

Sprawozdanie z laboratorium proekologicznych źródeł energii

Temat:

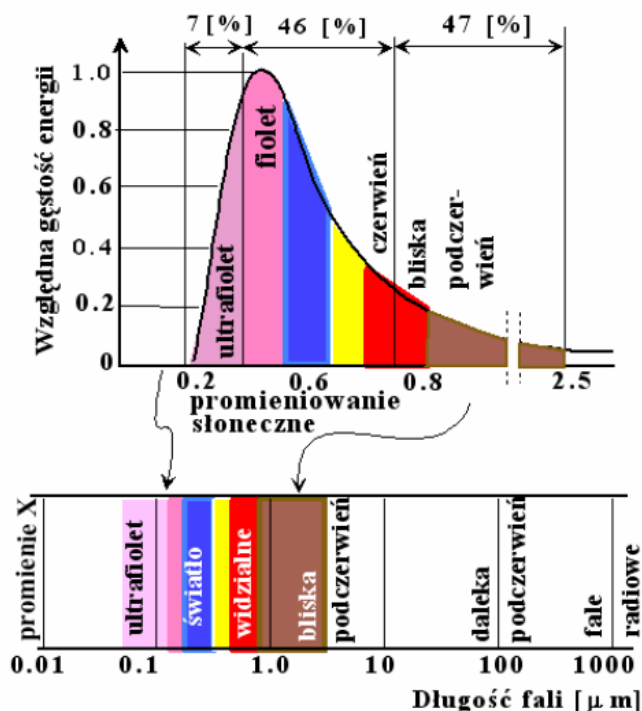
Wyznaczanie sprawności konwersji energii promieniowania słonecznego w energię cieplną w kolektorach słonecznych.

Michał Stobiecki, Michał Ryms
Grupa 5; sem. VI
Wydz. Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej

I. Wstęp teoretyczny

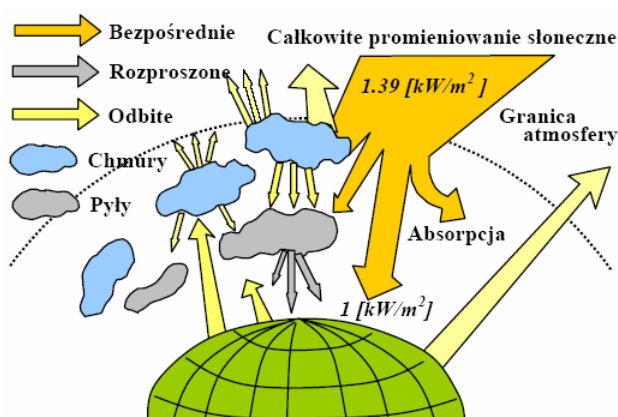
1. Promieniowanie słoneczne

Elektromagnetyczne promieniowanie γ emitowane z jądra Słońca ma długość fali rzędu stumilionowej części milimetra i jest to najkrótsza znana długość fali. Ze względu na odwrotną proporcjonalność energii promieniowania do jego długości fali, promieniowanie to jest promieniowaniem wysokoenergetycznym. Opuszczając jądro Słońca, napotyka ono na swej drodze wiele elektronów i jąder, z którymi zderzając się ulega 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 słonecznych długościach fal. Dalsze osłabienie promieniowania wysokoenergetycznego następuje w rezultacie zamiany energii kinetycznej atomów ulegających zderzeniom i hamowania 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 dla człowieka.



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%).

2. Charakterystyka promieniowania słonecznego

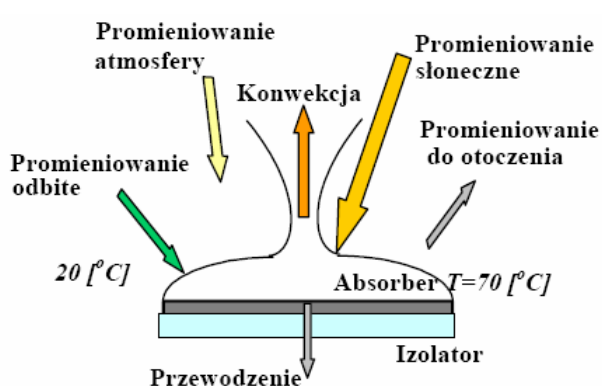


Energia słoneczna, która dociera do granicy atmosfery wynosi ok. 1.39 kW/m^2 i zwana jest stałą słoneczną. Na skutek odbicia (ok. 35%), absorpcji i rozproszenia, pory dnia i roku, do powierzchni Ziemi dociera średnio na poziomą powierzchnię ok. 1 kW/m^2 .

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° natężenie to wynosi odpowiednio $I = 900, 750, 600$ i 400 W/m^2 .

3. Podstawy teoretyczne kolektorów słonecznych

Kolektor słoneczny jest to urządzenie w którym następuje zamiana energii promieniowania słonecznego w energię cieplną: promienie słoneczne padają na kolektor ogrzewając znajdującą się w niej ciecz, która z kolei płynie do wymiennika ciepła z stamtąd do pompy i z powrotem do kolektora. W wymienniku ciepła następuje wymiana ciepła z innym czynnikiem najczęściej wodą, która jest wykorzystywana do ogrzania domu, jak również jako ciepła woda użytkowa.



Energia promieniowania słonecznego o natężeniu $H \text{ [W/m}^2\text{]}$, 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, opisanej prawem Stefana – Boltzmana, temperatura równowagi ($T_{\text{równ}}$) wynosi:

$$T^4_{\text{rown}} = \frac{\alpha_r}{\varepsilon} \frac{H}{\sigma}$$

gdzie: $\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4\text{)}$ – stała Stefana - Boltzmana.

α_r – współczynnik absorpcji

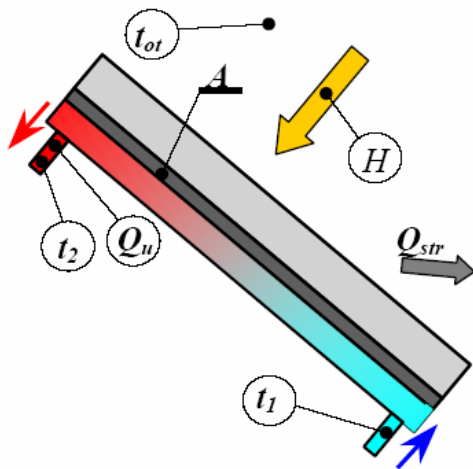
ε – współczynnikiem emisji

α_r/ε – współczynnik selektywności absorbera

Projektując kolektor słoneczny należy zastanowić się nad odpowiednim doborem cieczy roboczej podgrzewanej w kolektorze. Polskie warunki klimatyczne wymuszają stosowanie cieczy posiadających zarówno niską temperaturę krzepnięcia, jak i wysoką temperaturę parowania. Ograniczenia te wykluczają użycie wody jako czynnika roboczego. Należy więc stosować inne ciecze, takie jak choćby amoniak.

Należy zaznaczyć, że ze względu na swą specyfikę działania kolektory słoneczne nie mogą stanowić jedyne źródła ciepła. Przetwarzają one co prawda energię słoneczną na ciepło, ale dostarczana im energia musi być dostatecznie duża, aby zaobserwować widoczne efekty takiej konwersji. Nie codziennie jednak promienie słoneczne docierają do kolektora z jednakową intensywnością, co więcej często jest tak, że słońce nie dochodzi do nich przez kilka dni a nawet tygodni, np. zimą. Z tego powodu zawsze należy mieć w rezerwie inne źródło ciepła.

4. Sprawność kolektora



O opłacalności stosowania kolektorów słonecznych decyduje ich sprawność, którą można wyznaczyć w oparciu o następujący 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 – strumień energii użytecznej [W]

H – natężenie promieniowania słonecznego [W/m^2]

Q_{str} – strumień strat ciepła [W]

A – powierzchnia absorpcyjna kolektora [m^2]

m – masowe natężenie przepływu czynnika [kg/s]

c_p – ciepło właściwe czynnika [$J/(kg \cdot K)$]

t_1 oraz t_2 – temperatury czynnika na wlocie i wylocie z kolektora [$^{\circ}C$]

5. 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 takie jak styropian, wełna mineralna, pianki poliuretanowe. Materiałów tych nie można zastosować z do izolacji adsorbera od strony naświetlanej, gdyż są one nieprzezroczyste dla promieni słonecznych.

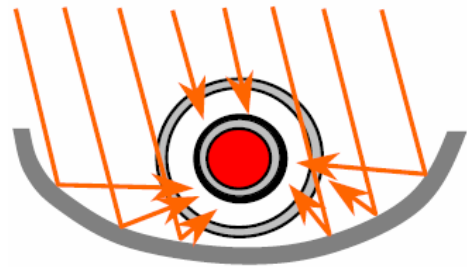
Pierwszym przebadanym materiałem izolacyjnym była warstwa powietrza, zawarta wewnątrz przestrzeni pomiędzy adsorberem i płytą szklaną. W ten sposób udało się zahamować konwekcję od adsorbera do otoczenia, od płyty szklanej do otoczenia pozostała ona nadal. Okazało się jednak, że straty ciepła przez warstwę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

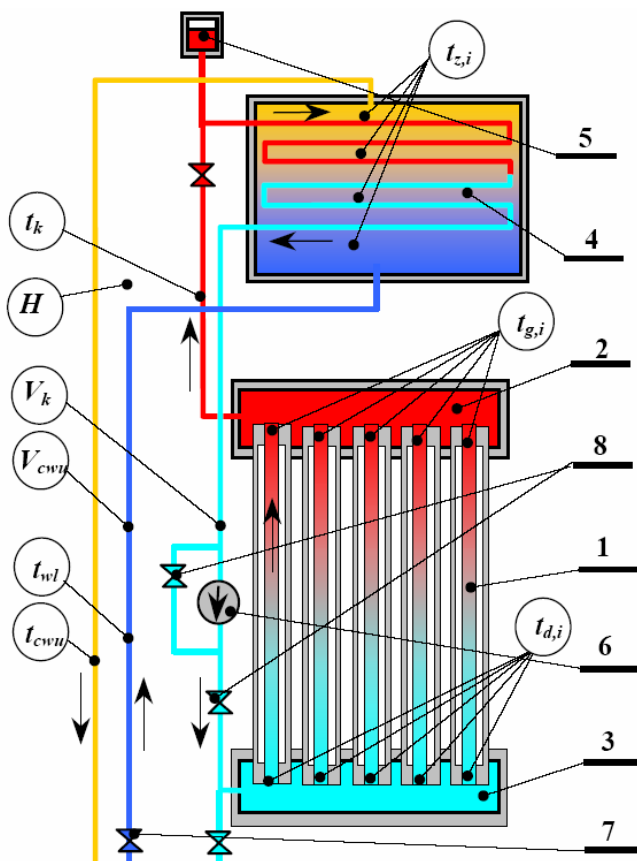
6. Próźniowy, rurowy kolektor słoneczny

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 rynnne paraboliczne zwierciadła skupiające. W ogniskowej tego zwierciadła umieszczona jest rura adsorbera.



II. Budowa stanowiska pomiarowego oraz przebieg ćwiczenia.

Stanowisko składa się z baterii 5-ciu próżniowych kolektorów rurowych (1), połączonych równolegle 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 $V_z = 80 \text{ l}$. 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 objęściowe natężenie przepływu

medium w kolektorze V_k , a drugi pobór ogranej wody V_{cwu} , oraz termopary do pomiaru temperatur: wody sieciowej $t_{w,p}$, wody ogranej t_{cwu} oraz czynnika na wylocie z kolektora $t_{k..}$.

1. Metodyka pomiarowa

W celu sporządzenia bilansu cieplnego kolektora, wyznaczenia jego efektywności i sprawności należy zmierzyć wszystkie podane na powyższym schemacie (oznaczone 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 dla tego układu:

- a) z wyłączoną pompą (6), całkowicie otwartymi zaworami (8) i bez odbioru cwu., czyli przy zamkniętym zaworze (7). (ten wariant wybrano)
- b) z wyłączoną pompą (6), całkowicie otwartymi zaworami (8), ale z odbiorem cwu., regulowanym zaworem (7).
- c) 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.
- d) 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:

$$Q_u = Q_z + Q_{cwu} = \frac{V_z \cdot \rho_{wody}(t_{sr}) \cdot c_p(t_{sr})}{\tau} \cdot \left(\frac{\sum_i t_{z\text{ konc.}}}{i} - \frac{\sum_i t_{z\text{ pocz.}}}{i} \right) + \frac{V_{cwu} \cdot \rho_{wody}(t_{sr}) \cdot c_p(t_{sr}) \cdot (t_{cwu} - t_{wl})}{\tau} [kW]$$

2. Obliczenia i analiza wyników

Celem wykonanego ćwiczenia było wyznaczenie sprawności badanego kolektora słonecznego. Przeprowadzone pomiary polegały na mierzeniu aktualnego strumienia promieniowania słonecznego oraz szczytowaniu pozostałych parametrów z programu sterującego pracą kolektora.

Podczas wykonywania ćwiczenia grupa napotkała problem praktyczny w postaci braku odpowiedniego nasłonecznienia stanowiska. Mierzone wartości strumienia promieniowania nie przekraczały $30W/m^2$, co skutecznie uniemożliwiło poprawne zbadanie realnych możliwości badanego kolektora. Zebrane w poniższej tabeli (tab.1)

wyniki pomiarowe pochodzą od innej grupy badawczej, która prowadziła pomiary w słoneczny dzień. Wszystkie dalsze obliczenia powstały w oparciu o te dane.

τ	t_{g1}	t_{g2}	t_{g3}	t_{g4}	t_{g5}	t_{d1}	t_{d2}	t_{d3}	t_{d4}	t_{d5}	t_k	t_{zw}	V_k	H
[min]	°C												[m ³]	[W/m ²]
0	24,11	24,15	24,26	24,66	24,78	21,31	21,08	20,62	19,89	21,22	22,60	20,75	4,4	138
10	24,65	24,80	24,82	25,33	25,40	21,83	21,63	21,22	20,54	21,70	22,70	21,30	8,7	510
20	24,63	24,70	24,76	25,09	25,09	22,06	21,93	21,90	21,02	22,06	23,06	21,45	12,8	470
30	25,14	25,15	25,09	25,38	25,57	22,32	22,24	21,96	21,42	22,51	23,51	21,55	17,2	516
40	26,08	25,79	26,19	26,46	26,25	22,51	22,47	22,23	21,70	22,61	23,60	21,75	21,5	453

Tab.1

Korzystając z powyższych danych obliczono:

- Średnie wartości temperatur (t_{gsr} , t_{dsr} , t_{zsr}) dla poszczególnych elementów kolektora., korzystając ze wzoru:

$$t_{sr} = \frac{1}{n} \sum_i^n t_i$$

- Masowe natężenie przepływu (m), dzieląc objętości czynnika (V) przez czas pomiaru (τ), co w ogólności zapisać można następująco:

$$m_i = \frac{V_i}{\tau_i}$$

- Strumień ciepła (Q_u) obliczono korzystając ze wzoru:

$$Q_u = m \cdot c_p \cdot (t_{gsr} - t_{dsr}), \text{ gdzie } c_p = 4200 \frac{J}{kg \cdot K}$$

- Pole powierzchni kolektora (A) wynosiło 0,96 m², a zatem można było obliczyć strumień ciepła $H \cdot A$ oraz strumień ciepła strat.
- Strumień strat ciepła (Q_{str}) obliczono przekształcając wzór:

$$H \cdot A = Q_u + Q_{str} \Rightarrow Q_{str} = H \cdot A - Q_u$$

- Mając już wszystkie potrzebne wartości, można zastosować ostateczny wzór na sprawność kolektora:

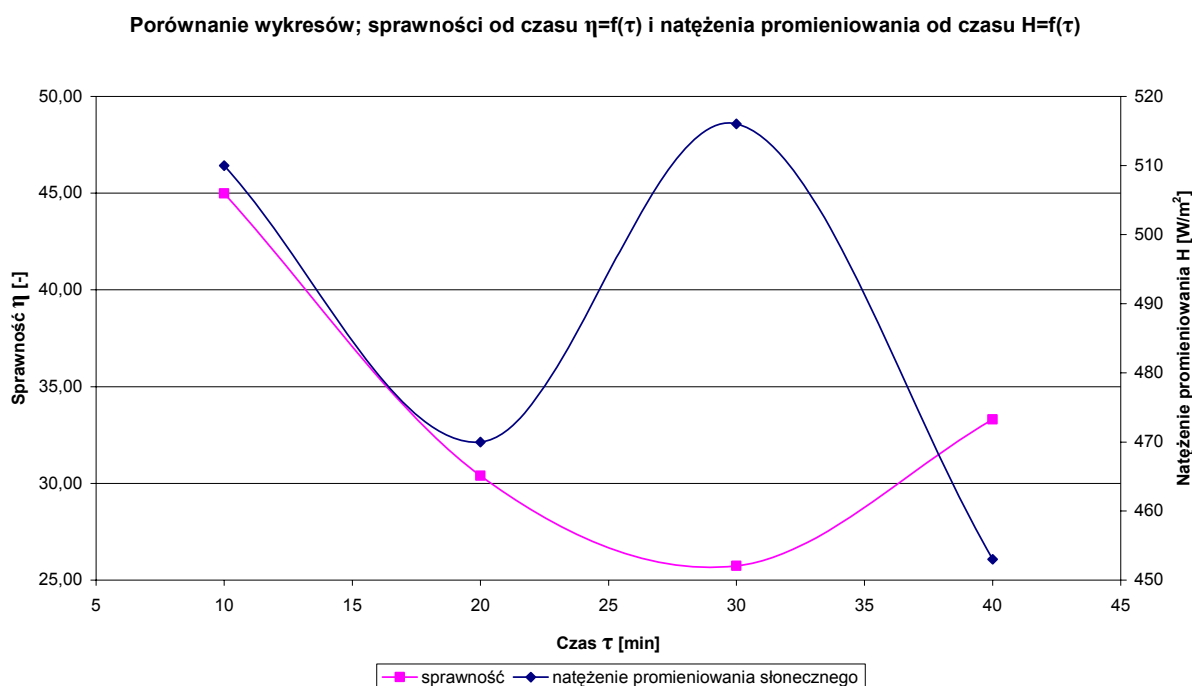
$$\eta = \frac{m \cdot c_p \cdot (t_{gsr} - t_{dsr})}{A \cdot H} = \frac{Q_u}{A \cdot H}$$

W poniższej tabeli (Tab.2) zebrane zostały wszystkie wartości, otrzymane dla poszczególnych odstępów czasu. Ostatnia kolumna przedstawia sprawności kolektora obliczone dla określonego momentu pomiaru.

τ	$t_{g\acute{s}r}$	$t_{d\acute{s}r}$	$t_{z\acute{s}r}$	V	m	H	Q_u	Q_{str}	H·A	$\eta_{\acute{s}r}$
[s]	°C			[m ³]	[kg/s]	[W/m ²]	W			-
600	25,00	21,38	21,30	8,7	0,015	510	220,2	269,4	489,6	44,98
1200	24,85	21,79	21,45	12,8	0,011	470	137,1	314,1	451,2	30,38
1800	25,27	22,09	21,55	17,2	0,010	516	127,5	367,9	495,4	25,73
2400	26,15	22,30	21,75	21,5	0,009	453	144,9	290,0	434,9	33,31
średnia sprawność całego pomiaru:										33,60
Tab.2										

Z tabeli odczytać można, iż sprawność kolektora jest stosunkowo niska, a jej wartość średnia wynosi zaledwie 33,6%.

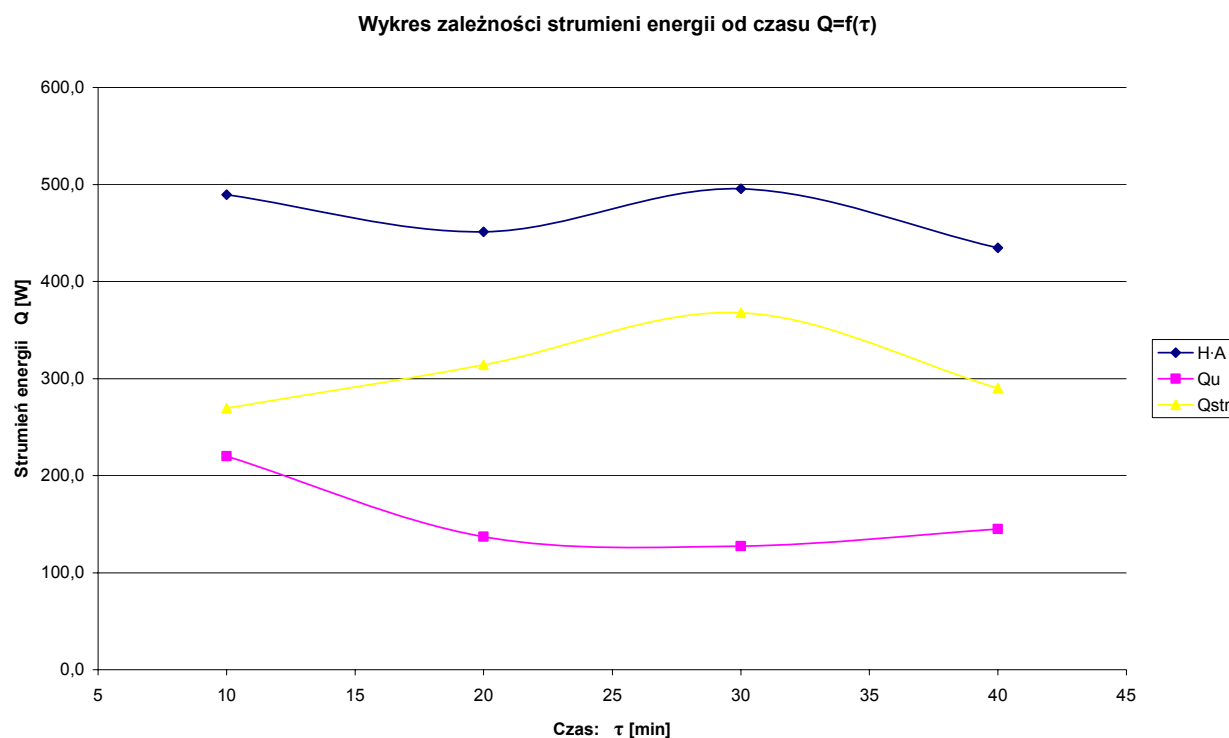
Na poniższym wykresie (Rys.1) przedstawiono porównanie zależności sprawności i natężenia promieniowania słonecznego w funkcji czasu:



Rys. 1

Sprawność kolektora waha się pomiędzy 25,7 – 45% i jest to dość duża rozbieżność. Aby zbadać przyczynę takiego stanu rzeczy należy przeanalizować zachowanie poszczególnych mocy (strumieni ciepła) w funkcji czasu. Z porównawczego wykresu, pomimo oczekiwań, nie wynika bezpośrednia relacja pomiędzy natężeniem promieniowania padającego na kolektor, a jego sprawnością. Ściśle mówiąc wynika tylko w początkowej fazie doświadczenia. Taki stan rzeczy spowodowany może być błędem pomiarowym, lecz może też wynikać ze strat ciepła potrzebnych na proces ogrzania kolektora (prawdopodobnie przez pierwsze 30 minut), po którym rozpoczął się właściwy proces konwersji energii.

Na poniższym wykresie (Rys.2) przedstawiono zmiany mocy promieniowania ($H \cdot A$), mocy użytkowej (Q_u) oraz mocy strat (Q_{str}) w funkcji czasu.



Rys. 2

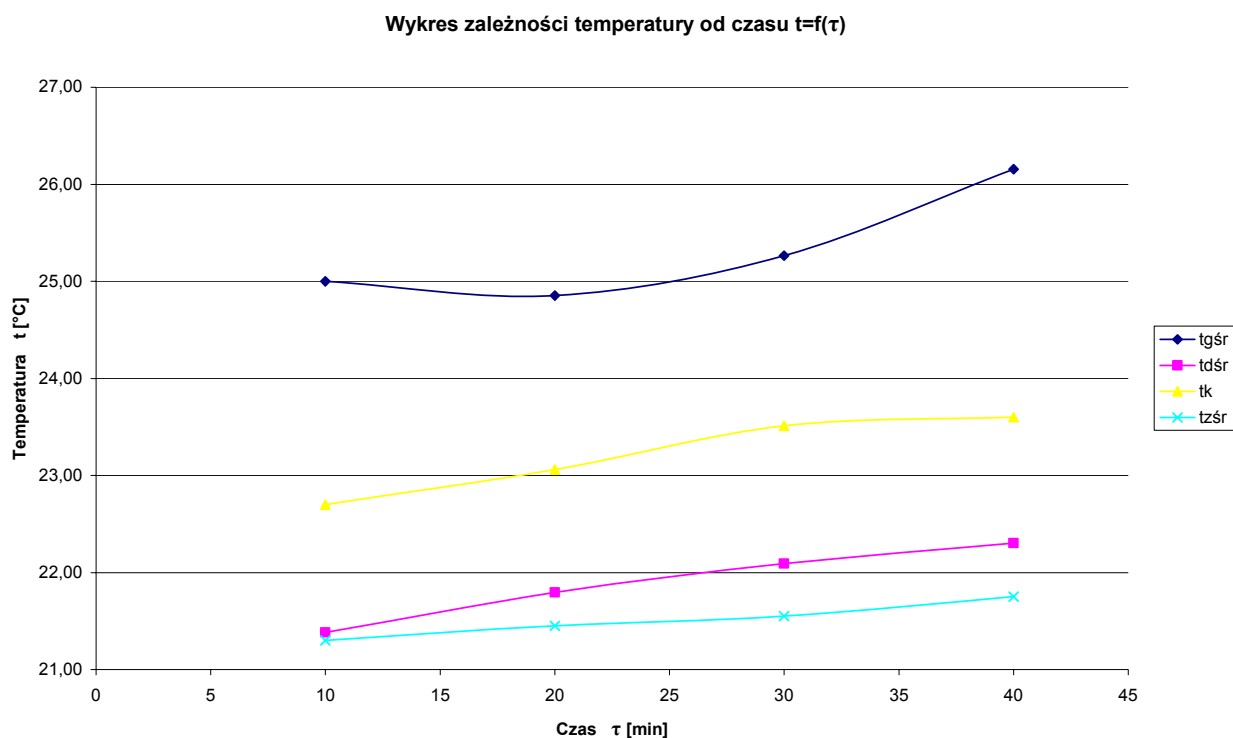
Poddając analizie powyższy wykres dostrzec można interesującą zależność Q_{str} od czasu, rozpatrywaną w odniesieniu do pozostałych dwóch zależności. Po czasie $\tau=30\text{min}$ wartość Q_{str} jest ponad dwukrotnie większa od Q_u , lecz różnica ta systematycznie maleje, za sprawą zmniejszania się wartości Q_{str} i po czasie $\tau=40\text{min}$ wartości Q_{str} i Q_u są już do siebie dość zbliżone. Przewidywać można, iż po dłuższym czasie wartości te całkiem zbliżyłyby się do siebie.

Powodem tak znacznego wahania strumienia strat ciepła (Q_{str}) jest fakt przeprowadzania doświadczenia w warunkach niestacjonarnych. W pierwszych 30min doświadczenia duża część ciepła zużyta została do ogrzania elementów kolektora i jego instalacji, co jest wysoce niepożądane w podczas pomiaru sprawności, gdyż generuje zaniżone wyniki (rzeczywista sprawność jest wyższa niż by to wynikało z obliczeń zrobionych podczas „rozruchu” kolektora). Dla poprawienia rezultatu dokonywanych pomiarów należałoby uruchomić kolektor co najmniej na godzinę przed planowanymi pomiarami sprawności.

Jak widać na wykresie (Rys.2) wartość mocy Q_u zaczęła rosnąć dopiero po 30 min od rozpoczęcia doświadczenia. Był to czas w którym elementy kolektora i jego instalacji już się nagrzały i przestały odbierać ciepło wodzie.

Poprawność powyższej analizy potwierdza kolejny wykres (Rys.3), przedstawiający zależność temperatur w funkcji czasu, gdzie: $t_{g\acute{s}r}$ oznacza średnią temperaturę na wlotach rur kolektora; $t_{d\acute{s}r}$ jest średnią temperaturą na wylotach rur kolektora; t_k to

średnia temperatura na wylocie z kolektora; $t_{z\acute{s}r}$ zaś jest średnią temperaturą w wymienniku ciepła.



Rys. 3

Z powyższego wykresu wynika, iż temperatura t_k , mierzona na wylocie kolektora, stabilizuje się po czasie 30min, (ciągły wzrost temperatury t_g spowodowany jest prawdopodobnie błędnym wskazaniem czujników o czym poinformowano podczas przebiegu ćwiczenia). Wartość temperatury $t_{d\acute{s}r}$ jest nieco wyższa niż $t_{z\acute{s}r}$, prawdopodobnie z powodu odbioru ciepła przez czynnik z rozgrzanych elementów kolektora. Praktycznie wartości $t_{d\acute{s}r}$ oraz $t_{z\acute{s}r}$ po 30min prawie się nie różnią.

Wykres przedstawia o ile stopni podgrzewa się czynnik w kolektorze i jak zmienia się temperatura w ważniejszych punktach obiegu.

III. Podsumowanie i wnioski końcowe.

Kolektory są urządzeniami które zamieniają energię słoneczną w ciepło, a ich sprawność ściśle zależy od czasu i warunków pomiaru. Podczas pomiaru sprawność badanego kolektora wahała się pomiędzy 25,7 – 48%, a jej średnia wartość wyniosła 33,6% , co jest jednakże wartością zaniżoną, ze względu na niestacjonarność pomiarów, na co wskazują duże wahania mocy strat Q_{str} .