenie promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni ziemi, do nieco więcej niż połowy wartości jaką miało przy wejściu w atmosferę. Powoduje ono także zmiany w widmowym rozkładzie energii. Efekty te zależą od lokalnego składu atmosfery, zanieczyszczeń w pobliżu ośrodków przemysłowych, wysokiej zawartości pary wodnej w powietrzu, np. w okolicy wybrzeża. Układ warstw chmur również istotnie wpływa na ilość i jakość energii docierającej do powierzchni ziemi. Ilość docierającej energii zmienia się wraz z porą dnia, roku oraz w zależności od położenia geograficznego badanego punktu na kuli ziemskiej. Ten ostatni czynnik jest nieistotny dla warunków polskich. Można przyjąć, że dla całej Polski natężenie promieniowania słonecznego jest jednakowe.

Na terenie Polski nasłonecznienie jest zbliżone do północnej Francji i RFN, średnia w roku gęstość energii zawiera się w przedziale od 600 do 800 W/m². W Polsce pomiary promieniowania prowadzone są przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Wartości promieniowania są mierzone i podawane w odniesieniu do płaszczyzny poziomej, natomiast kolektory słoneczne są ustawiane najczęściej pod określonym kątem do poziomu tak, aby podczas pracy promienie słoneczne padały na nie pod kątem możliwie prostopadłym. Intensyfikuje to znacznie ilość energii padającej na powierzchnię kolektora.

Analiza wyników pomiarów w przeciągu kilku lat przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej pozwala na przyjęcie następujących wartości nasłonecznienia w Polsce:

W miesiącach

I–XII	– 650 W/m ² ,
IV–IX	– 650 W/m ² ,
X–III	– 560 W/m ² ,
VI–VIII	– 800 W/m ² .

Należy nadmienić, że całkowite dzienne nasłonecznienie nie jest największe, jak by się wydawało, w okolicy równika lecz na szerokości geograficznej około 40° (Polska leży między 49° a 54,5°). Wynika to z faktu, że na równiku promienie słoneczne nie padają cały rok prostopadle, a przy tym dzień na równiku jest krótszy niż na szerokości 40°. Wydłużenie dnia w miarę wzrostu szerokości geograficznej towarzyszy malejące natężenie promieniowania słonecznego aż do szerokości 40°, a poza nią, na północ, niewiele się zmienia. Tak dzieje się w lecie, natomiast w zimie wielkość ta maleje gwałtownie ze wzrostem szerokości geograficznej. Wynika stąd, że w Polsce w lecie mamy stosunkowo niezłe warunki nasłonecznienia.

Jeżeli już wiemy na jakie nasłonecznienie możemy liczyć, zastanówmy się, co będzie się działo z przedmiotem pozostawionym na słońcu. Nagrzeje się on, ponieważ absorbuje energię słoneczną. Zasada ta wykorzystywana jest w budowie kolektorów słonecznych.

Jeżeli ciało absorbuje energię, to zgodnie z zasadami termodynamiki wzrasta jego temperatura. Ciało usiłuje powrócić do stanu wyjściowego poprzez wyemitowanie nadmiaru energii. Szybkość emisji energii modelowego ciała, tzw. doskonale czarnego,

zależy od jego temperatury w czwartej potęgę:

$$P = \left[\frac{T}{64,5} \right]^4 \cdot \frac{W}{m^2}$$

gdzie [T] = K

Ciało rzeczywiste w odróżnieniu od ciała doskonale czarnego ma nieco inną emisyjność oraz absorpcyjność promieniowania. Uwzględniają to przypisane ciałom rzeczywistym współczynniki emisji ϵ i absorpcji α . Rozumiane są one w ten sposób, że ilość emitowanej energii ciała rzeczywistego w porównaniu z ciałem doskonale czarnym jest ϵ razy mniejsza, a zaabsorbowanej energii jest α razy mniejsza, niż ciała doskonale czarnego, w tej samej temperaturze. I tak np. wypolerowane metale mają współczynnik emisji około 0.1. Farby, niezależnie od koloru, w niskich temperaturach mają podobne współczynniki absorpcji i emisji, które są bliskie 1. Z tego powodu nieistotny jest kolor powierzchni absorbującej promieniowanie w niskich temperaturach.

Po tej dygresji, powróćmy do naszego przykładu z przedmiotem wystawionym na działanie słońca. Przyjmijmy, że leży on na warstwie materiału izolacyjnego, w miejscu osłoniętym od wiatru. Jeżeli promieniowanie słoneczne ma wartość P, a współczynnik absorpcji powierzchni jest α to przedmiot, np. płytka, będzie nagrzewać się do temperatury, w której nastąpi równowaga pomiędzy ilością zaabsorbowanej energii a energią wypromienowaną (emitowaną). Temperaturę tę można obliczyć z zależności:

$$\alpha P = \epsilon \left[\frac{T}{64,5} \right]^4$$

Z zależności tej wynika, że najwyższą temperaturę równowagi otrzymuje się nie dla ciał doskonale czarnych, ale dla ciał, których stosunek α/ϵ jest największy. Dla powierzchni o wysokich współczynnikach absorpcji, zbliżonych do ciał doskonale czarnych okazuje się, że stosunek α/ϵ jest bliski jedności. Dla takich powierzchni przyjmując $P = 800$ W/m² otrzymuje się temperaturę równowagi około 70°C. Wyższe temperatury można uzyskać, dla ciał, których wprawdzie α i ϵ mają wartości niskie, ale ich stosunek jest większy od jedności. Takie powierzchnie nazywamy



absorbentami selektywnymi. Są to zazwyczaj wypolerowane powierzchnie metalowe pokryte cienkimi warstwami czarnych tlenków miedzi i niklu. Mają one współczynnik absorpcji około 0.9 dla krótkofalowego zakresu pochłaniania, natomiast przepuszczają promieniowanie długofalowe. Współczynnik emisji promieniowania długofalowego jest wtedy bliski współczynnikowi emisji metalu tzn. wynosi około 0.1. Taka selektywna powierzchnia ma α/ϵ około 9. Temperatura równowagi przy $P = 800 \text{ W/m}^2$ jest dla niej wyższa i wynosi 154°C . Zasadniczą trudnością podczas eksploatacji takiej powierzchni jest utrzymanie jej w czystości.

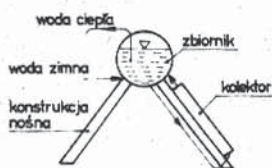
Dalsze podwyższenie temperatury równowagi możliwe jest przez ograniczenie strat ciepła. Dotychczas analizowaliśmy tylko straty spowodowane emisją promieniowania powierzchni, która absorbuje promieniowanie słoneczne. Założenie to było sensowne, gdyż dotyczyło przedmiotu (płytki) osłoniętego od wiatru. Straty ciepła spowodowane unoszeniem przez ruch powietrza (konwekcję) były tu niewielkie i kompensowały się z pozyskiwanym promieniowaniem długofalowym odbitym od atmosfery. Było ono również pomijane w analizie. W przypadku intensywnego ruchu powietrza (wiatru) straty konwekcyjne są znacznie większe

i należy je uwzględnić w obliczeniach. Zakładając, że rozważana płytka jest dobrze izolowana od dołu, to aby ograniczyć straty od góry spowodowane konwekcją i promieniowaniem, należy umieścić nad powierzchnią absorbującą jedną lub kilka przezroczystych płyt. Przezroczyste płyty przepuszczają krótkofalowe promieniowanie, natomiast absorbują promieniowanie długofalowe odbite od powierzchni absorpcyjnej. Powoduje to znaczne zmniejszenie strat przez promieniowanie. Powietrze znajdujące się pomiędzy płytą absorpcyjną a płytą przezroczystą jest prawie nieruchome i działa jak izolator cieplny, którego wymianę ciepła pomiędzy płytami określa współczynnik $h \approx 4 \text{ W/m}^2\text{C}$. Przy bardzo małych odległościach między płytami (około 2 cm) występuje tylko mechanizm wymiany ciepła zwany przewodzeniem, dla którego współczynnik h jest najniższy i wynosi $1,25 \text{ W/m}^2\text{C}$.

Wymiana ciepła przez promieniowanie pomiędzy powierzchnią absorpcyjną o współczynniku emisji ϵ a płytą przezroczystą o temperaturze T określona jest wyrażeniem:

$$\epsilon \left[\left(\frac{T}{64,5} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{64,5} \right)^4 \right]$$

natomiast konwekcyjna $h(T - T_1)$.



Rys. 1. Schemat przenośnego urządzenia słonecznego

Równowaga energetyczna płyty absorpcyjnej określona jest przez następującą zależność:

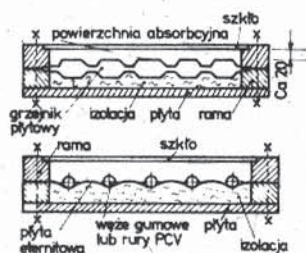
$$\alpha P = h(T - T_1) + \sum \left[\left(\frac{T}{64,5} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{64,5} \right)^4 \right]$$

natomiast płyty przezroczystej:

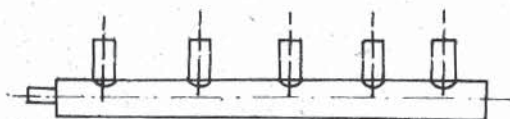
$$\alpha P + P_a = h_1(T_1 - T_a) + \left(\frac{T_1}{64,5} \right)^4$$

P_a – oznacza tu natężenie długofalowego promieniowania pochodzącego z atmosfery. W naszych warunkach wynosi ono około 200 W/m².

h_1 – oznacza współczynnik wymiany ciepła płyty przezroczystej z atmosferą o tempera-



Rys. 2. Wariant A: Kolektor zbudowany z grzejników płytowych. Wariant B: Kolektor zbudowany z płyty eternitowej i odcinków węży gumowych lub rurek



Rys. 3. Kolektor zbiorczy stosowany do rozwiązania z węzami gumowymi

turze T_a i uzależniony jest głównie od intensywności wiatru.

Zmienia się on w granicach od 4 do 20 W/m²C.

Z powyższych równań można wyznaczyć temperatury równowagi płyty absorpcyjnej T oraz płyty przezroczystej T_1 . Jak wynika z obliczeń wpływ płyty przezroczystej na temperaturę płyty absorpcyjnej jest znaczący. Przy przyjętej mocy $P = 800$ W/m² temperatura płyty absorpcyjnej zwykłej wynosi 113°C, a o powierzchni selektywnej 194°C. Dalszy wzrost temperatury można uzyskać przez zastosowanie dodatkowych płyt przezroczystych. W praktyce skuteczne są co najwyżej dwie. Większa liczba może prowadzić nawet do obniżenia temperatury płyty absorpcyjnej. Inną drogą prowadzącą do podwyższenia temperatury płyty jest koncentracja energii słonecznej na wejściu do kolektora poprzez zastosowanie zwierciadeł płaskich, parabolicznych czy też soczewek. Jednakże w warunkach polskich, jak wspomniano na wstępie, nie wydaje się to być uzasadnionym z punktu widzenia ekonomii (zbyt mały efekt przy dużych kosztach inwestycji).

Powierzchnia absorpcyjna, z której odprowadza się ciepło ma oczywiście niższą temperaturę równowagi niż w omawianych wyżej przypadkach. Urządzenie absorbujące energię słoneczną, z którego odprowadza się ciepło do celów użytecznych to właśnie kolektor słoneczny. Mogą być różne konstrukcje kolektorów w zależności od sposobu jego izolacji (przeciwstawiania się stratom cieplnym), kształtu i rodzaju powierzchni absorbera, czynnika odbierającego ciepło itp.

Określmy temperaturę powierzchni absorpcyjnej, z której odprowadzane jest ciepło w ilości Q do celów użytecznych. W tym celu zmodyfikujemy równania przedstawione dla przypadku kolektora bez odprowadzenia ciepła.

Równowaga płyty absorpcyjnej jest określona równaniem:

$$\alpha P - Q = h(T - T_1) + \sum \left[\left(\frac{T}{64,5} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{64,5} \right)^4 \right]$$

a pokrywy przezroczystej:

$$\alpha P - Q + P_a = h_1(T_1 - T_a) + \left(\frac{T_1}{64,5} \right)^4$$

Równania te pozwalają na obliczenie, podobnie jak poprzednio, temperatury płyty absorpcyjnej T oraz płyty przezroczystej T_1 przy założonej ilości odprowadzanego ciepła Q .

Ilość ta jest równa ilości ciepła zabieranego przez czynnik chłodzący powierzchnię absorpcyjną. Jest ona następnie odbierana od czynnika chłodzącego w miejscu przeznaczenia.

Dla płyty absorpcyjnej dostatecznie długiej, temperatura czynnika chłodzącego przy końcu płyty jest w przybliżeniu równa temperaturze płyty. Stąd też można napisać przybliżoną zależność pozwalającą na obliczenie podgrzania czynnika chłodzącego w kolektorze:

$$Q = C_p m (T - T_2),$$

o ile znane jest jego natężenie przepływu m .

W zależności tej T_2 to temperatura czynnika chłodzącego na wlocie do kolektora a C_p jest ciepłem właściwym (dla wody wynosi ono $4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$).

Podgrzaniem jest wówczas różnica temperatur $T - T_2$.

Kolektor wolno stojący do podgrzewania wody

Podane zasady obliczania kolektorów słonecznych umożliwiają zaprojektowanie prostego kolektora wolno stojącego. Może on być zastosowany np. do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Schemat przenośnego urządzenia słonecznego przedstawia rys. 1.

Cyrkulacja wody w kolektorze odbywa się w naturalny sposób (bez użycia pompy). Ogrzana w kolektorze słonecznym woda wpływa do zbiornika. Z kolei z dolnej części zbiornika, gdzie temperatura wody jest najniższa, zimna woda opada w dół. Tego typu urządzenie wymaga zainstalowania szczelnego kolektora. Kolektor taki można wykonać ze starych grzejników płytowych, z rurek PCV lub też z odcinków węża.

Jako zbiornik można wykorzystać stary boiler lub metalową beczkę. Zbiornik powinien być zaopatrzony w odpowiednią liczbę króćców dolotowych i odlotowych w zależności od liczby kolektorów – grzejników płytowych. Króćce grzejników płytowych i zbiornika można połączyć węzami gumowymi. Grzejnik płytowy należy pomalować farbą dobrze absorbującą promienie słoneczne. Może to być ciemna farba ftalowa.

Najłatwiej umocować grzejniki na płycie drewnianej izolując je od spodu i pokrywając szkłem od góry, tak jak to pokazano na rys. 2. Na tym samym rysunku pokazaliśmy drugi wariant rozwiązania z wykorzystaniem odcinków węży gumowych i pofalowanego eternitu. To drugie rozwiązanie wymaga zastosowania kolektorów zbiorczych (rys. 3). Kolektory słoneczne muszą być ustawione w kierunku słońca i połączone ze zbiornikiem (rys. 1).

W tym celu najlepiej wykonać dwie oddzielne konstrukcje nośne, jedną dla kolektora płaskiego z możliwością ustawienia go pod różnym kątem tak, żeby uzyskać możliwie prostopadłe padanie promieni słonecznych (latem pod kątem $30^\circ\text{--}35^\circ$, a wiosną 60°), a drugą dla zbiornika. Zbiornik oczywiście powinien być dokładnie zaizolowany.

Na zakończenie podajemy zestaw materiałów, które mogą być wykorzystane przy budowie kolektorów słonecznych.

Materiały stosowane na pokrycie:

- szkło nieorganiczne (zwykłe),
- szkło organiczne (tzw. pleksi),
- folie z tworzywa przezroczystego.

Materiały na powierzchnie absorpcyjne:

- blachy lub rury (węzownice) metalowe ze stali, miedzi, aluminium,
- tworzywa sztuczne (polipropylen, polietylen, itp.).

Powierzchnie pokrywa się farbami.

Materiały izolacyjne:

- wełna mineralna,
- wata szklana,
- pianka poliuretanowa,
- spieniony polistyren.

Ramy najlepiej wykonać z drewna lub z innych materiałów odpadowych.

Orientacyjnie na podstawie wyżej przedstawionego schematu obliczeń można dojść do następujących rezultatów. Przyjmujemy, że dla jednej osoby dobowe zużycie wody wynosi około 60 l. Zakładając, że minimalna temperatura wody do celów sanitarnych wynosi około 30°C , możemy oszacować wielkość powierzchni kolektora słonecznego dla jednej osoby na około 2 m^2 . Do tego potrzebny jest zbiornik magazynujący ciepłą wodę o pojemności 200 l (odpowiada pojemności beczki).

**Jarosław Mikielewicz
Zbigniew Bilicki**