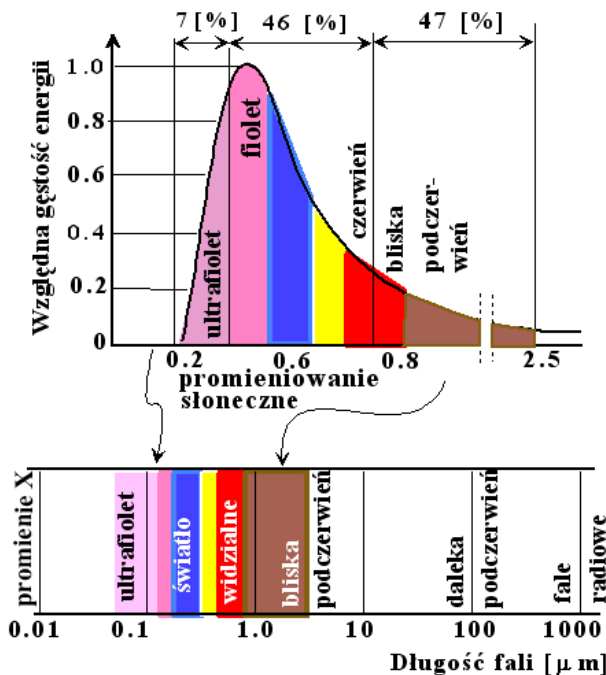


4. KS

WYZNACZANIE SPRAWNOŚCI KONWERSJI ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W ENERGIĘ CIEPLNĄ W KOLEKTORACH SŁONECZNYCH

Promieniowanie słoneczne

Elektromagnetyczne promieniowanie γ ma długość fali rzędu stumilionowej części milimetra (najkrótsza znana długość fali) i jest promieniowaniem wysokoenergetycznym, ponieważ energia promieniowania jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali. Promieniowanie to przenikając z jądra Słońca napotyka na swej drodze wiele elektronów i jąder. W dalszym przejściu przez wierzchnie warstwy Słońca o niższej temperaturze promieniowanie napotyka



na swej drodze oprócz jąder również atomy, z którymi zderzając się ulega dalszemu osłabieniu energetycznemu i wydłużeniu długości fali. Dodatkowo wybite tym promieniowaniem wzbudzone elektrony wracając ponownie na swoje orbity walencyjne wypromieniowują nadmiar energii o charakterystycznych dla danych powłok długościach fal.

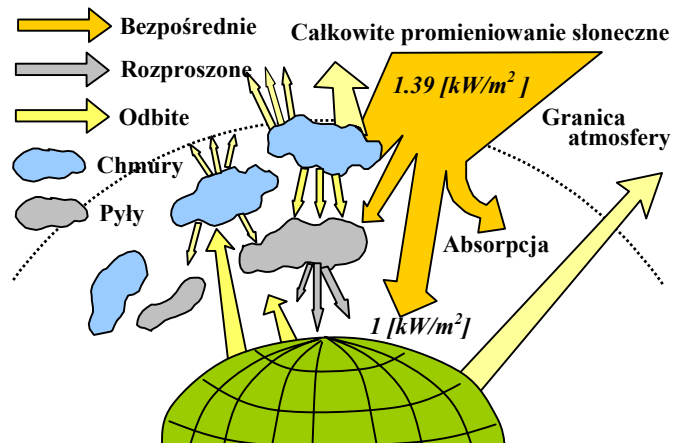
Kolejne zmiękczenie to wzbogacenie tego promieniowania energią zamiany energii kinetycznej atomów ulegających zderzeniom i hamowaniu na powierzchni Słońca. W efekcie promieniowanie słoneczne ma szerokie spektrum długości fali od 0.0001 do 0.01 [mm] i niesie w sobie zróżnicowaną ilość energii. Tylko część tego promieniowania od 0.35 do 0.75 [μm] to zakres światła widzialnego.

Długość promieniowania słonecznego waha się od ok. 0.2 do 2.5 [μm]. Około połowa (46 [%]) energii promieniowania przypada na promieniowanie widzialne, reszta na ultrafiolet (7 [%]) i podczerwień (47 [%]).

Charakterystyka promieniowania słonecznego

Energia słoneczna, która dociera do granicy atmosfery wynosi ok. 1.39 [kW/m^2] - jest to stała słoneczna. Na skutek odbicia (ok.35 [%]), absorpcji i rozproszenia, pory dnia i roku, do powierzchni Ziemi dociera średnio na poziomą powierzchnię ok. 1 [kW/m^2].

Natężenie na powierzchni Ziemi zależy od wysokości Słońca, co wiąże się z grubością atmosfery, przez którą to promieniowanie jest absorbowane. Dla wysokości równej 90, 30, 20 i 12 [$^\circ$] natężenie to wynosi odpowiednio $I = 900, 750, 600$ i 400 [W/m^2].



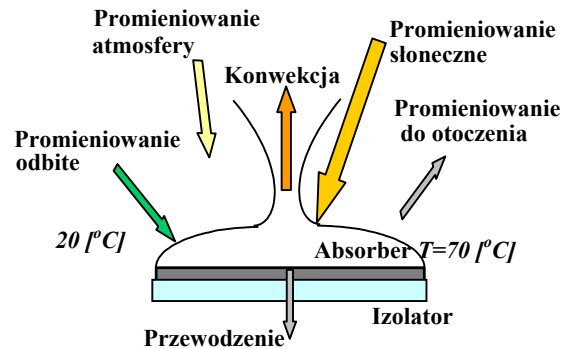
Podstawy teoretyczne kolektorów słonecznych.

Energia promieniowania słonecznego o natężeniu $H [W/m^2]$, padająca na powierzchnię płaską (absorbującą), jest częściowo absorbowana, a częściowo odbita. Część z energii zaabsorbowanej jest przekazywana do otoczenia w postaci strat ciepła (konwekcyjnych i przewodzenia).

W stanie ustalonej równowagi termicznej, opisaney prawem Stefana – Boltzmana, temperatura równowagi ($T_{równ}$) wynosi:

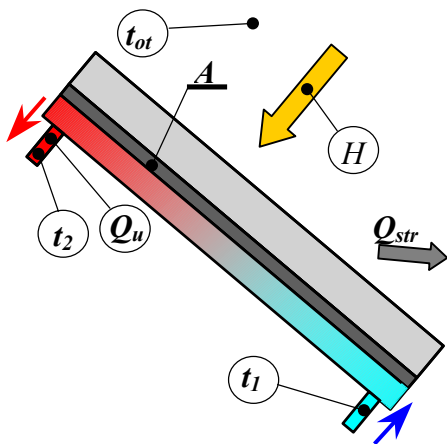
$$T_{równ}^4 = \frac{\alpha_r}{\varepsilon} \frac{H}{\sigma}$$

gdzie: α_r jest współczynnikiem absorpcji, ε jest współczynnikiem emisji, α_r/ε to współczynnik selektywności absorbera, $\sigma = 5.669 \cdot 10^{-8} [W/(m^2 K^4)]$ jest stałą Stefana - Boltzmana.



Sprawność kolektora

O opłacalności stosowania kolektorów słonecznych decyduje ich sprawność, którą można wyznaczyć w oparciu o bilans energii kolektora.



$$H \cdot A = Q_u + Q_{str}, \quad Q_u = m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1),$$

$$\eta = \frac{m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)}{A \cdot H}$$

gdzie: Q_u W jest strumieniem energii użytecznej, H W/m^2 jest natężeniem promieniowania słonecznego, Q_{str} W jest strumieniem strat ciepła, A m^2 jest powierzchnią absorbującą kolektora, m kg/s jest masowym natężeniem przepływu czynnika, c_p $J/(kg \cdot K)$ jest ciepłem właściwym czynnika, a t_1 i t_2 $^{\circ}C$ są temperaturami czynnika na wlocie i wylocie z kolektora.

Sposoby podnoszenia sprawności kolektorów

Wyeliminowanie lub ograniczenie strat ciepła z adsorbera do konstrukcji nośnej i podłoża (przez przewodzenie) oraz do otoczenia (przez konwekcję) powoduje podniesienie sprawności kolektora. Przewodzenie można ograniczyć stosując typowe materiały izolacyjne (styropian, wełna mineralna, pianki poliuretanowe). Materiałów tych nie można zastosować z do izolacji adsorbera od strony naświetlanej, gdyż są one nieprzezroczyste dla promieni słonecznych.

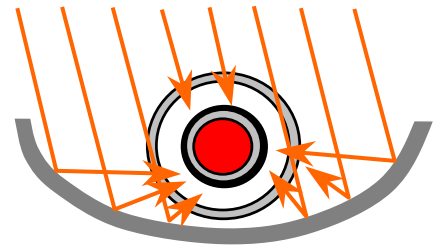
Pierwszym przebadanym materiałem izolacyjnym była warstwa powietrza, zawarta wewnątrz przestrzeni pomiędzy adsorberem i płytą szklaną. W ten sposób udało się zahamować konwekcję od adsorbera do otoczenia, od płyty szklanej do otoczenia pozostała ona nadal. Okazało się jednak, że straty ciepła przez warstwę powietrza zachodzą nadal przez przewodzenie i konwekcję komórkową.

Kolejnym przebadanym materiałem izolacyjnym były izolacje transparentne (przezroczyste), przypominające swoją strukturą plastry miodu. Hamują one konwekcję komórkową, nie przeciwdziałają natomiast przewodzeniu ciepła przez warstwę powietrza.

Materiałem izolacyjnym przezroczystym i hamującym jednocześnie straty ciepła przez przewodzenie i konwekcji okazała się próżnia.

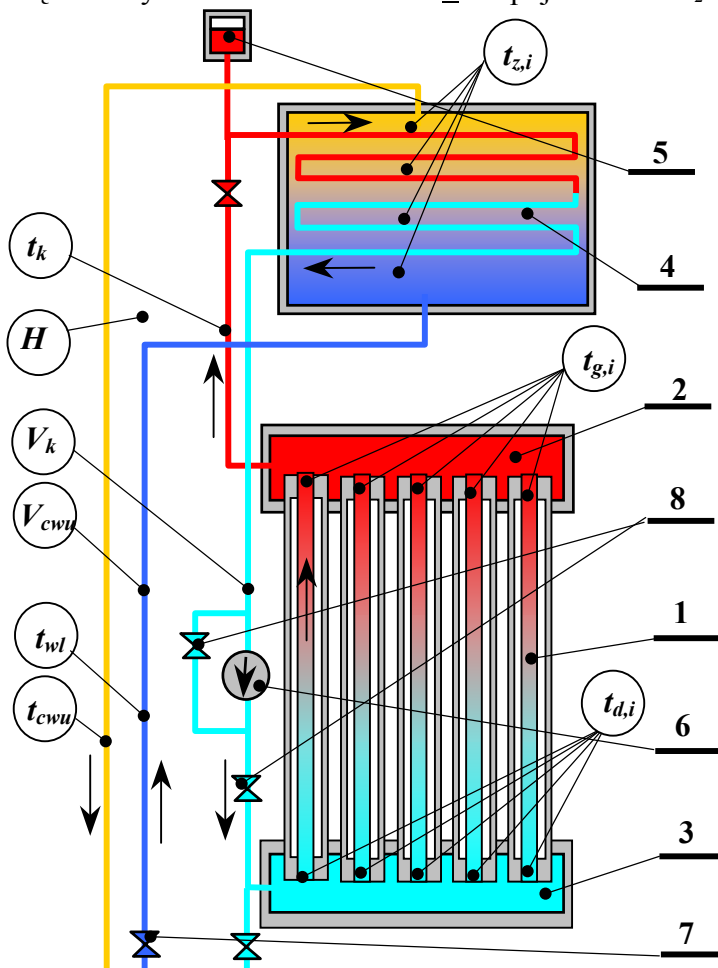
Próżniowy, rurowy kolektor słoneczny

Ze względów wytrzymałościowych kolektory próżniowe mają kształt walcowy. Próżnia wytworzona wewnątrz szklanej rury otacza, również walcowy, adsorber. W celu zwiększenia wykorzystania powierzchni nasłonecznionej zastosowano dodatkowo rynnowe paraboliczne zwierciadła skupiające. W ogniskowej tego zwierciadła umieszczona jest rura adsorbera.



Budowa stanowiska

Stanowisko składa się z baterii 5-ciu próżniowych kolektorów rurowych 1, połączonych równoległe i połączonych z kolektorem zbiorczym wlotowym 3 i wylotowym 2. Na wlocie i wylocie do rur zamocowane są termopary t_{di} i t_{gi} . Ciepła woda z kolektorów wpływa do węzownicy w zasobniku cwu. 4 o pojemności $V_z = 80$ l. Pompa obiegowa 6 wraz z bocznikiem i zaworami 8 (tzw. „bypass”) umożliwia regulację przepływu czynnika od obiegu grawitacyjnego do wymuszonego.



Naczynie wyrównawcze 5 zabezpiecza instalację przed zapowietrzeniem i wzrostem ciśnienia ogrzanego czynnika.

W zasobniku zachodzi stratyfikacja, w wyniku której ogrzana woda układa się warstwami. Przepływ ciepłej wody (cwu.) z górnego króćca wymusza otwarcie zaworu wlotowego 7, doprowadzającego do dolnego króćca zasobnika wodę sieciową.

W obiegu wewnętrznym i zewnętrznym zamocowano dwa przepływomierze - jeden mierzy objętościowe natężenie przepływu medium w kolektorze V_k , a drugi pobór ogranej wody V_{cwu} , oraz termopary do pomiaru temperatur: wody sieciowej t_{wl} , wody ogranej t_{cwu} oraz czynnika na wylocie z kolektora t_k .

Metodyka pomiarowa

W celu sporządzenia bilansu cieplnego kolektora, wyznaczenia jego efektywności i sprawności należy zmierzyć wszystkie podane na powyższym schemacie w kółeczkach wielkości. Wśród nich są: temperatury t , natężenia przepływu V i natężenie promieniowania słonecznego H .

W oparciu o zmierzone wartości oraz dane tablicowe: gęstości $\rho = f(t)$ i ciepła właściwego $c_p = f(t)$ dla średniej temperatury pomiaru można wyliczyć strumienie ciepła: generowane w poszczególnych rurach kolektora Q_1, Q_2, Q_3, \dots , dla całego kolektora Q_k , zmagazynowanego w zasobniku Q_z lub wyprowadzonego z ciepłą wodą użytkową Q_{cwu} .

Możliwe są cztery warianty przeprowadzenia pomiarów:

- z wyłączoną pompą 6, całkowicie otwartymi zaworami 8 i bez odbioru cwu., czyli przy zamkniętym zaworze 7.
- z wyłączoną pompą 6, całkowicie otwartymi zaworami 8, ale z odbiorem cwu., regulowanym zaworem 7.
- z wymuszonym pompą 6 obiegiem czynnika w kolektorze ze zmiennym natężeniem jego przepływu, realizowanym zaworami 8, z odbiorem ciepłej wody użytkowej cwu, o zadanym zaworem 7 natężeniu przepływu.
- z wymuszonym jw. obiegiem czynnika, ale bez odbioru cwu.

W każdym z tych wariantów metodyka prowadzenia pomiarów i obliczania wyników jest taka sama. Różnice występują dopiero przy sporządzaniu bilansu strumieni ciepła od strony odbiorcy. W wariantach z odbiorem ciepłej wody użytkowej strumień Q_u ma dwa człony Q_z i Q_{cwu} bez odbioru cwu. tylko jeden:

$$Q_u = Q_z + Q_{cwu} = \frac{V_z \cdot \rho_{wody}(t_{sr}) \cdot c_p(t_{sr})}{\tau} \cdot \left(\frac{\sum t_{z,i,ko\ddot{o}n.}}{i} - \frac{\sum t_{z,i,pocz.}}{i} \right) + \frac{V_{cwu} \cdot \rho_{wody}(t_{sr}) \cdot c_p(t_{sr}) \cdot (t_{cwu} - t_{wl})}{\tau} \quad [kW]$$

Wariant „a”

- zapoznanie się z instrukcją i tabelką pomiarową,
- sprawdzenie poprawności zamknięcia i otwarcia zaworów,
- włączenie programu komputerowego
- otwarcie kolektorów,
- zanotowanie czasu rozpoczęcia pomiaru,
- zanotowanie temperatur początkowych,
- notowanie w odstępach 15 min. wskazań temperatur, solarymetru i przepływomierza.

Tabela pomiarów

τ min	t_{g1}	t_{g2}	t_{g3}	t_{g4}	t_{g5}	t_{d1}	t_{d2}	t_{d3}	t_{d4}	t_{d5}	t_k	t_{z1}	t_{z2}	t_{z3}	t_{z4}	V_k m ³ /h	H W/m ²
	°C																
0																	
15																	
30																	
45																	

Tabela wyników

τ min	$t_{d,sr}$	$t_{z,sr}$	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_{sr}	Q_k	Q_u	H_{sr}	η_{sr}	η_k	η_u
	°C		W								W/m ²	-	-	-
Średnie sprawności z całego pomiaru														