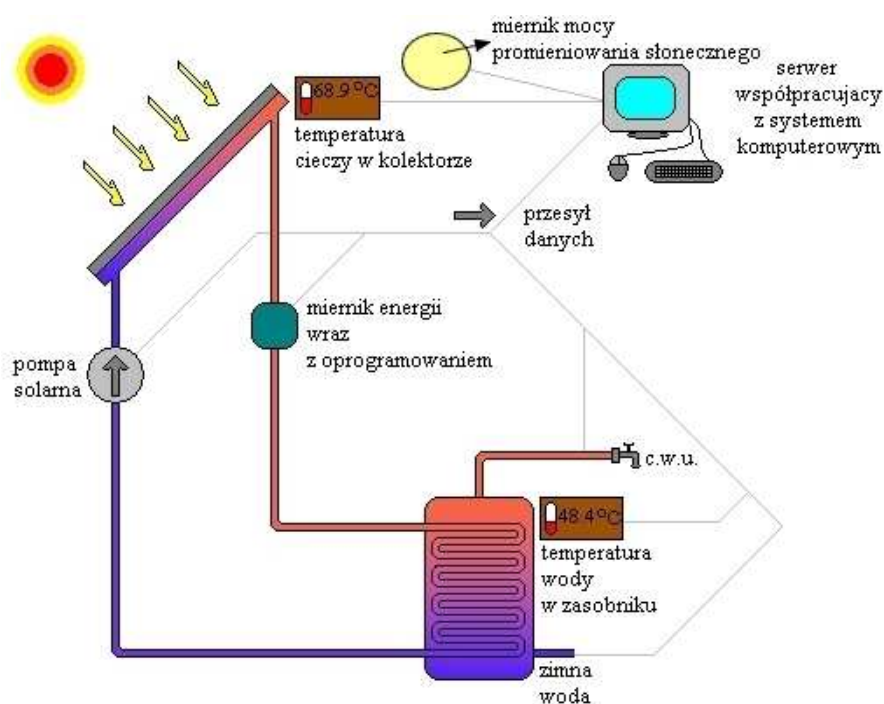


**Analiza wybranych wyników badań instalacji solarnych w laboratorium
OZE w Zespole Szkół Elektrycznych nr 1 w Krakowie
oraz Połtawskiej Państwowej Akademii Rolniczej**

Niniejsza publikacja traktowana jest jako uzupełnienie materiałów szkoleniowych dla potrzeb realizacji projektu „Chwytny słońce”. We wcześniejszym opracowaniu na stronie internetowej projektu „Chwytny słońce” przedstawiono wybrane wyniki badań instalacji solarnych, uzyskane w laboratorium OZE w Zespole Szkół Elektrycznych nr 1 w Krakowie. W poniższej publikacji zamieszczono również wyniki badań instalacji solarnej uzyskane w laboratorium OZE mieszczącym się w Połtawskiej Państwowej Akademii Rolniczej. Na podstawie wyników badań uzyskanych w Krakowie i Poławie, dokonano wstępnej analizy opłacalności inwestycji w instalacje solarne w w/w krajach.

Wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii w Polsce i na Ukrainie spowodował między innymi to że w Krakowie i Poławie realizowany jest projekt naukowy i edukacyjny „Polsko – Ukraińskie laboratorium ekologiczne z odnawialnymi źródłami jako szansa zawodowa”. W ramach w/w projektu, kadra naukowa, nauczyciele, studenci, uczniowie wykonują pomiary, dokonują analizy pracy m.in. instalacji solarnych. Badania te służą do sporządzenia analiz dotyczących wielkości uzyskanej energii ze słońca w w/w instalacjach, opłacalności ich montowania. Wybrane wyniki badań w niniejszym opracowaniu zostały przedstawione w sposób przystępny, dla potrzeb edukacyjnych młodzieży ukraińskiej i polskiej, przyszłych inwestorów, oraz osób zainteresowanych OZE.

1. Wybrane wyniki badań z Krakowa:

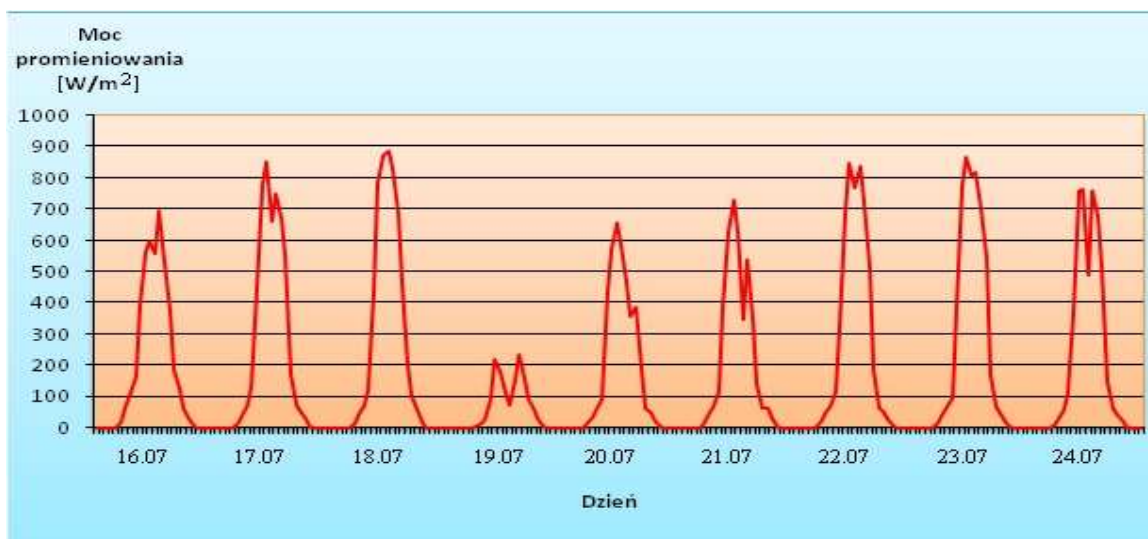


Rys.1. Instalacja solarna, wizualizacja pracy kolektora słonecznego rurowego w ZSE nr 1 w Krakowie

Przedmiotem badań w Krakowie jest m.in. instalacja solarna zasilana przez kolektor rurowy próżniowy. Posiada on 30 rur z heat-pipe'em o średnicy 58 mm i długości 1800 mm. Wymiary kolektora to 1990 mm wysokości oraz 2456 mm szerokości, powierzchnia całkowita 4,89 m², czynna powierzchnia absorpcyjna 4,14 m².

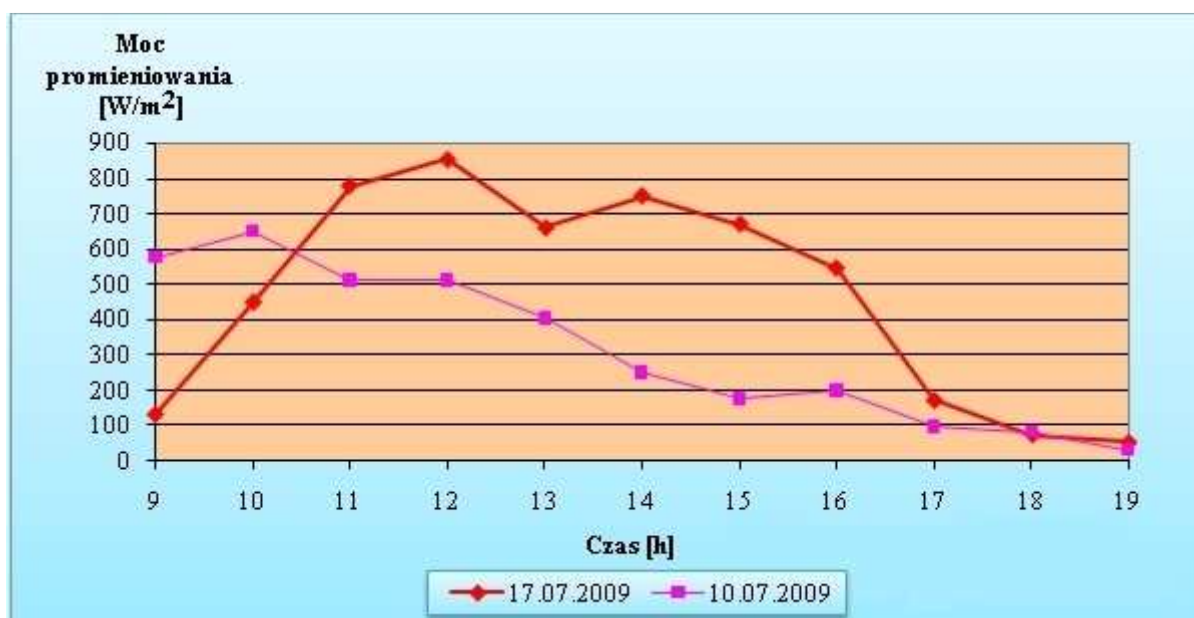
Kolektor jest połączony za pomocą izolowanych miedzianych rurek o przekroju 18 mm z wymiennikiem ciepła o pojemności 300 litrów. W skład układu wchodzi również pompa solarna, naczynie zbiorcze zabezpieczające układ przez przegrzaniem, zawór bezpieczeństwa, miernik energii, sterownik elektroniczny, czujniki temperatury. Kolektory umieszczone są na dachu w kierunku południowym pod kątem 45°. Pomiar parametrów pracy kolektorów rejestrowany jest przez miernik energii cieplnej firmy APATOR-KFAP połączony z serwerem i komputerem. Układem steruje sterownik firmy Frisko. Pomiaru mocy promieniowania słonecznego dokonuje się za pomocą miernika LB-900, a wyniki zapisywane są na dysku twardym.

Dzięki przeprowadzonym badaniom instalacji solarnej otrzymujemy m.in. dane: uzysk energii (MJ); moc (kW); temperaturę płynu od solarnego (°C), wielkość przepływu (l/h), temperaturę wody w zasobniku (°C), które rejestrowane są w serwerze.



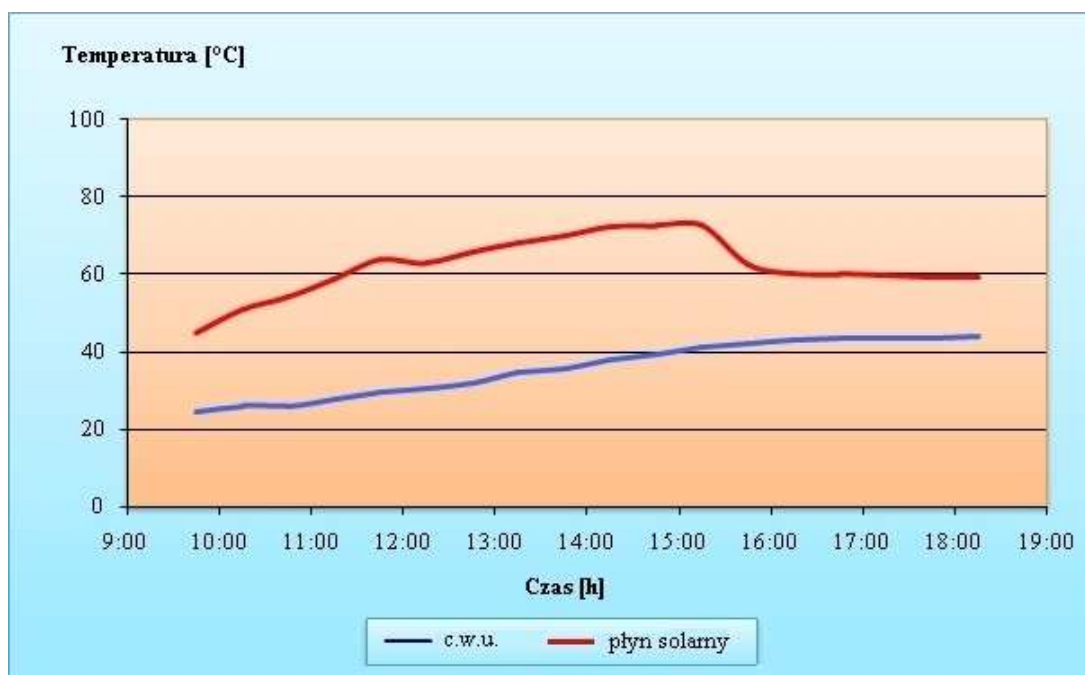
Rys.2. Średnia moc promieniowania w okresie od 16 do 24 lipca 2009 roku

W czasie pomiarów przeprowadzonych w laboratorium OŹE w ZSE nr 1 w Krakowie w okresie od 8 maja do 15 czerwca, od 10 lipca do 27 lipca, od 19 do 27 listopada 2009 r., maksymalna moc promieniowania słonecznego odnotowana została 12 czerwca o godzinie 12:33 i wyniosła $1196,5 \text{ W/m}^2$. Zazwyczaj w słoneczny dzień osiąga średnią wartość z przedziału $700 \div 900 \text{ W/m}^2$. Moc 19 lipca była znacząco niższa (max. ok. 200 W/m^2) od pozostałych dni, było to spowodowane znacznym zachmurzeniem nieba w ciągu dnia.

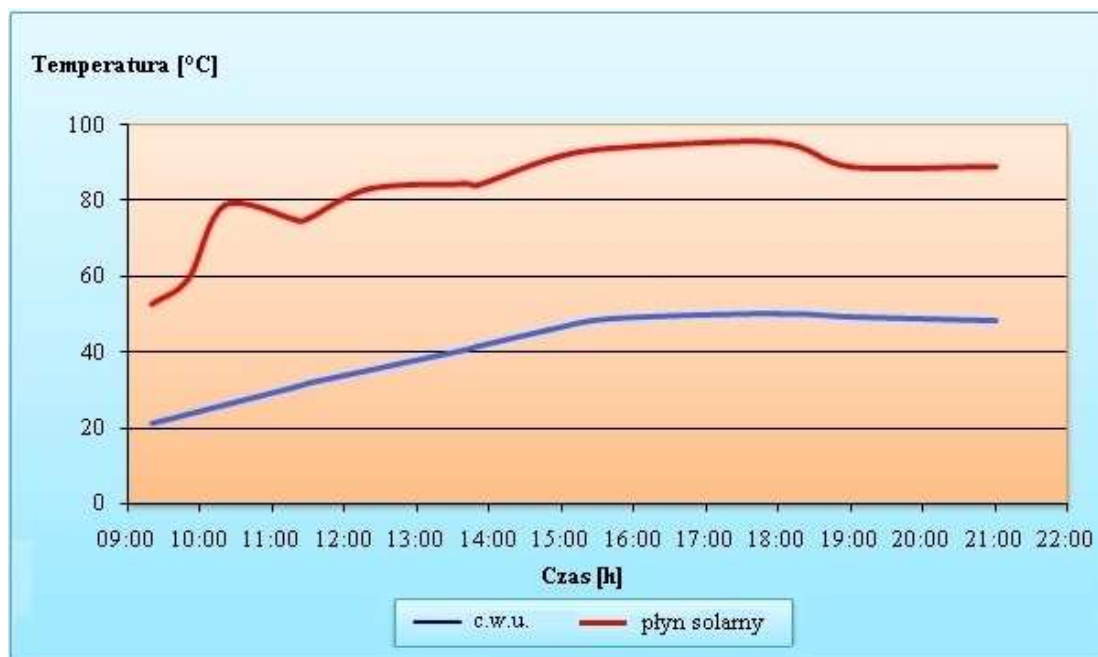


Rys.3. Średnia moc promieniowania w poszczególnych godzinach 10 oraz 17 lipca

Wykres (rys. 3) przedstawia moc promieniowania zmierzoną 10 lipca, kiedy przed godziną 11 niebo się zachmurzyło, co spowodowało zmniejszenie ilości promieni słonecznych docierających na powierzchnię ziemi oraz pomiar z 17 lipca, kiedy to po pochmurnym poranku, ok. godziny 10 niebo rozjaśniło się.



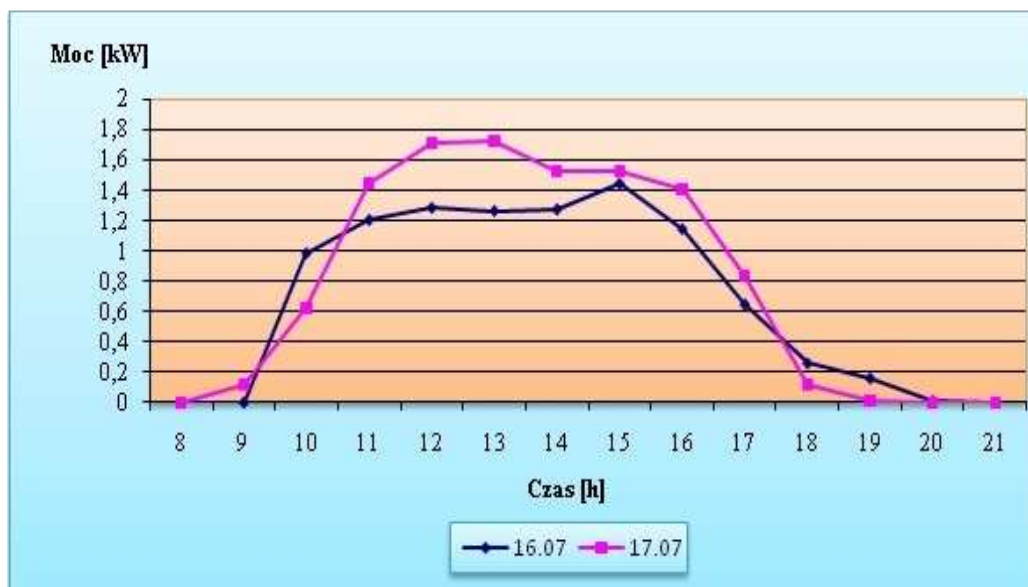
Rys.4. Temperatura cieczy w kolektorze (kolor czerwony) oraz w zasobniku (kolor niebieski) w dniu 16.07.2009



Rys.5. Temperatura cieczy w kolektorze (kolor czerwony) oraz w zasobniku (kolor niebieski) w dniu 17.07.2009

W godzinach 10:00÷18:00 promienie słoneczne dostarczyły energię równą 3,63 kWh (16 lipca) oraz 4,5 kWh (17 lipca) na 1 m². Uwzględniając czynną powierzchnię absorpcyjną odpowiadającą 4,14 m², kolektor otrzymał odpowiednio 15,03 kWh oraz 18,63 kWh energii. Natomiast instalacja dostarczyła energię 8,56 kWh oraz 10,26 kWh co oznacza, iż dzienna efektywność instalacji 16 lipca wynosiła 56,9%, a 17 lipca 55,1%.

Bezpośrednią konsekwencją większej mocy układu solarnego jest wyższa temperatura zarówno cieczy solarnej przepływającej przez kolektor, jak również nagrzewanej wody. Różnice te widać na wykresie obrazującym temperaturę w układzie cieczy solarnej oraz wody użytkowej w zasobniku w dniu 16 i 17 lipca. Pomiary zostały poprzedzone częściowym opróżnieniem 300 litrowego zbiornika z nagrzaną wodą oraz napełnieniem zimną wodą z sieci wodociągowej. Pomiary temperatur wykazały, że w dniu 16 lipca w godzinach 9:45÷18:15 woda w zbiorniku została nagrzana od 24,6°C÷43,8°C podczas, gdy 17 lipca w godzinach 9:50÷18:00 woda nagrzała się od 23,4°C÷50,1°C. Zatem dodatkowe 1,7 kWh pozwoliło uzyskać temperaturę w zbiorniku wyższą o 6,3°C. Podobnie przedstawia się porównanie temperatur płynu solarnego w kolektorze. 16 lipca o godzinie 9:45 miał 45,1°C nagrzewał się do maksymalnej temperatury 72,6°C utrzymującej się między 14:45÷15:15 po czym od 15:45, ochłodził się do 62,6°C i do 18:15 utrzymywał temperaturę w granicach 60°C. Natomiast 17 lipca ciecz solarna nagrzewała się od godziny 9:50 od temperatury 59,7°C do godziny 10:20 do temperatury 79°C, osiągając o godzinie 18:00 temperaturę 95,5°C.



Rys.6. Średnia moc kolektora w dniach 16 i 17 lipca 2009



Rys.7. Energia w MJ uzyskana z instalacji solarnej w dniach 16 i 17 lipiec bieżącego roku

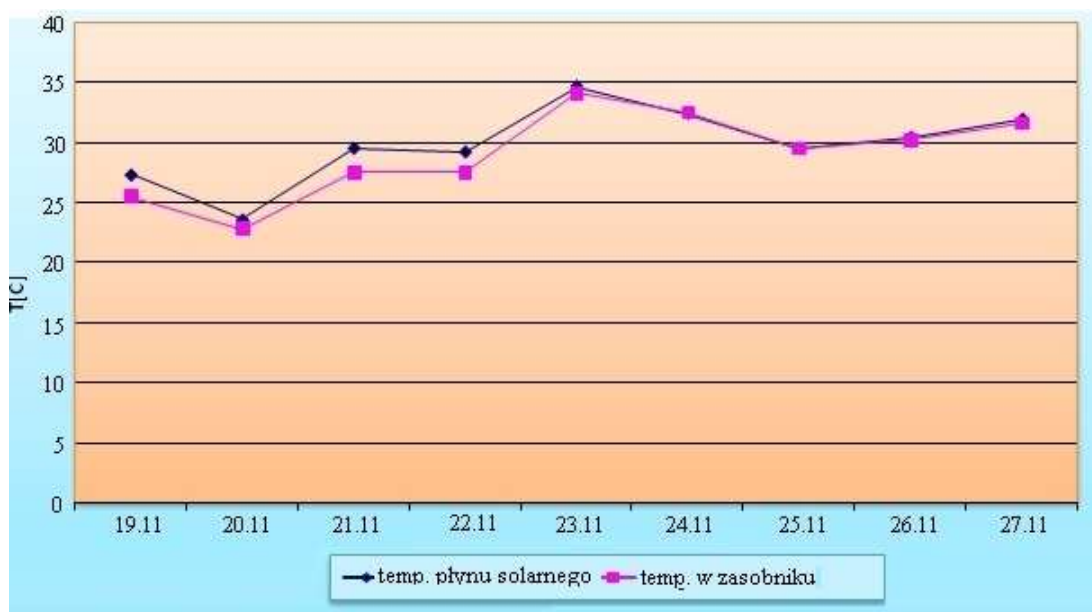
Na podstawie wyników pomiarów przedstawionych na wykresie rys. 7 obliczono, że w dniu 16 lipca uzyskano 34 MJ energii, a 17 lipca 41 MJ. Z wykresu wynika, że maksymalna energia 16.07 wynosiła 5 MJ w 12, 14 i 15 godzinie doby, a 17.07 kolektor dostarczył największą ilość energii w 12 godzinie doby i wyniosła ona 7 MJ.

W dniach 19÷27 listopada niebo było zachmurzone z okresami przejaśnień, średnia moc promieniowania słonecznego w tych dniach wahała się od 152 W/m^2 do ok. 342 W/m^2 . Woda w ciągu 9 dni w godzinach południowych ogrzała się do temp. $23,3^\circ\text{C}$ w dniu 20.11 do $35,3^\circ\text{C}$ w dniu 23.11, rys. 8. Temperatura powietrza w badanym okresie czasu wahała się od -3°C w nocy do $+8^\circ\text{C}$ w dzień.

Omówione wyniki pomiarów wymagają krótkiego komentarza. Należy stwierdzić, że kolektor słoneczny 16 lipca dostarczył wystarczającą ilość energii cieplnej do nagrzania 300 litrów wody w zasobniku do temperatury $43,8^\circ\text{C}$. Wartość ta uznawana jest za wystarczającą do pełnego korzystania 5 osobowej rodziny z ciepłej wody użytkowej w domu lub mieszkaniu. W celu wykonania pełniejszej analizy pracy kolektora ciepłą wodę użytkową w laboratorium spożytkowano do celów socjalnych. Po napełnieniu zbiornika zimną wodą uzyskano średnią temperaturę w wymienniku ok. $21,2^\circ\text{C}$.

W kolejnym dniu ponownie rozpoczęto pomiary. Uzyskano temperaturę wody w wymienniku wynoszącą $50,1^\circ\text{C}$. Analiza wyników wskazuje na wysoką efektywność instalacji solarnej, energia słoneczna zamieniona w energię cieplną w pełni zaspokaja potrzebę nagrzania 300 litrów wody do temperatury ok. 45°C .

Wyniki badań zamieszczone na rys. 8 wskazują, że w końcu listopada w pogodny dzień instalacja solarna ogrzała wodę w zasobniku do temp. 35°C. Jest to odpowiedź na często zadawane pytanie. Czy instalacja dostarcza energię ciepłą w miesiącach listopad - luty?. Instalacja solarna może pracować przez wszystkie dni w roku. Ilość energii cieplnej, jaką dostarczy do zasobnika zależy od natężenia promieniowania słonecznego.



Rys.8. Temperatura cieczy w kolektorze i wody w zbiorniku w dniach 19-27.11.2009

Należy zaznaczyć, że podobne parametry energetyczne uzyskano również z pracy: kolektorów płaskich, próżniowo-rurowych z „U-rurką” w przeliczeniu na powierzchnię czynną kolektora. Świadczy to, że kolektory słoneczne produkowane w Polsce i importowane z zagranicy posiadają wysoką sprawność energetyczną. Średni stopień pokrycia zapotrzebowania na energię do ogrzania 300 l c.w.u. z instalacji solarnej w laboratorium wynosi ok. 55%.

Z dotychczas przeprowadzonych analiz, można wysnuć wniosek, że wszystkie typy kolektorów zainstalowanych w laboratorium (próżniowo-rurowe, próżniowo-płaskie, płaskie) posiadają podobne parametry pracy w odniesieniu do wielkości powierzchni kolektora. Wyniki te potwierdzają również fakt, że kolektory te posiadają parametry pracy, w warunkach krakowskich podobne do tych, jakie zamieszczone są w świadectwach certyfikacyjnych tych kolektorów. Różnice temperatur c.w.u w 300 litrowych wymiennikach wahają się w granicach 3÷5°C. Wyniki badań są również odpowiedzią na często zadawane pytanie. Jaki typ kolektorów zamontować w swojej instalacji solarnej?. Odpowiedź jest złożona.

Dobór urządzeń instalacji solarnej powinien wykonać inżynier reprezentujący firmę instalacyjną, który weźmie pełną odpowiedzialność za efektywność pracy w/w instalacji.

Wyniki tych badań mają posłużyć do celów edukacyjnych, a poprzez ich publikację do tego, aby przekonać potencjalnych użytkowników instalacji, że jest to inwestycja opłacalna, pro-ekologiczna, a decydentów powinny skłonić do przemyśleń w zakresie dofinansowania tych instalacji.

Należy zaznaczyć, że firmy: produkujące, importujące, instalujące kolektory słoneczne prowadzą analizy pracy instalacji solarnych do celów komercyjnych w warunkach rzeczywistych, a wyniki udostępniają na swych stronach internetowych oraz w katalogach. Wyniki badań uzyskane przez te firmy są zbliżone do wyników uzyskanych w laboratorium w ZSE nr 1 w Krakowie.

2. Wybrane wyniki badań z Poławy :

Analiza wybranych wyników badań instalacji solarnej w Akademii Rolniczej w Poławie.

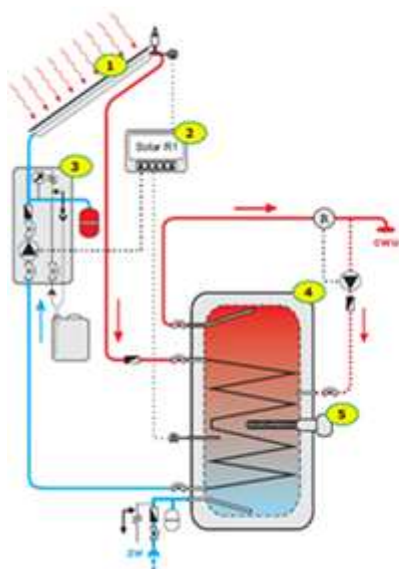
Przedmiotem badań w Poławie jest instalacja solarna zasilana przez 2 kolektory płaskie. Posiadają one czynną powierzchnię absorpcyjną równą $5,06 \text{ m}^2$.

Kolektor jest połączony za pomocą izolowanych miedzianych rurek o przekroju 18 mm z wymiennikiem ciepła o pojemności 300 litrów. Ciepła woda zasila łazienki w domu studenckim. W skład układu wchodzi również pompa solarna, naczynie zbiorcze o pojemności 20 litrów, zabezpieczające układ przez przegrzaniem, zawór bezpieczeństwa, sterownik elektroniczny, czujniki temperatury. W wymienniku ciepła zamontowano również grzałkę elektryczną o mocy 2 kW, która wspomaga układ solarny. Układem steruje sterownik firmy Neon. Pomiaru mocy promieniowania słonecznego dokonuje się za pomocą miernika wykonanego w ZSE nr 1 w Krakowie. Kolektory umieszczone są na dachu domu studenckiego w kierunku południowym pod kątem 45° .



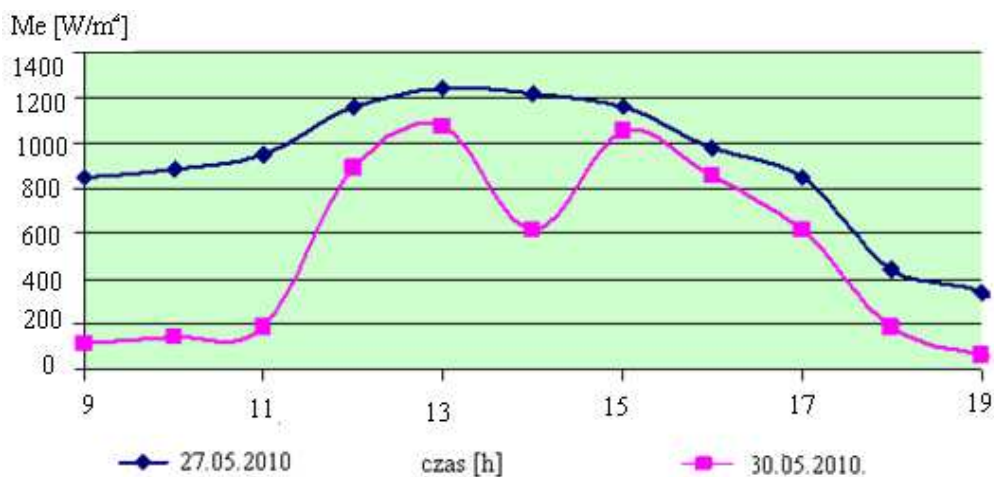
Rys.9. Zdjęcie przedstawiające kolektory zamontowane na dachu, oraz instalację solarną zamontowaną w akademiku Połtawskiej Akademii Rolniczej

Dzięki przeprowadzonym badaniom instalacji solarnej otrzymano m.in. dane: temperaturę płynu solarnego ($^{\circ}\text{C}$), temperaturę wody w zasobniku ($^{\circ}\text{C}$), wielkość przepływu płynu solarnego (l/h). Na podstawie odczytanych danych można wyliczyć m. in.: uzysk energii (MJ), moc (kW), efektywność pracy instalacji ϵ . Badania cytowane w opracowaniu przeprowadzono na przełomie maja i czerwca 2010 r.



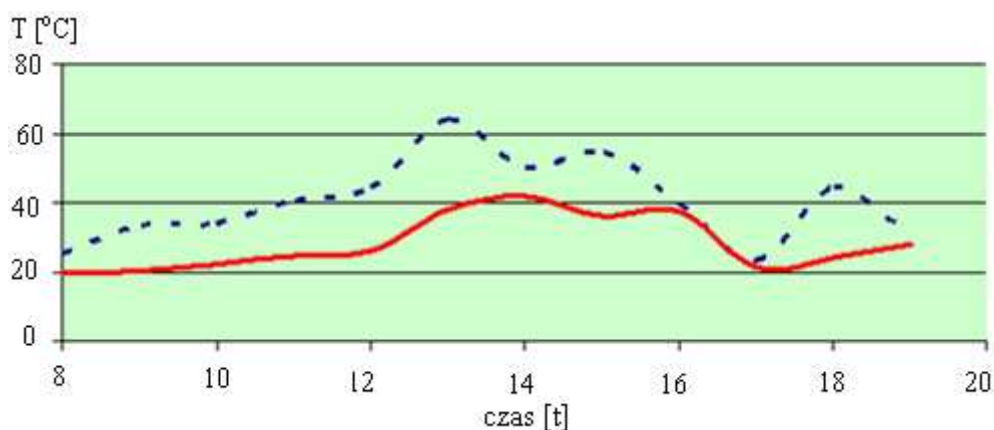
1. Kolektor słoneczny neosol -250
2. Regulator systemu solarnego Solarcomp 911
3. Zespół pompowy
4. Zbiornik solarny c.w.u
5. Grzałka elektryczna

Rys.10. Schemat solarnej instalacji grzewczej zamontowanej w domu studenckim Połtawskiej Akademii Rolniczej



Rys.11. Średnia moc promieniowania słonecznego w dniach 27, 30.05.2010 r.

Analizę powyższego wykresu dokonano przy omawianiu wyników badań instalacji fotowoltaicznej w Poławie .



Rys.12. Wykres przedstawiający zmianę temperatury płynu solarnego (kolor niebieski), oraz wody w zasobniku (kolor czerwony) w dniu 27.05.2010 r.

Na podstawie powyższego wykresu i wykresu (rys. 3), czas pracy instalacji solarnej należy podzielić na kilka okresów. Pierwszy od godz.8.00 do 12.00, płyn solarny zwiększył temperaturę z 23°C do 43°C. Woda w zasobniku zwiększyła temperaturę z 20°C do 30°C. Efektywność pracy instalacji solarnej wyniosła ok. 50%. W tym okresie czasu energia cieplna wody zwiększyła się o wartość:

$$Q_1 = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = 300 \cdot 0,0011 \cdot (30 - 20) = 3,3 \text{ kWh} = 11,88 \text{ MJ}$$

Miedzy godz.12.00 a 16.00 woda w zasobniku zwiększyła swą temperaturę z 30°C do 40°C. Około godz.14.30 część wody z zasobnika wykorzystano, temperatura wody spadła do 34°C, by następnie wzrosnąć do 39°C o godz.16.00. Temperatura płynu solarnego wahała się w przedziale 40°C - 65°C, z wykresu można wnioskować że nierównomiernie oddawał on energię cieplną w zasobniku. W tym czasie energia cieplna wody zwiększyła się o wartość:

$$Q_2 = m \cdot c_p \cdot (T_4 - T_3) = 300 \cdot 0,0011 \cdot (40 - 30) = 3,3 \text{ kWh} = 11,88 \text{ MJ}$$

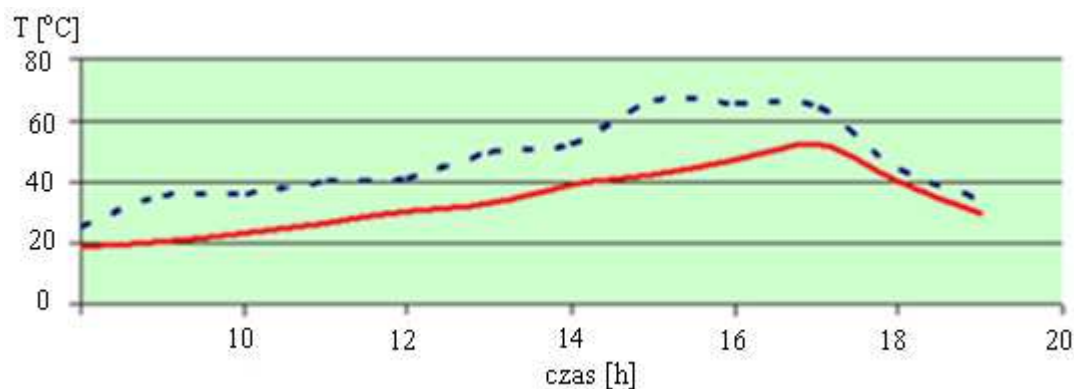
O godz 16.00 studenci zaczęli korzystać z c. w. u. Po godzinie wykorzystano ciepłą wodę a temperatura w zasobniku osiągnęła wartość 20°C. Również płyn solarny intensywnie oddawał ciepło, jego temperatura o godz. 17.00 osiągnęła wartość 23°C. Miedzy godz.17.00 a 19.00 woda w zasobniku zwiększyła swą temperaturę z 20°C do 28°C, a płyn solarny z 23°C do 45°C o godz. 18.00. W tym dniu niebo było pogodne o godz. 18.00 moc promieniowania słonecznego wynosiła ok. 400 W/m². W tym czasie energia cieplna wody zwiększyła się o wartość:

$$Q_3 = m \cdot c_p \cdot (T_6 - T_5) = 300 \cdot 0,0011 \cdot (28 - 20) = 2,64 \text{ kWh} = 9,90 \text{ MJ}$$

W ciągu całego dnia (27.05) instalacja solarna dostarczyła energię cieplną równą:

$$Q_c = 9,24 \text{ kWh} = 33,66 \text{ MJ}$$

Wielkość ta jest ok.10% większa niż uzyskana przy podobnej mocy promieniowania słonecznego w Krakowie, w przeliczeniu na 1 m² powierzchni czynnej kolektora.



Rys.13. Wykres przedstawiający zmianę temperatury płynu solarnego (kolor niebieski), oraz wody w zasobniku (kolor czerwony) w dniu 30.05.2010 r.

Na podstawie wykresu (rys. 13) można stwierdzić że temperatura płynu solarnego między godz. 9.00 a 13.00 wzrastała liniowo. Przez godzinę, między 13.00 a 14.00 temperatura płynu solarnego nie zmieniła się, przyczyną było zachmurzone niebo. Potwierdzają to dane z wykresu mocy promieniowania słonecznego (rys. 11). Ze względu na dużą inercję układu grzewczego woda w zasobniku nagrzewała się i o godz. 17.00 osiągnęła temperaturę 52°C. Dopiero od godz. 17.00 następuje zmniejszanie się temperatury wody w zasobniku. Po powrocie z zajęć studenci zaczęli korzystać z c.w.u. Równocześnie do zasobnika zaczęła dopływać zimna woda wyrównując w nim ciśnienie. Płyn solarny nagrzewając „świeżą” wodę został schłodzony. Po godz. 17.00 moc promieniowania słonecznego była zbyt mała aby skompensować oddaną część energii przez płyn solarny. W ciągu całego dnia (30.05.) instalacja solarna dostarczyła energię (obliczoną na podstawie wykresu):

$$Q_d = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = 300 \cdot 0,0011 \cdot (52 - 22) = 9,9 \text{ kWh} = 35,64 \text{ MJ}$$

Podsumowanie:

Podsumowując wyniki badań jakie zostały zarejestrowane w Potrawie należy stwierdzić:

- uzysk energetyczny instalacji solarnej jest wystarczający aby zagrzać wodę w zasobniku do tem. 45°C w ciągu 2 godz. przy dobrym nasłonecznieniu;
- w przypadku korzystania z c.w.u. w ciągu dnia czas ponownego nagrzewania wody może być dłuższy;
- woda może zostać nagrzana do temperatury niższej niż 45°C w przypadku: pochmurnego nieba, wielokrotnego korzystania z c.w.u. w ciągu dnia. Ilość energii cieplnej dostarczonej przez kolektory płaskie w Poławie, próżniowe w Krakowie jest porywnywalna (w przeliczeniu do wielkości powierzchni czynnej kolektorów), przy podobnej mocy promieniowania słonecznego

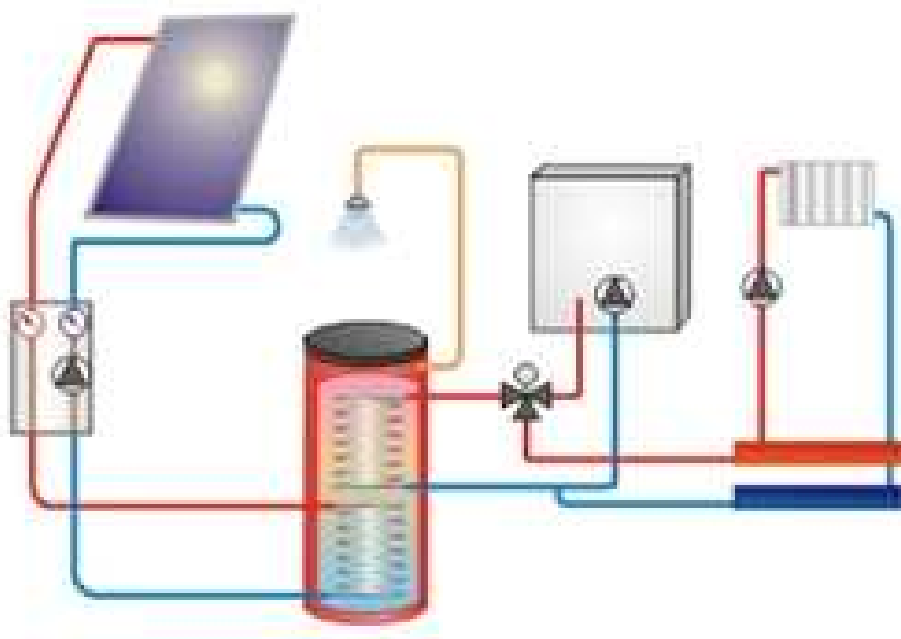
3. Symulacyjne programy komputerowe

Polskie firmy produkujące kolektory słoneczne, firmy montujące instalacje solarne posiadają własne programy komputerowe, które optymalizują dobór urządzeń do instalacji solarnych dla konkretnego obiektu.

4. Bilans energetyczny wydajności instalacji solarnej wg firmy Sonnenkraft na podstawie symulacji

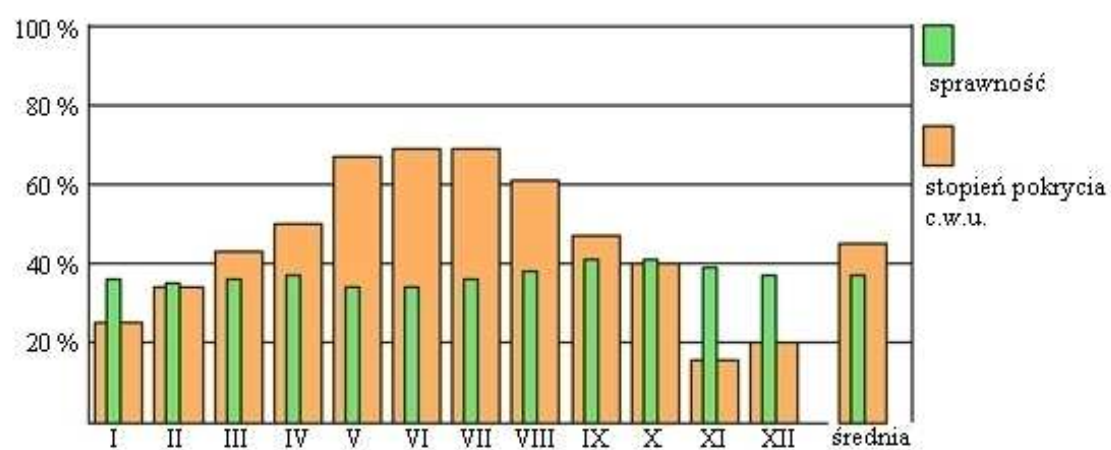
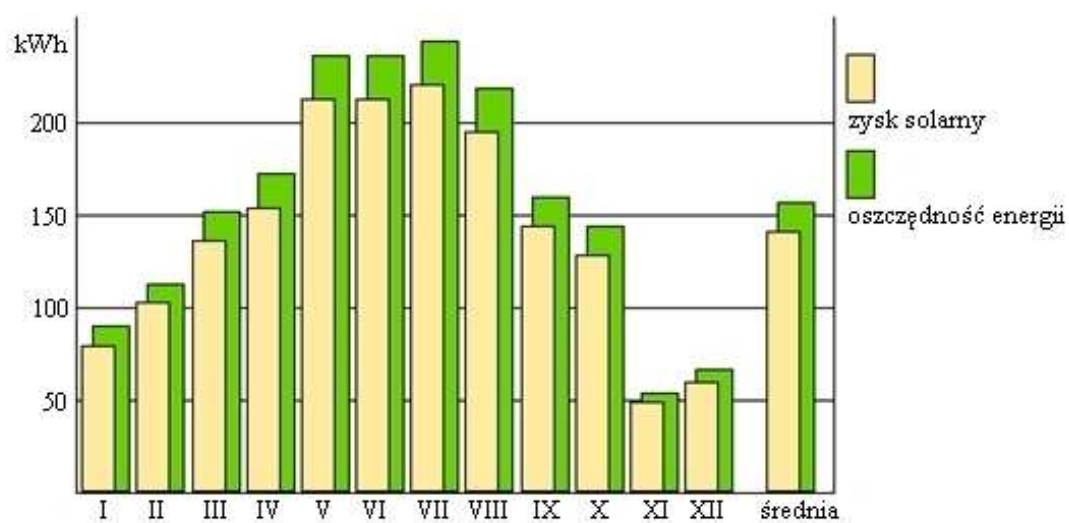
Firma Sonnenkraft wykonała symulację pomiarów parametrów cieplnych instalacji solarnej zamontowanej w domu jednorodzinnym w Krakowie i Poławie.

Poniżej przedstawiono wybrane wyniki badań z Krakowa.



Rys.14 Schemat instalacji solarnej wg firmy Sonnenkraft

Projekt:	2 kolektory Sonnenkraft SK 500 współpracujące z instalacją solarną
lokalizacja:	Kraków;
pow. kolektora:	5,14 m ² ;
pochyłość:	45,0°;
azymut:	0,0°;
współ. korelacji:	k = 1;
nasłonecznienie:	877 kWh/(m ² · rok);
typ instalacji:	ciepła woda użytkowa, zasobnik solarny 300 l;
zapotrzebowanie ciepła:	9,1 kWh/dzień = 250 l/dzień z 12°C do 45°C;
energia konwencjonalna:	gaz ziemny;
wydajność kolektorów:	lato - 92%; wiosna, jesień - 80%; zima - 60%.



Rys.15. Wykresy zysku energii i zapotrzebowania na ciepło z instalacji solarnej wg firmy Sonnenkraft

Tab.1.Wyniki badań instalacji solarnej firmy Sonnenkraft

Miesiąc	Uzysk solar- ny Q_s - [kWh]	Napromie- niowanie Q_p - [kWh]	Energia gazu Q_G - [kWh]	Stopień pokrycia ε - [%]	Sprawność η - [%]	Oszczędność gazu [kWh]	Zmniejszenie CO_2 [kg]
Styczeń	80,4	226	237	25	36	89,4	71,5
Luty	101,9	293	196	34	35	113,3	90,6
Marzec	136,5	377	162	43	36	151,7	121,3
Kwiecień	154,4	422	155	50	37	171,5	137,2
Maj	213,8	621	106	67	34	237,5	190,0
Czerwiec	213,4	631	95	69	34	337,1	189,7
Lipiec	220,5	610	99	69	36	245,0	196,0
Sierpień	196,2	515	122	61	48	218,0	174,4
Wrzesień	144,4	352	164	47	41	160,5	128,4
Październik	128,9	315	188	40	41	143,2	114,5
Listopad	49,5	127	256	16	39	55,0	44,0
Grudzień	60,2	161	247	20	37	66,9	43,5
Suma:	1700,1	4650	2048	45	37	1889,0	1511,2

5. Wyniki uzyskane na podstawie symulacji:

zapotrzebowanie. ciepła c.w.u. ze stratami zasobnika 3750 kWh/rok;

stopień pokrycia c.w.u. 45,3%;

sprawność układu solarnego 36,6%;

przeciętny roczny zysk kolektora 331 kWh/m²;

zysk solarny c.w.u. 1700 kWh/rok;

oszczędność energii 1889 kWh/rok;

zmniejszenie emisji CO₂ - 1511 kg/rok;

Wyniki roczne zysku energii cieplnej z kolektorów przedstawione na podstawie symulacji komputerowej dla podobnej instalacji w Poławie są ok. 10% wyższe niż w Krakowie. Powodem takiego wyniku jest wyższy zadany parametr mocy promieniowania słonecznego (955kWh/m² /rok). Podobną symulację można wykonać dla innych obiektów, innej mocy promieniowania słonecznego, innej liczby kolektorów, korzystając z darmowego programu komputerowego, zamieszczonego na stronie internetowej firmy Sonnenkraft.

6. Obliczenia dotyczące oszczędności wynikających z montażu kolektorów słonecznych

Zapotrzebowanie na energię cieplną Q_d dla domu jednorodzinnego o powierzchni ok. 200 m² zamieszkałego przez czteroosobową rodzinę wynosi ok. 17000 kWh. Na przygotowanie ciepłej wody użytkowej zakłada się zapotrzebowanie na poziomie ok. 3000 kWh, na ogrzewanie ok. 14000 kWh. Do obliczeń przyjęto parametry dwóch kolektorów Sonnenkraft SK500. Zakładając:

- korzystanie z gazu ziemnego GZ55 o parametrach $Q_g = 34,4 \text{ MJ/m}^3 = 9,6 \text{ kWh/m}^3$;
- sprawność pieca gazowego $\eta_g \approx 0,9$;
- sprawność instalacji c.w.u. $\eta_i \approx 0,8$;
- sprawność systemu grzewczego wyniesie $\eta_s \approx 0,9 \cdot 0,8 = 0,72$;

Zapotrzebowanie w/w domu na gaz wyniesie:

$$G \approx \frac{Q_d}{Q_g \cdot \eta_g} [\text{m}^3] \quad (1)$$

$$G \approx \frac{17000}{9,6 \cdot 0,72} \approx 2460 [\text{m}^3] \quad (2)$$

$$G_{\text{c.w.u.}} \approx 435 [\text{m}^3]; G_{\text{c.o.}} \approx 2025 [\text{m}^3] \quad (3)$$

Według PGNiGE średnie roczne zużycie gazu do ogrzewania i przygotowania c.w.u. dla domu jednorodzinnego w roku 2008 wyniosło ok. 2600 m³ (c.o. – 2200 m³; c.w.u. - 400 m³).

Na podstawie wyników obliczeń uzyskanych z programu symulacyjnego można stwierdzić, że ilość gazu potrzebna do ogrzania c.w.u. w badanym domu wyniesie:

$$G_{\text{s c.w.u.}} \approx \frac{3750}{9,6 \cdot 0,72} \approx 543 [\text{m}^3] \quad (4)$$

Oszczędność gazu wynikająca z wykorzystania instalacji solarnej wyniesie:

$$G_{\text{os c.w.u.}} \approx \frac{1889}{9,6 \cdot 0,72} \approx 273 [\text{m}^3] \quad (5)$$

Stopień pokrycia energii z instalacji solarnej wyniesie:

$$s \approx \frac{G_{\text{os c.w.u.}}}{G_{\text{s c.w.u.}}} \approx \frac{273}{543} \approx 0,5 \quad (6)$$

Rzeczywisty stopień pokrycia zapotrzebowania na gaz do ogrzania c.w.u. wyniesie ok. 50%. Sprawność kolektora definiuje się, jako stosunek energii pozyskanej przez kolektor do ilości energii słonecznej padającej na kolektor. Średnia roczna sprawność badanych kolektorów wynosi:

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_s} \quad (7)$$

$$\eta \approx \frac{1700}{4650} \approx 0,37 \quad (8)$$

7. Obliczenia sprawdzające prawidłowość analizy symulacyjnej.

Energia wytworzona przez instalację solarną w ciągu roku definiowana jest, jako: iloczyn promieniowania rocznego, powierzchni absorbera i efektywności instalacji (stopień pokrycia).

$$Q = G \cdot A \cdot \varepsilon \text{ [kWh]} \quad (9)$$

$$Q = 877 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 5,14 \text{ m}^2 \cdot 0,45 \approx 2028 \text{ kWh} \quad (10)$$

Ilość energii elektrycznej potrzebnej do zasilania układu – pompa solarna, sterownik (ok. 100 kWh/rok)

Energia netto układu

$$Q = 2028 \text{ kWh} - 100 \text{ kWh} = 1928 \text{ kWh} \quad (11)$$

Do podgrzania 250 litrów wody 12°C÷45°C należy dostarczyć energię cieplną:

$$Q_n = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = 250 \cdot 0,0011 \cdot (45 - 12) = 9,075 \text{ kWh} \quad (12)$$

Roczne zużycie energii:

$$Q_r = 9,075 \cdot 365 = 3312 \text{ kWh} \quad (13)$$

Moc cieplna kolektora wynosi średnio ok. 0,7 kW/m², wzrasta liniowo wraz z mocą promieniowania słonecznego.

Aby kolektor podgrzał 250 l do temp. 45°C dziennie musi pracować średnio w czasie:

$$Q_n = P \cdot t; t = \frac{Q_n}{P} = \frac{9,1}{5,14 \cdot 0,7} \approx 2,5 \text{ h/dobę} \quad (14)$$

Wielkość energii słonecznej Q_E w ciągu dnia w okresie całego roku zmienia się w zakresie:

$$\text{od } 0 \text{ do } 5,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Zakładając pełne nasłonecznienie, do kolektora zostanie dostarczona energia cieplna:

$$Q_{E \max} = 5,5 \text{ kW/m}^2 \cdot 4,14 \text{ m}^2 \approx 22,8 \text{ kWh.} \quad (15)$$

Wartość energii wykorzystanej przez instalację solarną wynosi:

$$Q_0 = Q_{E \max} \cdot \varepsilon = 22,8 \cdot 0,45 \approx 10,3 \text{ kWh} \quad (16)$$

Czas potrzebny do nagrzania 250 l wody ($\Delta T = 33^\circ\text{C}$) przy pełnym nasłonecznieniu wyniesie:

$$t = \frac{Q_n}{Q_0} \approx \frac{9,1}{10,3} \approx 0,9 \text{ h} \quad (17)$$

Efektywność obliczona układu :

$$\varepsilon_{\text{obl}} = \frac{Q}{Q_r} \approx \frac{1928}{3312} \approx 0,58 \quad (18)$$

Można przyjąć, że wyniki symulacji są zbliżone do wyników obliczeń.

Na różnicę między rzeczywistym uzyskiem energetycznym, a obliczonym wpływ może mieć kilka czynników:

- inna wartość natężenia napromieniowania słonecznego niż założona;
- mniejsza rzeczywista wartość powierzchni absorpcyjnej kolektora (apretury), inny od założonego kąt zamocowania, różny od zera;
- większa sprawność kolektora;
- większe straty ciepła w instalacji;
- rodzaj wykorzystanych urządzeń, sposób wykonania instalacji;
- ilość odebranej c.w.u.

Na podstawie powyższych obliczeń można wysnuć wniosek:

Aby wynik symulacji był wiarygodny projektant lub instalator powinien dla każdej instalacji określić możliwie dokładnie parametry projektowanej instalacji c.o i c.w.u. w budynku.

Instalacje solarne pracujące w laboratorium OZE w ZSE nr 1 w Krakowie posiadają parametry podobne do założonych w w/w obliczeniach.

Wyniki symulacji dla Poławy są podobne do pomierzonych parametrów mediów badanej instalacji solarnej w Poławie.

.Ze względu na większą moc promieniowania słoneczne w Poławie niż w Krakowie zwiększyły się również:

- średnia roczna sprawność kolektorów: $\eta = 0,41$;
- efektywność obliczona układu : $\varepsilon_{\text{obl}} = 0,63$

8. Średnie roczne oszczędności wynikające z podgrzewania c.w.u. instalacją solarną wynoszą:

W stosunku do podgrzewania jej grzałką elektryczną:

$$1889 \text{ kWh} \cdot 0,5 \frac{\text{zł}}{\text{kWh}} \approx 945 \frac{\text{zł}}{\text{rok}} \quad (19)$$

W stosunku do podgrzewania jej piecem gazowym:

$$273 \text{ m}^3 \cdot 2,04 \frac{\text{zł}}{\text{m}^3} \approx 658 \frac{\text{zł}}{\text{rok}} \quad (20)$$

W stosunku do podgrzewania jej piecem węglowym:

Wartość średnia energii termicznej węgla:

$$Q_w = 25 \text{ MJ/kg} = 6,94 \text{ kWh/kg} \quad (21)$$

Średnia sprawność instalacji z piecami węglowymi wynosi ok.:

$$\eta_w = 0,6$$

Waga węgla, który nie został spalony wyniesie:

$$W \approx \frac{1889}{6,94 \cdot 0,6} \approx 456 \text{ kg} \quad (22)$$

Oszczędność:

$$E \approx 456 \text{ kg} \cdot 0,6 \frac{\text{zł}}{\text{kg}} \approx 274 \frac{\text{zł}}{\text{rok}} \quad (23)$$

Stopa zwrotu z inwestycji w instalację solarną dla osób fizycznych, przy koszcie instalacji ok. 10000 zł wynosi 6÷12 lat (zakładając 15% wzrostu cen nośników energii rocznie).

W przypadku osób prawnych koszt instalacji solarnej wliczany jest w koszty uzyskania przychodu firmy (odliczanie wartości urządzeń w formie amortyzacji), co skutkuje tym, że instalacja jest tańsza o ok. 20%.

Na podstawie ceny mediów na Ukrainie, tab. 3, tab. 4, można stwierdzić że średnioroczne oszczędności przy wykorzystaniu instalacji solarnej na Ukrainie będą w przypadku :

- energii elektrycznej ok. 5 –krotnie mniejsze niż w Polsce;
- gazu ok.2-krotnie mniejsze;
- węgla ok.2-krotnie mniejsze.

Z 1 tony spalanego węgla powstają ok. 2 tony dwutlenku węgla CO₂, 20 kg popiołu, 35 kg SO₂, 6 kg NO_x. Praca instalacji solarnej zmniejszy emisję CO₂ o ok.1360 kg.

Bilansując zyski z wykorzystania instalacji solarnej należy również brać pod uwagę fakt, że zmniejszenie emisji substancji szkodliwych w miejscu ich wytwarzania, wiąże się

z mniejszymi środkami budżetowymi gminy, powiatu, przeznaczonymi na ochronę środowiska, zdrowie.

Tab.2. Wartość energetyczna i cena wybranych nośników energii (maj 2010)

Rodzaj energii	Wartość opałowa	Jednostka miary	Cena jednostkowa	Koszt jednostki ciepła	
	MJ/a	a	zł/a	zł/kWh	zł/GJ
Energia elektryczna (taryfa całodobowa)	3,600	kWh	0,46	0,46	127,8
Energia elektryczna (taryfa nocna)	3,600	kWh	0,276	0,276	67,72
Gaz płynny – propan-butan	26,421	dm ³	2,40	0,286	78,3
Olej opałowy	36,120	dm ³	2,96	0,255	71,0
Gaz ziemny GZ55	34,400	m ³	1,60	0,180	50,1
Węgiel – eko groszek	28,000	kg	0,62	0,087	23,9
Koks	29,000	kg	1,0	0,130	36,3
Miał węglowy	21,000	kg	0,4	0,069	19,30
Wierzba krzewiasta (sucha masa)	19,360	kg	0,21	0,034	9,5
Drewno opałowe (sucha masa)	18,600	kg	0,20	0,038	10,5
Słoma	15,000	kg	0,12	0,029	8,0
Energia geotermalna Stargard Szcz.				0,047	13,71
Energia słoneczna	1000 kWh/m ² /rok		-	-	-



Rys.16. Koszt GJ energii wytworzonej za pomocą różnych źródeł ciepła (na podstawie tab.2)

Należy zaznaczyć, że w tab. 2 i na rys. 16 przedstawiono koszt netto wytwarzanej energii z różnych źródeł. Rzeczywisty koszt energii będzie wyższy, gdyż sprawność instalacji grzewczej, może być inna dla każdego budynku i zawiera się w przedziale 0,4÷0,9. W praktyce może się okazać, że do ogrzania określonej masy wody trzeba będzie zużyć

w domu dwukrotnie więcej węgla niż wynikałoby to z tabeli tab. 2. Również węgiel dostarczony z kopalni posiada najczęściej niższą kaloryczność niż wartość zamieszczona w tabeli 2.

Tab.3. Ceny energii elektrycznej na Ukrainie w maju 2010 r. (hrn za 1 kWh)

Gatunki konsumentów	hrn/kWh
Ludność	
1.1. Ludność mieszkająca w miastach	0,24
1.2. Ludność mieszkająca na wsi	0,22
1.3. Ludność mieszkająca w domach z zainstalowanymi elektrycznymi urządzeniami grzewczymi w kuchni	0,18
1.4. Ludność mieszkająca w miastach nie zgazyfikowanych gazem ziemnym, bez scentralizowanego ogrzewania	0,18
Przemysł	
2.1. W miastach	0,23
2.2. Na wsiach	0,21

Tab. 4. Ceny gazu ziemnego, jakie wykorzystuje ludność: na ogrzewanie, przygotowanie posiłków, odgrzewanie wody, przy braku gazomierzy (maj 2010 r.)

Ilość gazu ziemnego nie przekraczająca 2500 m ³ / rok	hrn / m ³
- gaz w kuchni przy scentralizowanych dostawach gorącej wody	3,38
- gaz w kuchni przy braku scentralizowanych dostaw gorącej wody	6,31
- gaz w kuchni i gazowy pogrzewacz wody	8,14
Na indywidualne ogrzewanie domów:	hrn / m ³
- gaz ziemny do 2500 m ³ / rok	3,80
- gaz ziemny od 2501 m ³ do 6000 m ³ / rok	5,79
- gaz ziemny od 6001 m ³ do 12000 m ³ / rok	11,86
- gaz ziemny ponad 12000 m ³ / rok	14,19

Cena węgla kamiennego waha się w granicach od 450 do 760 hrn za tonę (maj 2010 r.)

Przelicznik walutowy: 1zł = 2,35 hrn (na dzień 23.06.2010 r).

Autorzy publikacji:

Ryszard Tytko – ZSE nr 1 Kraków (Polska)

dr. Volodymyr Kalinichenko – Poławska Państwowa Akademia Rolnicza (Ukraina)

Oleksandr Brykun – Poławska Państwowa Akademia Rolnicza

Literatura:

Ryszard Tytko „Odnawialne źródła energii ” wydawnictwo OWG Warszawa 2010 r.

Ryszard Tytko, Volodymyr Kalinichenko „Odnawialne źródła energii ” doświadczenia polskie i ukraińskie - książka przygotowywana do druku w języku ukraińskim.