

Wykorzystanie energii słonecznej do podgrzewania wody za pośrednictwem kolektorów słonecznych



Wstęp.....	2
Zasoby energii słonecznej w Polsce.....	3
Rejonizacja zasobów energii słonecznej w Polsce na potrzeby budowy kolektorów słonecznych.	4
Kolektory słoneczne.....	7
Budowa kolektorów słonecznych.....	8
Instalacja solarna.....	10
Dobór instalacji ciepłej wody użytkowej.....	11
Projekt słonecznej instalacji grzewczej ciepłej wody użytkowej.....	14
Założenia.....	14
Dobór elementów instalacji ciepłej wody użytkowej.....	14
Analiza ekonomiczna i ocena opłacalności inwestycji.....	15
Wnioski.....	17

WSTĘP

Wzrost zapotrzebowania na energię, spowodowany szybkim rozwojem gospodarczym, ograniczona ilość zasobów kopalnych, a także nadmierne zanieczyszczenie środowiska, spowodowały w ostatnich latach, duże zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii. Udział odnawialnych źródeł energii w bilansie paliwowo-energetycznym świata wynosi około 18%, wielkość ta wynika zarówno z rozwoju nowych technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii jak również z faktu, że część ludności świata nie ma dostępu do konwencjonalnych źródeł energii. Wspieranie rozwoju odnawialnych źródeł energii stało się ważnym celem polityki Unii Europejskiej. Wyrazem tego stała się opublikowana w 1997 roku, w Białej Księdze Komisji Europejskiej, strategia rozwoju odnawialnych źródeł energii w krajach Unii Europejskiej, która została uznana za podstawę działań na poziomie unijnym. Obecnie udział energii ze źródeł odnawialnych w zaspokojeniu zapotrzebowania Unii Europejskiej na energię pierwotną wynosi 6%. Udział energii odnawialnej w 1995 roku w wybranych państwach Unii Europejskiej

wynosił: w Austrii 24,3%, Danii 7,3%, Francji 7,1%, Niemczech 1,8%, Holandii 1,4%, Szwecji 25,4%. Duża rozbieżność w wykorzystaniu energii odnawialnej w poszczególnych państwach europejskich wynika, przede wszystkim z możliwości wykorzystania energii wodnej w krajach górzystych, np. w Szwecji i Austrii energia produkowana z energii wodnej stanowi około 95% wykorzystania wszystkich źródeł odnawialnych.

Ilościowe oszacowanie wykorzystania energii odnawialnej w Polsce jest obecnie rzeczą bardzo trudną, ponieważ informacje na ten temat są dostępne jedynie za pośrednictwem specjalnych badań ankietowych. Wielkość udziału energii odnawialnej w bilansie paliwowo-energetycznym kraju, szacowana jest przez różne instytucje krajowe, takie jak Główny Urząd Statystyczny, Ministerstwo Gospodarki, Europejskie Centrum Energii Odnawialnej. Wartości podawane przez te instytucje nie są zgodne, co jest także przyczyną trudności w oszacowaniu prawidłowego wykorzystania energii odnawialnej w kraju. Przykładowo w roczniku statystycznym "Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 1997-98"

(GUS, 1999r.) udział źródeł pozostałych (tzn. drewno opałowe, torf, paliwa odpadowe, energia wodna i inne nośniki odnawialne) w zużyciu energii pierwotnej w 1997 roku został określony na około 4,06%, zgodnie z dokumentem "Założenia polityki energetycznej Polski do 2020 roku" paliwa odnawialne w strukturze zużycia energii pierwotnej w 1997 roku stanowią 5,1%. Natomiast w ekspertyzie Europejskiego Centrum Energii Odnawialnej pt. "Ekonomiczne i prawne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Polsce" (EC BREC, 2000r.) szacuje się, że udział energii ze źródeł odnawialnych wynosi 2,5% (czyli 104 PJ). Dwie pierwsze wartości udziału energii odnawialnej w Polsce wynoszące powyżej 4% wydają się zawyżone, z uwagi na fakt, że przy szacowaniu tych wartości doliczone zostały także inne źródła energii, nie będące odnawialnymi, takie jak na przykład spalanie torfu. W związku z tym można uznać, że obecnie udział energii odnawialnej w zużyciu energii pierwotnej wynosi 2,5%, przy całkowitym zużyciu energii pierwotnej w kraju w 1998 r. około 4 tys.

Gospodarka elektroenergetyczna Polski oparta jest na krajowych złożach węgla kamiennego i brunatnego. W świadomości społecznej zakorzenił się stereotyp zaspakajania potrzeb ciepłych, także tych lokalnych i indywidualnych, metodą spalania paliw stałych. Transformacja gospodarki w kierunku rynkowym, w powiązaniu z rosnącymi wymogami ekologicznymi, ujawniła krytyczny stan polskiego górnictwa węglowego. Pojawiła się potrzeba zaspakajania potrzeb energetycznych z innych, odnawialnych

źródeł energii, do których zalicza się energię cieków wodnych, słoneczną, wiatru geotermalną, biogazu. Często te źródła energii określa się mianem niekonwencjonalnych.

Wykorzystanie źródeł odnawialnych w Polsce pomimo zauważalnego postępu w tej dziedzinie Stanowiło do roku 1997 margines gospodarki energią. Wyjątkiem są elektrownie wodne włączone w system elektroenergetyki zawodowej. Stanowią one tzw. małą energetykę, która po latach zastoju jest obecnie w fazie odbudowy. Energia elektryczna z tych elektrowni stanowi około 3% produkcji krajowej.

Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego w celach grzewczych jest w Polsce wciąż niewielkie. Zinventaryzowanie krajowych wdrożeń systemów słonecznych jest trudne, gdyż są to z reguły wykonane jednostkowe niewielkich rozmiarów. Szacuje się, że zainstalowano do roku 1997 ok. 10000 m² powierzchni kolektorów powietrznych i ok. 1500 m² kolektorów cieczowych do podgrzewania wody użytkowej.

Sytuacja urbanistyczna regionów typowo wiejskich wpływa na charakter gospodarki energią. Ze względu na małe zagęszczenie budynków praktycznie nie ma możliwości budowy sieci ciepłowniczej, a ewentualna gazyfikacja jest dość kosztowna. Duże obszary wiejskiej zwykle są oddalone od centrów energetycznych. Zaopatrzenie w tradycyjne nośniki energii gorsze, a także po wyższych cenach. To właśnie one stanowią dobrą lokalizację dla wykorzystywania energii słonecznej dla celów grzewczych.

ZASOBY ENERGII SŁONECZNEJ W POLSCE.

W promieniowaniu słonecznym docierającym do powierzchni Ziemi wyróżnia się trzy składowe promieniowania: bezpośrednie, rozproszone i odbite. Promieniowanie

bezpośrednie pochodzi od widocznej tarczy słonecznej, a jego kierunek padania jest uzależniony od aktualnej wysokości Słońca. Promieniowanie rozproszone powstaje na skutek wielokrotnego

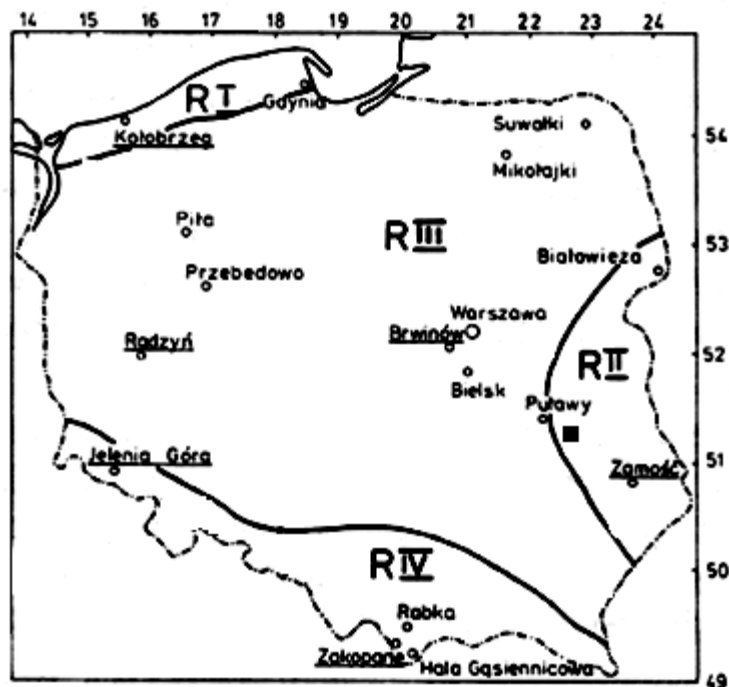
załamania na składnikach atmosfery i jest emitowane przez całą sferę. Promieniowanie odbite od najbliższego otoczenia związane jest z występującymi elementami krajobrazu i architektury, które część padającego na nie promieniowania odbijają w kierunku rozpatrywanej powierzchni.

Dla oceny spodziewanych efektów eksploatacji słonecznych instalacji grzewczych niezbędna jest znajomość zasobów energii słonecznej, zarówno na płaszczyznach poziomych jak i nachylanych. Szczególnie przydatne są dane dotyczące płaszczyzn o orientacji południowej uznawanej za optymalną dla kolektorów słonecznych.

REJONIZACJA ZASOBÓW ENERGII SŁONECZNEJ W POLSCE NA POTRZEBY BUDOWY KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH.

Rejonizacji zasobów energii słonecznej w Polsce dokonano w oparciu o dane pochodzące z rejestracji promieniowania słonecznego przez IMiGW z lat 1960-1990, zawarte w corocznych opracowaniach pt. "Promieniowanie słoneczne".

Ze względu na roczne sumy promieniowania całkowitego padającego na powierzchnię poziomą, na obszarze Polski wyodrębnić można cztery podstawowe regiony (rys. 1.).



I - pas nadmorski, ograniczony izolinia 950 kWh/m²* rok z Kolobrzegiem jako stacją charakterystyczną,

II - wschodnia część Polski, ograniczona izolinia 950 kWh/m²* rok, reprezentowana przez Zamosc,

III - pozostała część Polski od południa ograniczona izolinia 900 kWh/m²* rok, reprezentowaną przez stację Brwinów,

IV - południowa część Polski ograniczona od północy izolinia 900 kWh/m²* rok, ze stacją Zakopane.

Dodatkowo wydzielono w ramach podstawowych rejonów podrejonów:

IIIa - górne dorzecze Odry z Radzyniem,

IVa - obszar Sudetów i Przedgórze Sudeckiego z Jelenią Górą.

Wartości sum promieniowania całkowitego w poszczególnych rejonach dla całego roku, półrocza letniego, zimowego, sezonu letniego podane są w tablicy 1 dla różnych wartości progowych natężenia promieniowania słonecznego właściwych kolektorom płaskopłytowym.

Dane zawarte na rysunku 1 wskazują, że największy dopływ energii słonecznej obserwuje się na wybrzeżu (rejon I) oraz we wschodniej części kraju (rejon II). Roczne sumy napromieniowania kształtują się w granicach 950-1020 kWh/m²* rok. W rejonie II w okresie letnim obserwuje się najkorzystniejsze warunki wykorzystania energii słonecznej. Najmniejszy w skali roku dopływ energii słonecznej obserwuje się na południu Polski (rejon IV). Jednocześnie w tym rejonie w sezonie zimowym dopływ energii słonecznej (200-250 kWh/m²) jest znacznie większy niż w rejonie I i III, a porównywalny z rejonem II (wschodnia część Polski). Podobnymi cechami charakteryzuje się rejon Sudetów - IVa.

Generalnie w skali roku najlepsze warunki wykorzystania energii słonecznej obserwuje się we wschodniej części Polski, od Białowieży do Zamościa, oraz na Wybrzeżu Zachodnim. W półroczu zimowym relatywnie najkorzystniejsze warunki wykorzystania energii słońca obserwuje się w południowej i wschodniej części Polski.

Powyższe dane odnoszą się do skali regionalnej. W rzeczywistych warunkach terenowych, wskutek lokalnego zanieczyszczenia atmosfery i występowania przeszkód terenowych, rzeczywiste warunki nasłonecznienia mogą odbiegać od podanych.

Dawka roczna napromieniowania słonecznego 1m² płaszczyzny poziomej wynosi w Warszawie przeciętnie 967 kWh, przy usłonecznieniu 1580 godzin. Usłonecznienie jest to liczba godzin z bezpośrednio widoczną tarczą słoneczną. W poszczególnych latach mogą występować odchylenia do 12%. Na obszarze Polski obserwuje się niewielkie różnice regionalne w zasobach energii słonecznej (tabela 1). Pod względem warunków słonecznych wyróżnia się pas Wybrzeża, z tym że z powodu silnych wiatrów Wybrzeże Gdańskie jest mniej atrakcyjne niż Środkowe i Szczecińskie, oraz krańce wschodnie (Podlasie, Lubelszczyzna i Zamojszczyzna). W szerokim spojrzeniu na problemy konkurencyjności energetyki słonecznej warto zaznaczyć iż właśnie w wymienionych regionach ceny węgla kamiennego są wyższe od średniej krajowej, a i w planach różnicowania cen energii elektrycznej przewiduje się tu wzrost do 5% powyżej taryfy bazowej.

Tabela 1. Zasoby energii słonecznej w wybranych regionach Polski

Region Polski	Przeciętna roczna dawka napromieniowania słonecznego w kWh/m ²	Przeciętne roczne usłonecznienie w godzinach
Stołeczny	967	1580
Suwalszczyzna	975	1576
Podhale	988	1467
Dolny Śląsk	1030	1529
Zamojszczyzna	1033	1572
Pas nadmorski	1064	1624

Dla słonecznych instalacji grzewczych bardzo ważny jest rozkład dawek napromienienia w ciągu roku. Na płaszczyznę poziomą w porze ciepłej (kwiecień-październik) pada 80-85% energii całorocznego, natomiast na płaszczyznę eksponowaną w kierunku południowym pod zmiennym okresowo kątem nachylenia –75-80% . Dla porównania pora chłodna (listopad-marzec) charakteryzuje się w Polsce nie tylko niską dawką napromienienia całkowitego, ale także zwiększonym udziałem promieniowania rozproszonego, mniej istotnego w procesie pozyskiwania energii w kolektorach słonecznych .

W Polsce preferowane są instalacje słoneczne do podgrzewania wody

użytkowej oraz do suszenia płodów rolnych. W tych rozwiązaniach nie stosuje się długookresowej akumulacji energii słonecznej. Dlatego też ważną informacją dla pełnej oceny zasobów energii słonecznej w różnych okresach jest spodziewana liczba dni z dawkami napromienienia przekraczającymi daną wartość progową. Maksymalna dawka dzienna napromienienia płaszczyzny nachylonej może osiągnąć 8,2 kWh /m², ale tak sprzyjające warunki atmosferyczne zdarzają się dosyć rzadko. W tabeli 2 przedstawiono wydajność kolektorów cieczowych w zależności od dziennej dawki napromienienia słonecznego.



Tabela 2. Obliczona wydajność kolektorów cieczowych w zależności od dziennej dawki napromienienia słonecznego.

Temperatura podgrzewanej wody [°C]	Ilość wody w dm ³ w ciągu dnia z 10 m ² kolektorów przy dziennej dawce napromienienia słonecznego wynoszącej		
	3,0 kW*h/m ²	4,5 kW*h/m ²	6,0 kW*h/m ²
40	330	660	1020
50	150	340	550
60	60	170	330
70	20	80	190

Przy dobowej dawce napromienienia np. 3,0 kWh m² można uzyskać około 330 dm³ wody podgrzanej do temperatury 40°C, przy dawce 4,5 kWh/m² dwa razy więcej, a przy 6,0 kWh/m² ponad trzy razy więcej.

W analizie zasobów energii słonecznej istotny jest kąt nachylenia rozpatrywanej

płaszczyzny. Zagadnienie to jest istotne zwłaszcza na etapie projektowania instalacji. W tabeli 3 zestawiono optymalne wartości kątów dla ekspozycji południowej według kryterium maksymalizacji energii promieniowania całkowitego.

Tabela 3 Optymalne kąty nachylenia płaszczyzn ekspozycyjnych w kierunku południowym.

Dla promieniowania całkowitego	Kąt nachylenia względem poziomu, w stopniach														
	Miesiąc														
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	IV-X	I-XII	
	60	55	45	30	15	10	15	30	45	55	65	65	23	30	

KOLEKTORY SŁONECZNE

Kolektory są urządzeniami energetycznymi, które zaabsorbują energię promieniowania słonecznego przetwarzają w energię cieplną przy pomocy pośredniczącego w tej

transformacji medium roboczego. Do podgrzewania wody użytkowej najczęściej wykorzystywane są płaskie kolektory słoneczne. Ich podstawowymi elementami konstrukcyjnymi są: pokrywa

przezroczysta (zazwyczaj szklana), absorber - wykonany jako metalowa płyta pokryta powłoką o specjalnych właściwościach optycznych, rurociąg cieczowy mocowany do absorbera (czasem stanowiący z nim jedną całość), izolacja cieplna znajdująca się pod absorberem oraz obudowa.

Do bardziej nowoczesnych, ale też znacznie droższych, konstrukcji należą tubowe kolektory próżniowe, z wyższą sprawnością przetwarzające energię rozproszonego promieniowania słonecznego. ten typ kolektora składa się z kilku do kilkunastu rur szklanych o wysokiej próżni wewnątrz. W każdą rurę próżniową wbudowany jest absorber z zamocowaną rurką, w której nagrzewa się czynnik roboczy. próżnia gwarantuje minimalne straty ciepła do otoczenia.

Zasada transformacji energii słonecznej w użyteczną formę energii cieplnej jest jednakowa, bez względu na rodzaj i typ kolektora. Opiera się ona na wykorzystaniu własności cieplnych “ czarnych” powłok. Szkło i inne pokrywy przezroczyste w wysokim stopniu przepuszczają padające na nie promieniowanie słoneczne. Umieszczony pod pokrywą absorber pochłania (absorbuje) przepuszczone promieniowanie nagrzewając się, a o intensywności procesu absorpcji i nagrzewania decyduje struktura jego powierzchni. Energia cieplna jest odbierana z płyty absorbera rurociągami cieczowymi, w których czynnik roboczy podgrzewa się do temperatury zależnej od intensywności napromienienia słonecznego oraz od natężenia przepływu czynnika.

BUDOWA KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

Kolektor słoneczny zbudowany jest z następujących elementów:

1. Przezroczysta pokrywa - najlepiej wykonana ze szkła o niskiej zawartości tlenków żelaza. Raczej nie stosuje się pokryw z tworzyw sztucznych, gdyż niszczej się stosunkowo szybko pod wpływem wysokich temperatur, promieniowania UV oraz mogą na nich powstawać zarysowania które obniżą przepuszczalność promieni słonecznych. Zastosowanie pryzmatycznej szyby szklanej może znacznie polepszyć wydajność kolektorów.
2. Absorber - główny element kolektora słonecznego. Powinien być wykonany z metalu dobrze przewodzącego ciepło; najczęściej jest to miedź (najlepiej) albo aluminium. Metal ten jest pokryty substancjami, tworzącymi jego

powłokę. W zależności od rodzaju kolektora, może być to powłoka nieselektywna (bardzo dobrze absorbuje ciepło, ale także dużo go emitują) lub selektywna (również bardzo dobrze absorbuje ciepło, a jednocześnie ogranicza emisję). Powłoki nieselektywne wykonuje się z czarnych lakierów, a selektywne w wyniku galwanicznego nałożenia czarnego chromu. Oczywiście powłoki selektywne są znacznie lepsze. Do płyty absorbera przylutowane są rurki, przez które przepływa ciecz robocza.

3. Izolacja i obudowa - aby kolektor nie oddawał ciepła do otoczenia, musi być izolowany. Jako izolator stosuje się najczęściej wełnę mineralną lub poliuretan. Całość mieści się w obudowie kolektora (najczęściej aluminiowej), która powinna być szczelna.

Kolektory słoneczne można instalować wszędzie, w dowolnej konfiguracji. Mogą być instalowane zarówno na dachu jak i na ziemi - na stojaku. Aby jednak otrzymać najlepsze efekty, warto trzymać się następujących wskazówek:

- Kolektor powinien być zwrócony stroną szklaną na południe.
- Kolektor powinien być pochylony o ok. 45 stopni względem poziomu - jest to kąt idealny przy wykorzystaniu kolektora od lutego do listopada.
- Jeżeli kolektor ma być używany tylko w miesiącach letnich (np. do ogrzewania wody w basenie lub do domku letniego), należy go zainstalować pod kątem 30 stopni.
- Kolektory należy instalować w miejscu niezacienionym przez drzewa, krzaki itp.
- Wskazane jest stosowanie - jako czynnika roboczego - specjalnych cieczy, gdyż ograniczają one odkładanie się minerałów na kolektorze i eliminują zagrożenie zanieczyszczenia się cieczy.

W instalacjach niskotemperaturowych (np. podgrzewanie wody w basenach w sezonie ciepłym) spotyka się kolektory bez pokrywy czołowej. Mogą one pracować nawet z większą wydajnością cieplną od kolektorów standardowych, wtedy gdy temperatury otoczenia są dość wysokie, a wymagana temperatura podgrzewania nie przekracza 30⁰C.

Sprawność kolektora jest funkcją jego parametrów konstrukcyjnych (użyte materiały , izolacje termiczne, układ rurociągu), ale także i eksploatacyjnych (wydatek czynnika, napromienienie, prędkość i kierunek wiatru , obciążenie cieplne). Im wyższe uzyskiwane przyrosty temperatur czynnika, tym niższa sprawność transformacji energii.

W kolektorach słonecznych czynnikiem grzewczym jest woda, płyn niezamarzający i powietrze. Kolektory cieczowe budowane są w formie pojedynczych paneli o powierzchni 1-1,5 m², które łączy się w baterie o dowolnych powierzchniach do 100-200 m². Montowane mogą być na dachach budynków lub jako instalacje wolno stojące. Kolektory powietrzne buduje się o powierzchniach 50-1000 m², instalowane są na budynkach (wykorzystywane są tu również dachy budynków kryte blachą, papą itp.), ale mogą być także budowane jako przyścienne, wolno stojące, jak również w postaci rękawów z czarnej folii.

Kolektory słoneczne można też podzielić według zakresu wymaganych eksploatacją temperatur na:

- niskotemperaturowe do 100⁰ C, zwykle kolektory płaskie,
- □ wysokotemperaturowe powyżej 100⁰ C, a praktycznie do 200⁰ C.

Efektywność procesu przekształcania promieniowania słonecznego na ciepło użytkowe zależy od wielu czynników. Przy podejmowaniu decyzji o wyborze kolektora należy zwrócić uwagę przede wszystkim na sprawność proponowanego systemu. Ważne jest, aby kolektor miał wysoki współczynnik absorpcji krótkofalowego promieniowania słonecznego - najlepiej jeśli sięga on wartości 0,95. Drugim współczynnikiem mającym wpływ na sprawność kolektora jest współczynnik emisji, który w zakresie długich fal powinien być z kolei jak najmniejszy np. 0,1.

Sprawność kolektorów może sięgać nawet 85 %, dotyczy to jednak rozwiązań opartych o technologie próżniowe Heat-Pipe. Popularne płaskie kolektory posiadają sprawność maksymalną rzędu 75%. W rzeczywistości jednak sprawność zmienia się w zależności do natężenia

promieniowania i różnicy temperatur w stosunku do otoczenia. Ilość uzyskanej energii cieplnej zależy głównie od budowy kolektora: zastosowanej izolacji cieplnej, typu powłoki, pojemności cieplnej czy też rodzaju szyb. Przy wyborze ważne jest porównanie temperatur jałowej pracy kolektorów, czyli minimalnej temperatury otoczenia przy której zaczynają one pracować.

Straty ciepłe, mogą obniżyć sprawność kolektora nawet do 30%. Ich graniczenie możliwe jest przy zastosowaniu wysokiej klasy, dobrze zaizolowanych kolektorów. Duże znaczenie ma różnica temperatur pomiędzy kolektorem, a otoczeniem. Im jest ona większa tym bardziej wzrastają straty termiczne. Dla kolektorów selektywnych (np. kolektory typu Heat-Pipe) utrata sprawności dla różnicy temperatur 40* C wynosi do 15%.

Sprawność kolektorów płaskich, dla tej samej różnicy temperatur, może się zmniejszyć nawet o 50%.

Również niższe natężenie promieniowania słonecznego obniża sprawność. Przy napromieniowaniu 500 W/m² (50% napromieniowania maksymalnego) kolektory o wysokiej efektywności osiągają sprawność 65%. Dla kolektorów płaskich jednoszybowych o małej zdolności wychwytywania energii i o niskim współczynniku absorpcji, sprawność może zmaleć nawet poniżej poziomu 10%. Przyjmuje się zwykle, że średnioroczna sprawność całego systemu składającego się z kolektora i instalacji waha się w okolicach 50%. Oznacza to, że w warunkach polskich roczna ilość ciepła wyniesie z 1 m² około 500 kWh/m², co stanowi równowartość 70 do 100 kg węgla.

INSTALACJA SOLARNA

Instalacja solarna stanowi zespół dobranych do siebie urządzeń takich jak: kolektory słoneczne, panele sterujące – zabezpieczające i pojemnościowe zasobniki wody użytkowej lub przepływowe wymienniki ciepła.

Najprostszą, a zarazem najtańszą instalacją do podgrzewania wody jest instalacja grawitacyjna (termosyfonowa z obiegiem bezpośrednim i pośrednim. W instalacjach grawitacyjnych przepływ czynnika odbywa się samoczynnie wskutek unoszenia do góry cieplejszych mas (o mniejszej gęstości). Taki obieg jest jednocześnie samosterowany, to znaczy intensywność ruchu medium zależy od różnicy temperatur pomiędzy górnymi partiami kolektorów, a dolną częścią zbiornika. Brak pompy i układu automatycznego sterowania to niewątpliwie zalety instalacji grawitacyjnych, które w swojej najprostszej wersji mogą pracować także na terenach pozbawionych zasilania elektroenergetycznego. Jednak warunkiem ich sprawnego funkcjonowania jest

odpowiednia konfiguracja. Zbiornik powinien być ustawiony pionowo i umieszczony 30-40 cm powyżej górnej krawędzi kolektorów. W celu minimalizacji oporów hydraulicznych kolektory należy łączyć równolegle, a ponadto ograniczać długość rurociągów, unikać przewężeń ich przekroju i stosować tylko niezbędne załamania. Inną wadą w praktyce spotykanych instalacji grawitacyjnych w wersji z obiegiem bezpośrednim jest wyłączenie z eksploatacji w okresie występowania temperatur ujemnych (w Polsce od 20 października do 30 kwietnia) oraz przyspieszone zużycie absorbera w kontakcie z wodą wodociągową bądź studzienną. Można wprowadzić zastosować obieg pośredni z niezamarzającym i uzdatnionym czynnikiem, ale wówczas niezbędny wymiennik ciepła stanowi duże opory przepływu i zmniejsza wydajność cieplną takiej instalacji.

Bardziej uniwersalne cechy użytkowe posiadają instalacje z aktywnym czyli

wymuszonym obiegiem czynnika w układzie kolektory słoneczne – zbiornik akumulacyjny. Obieg czynnika uruchamia zazwyczaj jednofazowa pompa. W rozwiązaniu klasycznym jej pracą steruje regulator różnicowy temperatur. Uruchomienie pompy następuje wtedy, gdy temperatura czynnika mierzona na wylocie z kolektorów przekracza o zadaną wartość temperaturę mierzoną w dolnej części zbiornika akumulacyjnego. Cyrkulacja czynnika trwa do momentu zrównania obu temperatur. Cykl następnie powtarza się jeśli warunki atmosferyczne pozwalają na dalsze podgrzewanie w kolektorach. Na obszarach pozbawionych sieci elektroenergetycznej możliwy jest napęd pompy dzięki energii pozyskiwanej z ogniw fotowoltaicznych. Taki układ charakteryzuje się pewną samosterownością – wydajność pompy jest proporcjonalna do intensywności napromienienia słonecznego ogniwa.

Instalacje słoneczne z aktywnym obiegiem kolektorowym mogą podgrzewać wodę bezpośrednio, albo pośrednio. Różnice w konstrukcji i eksploatacji obu tych wersji są istotne z racji ciśnienia panującego w całej instalacji wodnej. Obieg bezpośredni można zastosować jeśli woda nie jest agresywna chemicznie. Wykonanie samodzielne instalacji słonecznej z obiegiem aktywnym bezpośrednim jest możliwe w oparciu o zakupione kolektory słoneczne.

Sterowanie pracą słonecznej instalacji grzewczej z obiegiem aktywnym realizowane jest automatycznie. W najprostszej konfiguracji wystarczy odpowiadający za obieg kolektorowy regulator różnicowy temperatur współpracujący z dwoma czujnikami temperatur oraz termostat określający tryb pracy konwencjonalnego segmentu grzewczego. Producenci instalacji słonecznych oferują wielozadaniowe regulatory z zestawami czujników, dostosowane do danego rozwiązania.

Kolektory najczęściej montowane są na dachach budynków mieszkalnych lub gospodarczych. Najlepiej jeśli znajdują się bezpośrednio nad punktami rozbioru wody (łazienki, kuchnie itp.). Ogranicza się w ten sposób długość rur łączących zmieniając straty energii cieplnej. Oznacza to, że już na etapie projektowania budynku powinna być rozważona ewentualna możliwość budowy instalacji słonecznej, można wówczas odpowiednio zaprojektować układ mieszkania i rozlokować punkty czerpalne ciepłej wody. Jeśli natomiast do istniejących już budynku dobudowany jest zestaw kolektorów, musimy przyjąć w założeniach istniejącą orientację budynku i pochylenie dachu, a ponadto trzeba się liczyć z koniecznością znacznej przebudowy połączeń wodociągowych.

DOBÓR INSTALACJI CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

Podstawowym problemem w projektowaniu instalacji jest ustalenie pola powierzchni (liczby) kolektorów. Występuje tu oczywisty związek z zapotrzebowaniem energii do realizacji wspomaganego procesu grzewczego. Teoretycznie można rozbudować instalację słoneczną do takich rozmiarów, że przy wykorzystaniu systemu akumulacyjnego możliwe byłoby pokrywanie zapotrzebowania energii w danym procesie

w blisko 100%-ach. Nie jest to jednak racjonalne gdyż po przekroczeniu pewnej wartości powierzchni instalacji, każda następna dołączana jednostka ma niewielki udział w efektach energetycznych, podnosząc jedynie koszt inwestycji.

Dobór liczby kolektorów wymaga zatem ustalenia jakie jest zapotrzebowanie energii w danym procesie grzewczym oraz określenia uzasadnionego poziomu

pokrycia tego zapotrzebowania przez energię słoneczną.

Dobór liczby kolektorów opiera się na założeniu, że w okresie letnim mają zapewnić prawie 100% energii potrzebnej do podgrzania wody użytkowej do temperatury 45°C w ilości odpowiadającej dobowemu zużyciu. W przypadku kolektorów płaskich ich łączna powierzchnia powinna wynosić $1,5-3,0\text{m}^2$ w przeliczeniu na 100dm^3 dobowego rozbioru ciepłej wody. Natomiast w przypadku kolektorów próżniowych wystarczy $1,2-1,6\text{m}^2/100\text{dm}^3$.

Zwiększenie liczby kolektorów jest równoznaczne z osiąganiem wyższych temperatur w zbiorniku solarnym, zatem wzrasta udział energii słonecznej w procesie przygotowania ciepłej wody. Jednocześnie spada sprawność pracy kolektorów i całej instalacji słonecznej. W polskich warunkach klimatycznych przekroczenie poziomu $3,5\text{m}^2$ kolektorów w przeliczeniu na 100dm^3 ciepłej wody z energetycznego i ekonomicznego punktu widzenia nie jest wskazane. Powyżej tej granicy przyrost powierzchni instalacji nie daje proporcjonalnych do kosztów efektów cieplnych. Natomiast redukcja liczby kolektorów obniża temperaturę pracy instalacji, co poprawia jej sprawność. Jednakże poniżej $1,5\text{m}^2/100\text{dm}^3$ sens przedsięwzięcia jest wątpliwy z racji mało satysfakcjonującego stopnia wspomagania konwencjonalnego ogrzewania.

Producenci instalacji słonecznych w swoich prospektach reklamowych zalecając na przykład 3m^2 kolektorów na 100dm^3 ciepłej wody zapewniają 80-90%-owy udział energii słonecznej w jej podgrzewaniu od maja do września oraz ok. 60%-owy w skali całego roku. Należy jednak zwrócić uwagę, że chodzi tu raczej o udział w podgrzaniu do $45-50^{\circ}\text{C}$, co nie jest równoznaczne ze stopniem pokrycia zapotrzebowania energetycznego pełnego procesu przygotowania ciepłej wody. W rzeczywistości należy uwzględnić

wymaganą temperaturę w zbiorniku na poziomie 60°C oraz fakt stałego występowania strat ciepła przez izolację ogrzewacza. Zatem zasilając ogrzewacz wodą podgrzaną w zbiorniku solarnym do 50°C można pokryć jego całkowite zapotrzebowanie energetyczne tylko w ok. 70%-ach. Trzeba więc przyjąć, że przy zastosowaniu kolektorów o powierzchni 3m^2 udział energii słonecznej w przygotowaniu 100dm^3 ciepłej wody może wynosić ok. 70% w miesiącach letnich i do 50% w skali roku.

Objętość zbiornika akumulacyjnego przyjmuje się na podstawie przeciętnego dobowego rozbioru ciepłej wody w obiekcie. Dla większych instalacji słonecznych o znacznych wahaniami rozbioru zaleca się objętość zbiornika akumulacyjnego odpowiadającą 1,5-krotnemu zapotrzebowaniu. Dobrze zaizolowane zbiorniki ofertowe na rynku wyposażone są w wymienniki płaszczowe, a częściej w rurociągi wykonane z miedzi (średnica 18 albo 22mm) albo stali nierdzewnej (średnica $\frac{3}{4}$ " albo 1"). Powierzchnia wymiany ciepła w tych wymiennikach wynosi $0,6-1,2\text{m}^2$ na 100dm^3 pojemności zbiornika, co dla konstrukcji rurowej oznacza $10-20\text{mb}/100\text{dm}^3$. W celu szybkiego doboru rozmiarów instalacji słonecznych korzysta się z uproszczonych algorytmów obliczeniowych lub nomogramów. Producenci opracowują je na podstawie wyników symulacji komputerowych z wykorzystaniem programów szczegółowo opisujących wymianę ciepła w kolektorach i zbiornikach w warunkach nasłonecznienia o typowym dla rozpatrywanej lokalizacji przebiegu i dla standardowych harmonogramów rozbioru ciepłej wody. Istnieje szereg czynników warunkujących opłacalność wdrażania słonecznych systemów grzewczych. Jeden z najważniejszych jest wielkość zasobów energii słonecznej, zarówno w kontekście pewnego zróżnicowania na terenie Polski jak też w zależności od kierunku kąta i ekspozycji. Drugim bardzo istotnym dla

potencjalnych inwestorów warunkiem powodzenia przedsięwzięcia jest właściwy wybór obiektu, w którym słoneczny system grzewczy ma być zastosowany. Przede wszystkim trzeba rozstrzygnąć jaki nośnik energii będzie zastępowany energią słoneczną. Najbardziej atrakcyjnym wydaje się wspomaganie instalacji grzewczych o najwyższych kosztach wytwarzania energii cieplnej. Po analizie kosztów wytwarzania ciepła z konwencjonalnych nośników należy ustalić jaką wydajność osiągnie wspomagająca instalacja słoneczna. Precyzyjne podanie spodziewanych efektów nie jest łatwe, zależą one bowiem od wielu czynników związanych z konkretnym wdrożeniem. Ostrożnie trzeba traktować wyliczenia zamieszczane w materiałach reklamowych, które są naturalnie dość optymistyczne. Na pewno nie do przyjęcia są sugestie odnośnie możliwości wykorzystania 800-1000kWh z 1-go m² powierzchni kolektorów w ciągu roku. Realne natomiast są zapowiedzi oszczędności na poziomie 400-500 kWh, ale można je osiągnąć tylko wtedy, gdy przyjęta

powierzchnia kolektorów jest stosunkowo mała i możliwie w warunkach idealnego przebiegu eksploatacji. Chodzi tu o między innymi o zastosowanie względnie małej powierzchni kolektorów – 1,5m² w przeliczeniu na 100dm³ rozbioru ciepłej wody, co jednak dałoby pokrycie zapotrzebowania ogrzewacza w niej więcej niż 30%-ach. Projektując większe rozmiary instalacji : 2,5-3,0 m² kolektorów na 100dm³ (co jest bardziej racjonalne) i biorąc pod uwagę rzeczywiste warunki pracy można liczyć ok. 350 kWh oszczędności z każdego m².

O rentowności instalacji słonecznej decydują wreszcie koszty poszczególnych zespołów i wykonawstwa. Traktując wykonanie instalacji jako etap budowy obiektu lub zakładając znaczne zaangażowanie użytkownika, nakłady na robociznę nie będą duże. Pozostają zatem niezależne od inwestorów ceny rynkowe elementów składowych. Producenci i dystrybutorzy instalacji słonecznych chętnie oferują gotowe zestawy montowane "pod klucz".



PROJEKT SŁONECZNEJ INSTALACJI GRZEWCZEJ CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

ZAŁOŻENIA

- Kolektor umieszczony na południowej połaci dachu.
- Pochylenie dachu wynosi 45°
- Temperatura wody na wejściu wynosi 10°C
- Dzielne zapotrzebowanie na wodę o temperaturze 45°C wynosi $D_z = 60\text{l}$,
- Przyjmuje się, że 1l wody waży ok. 1kg ,
- Ilość osób korzystających z instalacji $n=5$,
- Sprawność kolektora $\eta = 0,8$
- Projektowana instalacja ma być zainstalowana w budynku jednorodzinny zamiast przepływowego podgrzewacza wody firmy Simens CLICKFIX DH 18200 o mocy $P = 18\text{KW}$ przepływie wody o temperaturze 45°C równym $7\text{l}/\text{min}$.
- Budynek położony jest w III obszarze nasłonecznienia Polski na terenach których ze względu na małe zagęszczenie budynków nie ma możliwości budowy sieci ciepłowniczej zaś ewentualna gazyfikacja jest zbyt kosztowna.

DOBÓR ELEMENTÓW INSTALACJI CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

Dzielne zużycie energii elektrycznej na podgrzanie $5 \times 60\text{l} = 300\text{l}$ wody do temperatury 45°C przy przepływie $7\text{l}/\text{min}$ przez podgrzewacz wynosi : $12,86\text{KWh}$.

Dobowe zapotrzebowanie na ciepło:

$$Q = m c_w \Delta T = n * D_z * c_w * (45 - 10) = 5 \times 60 \times 4,2 \times 35 = \\ = 44100\text{kJ}/\text{dobę} = 12,25 \text{ kWh}/\text{dobę}$$

Dla rejonu III średnie dzielne nasłonecznienie dla kąta nachylenia 45° wynosi:

$$H_{dz.śr} = 4,89 \text{ kWh}/\text{m}^2 * \text{doba}$$

Przyjmując dzienną sprawność kolektora słonecznego ok. $0,40$, wymagane pole kolektora słonecznego wynosi:

$$S_k = Q \times \eta / H_{dz.śr.} \times \eta_{dz} = 12,25 \times 0,8 / 4,89 \times 0,4 = 5 \text{ m}^2$$

Pojemność zbiornika na wodę przyjmujemy 300l .

Roczne zapotrzebowanie energii na podgrzanie 300l wody dziennie wynosi:

$$P = 3727 \text{ kWh}$$

Całkowite promieniowanie słoneczne roczne:

$$P_{st} = 5420 \text{ kWh}$$

Uzysk z instalacji solarnej :

$$P_{\text{sol.}} = 2168 \text{ kWh}$$

Energia do dogrzewania w stosunku rocznym:

$$P_d = 1559 \text{ kWh}$$

W oparciu o wykonane obliczenia i katalogi kolektorów przyjmujemy elementy instalacji cwu:

<i>NAZWA ELEMENTU</i>	<i>CENA JEDN.</i>	<i>ILOŚĆ</i>	<i>CENA</i>
Kolektor słoneczny typ KSC-AE/200S	1098	3	3294
Zasobnik wody 300l z jedną wężownicą	1175	1	1175
Sterownik elektroniczny kolektora SPW-3	600	1	600
Zestaw pompowy	900	1	900
Konstrukcja nośna	680	1	680
Grzałka elektryczna	119	1	119
Elementy instalacyjne	500	1	500
Montaż		1	2000
RAZEM			7268

Koszt zakupu przepływowego podgrzewacza wody firmy Simens - 1 szt. X 750 zł

Razem koszt instalacji solarnej w g tabeli wynosi 7268 zł.

ANALIZA EKONOMICZNA I OCENA OPŁACALNOŚCI INWESTYCJI

Dane:

- Żywotność inwestycji - 10 lat
- Cena instalacji solarnej - 7268 zł
- Cena podgrzewacz - 750 zł
- Roczna oszczędność energii elektrycznej - 2168 kWh
- Cena energii elektrycznej - 0,35 zł/kWh,
- Stopa dyskonta dla inwestycji proekologicznej - 8%
- Podatek dochodowy - 28%
- Amortyzacja liniowa
- Koszt konserwacji - 150 zł/rocznie

Koszt inwestycji (dopłata inwestycyjna):

$$ICC = 7268 - 750 = 6518 \text{ zł}$$

Tabela 1. Przepływy pieniężne - CF.

LP.	NAZWA ELEMENTU	ROK 0	ROK 1
1	Nakłady inwestycyjne	-6518	
2	Amortyzacja		652
3	Wartość oszcz. energii		-759
4	Inne – konserwacja	-	150
5	Dochód przed opodatkowaniem		759
6	Podatek		212
7	Dochód po opodatkowaniu		547
8	Robocizna	-2000	
9	Przepływ CF	-8518	1199
10	Przepływ skumulowany	-8518	-7319

Tabela 2. Skumulowane przepływy pieniężne – CCF.

Lata	Wartość w zł.	Lata	Wartość w zł.
1	-7319	6	-1324
2	-6120	7	-125
3	-4921	8	1074
4	-3722	9	2273
5	-2523	10	3472

Obliczamy przybliżoną wartość CCE:

$$CCE = ICC \times CRF / \text{Przec. rocz. oszcz. energii w jedn. energii}$$

$$CRF = r / [1 - (1+r)^{-n}] \text{ dla } r = 8\% \quad CRF = 0,11$$

$$CCE = 6518 \times 0,11 / 2168 = 0,33 \text{ zł/kWh}$$

Kalkulacyjny okres zwrotu nakładów PBP = 7,1 roku

Wewnętrzna stopa zwrotu IRR = 14,1%

Wartość bieżąca netto NPV = 3742 zł

NPVR = NPV/ICC = 3742/6518 = 0,574

WNIOSKI

Obliczone wskaźniki ekonomiczne wskazują na opłacalność ekonomiczną tego typu inwestycji. Współczynnik IRR ma wartość powyżej bankowych progów opłacalności, przy założeniu stałej ceny za energię elektryczną w rozpatrywanym przedziale czasowym.

Optymalne wykorzystanie paliw i energii powinno następować na podstawie LPC (Least Cost Planning), które obejmuje tworzenie lub restrukturyzację systemu zaopatrzenia w energię zarówno po stronie podaży jak i po stronie popytu:

1) Strona dostawy (podaży) LPC (SSP - Supply Side Planning)

- wykorzystanie lokalnych zasobów energii odpadowej,
- wprowadzanie pomp ciepła zasilanych gazem lub z lokalnych EC,
- wykorzystanie źródeł niekonwencjonalnych i odnawialnych;

2) Strona popytu LPC (DSM - Demand Side Management)

- standardy zużycia ciepła dla potrzeb ogrzewania i ciepłej wody,
- prognozy zapotrzebowania na moc cieplną i zużycia ciepła,
- doradztwo dla klientów,
- kształtowanie taryf,
- bodźce finansowe,
- usługi energetyczne.

Opłacalność wykorzystania kolektorów słonecznych do produkcji ciepłej wody zależy od wielkości zapotrzebowania na ciepłą wodę oraz od ceny energii. Przy dużym zapotrzebowaniu na ciepłą wodę czas zwrotu kosztów poniesionych na wykonanie instalacji kolektorów słonecznych jest bardzo krótki. Inwestycja jest szczególnie opłacalna hoteli pensjonatów, ośrodkach wycieczkowych, pól namiotowych, basenów i obiektów sportowych wykorzystywanych w lecie. Może być ona również z powodzeniem stosowana w zakładach przemysłowych zużywających duże ilości ciepłej wody oraz zakładach kąpielowych, łaźniach. Dla pozostałych odbiorców inwestycja wymaga wsparcia

Bardzo istotnym aspektem projektu jest jego wartość ekologiczna, która uwzględnia koszty społeczne realizowanej inwestycji.

Prospekty firm produkcyjnych informują, że wykorzystanie 8 m² kolektorów dla domu jednorodzinnego obniża emisję 1 tony dwutlenku węgla (CO₂), dwutlenku siarki (SO₂) i rakotwórczych tlenków azotu w ciągu roku. Odnawialne źródła energii wywierają minimalny lub nawet nie wywierają żadnego ujemnego wpływu na środowisko naturalne. Stały koszt jednostkowy uzyskiwanej energii elektrycznej z ogromnych, ciągle odnawiających się zasobów energii to obok możliwości pracy na sieci wydzielonej i oszczędności paliw konwencjonalnych zalety energetycznych źródeł przyszłości. Źródła te stanowią energię bardzo elastyczną, wykorzystującą różnorodne zasoby pozyskania energii.

Rozproszenie ich (źródeł) na terenie całego kraju rozwiązuje problem transportu energii, gdyż można po prostu

pozyskiwać ją w dowolnym miejscu. Eliminuje to straty związane z dystrybucją i pozwala unikać budowania kosztownych linii przesyłowych. Widać więc, że obecnie lokalnie, a w przyszłości być może na szeroka skalę odnawialne źródła energii mogą okazać się niezastąpione. W następstwie postępu technicznego i masowości wytwarzania odnawialnych źródeł energii oraz ich magazynowania mały będą szybko koszty pozyskiwania energii z tych źródeł.

Polityka Państwa w stosunku do energii odnawialnej określona została w "Założeniach Polityki Energetycznej Polski do roku 2020" przyjętych przez Rząd w lutym 2000r.

W dokumencie tym stwierdza się, że źródła energii odnawialnej mogą odgrywać znaczną rolę w lokalnych bilansach paliw pierwotnych. W studium krajowym w sprawie zmian klimatu pt. "Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych i adaptacja polskiej gospodarki do zmian klimatu" (1996 rok) potencjał techniczny energetyki odnawialnej oszacowany jest na 337 PJ. Natomiast w raporcie przygotowanym dla potrzeb Banku Światowego (Hauff, 1996) oceniono, że ze źródeł odnawialnych można w Polsce pokryć do 30% zapotrzebowania na energię pierwotną.

W "Założeniach Polityki Energetycznej Polski do roku 2020" przyjmuje się, że całkowite zapotrzebowanie na energię w roku 2010 wyniesie 4570 PJ. Uzyskanie 7,5% udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie energii pierwotnej oznacza konieczność wyprodukowania w 2010 r. ok. 340 PJ energii ze źródeł odnawialnych, co oznacza zwiększenie w stosunku do roku 1999 zdolności produkcyjnych w sektorze energetyki odnawialnej o dodatkowe ok. 235 PJ. Uzyskanie ww. zdolności produkcyjnej oznacza konieczność zrealizowania w ciągu dziesięciu lat szeregu inwestycji z zakresu

wykorzystania poszczególnych źródeł energii odnawialnej oraz odpowiedni wzrost nakładów inwestycyjnych.

Wśród zasobów, które przedsiębiorstwa obrotu energią powinny rozpatrywać powinny być np.: produkcja własna w tym ze źródeł odnawialnych, oszczędności własne jako opcje DSM, handel nadwyżkami(niedoborami) z innymi firmami dystrybucyjnymi(w tym handel efektami DSM) a także możliwości inwestowania bezpośredniego w zasoby podażowe energii odnawialnej.

Rozważania te powinny prowadzić do poszukiwania rozwiązań gwarantujących najmniejsze dla odbiorców koszty realizacji ekonomicznie uzasadnionego poziomu dostaw oraz gwarantujących spełnienie wymagań niezawodności aktualnej i w przyszłości określonej przez klientów jako gotowość płacenia za jakość i niezawodność dostaw.

Prowadziło by to do urynkowania obrotu energią pochodzącą ze źródeł energii odnawialnej co w konsekwencji pozwoliłoby na utworzenie np. giełdy energii odnawialnej.