



Politechnika
Śląska

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji
i Techniki Odpylania

ROZPRAWA DOKTORSKA
obszerne streszczenie

mgr inż. Paweł Dyrz

**SPRAWNOŚĆ EKSPLOATACYJNA UKŁADÓW
SOLARNYCH MAŁEJ MOCY**

Promotor pracy: dr hab. inż. Henryk Foit, prof. nzw. PŚ

Gliwice 2019

Spis treści:

1. Wprowadzenie	3
2. Małe układy solarne.....	3
3. Problemy projektowania, eksploatacji i monitorowania pracy małych układów solarnych.....	5
4. Cel, zakres, teza pracy	6
5. System monitorowania pracy analizowanych układów solarnych.	7
6. Analiza temperatury wody wodociągowej i użytkowej zasilającej instalację c.w.u., czynnika roboczego instalacji solarnej i czynnika grzewczego instalacji c.o.	12
7. Charakterystyka czasu pracy elementów systemu przygotowania c.w.u.	12
9. Stratyfikacja temperatury wody w zbiorniku c.w.u.....	14
10. Rozkład zapotrzebowania i zużycia energii niezbędnej do przygotowania c.w.u. w układach wykorzystujących czynnie promieniowanie słoneczne w wybranych okresach.	15
11. Wpływ nasłonecznienia na osiągnięcie zakładanej temperatury c.w.u. w zbiorniku w poszczególnych porach roku.....	17
12. Rzeczywista sprawność systemu przygotowania c.w.u.....	18
13. Rzeczywista sprawność układu solarnego z wodnymi kolektorami słonecznymi.....	21
14. Wnioski.....	24
15. Literatura	29

1. Wprowadzenie

Instalacje solarne małej mocy są instalacjami cieczowymi z pompowym wymuszeniem przepływu czynnika roboczego przenoszącego ciepło pozyskiwane w kolektorach słonecznych do zasobników, w których następuje gromadzenie pozyskiwanego ciepła. Czynnikiem roboczym jest roztwór wodny glikolu propylenowego z inhibitorami korozji, choć wśród instalacji solarnych znane są również instalacje z czynnikiem roboczym w postaci wody, która wypełnia całą instalację tylko w czasie przekazywania ciepła z kolektorów słonecznych do zasobnika ciepła. Jako kolektory słoneczne wykorzystywane są głównie kolektory płaskie niepróżniowe.

W ramach wdrożenia „Programu zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii i poprawy jakości środowiska w obrębie obszarów NATURA 2000 Powiatu Suskiego” wykonano łącznie 3007 instalacji solarnych małej mocy. Układy solarne zaprojektowano tak, aby pokrywały min. 50 % zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową w ciągu roku. Wykonawca zadania na etapie składania oferty przedłożył symulacje komputerowe oparte na wspólnych danych klimatycznych dla obszaru instalowania układów solarnych, które potwierdzają teoretycznie zakładane pokrycie zapotrzebowania ciepła pochodzącego z układów solarnych na podgrzewanie ciepłej wody użytkowej w obiektach wyposażonych w instalacje solarne. W praktyce jednak obserwowano różnice w efektach pracy układów solarnych obiektów położonych w różnych miejscach obszaru instalowania układów solarnych.

W ramach badania trwałości i efektów pracy zbudowanych instalacji solarnych wykonano pod nadzorem autora niniejszego opracowania zdalny system monitoringu obejmujący 40 instalacji solarnych współpracujący z 4 lokalnymi stacjami meteorologicznymi zainstalowanymi na potrzeby monitoringu. Instalacje solarne dla monitoringu wybrano w oparciu o następujące przesłanki: wielkość i rodzaj instalacji, położenie instalacji na terenie obszaru badawczego, rodzaju paliwa konwencjonalnego służącego do przygotowania ciepłej wody użytkowej, tak aby jak najwierniej odwzorować badane zależności dla całej grupy 3007 instalacji solarnych. Przy doborze miejsc lokalizacji stacji meteorologicznych brano pod uwagę odległość od instalacji solarnych objętych systemem monitoringu, możliwości techniczne montażu lokalnych stacji meteorologicznych i lokalne warunki terenowe. Teren badań obejmuje obszary górzyste, dla których w szczególności w okresie zimowym ujawniają się różnice temperatury wpływające na np. różny czas zalegania pokrywy śnieżnej. w stosunku do obszaru objętego badaniami.

Najbliższa stacja meteorologiczna IMGW znajduje się w odległości około 70 km.

System monitoringu zapewnia możliwość odczytu ilości ciepła pozyskanego z instalacji solarnej oraz pobranego z konwencjonalnego źródła ciepła dla przygotowania c.w.u., a także ilości ciepła zawartego w ciepłej wodzie użytkowej przekazanej użytkownikowi końcowemu. Dane z urządzeń rejestrujących w obrębie 40 instalacji przesyłane są bezprzewodowo przy użyciu modułów GPRS do serwera, gdzie są archiwizowane i podane obróbce. Dane z 5 instalacji dodatkowo prezentowane są w czasie rzeczywistym na stronie internetowej związanej z monitorowaniem.

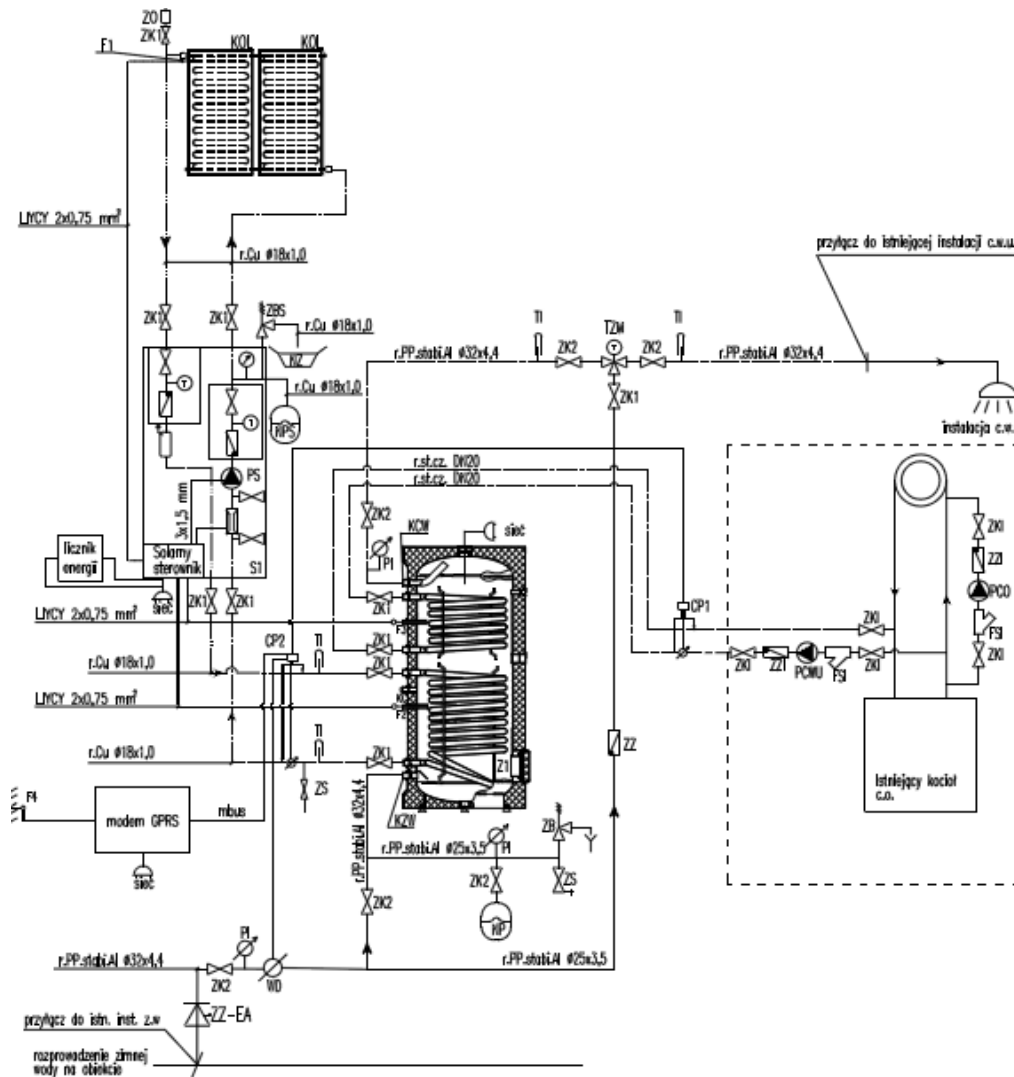
2. Małe układy solarne

Instalacją solarną małej mocy jest instalacja wykorzystująca promieniowanie słoneczne do przygotowania ciepłej wody użytkowej w obrębie budynku mieszkalnego jednorodzinnego lub wielopokoleniowego na potrzeby własne gospodarstwa domowego.

Instalacje te współpracują z urządzeniami konwencjonalnymi zasilanymi węglem, gazem i olejem opałowym, a także z grzałkami wykorzystującymi energię elektryczną. W przypadku monitorowanych układów przygotowania c.w.u., układy te nie były wyposażone w jednocześnie zasilające konwencjonalne źródła ciepła i grzałki elektryczne.

W skład typowego układu solarnej małej mocy coraz częściej wchodzi regulatory wyposażone w elementy pomiaru ilości ciepła pozyskanego przez kolektory, jednak rzadko spotykane są instalacje solarnej małej mocy wyposażone w oprzyrządowanie umożliwiające ocenę sprawności i efektów ekologicznych całego układu przygotowania ciepłej, w tym także źródła ciepła opalanego węglem, drewnem, olejem, gazem itp.

Schemat instalacji solarnej małej mocy przedstawiono na rysunku nr 1



Rys.1.Schemat instalacji solarnej małej mocy [3].

Do sterowania pracą instalacji solarnej służy sterownik automatyczny z przepływomierzem oraz urządzenia do regulacji ręcznej. Sterownik składa się z dwóch części: sterownika głównego, w skład którego wchodzi m. in. klawiatura oraz wyświetlacz graficzny stanowiące interfejs użytkownika i skrzynki uzupełniającej. Przepływomierz elektroniczny mierzący przepływ płynu solarnej umieszczony jest w grupie pompowej na powrocie instalacji solarnej. Do pozostałych elementów regulacji należy ogranicznik przepływu płynu solarnej oraz zawór antypoparzeniowy.

3. Problemy projektowania, eksploatacji i monitorowania pracy małych układów solarnych

Zaawansowane projektowanie instalacji solarnych małej i średniej mocy opiera się o wykorzystywanie specjalistycznych programów symulacyjnych, do których należy program GetSolar. Jest to jedno z popularniejszych narzędzi stosowanych w projektowaniu instalacji solarnych w Europie, w tym w Polsce.

Program ten używany był w trakcie projektowania monitorowanych instalacji solarnych, jako podstawowe narzędzie analiz i wymiarowania elementów układu solarnego. Za pomocą tego programu określono główne wielkości związane z pracą przyjmowanych układów solarnych, do których odnoszone są wyniki monitorowania rozpatrywane w niniejszej dysertacji. W związku z tym w dalszej kolejności przedstawiona będzie jego ogólna charakterystyka.

Program GetSolar pozwala dobierać elementy układu solarnego dla zadanych warunków oraz analizować w warunkach quasi stacjonarnych pracę układów solarnych zasilających w ciepło zespoły przygotowania c.w.u. i centralnego ogrzewania oraz podgrzewania wody w basenach.

Istnieje szereg problemów, które powodują odstępstwo eksploatacyjnych rezultatów pracy układów solarnych od efektów wyznaczanych dla tych systemów w fazie ich projektowania. Głównymi z nich są ogólnie uproszczenia stosowane w opisach procesów związanych z przejmowaniem i przetwarzaniem promieniowania słonecznego na ciepło w kolektorach słonecznych, strat przesyłu ciepła z kolektorów do zasobników ciepła oraz magazynowania ciepła w zasobnikach, uproszczenia w opisie i uśrednianiu parametrów klimatu zewnętrznego, a także odstępstwa dotyczące użytkowania instalacji c.w.u. w stosunku do użytkowania zakładanego. Odstępstwa od rzeczywistych warunków pracy kolektorów słonecznych dotyczą również badań charakterystyki energetycznej kolektorów słonecznych. Wynikają także z procesów starzenia kolektorów, często zaniebywanych w trakcie wyznaczania efektów pracy instalacji solarnej. W dalszej części tego rozdziału przedstawiono niektóre przyczyny odstępstw efektów eksploatacyjnych pracy układów solarnych od zakładanych.

Istotnym problemem związanym z późniejszą eksploatacją małych układów solarnych jest określenie zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową w stosunku do jej późniejszego zużycia.

Instalacje solarne prawie zawsze montowane są w obrębie zabudowanych już nieruchomości, dla których montaż wymuszony zastał warunkami, np. konstrukcją dachu. Lokalizacja kolektorów słonecznych w tych warunkach może powodować niekorzystne ich usytuowanie ze względu na optymalne wykorzystanie promieniowania słonecznego łącznie z ich zacienianiem. W istniejących budynkach podgrzewacze usytuowane są niekiedy w pomieszczeniach nieogrzewanych, trudno również w ich przypadku zapewnić optymalne prowadzenie przewodów solarnych od kolektorów do zasobników.

W celu ustalenia eksploatacyjnych wyników pracy układów solarnych przez przedstawiane monitorowanie zastosowano system wykorzystujący pomiary za pomocą ciepłomierza z wewnętrzną pamięcią EEPROM zamontowanego na instalacji solarnej, ciepłomierza z wewnętrzną pamięcią EEPROM zamontowanego na instalacji c.w.u. Dokumentacja projektowa przewidywała pierwotnie montaż wodomierza i czujników temperatury na instalacji ciepłej wody przekazywanej użytkownikowi oraz innych czujników i liczników, jednak z uwagi na możliwość utraty danych zastąpiono wodomierz dodatkowym ciepłomierzem z wewnętrzną pamięcią EEPROM. Taki sposób pomiaru ciepła w instalacji ciepłej wody użytkowej zapewnia kompletność danych w okresie braku energii elektrycznej.

Ciepłomierze posiadają wewnętrzne baterie o trwałości od 12 do 16 lat, co zapewnia magazynowanie w wewnętrznej pamięci ciepłomierza [33] [34].

Aby zapobiec utracie danych ze stacji meteorologicznych zastosowano w każdej z lokalizacji dodatkowe komputery do gromadzenia danych, a stacje posiadają awaryjne zasilanie z ogniw fotowoltaicznych.

Dane zebrane w obrębie instalacji przesyłane są wprawdzie za pomocą sieci GSM jednak siła sygnału operatorów sieci w obszarach górskich nie zawsze jest wystarczająca. Wobec tego zastosowano w wybranych lokalizacjach dodatkowe anteny wewnątrz budynku lub w przypadku bardzo słabego sygnału anteny kierunkowe zewnętrzne, a w niektórych lokalizacjach zmieniono pierwotnego operatora sieci GSM. Wymienione problemy wymagały przyjęcia dodatkowych rozwiązań systemowych oraz narzędzi badających łączność z poszczególnymi urządzeniami. Urządzenia dokonujące pomiarów meteorologicznych znajdują się poza obrysem budynków, co wymaga podjęcia działań zabezpieczających przed wyładowaniami atmosferycznymi. Dane dotyczące między innymi sprawności wymagają dla prawidłowego ich określenia zbierania w ramach systemu wielkości dla odpowiednio długiego okresu czasu, uwzględniającego zasilanie w ciepło układu przygotowania c.w.u. i wykorzystanie c.w.u. przez użytkowników.

W literaturze brak jest danych dotyczących szerszego spektrum parametrów pracy układów solarnych małej mocy uzyskanych dla większej próby obiektów. Trudno znaleźć analizę porównania danych symulacji komputerowych i danych rzeczywistych uzyskanych w trakcie eksploatacji min. w zakresie sprawności, pokrycia zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową i ograniczania emisji zanieczyszczeń.

4.Cel, zakres, teza pracy

Celem pracy jest określenie rzeczywistej sprawności energetycznej pracy instalacji solarnych małej mocy w warunkach ich stosowania, a także określenia efektów pracy tych instalacji porównywanych do wyników ustalanych na drodze symulacji komputerowych.

Zakres badań obejmuje obserwacje parametrów pracy 40 instalacji solarnych małej mocy w realnej eksploatacji, włączonych do różnych układów przygotowania c.w.u. w budynkach jednorodzinnych.

Badania efektów pracy instalacji dotyczą również ich obserwacji i ustalania różnic efektywności w zależności od lokalnych warunków meteorologicznych rejestrowanych przez cztery stacje meteorologiczne.

Tezy pracy:

- a) wartości eksploatacyjne sprawności układu solarnego zasilającego układ przygotowania c.w.u. odbiegają od wartości wynikających z symulacji,
- b) certyfikacja kolektorów słonecznych nie daje pełnego obrazu parametrów pracy osiągniętych w rzeczywistych warunkach pracy,
- c) przyjmowane do projektowania założenia związane z pokryciem ciepłem z instalacji solarnych zapotrzebowania ciepła układów przygotowania c.w.u. odbiegają od wartości osiągniętych podczas eksploatacji.

5. System monitorowania pracy analizowanych układów solarnych.

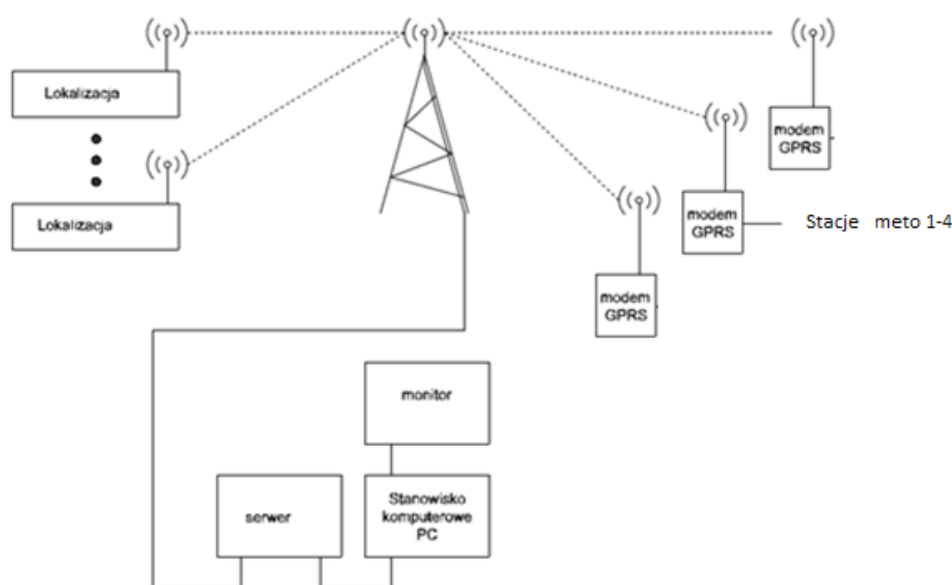
Do podstawowych zadań systemu (rys.2) należy zebranie niezbędnych danych do określenia rzeczywistej sprawności układów solarnych małej mocy służących do przygotowania c.w.u. na potrzeby własne gospodarstw domowych w oparciu o wyniki pomiarów pochodzących z 40 referencyjnych instalacji solarnych oraz 4 stacji meteorologicznych rozmieszczonych na terenie objętym badaniami. System umożliwia odczytanie 30 parametrów świadczących o pracy układu i 21 danych meteorologicznych.

Dane z instalacji solarnych i stacji meteorologicznych przesyłane są bezprzewodowo na serwer, gdzie są archiwizowane i poddawane obróbce. System zapewnia także możliwość prezentacji zebranych danych, efektów pracy instalacji, danych meteorologicznych w czasie rzeczywistym na 58" ekranie umieszczonym w przestrzeni publicznej.

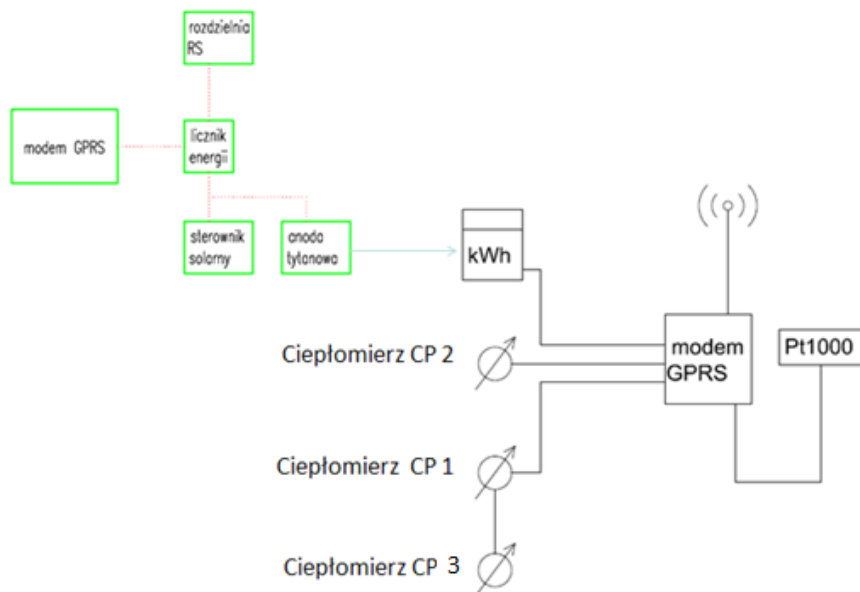
Dane meteorologiczne z czterech stacji meteo, które wpływają na ilość docierającej do kolektora słonecznego energii słonecznej obejmują m.in.: promieniowanie całkowite i rozproszone, prędkość i kierunek wiatru, temperaturę otoczenia, opady deszczu i śniegu oraz wilgotność powietrza. Wielkości określające pracę układu przygotowania ciepłej wody użytkowej obejmują m. in. strumień masy czynnika solarnego i temperatury czynnika przepływającego pomiędzy kolektorem słonecznym, a podgrzewaczem biwalentnym, mierzone ciepłomierzem CP1. Strumień masy, temperaturę czynnika grzewczego przepływającego pomiędzy kotłem grzewczym, a podgrzewaczem biwalentnym mierzy ciepłomierz CP2. Z kolei strumień masy c.w.u., temperaturę c.w.u. mierzy ciepłomierz CP3. Ponadto mierzona jest również temperatura pomieszczenia, w którym usytuowano podgrzewacz oraz ilość energii elektrycznej pobranej przez układ.

W obrębie każdego obiektu objętego monitoringiem zamontowano zestaw telemetryczny zbierający dane i przesyłający dane drogą bezprzewodową przy pomocy modemu GPRS do serwera ze stałym adresem IP. Serwer posiada dostęp do sieci Internet z łączem symetrycznym 8Mbit/s. Modemy zaopatrzone są w kartę SIM umożliwiającą pakietową transmisję danych i antenę zewnętrzną. Schemat blokowy systemu monitoringu przedstawiono na rys. 2.

Schemat podłączenia przyrządów pomiarowych przedstawiono na rys.3.



Rys. 1.Schemat blokowy systemu monitoringu [38]



Rys. 2. Schemat podłączenia przyrządów pomiarowych [38].

W ramach systemu monitoringu przeprowadzane są pomiary parametrów pracy układów solarnych oraz warunków meteorologicznych. Ciepłomierze (CP1, CP2, CP3), czujniki temperatury niezwiązane z ciepłomierzami, a mierzące temperatury w obrębie poszczególnych elementów instalacji oraz liczniki energii elektrycznej objęte są następującymi zadaniami:

- 1) Ciepłomierz CP1- służy do pomiaru ilości ciepła pochodzącego z instalacji solarnej, w tym:
 - a) ilości ciepła,
 - b) temperatury dopływu czynnika solarnego,
 - c) temperatury odpływu czynnika solarnego,
 - d) różnicy temperatury,
 - e) strumienia objętości czynnika solarnego,
- 2) Ciepłomierz CP2 - służy do pomiaru ilości ciepła przekazanej do układu przygotowania c.w.u., w tym:
 - a) ilości ciepła,
 - b) temperatury dopływu czynnika grzewczego,
 - c) temperatury odpływu czynnika grzewczego,
 - d) różnicy temperatury,
 - e) strumienia objętości czynnika grzewczego,
- 3) Ciepłomierz CP3 - służy do pomiaru ilości ciepła przekazanej z układu przygotowania c.w.u. w postaci ciepłej wody c.w.u. użytkownikowi, w tym:
 - a) ilości energii i jej przyrostu,
 - b) temperatury dopływu wody zimnej do podgrzewacza c.w.u.,
 - c) temperatury odpływu podgrzanej wody,
 - d) różnicy temperatury,
 - e) strumienia objętości pobieranej c.w.u.,

- 4) Licznik energii elektrycznej- służy do pomiaru ilości energii elektrycznej zużywanej przez układ solarny, w tym
 - a) ilości energii elektrycznej,
 - b) mocy elektrycznej.
- 5) Czujnik temperatury, do pomiaru temperatury pomieszczenia, w którym usytuowano podgrzewacz.
- 6) Czujniki temperatury – służące do pomiaru temperatury układu solarnego:
 - a) w obrębie kolektora słonecznego,
 - b) w górnej części podgrzewacza,
 - c) w dolnej części podgrzewacza,
 - d) glikolu na powrocie.

Poza pomiarami parametrów pracy układów solarnych monitorowaniu podlegają warunki meteorologiczne, które wpływają bądź mogą wpłynąć na efekty pracy instalacji solarnych

Zakres pomiarowy stacji meteorologicznych obejmuje obserwacje następujących wielkości:

- a) promieniowania całkowitego,
- b) maksymalnego promieniowania całkowitego,
- c) temperatury powietrza
- d) ciśnienia,
- e) opadów,
- f) prędkości wiatru,

W związku z tym, że zmierzony średni godzinowy strumień promieniowania całkowitego obejmuje dane mierzone na powierzchni poziomej $\dot{S}_{Hz}^r(d, \tau)$ dokonano przeliczeń tego strumienia na wartości odnoszące się do powierzchni pochylonej pod kątem, zgodnie z pochyleniem kolektorów słonecznych. Obliczenia przeprowadzono dla każdej z 8760 godzin w roku i każdej z trzech stacji meteorologicznych przy użyciu arkusza kalkulacyjnego Excel i dokonano ich w oparciu o prezentowany dalej, opracowany na potrzeby pracy, własny algorytm [2]. Chwilowy jednostkowy strumień promieniowania słonecznego bezpośredniego w dniu roku d , padającego na płaszczyznę normalną do promieniowania na granicy atmosfery $\dot{S}_N(d)$ oraz Strumień nieosłabionego promieniowania na płaszczyznę poziomą: $\dot{S}_H(d, \tau)$ są równe:

$$\dot{S}_N(d) = 1367 \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot d}{365}\right) \right]$$

$$\dot{S}_H(d, \tau) = \dot{S}_N(d) \cdot \cos(\psi_z)$$

Kąt ψ_z między powierzchnią poziomą, w stosunku do lokalnej powierzchni Ziemi, a kierunkiem do Słońca (kierunkiem promieni słonecznych) wynosi:

$$\cos \psi_z = \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\sigma)$$

gdzie:

ϕ - szerokość geograficzna rozpatrywanego miejsca,

$$\sigma = 15 \cdot (\bar{\tau} - 12),$$

$$\bar{\tau} \approx \tau + z - \frac{\lambda_0 - \lambda}{15},$$

τ - kolejna godzina świecenia słońca w dniu wg czasu strefowego,

λ_0 - długość geograficzna południka odniesienia,
 λ - długość geograficzna rozpatrywanego miejsca,

$$z = \frac{[9,87 \cdot \sin(2 \cdot \hat{\tau}) - 7,53 \cdot \cos(\hat{\tau}) - 1,5 \cdot \cos(\hat{\tau})]}{60},$$

$$\hat{\tau} = \frac{360 \cdot (d - 81)}{365},$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left[\frac{(284 + d) \cdot 360}{365}\right].$$

Strumień promieniowania na płaszczyznę poziomą na poziomie ziemi:

$\dot{S}_{Hz}(d, \tau) = \dot{S}_N(d) \cdot \cos(\psi_z) \cdot \eta_1(d, \tau)$ Współczynnik transmisji promieniowania bezpośredniego w dzień bezchmurny $\eta_1(d, \tau)$ wyrażono zależnością [1]:

$$\eta_1(d, \tau) = f[m_a(d, \tau), b(d, \tau), P(d, \tau)],$$

gdzie :

$P(d, \tau)$ - współczynnik zanieczyszczenia atmosfery,

$b(d, \tau)$ - ciśnienie atmosferyczne [bar].

Masa optyczna atmosfery jest równa:

$$m_a(d, \tau) = (1 - H \cdot 10^{-4}) \cdot \left[\sin(\hat{h}(d, \tau)) + 0,15 \cdot (\hat{h}(d, \tau) + 3,9)^{-1,233} \right]^{-1},$$

gdzie:

$$\hat{h}(d, \tau) = \hat{h}^0(d, \tau),$$

$$\hat{h}^0 = h^0 + \frac{1,4705}{3,0427 + h^0} + 0,0158$$

$$h^0 = \arcsin(e_3),$$

$$e_3 = -\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \sigma_0 + \sin \delta \cdot \sin \varphi$$

H - wysokość n.p.m. [m].

Kąt ψ między normalną do rozpatrywanej powierzchni a kierunkiem do Słońca (kierunkiem promieni słonecznych) wynosi:

$$\cos \psi = \sin(\delta) \cdot [\sin(\phi) \cdot \cos(\beta) - \sin(\beta) \cdot \cos(\phi)] + \cos(\delta) \cdot [\cos(\phi) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\sigma) + \sin(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\sigma)]$$

gdzie:

Kąt ψ_z między powierzchnią poziomą a kierunkiem do Słońca (kierunkiem promieni słonecznych) wynosi:

$$\cos \psi_z = \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\sigma)$$

Masa optyczna atmosfery jest równa:

$$\hat{h}(d, \tau) = \hat{h}^0(d, \tau)$$

$$m_a(d, \tau) = (1 - H \cdot 10^{-4}) \cdot \left[\sin(\hat{h}(d, \tau)) + 0,15 \cdot (\hat{h}(d, \tau) + 3,9)^{-1,233} \right]^{-1}$$

Współczynnik transmisji promieniowania bezpośredniego w dzień bezchmurny wyrażono zależnością [1]:

$$\eta_1(d, \tau) = f[m_a(d, \tau), b(d, \tau), P(d, \tau)],$$

gdzie :

$P(d, \tau)$ - współczynnik zanieczyszczenia atmosfery,

$b(d, \tau)$ - ciśnienie atmosferyczne (bar).

Natężenie promieniowania na płaszczyznę poziomą na poziomie Ziemi jest równe:

$$\dot{S}_{H_z}(d, \tau) = 1367 \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot \tau}{365}\right) \right] \cdot \cos(\psi_z) \cdot \eta_1(d, \tau)$$

Czas oddziaływania promieniowania słonecznego bezpośredniego w ciągu 60 minut:

$$\tau\tau = \frac{60 \cdot [\dot{S}_{H_z}^r(d, \tau) - \dot{D}_{H_z}(d, \tau)]}{\dot{S}_{H_z}(d, \tau) - \dot{D}_{H_z}(d, \tau)}$$

Strumień promieniowania w dniu d i o godzinie τ na rozpatrywaną płaszczyznę o pochyleniu normalnej do niej β wynosi:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{\beta_z}(d, \tau) = & \dot{S}_H(d, \tau) \cdot \eta_1(d, \tau) \cdot \cos(\psi) \cdot \frac{\tau\tau}{60} + \dot{D}_{H_z} \cdot \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \cdot \frac{60 - \tau\tau}{60} \\ & + \left[\dot{S}_H(d, \tau) \cdot \eta_1(d, \tau) \cdot \frac{\tau\tau}{60} + \dot{D}_{H_z} \cdot \frac{60 - \tau\tau}{60} \right] \cdot \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \cdot Albedo \end{aligned}$$

gdzie: *Albedo* - refleksyjność podłoża

Czas oddziaływania promieniowania słonecznego bezpośredniego $\tau\tau$ w ciągu 60 minut:

$$\tau\tau = \frac{60 \cdot [\dot{S}_{H_z}^r(d, \tau) - \dot{D}_{H_z}(d, \tau)]}{\dot{S}_{H_z}(d, \tau) - \dot{D}_{H_z}(d, \tau)}$$

gdzie:

$\dot{D}_{H_z}(d, \tau)$ - zakładany strumień promieniowania dyfuzyjnego.

$\dot{S}_{H_z}^r(d, \tau)$ - zmierzony strumień promieniowania słonecznego na płaszczyźnie poziomej w dniu d , o godzinie τ .

Wyniki obliczeń załączano do pracy na nośniku CD.

W dysertacji dokonano oceny warunków i wyników pracy małych układów solarnych, grupując uzyskane rezultaty pomiarów w następujących grupach:

- analizy temperatury wody wodociągowej i użytkowej zasilającej instalację c.w.u., czynnika roboczego instalacji solarnej i czynnika grzewczego instalacji c.o.,
- charakterystyki czasu pracy elementów systemu przygotowania c.w.u.,
- założeń projektowych, a rzeczywistego zapotrzebowania na c.w.u.,
- stratyfikacji temperatury wody w zbiornikach c.w.u.,
- rozkładu zapotrzebowania i zużycia energii niezbędnej do przygotowania c.w.u. w układach czynnie wykorzystujących promieniowanie słoneczne w wybranych okresach,
- wpływu nasłonecznienia na osiągnięcie zakładanej temperatury c.w.u. w zbiorniku w poszczególnych porach roku,
- rzeczywistej sprawności układu przygotowania c.w.u. i układów solarnych.

6. Analiza temperatury wody wodociągowej i użytkowej zasilającej instalację c.w.u., czynnika roboczego instalacji solarnej i czynnika grzewczego instalacji c.o.

Dla okresu badawczego 1.01.2017 – 31.12.2017r przeprowadzono analizę zmienności temperatury:

- a) wody napływającej z sieci wodociągowej (T10) i na wypływie (T11) ze zbiornika biwalentnego
- b) czynnika grzewczego na napływie (T6) i odpływie (T7) z systemu solarnego do zbiornika biwalentnego
- c) czynnika grzewczego na napływie (T8) i odpływie (T9) ze źródła konwencjonalnego do zbiornika biwalentnego
- d) czynnika grzewczego na wypływie z kolektora słonecznego (T1)
- e) pomieszczenia, w którym umieszczono zasobnik (T12)
- f) ciepłej wody użytkowej w dolnej części (T2) i górnej części (T4) zbiornika biwalentnego

Wymienione wielkości przedstawiono w postaci ich średnich miesięcznych i rocznych wynikających z uśrednienia wartości zmierzonych dla wszystkich godzin dni analizowanych miesięcy i roku. Dotyczy to również temperatury czynnika grzewczego napływającego (T6) i odpływającego (T7) z systemu solarnego do zbiornika biwalentnego, czynnika grzewczego na dopływie (T8) i odpływie (T9) ze źródła konwencjonalnego do zbiornika biwalentnego i czynnika roboczego instalacji solarnej na wypływie z kolektorów słonecznych. Wobec tego przedstawiane wartości temperatury średniej odpowiadają nie tylko fazie pozyskiwania ciepła z kolektorów słonecznych czy konwencjonalnego źródła ciepła, zasilającego układ przygotowania c.w.u., ale wartościom temperatury w obserwowanych punktach pomiarowych ustalonych dla wszystkich godzin dni pomiarowych.

7. Charakterystyka czasu pracy elementów systemu przygotowania c.w.u.

System przygotowania ciepłej wody użytkowej składa się po stronie zasilania z dwóch niezależnych obwodów: obwodu współpracującego z instalacją solarną oraz obwodu współpracującego ze źródłem konwencjonalnym służącym do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Obwody te łączą się w zbiorniku biwalentnym, w którym ogrzewają c.w.u. W związku z tym istotne jest przedstawienie charakterystyki czasu pracy poszczególnych obwodów oraz systemu odbioru c.w.u.

Charakterystykę opracowano w oparciu o obserwację występowania przepływu czynnika w poszczególnych godzinach doby. Na tej podstawie określono liczbę godzin w roku, w których przepływ wystąpił.

Największa średnia liczba godzin, w których zaobserwowano pracę źródła konwencjonalnego służącego do przygotowania ciepłej wody użytkowej, następuje w przypadku nośnika energii obejmującego węgiel i drewno (2123), czyli źródeł nieautomatyzowanych. Najmniejsza liczba godzin (533), dla których ujawniono pracę źródła konwencjonalnego, obserwuje się w przypadku źródła zautomatyzowanego, bazującego na nośniku o największej wartości opałowej tj. oleju opałowym. Porównując średnią liczbę godzin, w których nastąpiła praca instalacji solarnej oraz średnią liczbę godzin, w których nastąpiła praca źródła konwencjonalnego widać, że źródła te wzajemnie się uzupełniają.

Analizując dane dotyczące dostarczonej miesięcznej energii konwencjonalnej służącej do przygotowania ciepłej wody użytkowej zauważa się, że w przypadku nośnika w postaci paliwa stałego konwencjonalne źródło ciepła jest całkowicie wyłączone z eksploatacji, co możliwe jest dzięki: odpowiedniemu doborowi wielkości instalacji solarnej do zapotrzebowania na ciepło, zapewnieniu odpowiedniego rozbioru c.w.u., ograniczeniu strat ciepła w układzie przygotowania c.w.u., ale i zgodzie odbiorców na czasowy pobór c.w.u. o nieco zaniżonej temperaturze. Jeszcze dokładniej widać tę tendencję analizując wartości średnie miesięczne poszczególnych instalacji solarnych.

8. Założenia projektowe, a rzeczywiste zapotrzebowanie na c.w.u.

Z informacji zawartej w symulacji wykonanej w programie Get Solar wynika, że faktyczne efekty energetyczne i ekonomiczne - zyski względnie oszczędności wywołane zastosowaniem konkretnej instalacji solarnej mogą się różnić do wykazanych w odniesieniu do symulowanej pracy rozważanej instalacji na skutek zmienności pogody, zużycia c.w.u. i innych czynników. W celu uzyskania względnie wiarygodnego wyniku dotyczącego objętego symulacją przypadku instalacji solarnej i przygotowania c.w.u. należy dla rozważanej instalacji określić prawidłowo wszystkie istotne parametry systemu. Odpowiedzialność za to spoczywa głównie na projektancie i instalatorze.

Warunki projektowe bazują na założeniu, że liczba mieszkańców w obrębie nieruchomości jest stała, jednak scenariusz ten nie wydaje się potwierdzać w każdym przypadku, w szczególności w odniesieniu do rodzin zamieszkujących budynki 2-3 kondygnacyjne wybudowane w latach 80 – tych XX wieku. W budynkach takich zwykle mieszkają dwie rodziny spokrewnione. W przypadku zmiany miejsca zamieszkania jednej z rodzin znacznie spada ilość pobranej wody. Lokal taki nie zostaje raczej zasiedlony przez osoby nie spokrewnione. Znane są przypadki, gdy z rodziny 7 osobowej po dwóch latach wspólnego zamieszkiwania w domu pozostaje nawet jedynie tylko 1 osoba, co znacznie wpływa na obniżenie zużycia wody. Zdarzają się także przypadki odwrotne, wpływające na zwiększenie ilości pobieranej wody, a najczęściej związane ze zmianą stanu cywilnego, narodzinami dzieci itd. Kolejnym przypadkiem wpływającym na ilość pobieranej wody jest sytuacja dotycząca rodzin, w których są dzieci studiujące. Zazwyczaj w takim przypadku ilość pobieranej wody zmniejsza się znacząco w okresie roku akademickiego.

Średnia miesięczna rzeczywista ilość pobranej wody przez rodzinę 2 osobową ($1,9\text{m}^3$) jest niższa od normy ustalonej w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. ($2,4\text{-}3,0\text{ m}^3/\text{osobę}$). Dla tej samej rodziny wartość dobową poboru wody ($64,7\text{dm}^3/\text{dobę}$) jest o około 19,2% niższa od wartości najniższej przewidzianej w przywołanym rozporządzeniu ($80\text{-}100\text{dm}^3$ wody/dobę). Wartości średnio miesięczne bywają w wielu przypadkach jeszcze niższe.

Każda zmiana liczby mieszkańców budynku wpływa na ilość pobieranej wody, a także sprawność instalacji. Wzrost ilości pobieranej wody wiąże się z poprawą sprawności instalacji, natomiast obniżenie ilości pobieranej wody skutkuje obniżeniem sprawności. Zmiana liczby mieszkańców może mieć wpływ na żywotność oraz konieczność wprowadzenia zmian ustawień instalacji, gdyż zmniejszenie powierzchni absorpcji kolektorów poprzez demontaż kolektorów słonecznych pociąga za sobą potrzebę zmiany wielkości podgrzewacza, a to czyni zazwyczaj cały zabieg finansowo nieopłacalnym. Zmiana ustawień instalacji w tym zakresie dostępna jest z poziomu użytkownika.

Przyjmowany wg norm pobór wody winien bazować na wartościach rzeczywistych i preferencjach mieszkańców, z uwzględnieniem perspektywy zmian tego poboru, co jednak nie wydaje się być tak proste.

9. Stratyfikacja temperatury wody w zbiorniku c.w.u.

Stratyfikacji polega na temperaturowym zróżnicowaniu wody w zasobniku, co prowadzi do warstwowej struktury ośrodka i wynika z różnej gęstości wody gorącej i zimnej. Woda gorąca, wypierana przez zimną wodę, przemieszcza się do górnej strefy zbiornika. Wytworzone warstwy wody zimnej i gorącej rozdziela warstwa pośrednia, w której następuje nagła zmiana temperatury magazynowanego czynnika.

Analizę rozkładu temperaturowego przeprowadzono w oparciu o wskazania czujników temperatury zamontowanych w dolnej części zbiornika (T2) i górnej części zbiornika (T4). Pomocniczo na zamieszczonych w pracy wykresach podano wskazania dotyczące temperatury na kolektorze słonecznym (T1).

Przeprowadzono analizę porównawczą średniomiesięcznej temperatury (T1,T2,T4) dzieląc dodatkowo instalacje w zależności od wielkości i ilości kolektorów słonecznych.

W obrębie badanych instalacji solarnych zastosowane były trzy wielkości zbiorników: 300 dm³ w instalacjach 2-4 kolektorowych, 400 dm³ w instalacjach z 5 kolektorami oraz zasobnik 500 dm³ w instalacjach 6 kolektorowych.

Uzyskane wartości pomiarowe podzielono na grupy zależne od wielkości zbiorników. W obrębie instalacji 2 kolektorowej zastosowano zbiornik o innym stopniu smukłości niż w pozostałych instalacjach.

Średniomiesięczna temperatura kolektora słonecznego (T1) w każdej instalacji wydaje się być podobna i mocno zdeterminowana wielkością nasłonecznienia. Dla każdego typu instalacji solarnej widoczna jest niska temperatura (T1) i co z tym związane - również niska temperatura (T2) i (T3) dla miesiąca maja 2017r. - roku obserwowanych wyników badań. Największa średniomiesięczna temperatura wody w 2017r. w obrębie każdej z instalacji przypadała dla miesiąca września.

Na wartość średniomiesięcznej temperatury (T2) ma wpływ wielkość nasłonecznienia. Na wartość średniomiesięcznej temperatury (T2) znikomy wpływ ma ilość ciepła dostarczonego z konwencjonalnego źródła ciepła, które przede wszystkim wpływa na wartość temperatury górnej części zbiornika (T4).

Stratyfikacja temperatury wody w zasobniku zależna jest od jego smukłości. Najmniejsze różnice temperatury pomiędzy górną, a dolną częścią zasobnika widoczne są dla okresów letnich o dużym nasłonecznieniu w czasie braku rozbioru c.w.u. Rozbiór c.w.u. wpływa na powiększenie różnicy temperatury pomiędzy górną, a dolną częścią zasobnika. Z kolei największe różnice temperatury pomiędzy górną, a dolną częścią zbiornika widoczne są dla okresów o niskim nasłonecznieniu co sprawia, że dolna część zasobnika w tym czasie wykorzystana jest w nikły sposób do akumulowania energii przeznaczonej do przygotowania ciepłej wody użytkowej.

10. Rozkład zapotrzebowania i zużycia energii niezbędnej do przygotowania c.w.u. w układach wykorzystujących czynnie promieniowanie słoneczne w wybranych okresach.

Ilość energii dostarczonej przez układ solarny (E1) przedstawiono w podziale uzależnionym od wielkości instalacji solarnej (4,88 m², 5,46 m², 7,28 m², 10,05 m²). Miesięczne wartości energii uzyskanej z układu solarnego odniesiono do jednostkowej wartości powierzchni (1m²). Odczyty z ciepłomierzy (E1,E2,E3) porównano z danymi uzyskanymi z programów symulacyjnych. Dokonano także porównania ilości pozyskanej energii rejestrowanej w sterowniku solarnym z danymi z ciepłomierzy oraz z symulacji. W przypadku projektów grupowych instalacji solarnych odczyty z ciepłomierzy stanowią główne źródło informacji o rezultatach pracy instalacji, do których wykonawca zobowiązał się w umowie.

Zestawienie ilości energii dostarczonej przez układ solarny (E1) w podziale uzależnionym od wielkości instalacji solarnej (4,88 m², 5,46 m², 7,28 m², 10,05 m²) pozwala poszukiwać odpowiedzi na pytanie: czy wielkość instalacji wpływa na zmianę uzysku energii (E1) z jednostkowej powierzchni (1 m²) absorpcji w przypadku wzrostu jej wielkości. Jednostkowy rozkład rocznej ilości energii (E1 (kWh/m²)) dla instalacji solarnych o pow. absorpcji od 4,88 do 10,05m² wynikający z programów symulacyjnych, porównano z rocznymi, przypadającymi na powierzchnię 1 m² kolektorów instalacji, rozkładami energii odczytanymi z ciepłomierzy (tab.1). Średnioroczna ilość energii zmierzona przez ciepłomierze jest nieznacznie większa od wartości wynikających z symulacjach. Jednocześnie widoczny jest nieznaczny wzrost ilości energii (E1) pozyskanej z 1 m² kolektora słonecznego związany ze wzrostem powierzchni absorpcji instalacji solarnej.

Tabela 1. Średniomiesięczne i roczne ilości pozyskanej energii przypadającej na powierzchnię 1 m² kolektorów instalacji dla instalacji solarnych o pow. absorpcji od 4,88 – 10,05 m² – odczyty ciepłomierzy.

Miesiąc	Energia (E1) -kWh/m ²			
	4,88 m ²	5,46 m ²	7,28 m ²	10,05 m ²
I	14,2	16,1	19,1	26,9
II	23,7	20,9	23,4	17,4
III	33,9	36,4	35,0	35,3
IV	19,8	31,6	33,1	36,6
V	47,6	51,0	50,9	46,3
VI	55,9	61,1	56,7	59,6
VII	38,9	48,5	52,0	53,8
VIII	40,7	60,9	53,7	57,0
IX	23,8	30,2	30,6	33,7
X	17,0	23,3	24,5	24,7
XI	11,7	15,2	16,3	16,8
XII	2,9	7,7	8,9	9,2
Suma	330,0	402,8	404,3	417,2

W projektach grupowych, w ramach których wykonywanych jest nie rzadko parę tysięcy instalacji solarnych małej mocy, na etapie składania ofert wykonawca przedstawia symulację komputerową efektów ekologicznych związanych z realizacją inwestycji. Na etapie trwałości projektu, który trwa zwykle 5 lat, zamawiający bada czy efekty założone w symulacjach zostały osiągnięte i czyni to w oparciu o wyniki wskazań ciepłomierza związanego min. ze sterownikiem montowanym w instalacji solarnej. Do rzadkości należy analizowanie wyników w oparciu o profesjonalne ciepłomierze. W związku z takim ustalaniem ilości energii zachodzi pytanie: czy odczyty ilości energii dokonywane przy użyciu ciepłomierza sterownika solarnego przedstawiają wielkości miarodajne, pozwalające na przedstawienie rzeczywistego obrazu pracy układów solarnych?

W tym celu dokonano odczytu ilości pozyskanej energii przez układ solarny w 9 lokalizacjach, w których także zamontowano profesjonalne ciepłomierze. Jak wynika z analizy wyników średnia różnica wskazań ilości energii pozyskanej przez układ solarny, a wynikającej z symulacji komputerowej odchyła się od ilości energii zmierzonej przez profesjonalny ciepłomierz o 7,2%. Wśród wyników występują różnice w obu kierunkach nie mniej jednak różnica nie przekracza 11,3 %.

Z kolei porównując ilości energii pozyskanej przez układ solarny, określonej na drodze symulacji, z ilością energii zmierzonej przy użyciu sterownika solarnego zauważyć można, że średnia różnica tych wskazań wynosi 64 %, przy czym wszystkie wskazania sterowników są znacznie większe niż wyniki z symulacji oraz wskazania ciepłomierzy. Różnice wahają się od 20,2 % nawet do 193,7 % .

Reasumując, programy symulacyjne wyznaczają zbliżoną do zmierzonych profesjonalnymi ciepłomierzami wartości średniorocznych ilości energii pozyskanej przez układ solarny. Wartości średniomiesięczne energii pozyskanej przez układ solarny (E1) wskazane za pomocą programów symulacyjnych odbiegają od wartości zmierzonych, gdyż nie uwzględniają anomalii pogodowych. Programy symulacyjne nie uwzględniają dla rozważanego roku warunków rzeczywistych pracy systemów przygotowania ciepłej wody użytkowej, w wyniku których w okresie kwiecień – wrzesień następuje całkowite wyłączenie źródła konwencjonalnego służącego do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ilość energii służącej do przygotowania ciepłej wody użytkowej dostarczonej przez źródło konwencjonalne (E2) podobnie jak zapotrzebowanie na ciepło przekazywane użytkownikowi (E3) znacznie odbiegają od warunków rzeczywistych, co wynika przypuszczalnie ze znacznego zindywidualizowania zapotrzebowania oraz znacznych uproszczeń przyjmowanych w charakterystyce danych wejściowych do wykorzystywanego programu symulacyjnego. Przyczyna odchylenia może także mieć związek z coraz bardziej racjonalną gospodarką wodą w obrębie gospodarstwa domowego oraz trudną do przewidzenia i różną w czasie zmianą liczby użytkowników instalacji.

Określanie efektów ekologicznych i energetycznych w postaci ilości pozyskanej energii (E1) w oparciu o wskazania jedynie sterowników niesie za sobą znaczną różnicę wskazań, a co za tym idzie problemy w rozliczeniu rezultatów pracy układu solarnego w okresie trwałości projektu. Prowadzenie monitoringu ilości pozyskanej i przekazanej energii w oparciu o profesjonalne ciepłomierze zapewnia przedstawienie rzeczywistych efektów pracy układów przygotowania ciepłej wody użytkowej współpracujących z instalacjami solarnymi.

11. Wpływ nasłonecznienia na osiągnięcie zakładanej temperatury c.w.u. w zbiorniku w poszczególnych porach roku.

W oparciu o odczyty ze stacji meteorologicznych, zainstalowanych na obszarze badań objętych dysertacją, ustalono wartości średniodobowe najniższe i najwyższe energii promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę poziomą w poszczególnych porach roku 2017. Wyniki pomiarów meteorologicznych oraz parametrów dotyczących układów przygotowania c.w.u. przedstawiono jako dane dotyczące:

- ilości energii pozyskanej przez układ solarny małej mocy (E1),
- ilości energii dostarczonej przez konwencjonalne źródło energii (E2),
- ilości energii przekazanej wraz c.w.u. użytkownikowi (E3),
- temperatury na kolektorze (T1),
- temperatury w dolnej części zasobnika (T2),
- temperatury w górnej części zasobnika (T4),
- temperatury otoczenia (T_{oto}),
- energii promieniowania słonecznego padającego na pochyloną powierzchnię kolektorów słonecznych (S_{BZ}).

Odpowiednio opracowane wyniki pomiarów przedstawiono dla obserwowanych grup instalacji solarnych małej mocy. Wyróżnikami grup instalacji są:

- powierzchnia absorpcji układu solarnego,
- rodzaj konwencjonalnego źródła ciepła dla podgrzewania c.w.u., z którym współpracuje instalacja solarna.

W okresach wiosna, lato, jesień użytkownik diagnozowanych instalacji c.w.u. ma stale zapewniony dostęp do ciepłej wody użytkowej, dla której ogrzewania energię pozyskano z instalacji solarnej. Temperatura wody w dolnej części podgrzewacza jeszcze przed rozpoczęciem dostarczania energii pochodzącej ze Słońca przekracza 40°C . Wraz ze wzrostem operacji Słońca wzrasta temperatura w dolnej i górnej części zasobnika. Temperatury w dolnej i górnej części zasobnika w okresie wiosna, lato, jesień zrównują się około godziny 12-15.00.

Użytkownicy instalacji z kotłem paliwa węglowego w okresie wiosna, lato, jesień często wyłączają z użytkowania źródło konwencjonalne służące do przygotowania ciepłej wody użytkowej. W przypadku nieruchomości Zawoja 1271 wyłączenie źródła konwencjonalnego zaobserwowano w okresie od marca do października.

Wartości maksymalne w górnej części zasobnika (85°C) osiągnięte są zarówno w okresie lata jak i wiosny oraz jesieni. Wzrost energii promieniowania słonecznego padającego na pochyloną powierzchnię kolektorów słonecznych w okresie lata nie powoduje proporcjonalnie większego wzrostu temperatury wody w zasobniku z uwagi na zwiększone straty energii w obrębie kolektora.

W okresie zimy użytkownik instalacji, dla zapewnienia dostępu do ciepłej wody użytkowej musi wspomagać system przygotowania, c.w.u. źródłem konwencjonalnym, co powoduje wzrost temperatury ciepłej wody użytkowej jedynie w górnej części zasobnika - realnie wpływa to na obniżenie ilości ciepłej wody dostępnej dla użytkownika.

W okresie zimy temperatura wody w dolnej części zasobnika zbliżona jest do temperatury wody napływającej z sieci wodociągowej. Dostarczenie energii z kolektorów słonecznych powoduje zmniejszenie ilości energii dostarczanej ze źródła konwencjonalnego.

Wzrost ilości użytkowników wpływa na zwiększenie częstotliwości poboru ciepłej wody użytkowej oraz zróżnicowanie szczytów poboru wody, na które wpływ mają m.in. przyzwyczajenia mieszkańców jak i charakter wykonywanej pracy. Jej zmienność powoduje powstanie szczytów poboru wody w okresach zbliżonych do północy.

12. Rzeczywista sprawność systemu przygotowania c.w.u.

Do poddanych analizie systemów przygotowania ciepłej wody użytkowej wchodzi system solarny oparty o kolektory słoneczne (od 2 do 5 kolektorów) oraz system konwencjonalny oparty o kocioł stałopalny lub zasypowy. Systemy te w okresach wiosennych i jesiennych wzajemnie się uzupełniają, w okresie lata funkcjonuje przede wszystkim system solarny, a w okresie zimy jedynie system konwencjonalny.

Na sprawność całego systemu przygotowania c.w.u. wpływa sprawność instalacji solarnej jak i sprawność źródła konwencjonalnego.

Zastosowanie do określania sprawności całkowitej formuły:

$$\eta_{c.w.u.} = \frac{\Delta E_{cwu}}{\Delta E_{solary} + \Delta E_{kocioł}}$$

ΔE_{cwu} - energia przekazana użytkownikowi wraz z c.w.u.

ΔE_{solary} - energia pozyskana przez układ solarny do przygotowania c.w.u.

$\Delta E_{kocioł}$ - energia pozyskana przez układ konwencjonalny do przygotowania c.w.u.

dla okresu mniejszego niż miesiąc obarczone jest znacznym błędem systemowym. Formuła ta nie uwzględnia bowiem przyrostu entalpii w objętości c.w.u. zawartej w zbiorniku, która może być wykorzystana w innym czasie niż pracuje instalacja solarna czy kocioł. Skrócenie okresu analizy sprawności poniżej miesiąca powoduje zwiększenie błędu [18].

W związku z tym do obliczenia sprawności układu przygotowania ciepłej wody użytkowej przyjęto formułę:

$$\eta_{c.w.u.} = \frac{\sum \Delta E_{cwu} + \sum \Delta I_{cwu}}{\sum \Delta E_{solary} + \sum \Delta E_{kocioł}}$$

$\sum \Delta E_{cwu}$, $\sum \Delta E_{solary}$, $\sum \Delta E_{kocioł}$ - suma przyrostów dostarczonej i pobranej energii w analizowanym okresie

$\sum \Delta I_{cwu}$ - suma przyrostów entalpii wody w zasobniku

gdzie:

$$\sum \Delta I_{cwu(2-1)} = I_{cwu(2)} - I_{cwu(1)} = c_w \cdot V_z \cdot \rho_w (t_{sr2} - t_{sr1})$$

c_w - ciepło właściwe wody w (kWh/kg·K)

V_z - objętość zasobnika (dm³)

ρ_w - gęstość wody (kg/dm³)

$t_{sr2} - t_{sr1}$ - średnia temperatura wody w zasobniku w kroku czasowym „2”, „1”,

a:

$$t_{sr} = u_2 \cdot T_2 + u_4 \cdot T_4$$

T_2 - temperatura wody w dolnej części zasobnika

T4 – temperatura wody w górnej części zasobnika
u2, u4 - udział stref kontrolowanych przez czujniki T2,T4 ($u_2+u_4 = 1$)

W oparciu o przywołane formuły przedstawiono poniżej analizę sprawności systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej w zależności od ilości kolektorów słonecznych w danym systemie.

Jednym z analizowanych układów przygotowania c.w.u. współpracuje z najmniejszą instalacją solarną małej mocy o pow. absorpcji 4,88 m². Źródło konwencjonalne służące do przygotowania c.w.u. to kocioł na ekogroszek. Mimo, że źródło konwencjonalne posiada automatyczne podawanie paliwa użytkownik w okresie czerwiec – wrzesień 2017 wyłączył z użytkowania kocioł. W okresie braku użytkowania źródła konwencjonalnego sprawność systemu przygotowania c.w.u. wynosiła od 79 % (czerwiec 2017) do 42,9 % (lipiec 2017) – w lipcu instalacja osiągała najniższą sprawność w 2017 r (tab.75).

Analizując rozkład miesięcznych ilości energii pozyskanej z instalacji solarnej i konwencjonalnego źródła ciepła do układu przygotowania c.w.u. oraz energii dostarczonej użytkownikowi w postaci c.w.u. w przypadku instalacji solarnej o pow. absorpcji 4,88 m² - Zawoja 1271 zauważyć można, że najniższa średnia miesięczna wartość sprawności 42,9% została odnotowana w miesiącu, w którym użytkownik pobrał najmniejszą ilość energii służącej do przygotowania ciepłej wody użytkowej (77,8 kWh), pozyskując w tym czasie energię z układu solarnego na stosunkowo wysokim poziomie (189 kWh). W przypadku miesięcy (np. VI 2017), w których odbywał się większy pobór energii do przygotowania ciepłej wody użytkowej (175 kWh)-większy pobór c.w.u. przy braku pracy źródła konwencjonalnego sprawność układu przygotowania c.w.u. była wyższa i wynosiła 65,5 %. (rys.89).

Najwyższe średnie miesięczne wartości sprawności systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej obserwowano w miesiącach listopadzie (93,4 %) i grudniu 2017 r. (94,3 %), kiedy udział energii pozyskanej z układu solarnego był stosunkowo niewielki (odpowiednio 56,9 kWh, 14,2 kWh), a instalacja konwencjonalna dostarczała największą część energii (XI – 125 kWh, XII – 77,8 kWh). W miesiącach (XI, XII 2017r.), w których odnotowano największą średniomiesięczną sprawność układu przygotowania c.w.u. występuje także stosunkowo duży średniomiesięczny pobór energii na potrzeby przygotowania c.w.u. (odpowiednio 169,4kWh, 94,4 kWh).

Dla instalacji solarnej o pow. 4,88 m² posiadającej zasobnik o pojemności 300 dm³ obliczono błąd miesięcznych ilości energii pozyskanej z instalacji solarnej (E1) i konwencjonalnego źródła ciepła (E2), energii dostarczonej użytkownikowi (E3) dla miesiąca maja 2017.

Błąd wyznaczenia sprawności $\Delta\eta_{c.w.u.}$ dla tego miesiąca, określony metodą różniczki zupełnej, wynosi:

$$\Delta\eta_{c.w.u.} = 0,09 \text{ czyli } 9\%$$

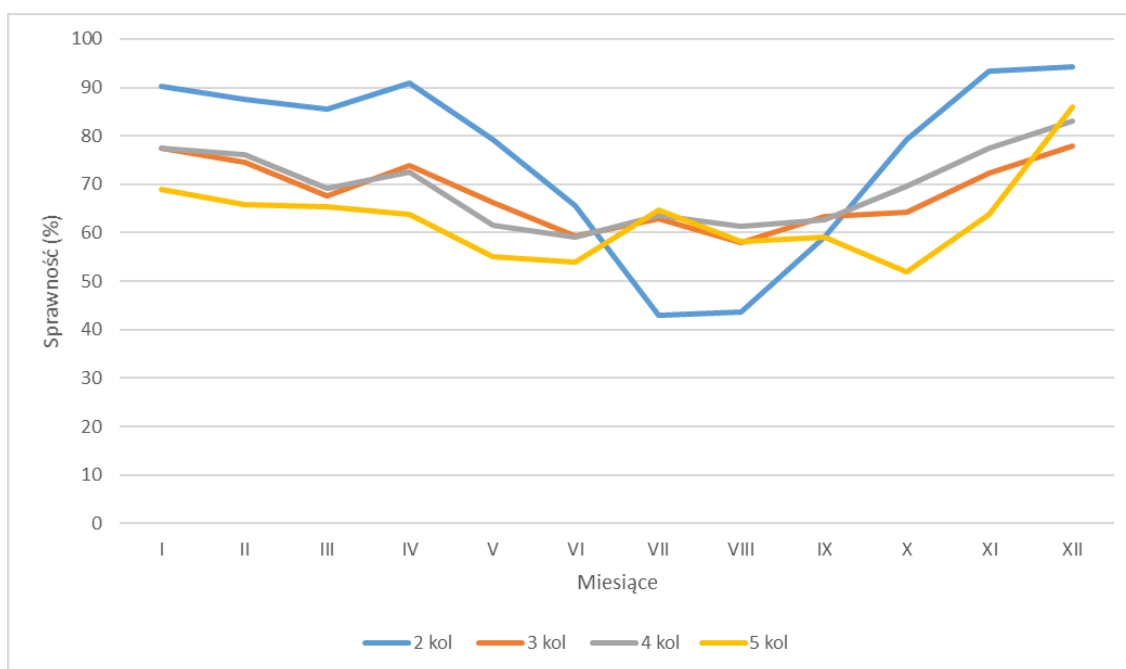
Średnia miesięczna rzeczywista sprawność systemu przygotowania c.w.u. współpracującego z instalacją solarną niezależnie od jej wielkości ogólnie wzrasta wraz z ilością energii przekazywanej użytkownikowi wraz z ciepłą wodą użytkową, choć jak pokazuje analiza przedstawiona w niniejszym rozdziale nie jest to regułą. Wartości średnich miesięcznych rzeczywistych sprawności systemów przygotowania c.w.u. współpracujących z instalacjami solarnymi osiągają wartości najwyższe w sezonie grzewczym, co wydaje się

być związane z wysoką sprawnością źródła konwencjonalnego, oraz stosunkowo wysokim poziomem energii przekazywanej użytkownikowi wraz z c.w.u. w porównaniu do okresu wiosenno- letniego.

Średnie miesięczne rzeczywiste sprawności systemów przygotowania c.w.u. współpracujących z instalacjami solarnymi w analizowanym zakresie nieznacznie spadają wraz ze wzrostem wielkości instalacji. Najwyższą średnioroczną sprawność systemów przygotowania c.w.u. współpracujących z instalacjami solarnymi uzyskano dla systemu współpracującego z instalacją o najniższej pow. absorpcji 4,88 m². Jednak wydaje się być to również zasługą wysokosprawnego źródła konwencjonalnego służącego do przygotowania c.w.u.

Rzeczywiste średnie miesięczne sprawności systemów przygotowania c.w.u. współpracujących z instalacjami solarnymi o powierzchniach absorpcji 7,28 m² i 5,46 m² wykazują wartości bardzo zbliżone w ciągu całego roku. Analizując średnie miesięczne sprawności wszystkich obserwowanych systemów przygotowania c.w.u. (rys.4) współpracujących z instalacjami solarnymi uwidacznia się wysoka amplituda wahań średniomiesięcznej sprawności dla systemu współpracującego z instalacją o powierzchni absorpcji 4,88 m², co zapewne związane jest z poborem w okresie lata małej ilości c.w.u. np. najmniejsza ilość energii służącej do przygotowania ciepłej wody użytkowej (77,8 kWh) została pobrana w miesiącu lipcu przy pozyskaniu w tym czasie energii z układu solarnego na stosunkowo wysokim poziomie (189 kWh). Nie bez znaczenie jest także wyłączenie wysokosprawnego konwencjonalnego źródła ciepła służącego do przygotowania c.w.u. w okresie letnim i bazowaniu w tym okresie jedynie na energii służącej do przygotowania c.w.u. z układu solarnego, który ma sprawność niższą niż źródło konwencjonalne

Wydaje się także, że na wyższą w okresie zimowym średnią miesięczną rzeczywistą sprawność systemów przygotowania c.w.u. współpracujących z instalacjami solarnymi małej mocy wpływa również objętość czynna zasobnika c.w.u., która stanowi około 1/2 objętości całkowitej zasobnika. Jedynie w okresie pracy układu solarnego objętość czynna zasobnika zrównuje się z jego objętością całkowitą.



Rys.4. Średnia miesięczna rzeczywista sprawność systemów przygotowania c.w.u. w układach z instalacjami solarnymi w 2017 r.

13. Rzeczywista sprawność układu solarnego z wodnymi kolektorami słonecznymi.

Analizą objęto instalacje, dla których dysponowano pełnymi danymi pochodzącymi z pomiarów po odrzuceniu instalacji, dla których zanotowano skrajnie najwyższe i najniższe wartości pomiarowe.

Rzeczywistą wartość sprawności układu solarnego, z energią wyjściową mierzoną na wejściu do zbiornika podgrzewania c.w.u., wyznaczono z zależności:

$$\eta_{c.w.u} = \frac{\Delta E_{solar}}{S_{Bz kol}}$$

ΔE_{solar} - energia pozyskana przez układ solarny do przygotowania c.w.u. (E1)

$S_{Bz kol}$ - iloczyn średniej miesięcznej wartości sumy promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę pochyłą ($\beta=45^{\circ}$) oraz powierzchni absorpcji instalacji solarnej małej mocy,

z której korzysta program symulacyjny GetSolar Professional - 11.3.0.

Porównano wartości rzeczywiste sprawności układu solarnego z wynikami symulacji z wykorzystaniem programu GetSolar Professional - 11.3.0 i określono wpływ poboru c.w.u. na sprawność układu solarnego. Program GetSolar Professional - 11.3.0 dokonuje obliczeń na podstawie sum promieniowania słonecznego z bazy danych programu dla wybranych miejscowości. Najbliższa miejscowość w obrębie analizowanego w pracy obszaru, dla której dane są zawarte w bibliotece programu, oddalona jest o około 65 km od stacji meto 1.

Na wstępie porównano wartości roczne sumy promieniowania słonecznego całkowitego na płaszczyznę poziomą dla najbliższej miejscowości ujętej w programie - Krakowa (1185 kWh/m²/rok) ze zmierzonymi na stacjach meto zamontowanych w ramach prowadzonych obserwacji: Meto 1 - 1102,8 kWh/m²/rok, Meteo 2 - 1048,2 kWh/m²/rok, Meteo 3 - 1097,9 kWh/m²/rok. Wartości rocznej sumy promieniowania zmierzone były nieco niższe od przyjmowanych w programie GetSolar Professional - 11.3.0. Wraz ze wzrostem wielkości instalacji solarnej małej mocy różnice powiększają się, gdyż odnoszoną się do łącznej powierzchni absorpcji układu solarnego. Program uniemożliwia wprowadzenie własnych danych sum promieniowania.

Do programu symulacyjnego wprowadzono dane dotyczące instalacji solarnej, źródła konwencjonalnego oraz zużycia c.w.u. w celu zbliżenia warunków symulacji i pomiarów. W obliczeniach posługiwano się średniodobową wartością energii przekazywanej użytkownikom wraz z ciepłą wodą użytkową. Przyjęcie do obliczeń jedynie zużycia dobowego c.w.u. powoduje zwiększenie błędu obliczeń, ponieważ nigdy nie jest wiadoma temperatura c.w.u. czerpanej przez użytkownika z instalacji. Jak to już wykazano, ilość energii pobieranej przez użytkownika wpływa na sprawność układu solarnego.

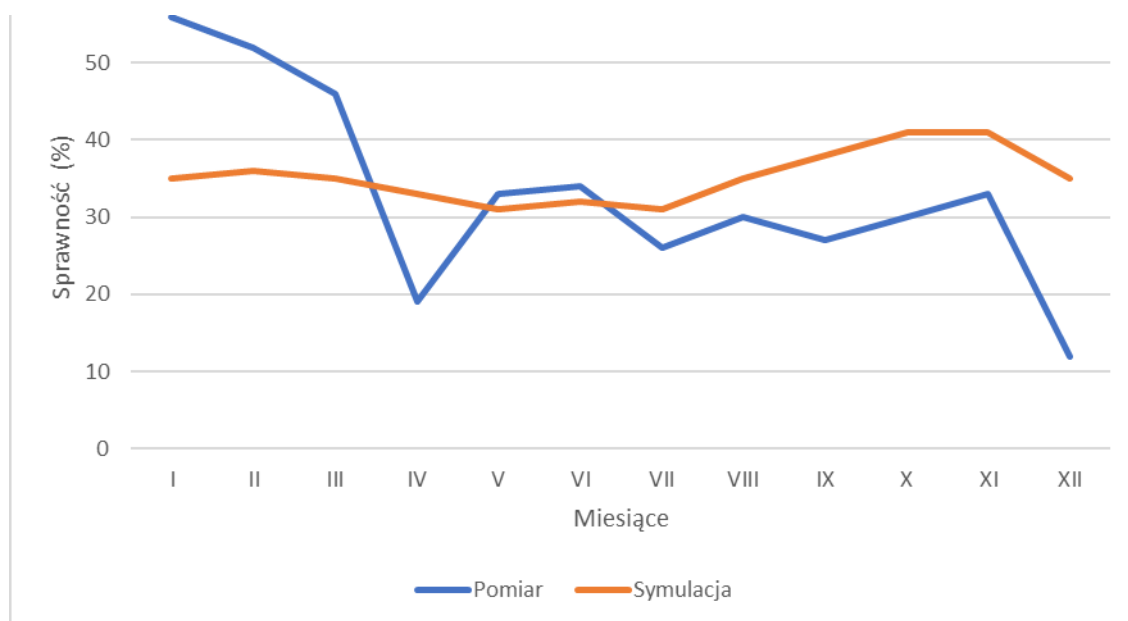
Program GetSolar Professional - 11.3.0. na podstawie zadanej temperatury podtrzymania c.w.u. oraz wymaganej temperatury c.w.u. określa ilość energii pobieranej ze źródła konwencjonalnego, jako uzupełnienie brakującej energii, po uwzględnieniu ilości energii pozyskanej z układu solarnego. Użytkownik programu nie może wprowadzić własnych wartości energii pozyskanej ze źródła konwencjonalnego, a tym samym nie może odwzorować występujących w praktyce warunków rzeczywistych pracy układów solarnych małej mocy. Z obserwacji w praktyce pracy małych układów solarnych wynika bowiem, że użytkownicy instalacji w szczególności w okresie kwiecień – październik często na stałe wyłączają źródła konwencjonalne. GetSolar Professional - 11.3.0. narzuca zawsze konieczność ustawienia utrzymywanej temperatury c.w.u., z czym wiąże się każdorazowe włączenia do pracy układu konwencjonalnego w przypadku braku dostatecznego podgrzania

c.w.u. przez układ solarny. W rzeczywistości w okresie kwiecień - wrzesień brakująca część energii nie jest dostarczana, gdyż źródło konwencjonalne jest wyłączone. W okresie tym często zdarzają się również przypadki temperatury c.w.u. w zasobniku zbliżonej do np. 85°C, nie odtwarzane w warunkach symulacji pracy układu przygotowania c.w.u.

Obliczenia sprawności w programie symulacyjnym GetSolar Professional - 11.3.0. przeprowadzono przyjmując, zgodnie ze stanem rzeczywistym, że medium przekazującym energię w układzie solarnym jest roztwór wodny glikolu propylenowego o temperaturze zamrażania - 30°C. Zmiana w programie symulacyjnym GetSolar Professional - 11.3.0. roztworu wodnego glikolu propylenowego na wodę lub roztwór wodny glikolu etylenowego nie spowodowała zmian wyznaczonej sprawności instalacji solarnych, a przeciwnie zmiana płynu solarnego wpływa na jego ciepło właściwe.

W programie GetSolar Professional - 11.3.0 określana jest tylko sprawność układu solarnego - zmiana rodzaju źródła konwencjonalnego w programie pozostaje bez wpływu na wartość osiągniętej sprawności. Potwierdzeniem tego są przeprowadzone obliczenia dla układu przygotowania c.w.u. z układem solarnym współpracującym z konwencjonalnym źródłem energii zasilanym węglem kamiennym lub gazem ziemnym (dla założonych przykładowych sprawności tych elementów- 90 i 60%), względnie energią elektryczną. Zarówno zmiany rodzaju energii konwencjonalnej jak i sprawności źródła ciepła pozostały bez wpływu na sprawność układu solarnego.

Pierwszą z analizowanych instalacji jest instalacja solarna małej mocy o pow. absorpcji 4,88 m². Jak wynika z wyliczeń przeprowadzonych przy użyciu programu symulacyjnego GetSolar Professional - 11.3.0. średnia miesięczna sprawność układu solarnego wynosi 35 %, natomiast ustalona na podstawie pomiaru średnia miesięczna sprawność układu solarnego wynosi 33%. Największe różnice (rys.5) pomiędzy wartościami średniomiesięcznej sprawności układu solarnego wynikające z pomiarów i symulacji zaobserwowano dla miesięcy styczeń, grudzień, w których wartości energii promieniowania słonecznego docierającej do powierzchni kolektorów słonecznych są najmniejsze. W 2017r. do miesięcy tych należy także zaliczyć miesiąc kwiecień z wyjątkowo niskimi wartościami energii docierającymi do powierzchni kolektorów słonecznych. Najniższe różnice zaobserwowano dla miesiąca maja i czerwca.



Rys.5. Średnia miesięczna sprawność układu solarnego o pow. absorpcji 4,88 m² w 2017 r. – dane pomiarowe i wyniki symulacji programem GetSolar Professional - 11.3.0

Drugą grupą instalacji solarnych małej mocy, dla których przeprowadzono porównanie sprawności wyliczonej w oparciu o program symulacyjny GetSolar Professional - 11.3.0 (tab.83) i wynikającej z danych pomiarowych są instalacje solarne małej mocy o pow. absorpcji $5,46\text{m}^2$. Średniomiesięczna sprawność układu solarnego o pow. absorpcji $5,46\text{m}^2$ wyznaczona na podstawie danych pomiarowych dla ośmiu z dziewięciu analizowanych instalacji tego typu przekracza wartości wyznaczone przy użyciu programu symulacyjnego GetSolar Professional - 11.3.0. Podobnie jak dla instalacji solarnej małej mocy o pow. absorpcji $4,88\text{m}^2$ największe rozbieżności w zakresie średniomiesięcznych sprawności układu solarnego obserwuje się dla miesięcy, dla których odnotowuje się najniższe wartości energii docierającej do powierzchni kolektorów słonecznych. Wyższe wartości sprawności w miesiącach o najniższych wartościach energii dopływającej do kolektora wiązać mogą się z dużo większą możliwością akumulacji energii w tych okresach w dolnej części zasobników.

Trzecią grupą instalacji solarnych małej mocy, dla których przeprowadzono porównanie sprawności wyliczonej w oparciu o program symulacyjny GetSolar Professional - 11.3.0 i dane pomiarowe (tab.86) są instalacje solarne małej mocy o pow. absorpcji $7,28\text{m}^2$. Dla wszystkich dziewięciu instalacji solarnych małej mocy tego typu zaobserwowano, że wartości sprawności wynikające z pomiarów (31% - 49%) są wyższe od wartości wynikających z symulacji (23% - 37%) w programie GetSolar Professional - 11.3.0.

Podobnie jak w przypadku pozostałych dwóch grup instalacji solarnych małej mocy największe różnice pomiędzy wynikami symulacji, a wynikami pomiarów obserwuje się dla miesięcy o najniższych wartościach energii słonecznej docierającej do kolektorów. Różnice średnich miesięcznych wartościach sprawności pomiędzy wynikami z symulacji i odczytów z przyrządów pomiarowych zawierają się w zakresie od 5% do 16%.

Ostatnim z rodzajów instalacji solarnych małej mocy, dla których przeprowadzono porównanie sprawności wyliczonej w oparciu o program symulacyjny GetSolar Professional - 11.3.0 i dane pomiarowe jest instalacja solarne o pow. absorpcji $10,05\text{m}^2$. Średnia miesięczna wartość sprawności układu solarnego odczytana z przyrządów pomiarowych jest o 4% większa od wartości wyznaczonych przy użyciu programu symulacyjnego.

Podobnie jak w przypadku pozostałych rodzajów instalacji największe różnice średniomiesięcznych sprawności układu solarnego wyznaczonych w symulacji i podczas cyklu pomiarowego zaobserwowano dla miesięcy (styczeń - 15%), dla których wielkość energii docierającej do kolektorów słonecznych jest najniższa. Najniższe różnice zanotowano dla miesięcy: kwiecień 3%, październik - 1%, lipiec - 3%.

Podobnie jak dla pozostałych grup instalacji widoczna jest niższa sprawność dla kwietnia 2017r., w którym zaobserwowano niższe wartości energii docierającej do powierzchni kolektorów słonecznych w porównaniu do danych symulacyjnych.

Przeprowadzono porównanie średniej miesięcznej sprawności układu solarnego (%) reprezentowanych przez największą grupę instalacji o tych samych powierzchniach absorpcji kolektorów słonecznych tj $5,46\text{m}^2$ i $7,28\text{m}^2$, a średniodobową ilością energii (E3) przekazanej użytkownikom (kWh/dobę) wraz z ciepłą wodą użytkową.

Śledząc sprawność i średniodobową ilość energii przekazanej użytkownikowi (E3) dla instalacji solarnych o pow. absorpcji $5,46\text{m}^2$ zauważyć można, że z reguły wraz ze wzrostem ilości energii przekazywanej użytkownikowi wraz ciepłą wodą użytkową rośnie sprawność instalacji solarnych tej grupy. Różnica pomiędzy sprawnością wyznaczoną na drodze pomiaru, a sprawnością wyznaczoną w programie symulacyjnym wynosi jedynie 6%.

Podobne zależności jak w przypadku instalacji solarnych o pow. absorpcji $5,46\text{m}^2$ obserwowane są dla instalacji solarnych o pow. absorpcji $7,28\text{m}^2$: wraz ze wzrostem ilości energii przekazywanej użytkownikowi z ciepłą wodą użytkową rośnie sprawność instalacji solarnych.

Wyniki obliczeń średniomiesięcznych sprawności układu solarnego wygenerowane przez program GetSolar Professional - 11.3.0 są zbliżone do wartości sprawności uzyskanej w oparciu o stworzony system monitoringu. Sprawność i rodzaj źródła konwencjonalnego służącego do przygotowania c.w.u. pozostają bez wpływu na sprawność układu solarnego. Analiza wyników sprawności układu solarnego przeprowadzona za pomocą programu GetSolar Professional - 11.3.0 nie wskazuje na zmianę sprawności w wyniku zmiany czynnika grzewczego z roztworu wodnego glikolu propylenowego na wodę. Wraz ze wzrostem ilości energii przekazywanej użytkownikowi z ciepłą wodą użytkową rośnie sprawność instalacji solarnych.

Brak możliwości wprowadzenia do programu GetSolar Professional wartości energii odczytanych z lokalnych stacji meteo oraz brak w ramach symulacji możliwości okresowego wyłączenia dostawy energii ze źródła konwencjonalnego nie pozwala na dokładne odwzorowanie w symulacji za pomocą programu GetSolar warunków rzeczywistych pracy instalacji solarnych małej mocy.

14. Wnioski

Celem pracy było określenie rzeczywistej sprawności energetycznej pracy instalacji solarnych małej mocy. Zakres badań obejmował obserwacje parametrów pracy 40 instalacji solarnych małej mocy prowadzonych w warunkach realnej eksploatacji instalacji włączonych do różnych układów przygotowania c.w.u. w budynkach jednorodzinnych.

Badania efektów pracy instalacji dotyczyły również ich obserwacji i ustalanie różnic efektywności w zależności od lokalnych warunków meteorologicznych rejestrowanych przez stacje meteorologiczne. Na podstawie obserwacji ustalono, że:

- a) wartości eksploatacyjne sprawności układu solarnego zasilającego układ przygotowania c.w.u. są zbliżone do wartości sprawności uzyskanej w oparciu o stworzony system monitoringu, certyfikacja kolektorów słonecznych nie daje pełnego obrazu parametrów pracy osiąganych w rzeczywistych warunkach pracy z uwagi na różne wartości klimatyczne i indywidualne uwarunkowania związane z eksploatacją instalacji,
- b) przyjmowane do projektowania założenia związane z pokryciem ciepłem z instalacji solarnych zapotrzebowania ciepła układów przygotowania c.w.u. odbiegają od wartości osiąganych podczas eksploatacji
- c) przyjęcie odpowiedniego cyklu pomiarowego ma kluczowe znaczenie dla określenia takich wielkości jak rzeczywista sprawność i stopień pokrycia zapotrzebowania na ciepło dla c.w.u. w przypadku instalacji solarnych małej mocy.

W dalszej części przedstawiono główne ustalenia w zakresie obserwacji rzeczywistych warunków meteorologicznych, parametrów pracy instalacji solarnych małej mocy mających wpływ na efektywność instalacji solarnych małej mocy wraz z ich porównaniem z danymi wynikającymi z programu symulacyjnego GetSolar Professional - 11.3.0.

Sumy roczne średnich miesięcznych strumieni promieniowania całkowitego padających na płaszczyznę pochyłą pod kątem 45° w 2017 r., w obrębie trzech stacji meteorologicznych pokazują wartości porównywalne. Dotyczy to głównie wartość strumienia promieniowania całkowitego dla stacji meteo 1 ($1482,3 \text{ W/m}^2$) i stacji meteo 3 ($1475,7 \text{ W/m}^2$), dla stacji meteorologicznej meteo 2 ($1408,9 \text{ W/m}^2$) odnotowano nieznacznie niższą wartość.

W 2017 r. na okres pięciu miesięcy roku (kwiecień – sierpień) przypada 67,1 % średniogodzinnych strumieni promieniowania całkowitego dla stacji Meto 1, Meto 2, Meteo

3 padający na płaszczyznę pochyloną dla okresu roku. Najmniejszy średniogodzinny strumień promieniowania całkowitego dla stacji Meto 1, Meto 2, Meteo 3 padający na płaszczyznę pochyloną w okresie miesiąca przypada dla stycznia (2,1%) i grudnia (2,1%). Maksymalne wartości średniogodzinnych strumieni promieniowania całkowitego padającego na powierzchnię pochyloną w miesiącu grudniu nie przekraczają 150 W/m^2 , a wartości maksymalne dla miesiąca czerwca przekraczają 740 W/m^2 .

Największą średniomiesięczną ($67,3^{\circ}\text{C}$) wartość temperatury glikolu dopływającego z kolektorów słonecznych do wymiennika (T6) zaobserwowano dla instalacji solarnych o powierzchni absorpcji $10,5 \text{ m}^2$ w wrześniu, a najmniejszą ($14,7^{\circ}\text{C}$) w styczniu dla instalacji solarnych o najmniejszej powierzchni absorpcji $4,88 \text{ m}^2$. Średniomiesięczne temperatury glikolu dopływającego z kolektorów słonecznych do wymiennika rosną wraz ze wzrostem powierzchni absorpcji instalacji solarnej małej mocy. Najwyższa średniomiesięczna temperatura glikolu dopływającego z kolektorów słonecznych do wymiennika dla wszystkich instalacji solarnych małej mocy została osiągnięta dla września ($47,4^{\circ}\text{C}$), a najniższa dla grudnia ($18,0^{\circ}\text{C}$).

Średniomiesięczna wartość temperatury czynnika roboczego na wypływie z wymiennika (T7) biwalentnego osiągała wartości maksymalne ($31,3^{\circ}\text{C}$) dla najmniejszej instalacji solarnej małej mocy, o powierzchni absorpcji $4,88 \text{ m}^2$, a najniższe dla instalacji solarnych o najwyższych powierzchniach absorpcji ($22,4^{\circ}\text{C}$). Maksymalna średnioroczna temperatura czynnika roboczego wypływającego z wymiennika (T7) jest odwrotnie proporcjonalna do powierzchni instalacji solarnych małej mocy. Najwyższe różnice średniomiesięcznej temperatury (T6) i (T7) uwidaczniają się dla okresu kwiecień -wrzesień ($2,98^{\circ}\text{C} - 44,25^{\circ}\text{C}$) i rosną wraz ze wzrostem powierzchni absorpcji instalacji solarnej małej mocy. Dla instalacji o powierzchni absorpcji $4,88 \text{ m}^2$ wynoszą ($2,98^{\circ}\text{C} - 11,92^{\circ}\text{C}$), a instalacji o powierzchni absorpcji $10,5 \text{ m}^2$ wynoszą ($9,73^{\circ}\text{C} - 44,25^{\circ}\text{C}$).

Średniomiesięczna temperatura czynnika roboczego na napływie (T8) do wymiennika ze źródła konwencjonalnego osiąga wartości najwyższe w miesiącach: styczeń ($54,0^{\circ}\text{C}$), luty ($46,1^{\circ}\text{C}$), marzec ($52,3^{\circ}\text{C}$), listopad ($53,7^{\circ}\text{C}$), grudzień ($49,4^{\circ}\text{C}$), a wartości najniższe w miesiącach: maj ($36,8^{\circ}\text{C}$), czerwiec ($32,7^{\circ}\text{C}$) i lipiec ($36,4^{\circ}\text{C}$). Średniomiesięczna temperatura czynnika roboczego na wypływie z wymiennika (T9) wykazuje tendencję zmiany proporcjonalną dla zmiany temperatury T8.

Najwyższą średniomiesięczną temperaturę czynnika wypływającego bezpośrednio z kolektora słonecznego odnotowano w sierpniu dla instalacji solarnej o największej powierzchni absorpcji $12,06 \text{ m}^2$, a najniższą w lutym dla instalacji o najmniejszej powierzchni absorpcji $4,88 \text{ m}^2$. Dla wszystkich instalacji średniomiesięczna temperatura czynnika wypływającego bezpośrednio z kolektora słonecznego w miesiącu styczniu przyjmowała wartości ujemne. Widoczny jest wzrost średniomiesięcznej temperatury czynnika (T1) wypływającego bezpośrednio z kolektora słonecznego wraz ze wzrostem powierzchni absorpcji.

Średniomiesięczna temperatura pomieszczenia (T12), w którym znajdowały się zasobniki zawierała się w przedziale $20,54^{\circ}\text{C} - 24,54^{\circ}\text{C}$. Większość podgrzewaczy umieszczona jest w pomieszczeniach kotłowni, co powoduje w sezonie grzewczym wzrost temperatury pomieszczenia.

Średnia miesięczna temperatura wody zimnej napływającej do układu przygotowania c.w.u. w 2017 r. dla okresu zimy wniosła $15,1^{\circ}\text{C}$, natomiast dla okresu letniego średnia miesięczna temperatura wody napływającej osiągnęła wartość $16,9^{\circ}\text{C}$. W większości przypadków woda napływająca pochodzi z lokalnych wodociągów. Największe wartości średniomiesięcznej temperatury wody napływającej do układu przygotowania c.w.u. zaobserwowano dla miesięcy sierpień – wrzesień ($19,2^{\circ}\text{C} - 20,0^{\circ}\text{C}$). Najniższe średnie miesięczne temperatury wody napływającej zmierzono dla miesiąca stycznia ($14,3^{\circ}\text{C}$).

Średniomiesięczna temperatura ciepłej wody użytkowej wypływającej ze zbiornika mieści się w granicach od 34,2⁰C do 43,0⁰C i zmienia się wraz z wielkością instalacji solarnej, przyjmując wartości największe dla instalacji 5 kolektorowych. Największe różnice w zakresie średniomiesięcznej temperatury wody wypływającej pomiędzy instalacją 5 kolektorową, a pozostałymi instalacjami zaobserwowano dla miesiąca kwietnia: dla instalacji 2 kolektorowej zmierzono temperaturę 40,2⁰C, a dla instalacji 5 kolektorowej 62,5⁰C. Analiza średniej miesięcznej temperatury ze wszystkich typów instalacji uwidocznia wzrost średniej miesięcznej temperatury wody odpływającej dla miesięcy: od kwietnia do września.

Największą średnioroczną temperaturę (31,8⁰C) w dolnej części zasobnika biwalentnego (T2) zaobserwowano w przypadku instalacji o najmniejszej powierzchni absorpcji (4,88 m²), a najniższą średnioroczną temperaturę (16,3 ⁰C) w dolnej części zasobnika biwalentnego (T2) zasilanego z instalacji solarnej o największej powierzchni absorpcji (12,5 m²). Wartość średniorocznej temperatury wody w podgrzewaczu biwalentnym spada wraz z wzrostem powierzchni absorpcji instalacji solarnej. Podobna zależność widoczna jest w zakresie średniorocznej temperatury (T4) w górnej części zasobnika biwalentnego. Najwyższą (54,1⁰C) średnioroczną temperaturę (T4) zaobserwowano w przypadku instalacji o najmniejszej powierzchni absorpcji (4,88 m²). Największe maksymalne średniomiesięczne temperatury w dolnej (70⁰C) i górnej części (79⁰C) zasobnika zaobserwowano w miesiącu wrześniu w obrębie instalacji solarnej o najmniejszej powierzchni absorpcji. Najmniejsze maksymalne średniomiesięczne temperatury (45⁰C) w górnej części zbiornika odnotowano w sierpniu dla instalacji solarnej o największej powierzchni absorpcji (12,5m²).

Najmniejsze różnice temperatury pomiędzy górną (T4), a dolną częścią zasobnika (T2) widoczne są dla okresów letnich o dużym nasłonecznieniu w czasie braku rozbioru c.w.u. Rozbiór c.w.u. wpływa na powiększenie różnicy temperatury pomiędzy górną, a dolną częścią zasobnika. Największe różnice temperatury pomiędzy górną, a dolną częścią zbiornika widoczne są dla okresów o niskim nasłonecznieniu.

Porównując temperaturę czynnika roboczego w układzie solarnym jak i temperaturę czynnika grzewczego w układzie konwencjonalnym służącym do przygotowania ciepłej wody użytkowej widać wyraźny wzrost temperatury (T4) w okresie III – X ze zwiększonym średniomiesięcznym strumieniem promieniowania całkowitego padającego na płaszczyznę pochyłą.

Około 60 % godzin, w których występuje praca instalacji solarnej małej, przypada na okres od maja do sierpnia. Największy udział procentowy czasu pracy przypada w przypadku instalacji najmniejszej - 2 kolektorowej na miesiąc maj (16,2 %). Najmniejsza liczba godzin, w których instalacje pracują, przypada na miesiąc grudzień dla instalacji najmniejszej - 2 kolektorowej (1,6 %). Łączny czas pracy instalacji solarnej dla miesięcy zimowych tj. grudzień i styczeń, (8,9 %) jest mniejszy blisko o połowę od czasu pracy tej instalacji w maju (16,2 %)

Do swojego czasu pracy instalacji solarnej należy zaliczyć czas pracy wymuszony przez użytkownika instalacji, związany z włączeniem funkcji chłodzenia zbiornika w okresie braku rozbioru wody w okresie silnego nasłonecznienia, przypadający na okres nocy od około godziny 1.00 do 6.00.

Średnia miesięczna liczba godzin, w których wystąpił przepływ ciepłej wody użytkowej wzrasta wraz ze wzrostem ilości mieszkańców. Niemniej należy pamiętać, że tendencja ta może odbiegać od podanej przede wszystkim w okresie lata, gdy pobór wody w czasie wyjazdów urlopowych może się obniżyć. Nie rzadkie są także przypadki zmniejszenia ilości godzin, w których następuje przepływ c.w.u. ze względu na zmniejszenie

liczby mieszkańców budynku. Instalacje, choć prawidłowo zaprojektowane, mogą w takim przypadku nie pracować w sposób prawidłowy.

Zmiana liczby mieszkańców budynku wpływa na dobową ilość pobieranej wody, a także sprawność instalacji. Wzrost ilości pobieranej wody wpływa na poprawę sprawności instalacji, natomiast obniżenie ilości pobieranej wody skutkuje obniżeniem sprawności instalacji. Zmiana liczby mieszkańców może mieć wpływ na żywotność instalacji oraz konieczność wprowadzenia zmian ustawień instalacji.

W każdej z grup mieszkańców średniodobowy pobór wody jest znacznie niższy niż ujęty w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (Dz. U. Nr 8, poz. 70). Przyjmowany do obliczeń pobór wody winien bazować na wartościach rzeczywistych i preferencjach mieszkańców z uwzględnieniem perspektywy zmian tego poboru.

Stratyfikacja temperatury wody w zasobniku zależna jest od jego smukłości.

Zaobserwowane w 2017r. różnice średniorocznej pozyskanej i przekazanej przez instalację solarną do układu przygotowania c.w.u. ilości energii pomiędzy wskazaniami ciepłomierza i wynikami uzyskanymi w programach symulacyjnych są nieznaczne, różnią się jednak dla poszczególnych miesięcy. Uwypukła się to szczególnie dla miesięcy marzec, kwiecień i czerwiec.

Różnica wskazań ilości energii pozyskanej przez układ solarny, a wynikającej z symulacji komputerowej odbiega od ilości energii zmierzonej przez profesjonalny ciepłomierz o 7,2%. Porównując ilości energii pozyskanej przez układ solarny, określonej na drodze symulacji, z ilością energii zmierzonej przy użyciu miernika sterownika solarnego zauważyć można, że średnia różnica tych wskazań wynosi 64 %, przy czym wszystkie wskazania mierników sterowników są znacznie większe niż wyniki z symulacji oraz wskazania ciepłomierzy. Różnice wahają się od 20,2 % nawet do 193,7 %. Określanie efektów ekologicznych i energetycznych na podstawie ilości pozyskanej energii (E1) w oparciu o wskazania jedynie sterowników solarnych małej mocy obciążone jest wysokim błędem wynikającym min. z dokładności pomiarowej i sposobu prowadzenia pomiaru, a co za tym idzie problemami w rozliczeniu rezultatów w okresie trwałości projektu.

Znaczne różnice pomiędzy wynikami symulacji uzyskanymi za pomocą programu komputerowego GetSolar Professional - 11.3.0., a odczytami z ciepłomierzy są widoczne dla średniorocznych wartości: energii służącej do przygotowania ciepłej wody użytkowej ze źródła konwencjonalnego (E2) oraz energii przekazanej użytkownikowi wraz ciepłą wodą użytkową (E3). Ilość energii służącej do przygotowania ciepłej wody użytkowej ze źródła konwencjonalnego (E2) określona w programie symulacyjnym wynosiła 1252 kWh, podczas gdy wartość wskazana przez ciepłomierz była równa 619,4 kWh. i była o 49 % niższa od ustaleń teoretycznych.

Średnioroczna ilość energii zmierzona przez ciepłomierze (E1) jest nieznacznie większa od wartości wynikających z symulacjach. Prowadzenie monitoringu ilości pozyskanej i przekazanej energii w oparciu o profesjonalne ciepłomierze zapewnia przedstawienie rzeczywistych efektów pracy układów przygotowania ciepłej wody użytkowej współpracujących z instalacjami solarnymi. Jednocześnie widoczny jest nieznaczny wzrost ilości średniorocznej energii (E1) pozyskanej z 1 m² kolektora słonecznego związany ze wzrostem powierzchni absorpcji instalacji solarnej.

Programy symulacyjne wyznaczają zbliżoną do zmierzonych profesjonalnymi ciepłomierzami wartości średniorocznych ilości energii pozyskanej przez układ solarny. Wartości średniomiesięczne energii pozyskanej przez układ solarny (E1) wskazane za pomocą programów symulacyjnych odbiegają od wartości zmierzonych, gdyż nie uwzględniają anomalii pogodowych. Symulacja oparta jest na uśrednionym przebiegu

warunków meteorologicznych, nie uwzględnia lokalnych i czasowych odchyłeń, które pojawiają się w konkretnym roku obserwacji, pomiarów.

Programy symulacyjne nie uwzględniają warunków rzeczywistych pracy systemów przygotowania ciepłej wody użytkowej, w wyniku których w okresie kwiecień – wrzesień następuje całkowite wyłączenie źródła konwencjonalnego służącego do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ilość energii służącej do przygotowania ciepłej wody użytkowej dostarczonej przez źródło konwencjonalne (E2) podobnie jak pobór c.w.u. i związane z tym zużycie ciepła na podgrzanie c.w.u. przekazywane użytkownikowi (E3) znacznie odbiegają od warunków rzeczywistych.

W okresach wiosna, lato, jesień użytkownicy diagnozowanych instalacji c.w.u. mieli stale zapewniony dostęp do ciepłej wody użytkowej, dla której ogrzewania energię pozyskano z instalacji solarnej. Temperatura wody w dolnej części podgrzewacza jeszcze przed rozpoczęciem dostarczania energii pochodzącej ze Słońca przekracza 40⁰C. Temperatury w dolnej i górnej części zasobnika w okresie wiosna, lato, jesień zrównują się około godziny 12.00-15.00.

Wartości maksymalne w górnej części zasobnika (85⁰C) osiągane są zarówno w okresie lata jak i wiosny oraz jesieni i wzrasta wraz z wzrostem energii dopływającej do kolektora słonecznego i zmniejszeniem poboru ciepłej wody użytkowej. Wzrost energii promieniowania słonecznego padającego na pochyloną powierzchnię kolektorów słonecznych w okresie lata nie powoduje proporcjonalnie większego wzrostu temperatury wody w zasobniku z uwagi na zwiększone straty energii w obrębie kolektora.

W okresie zimy użytkownik instalacji, dla zapewnienia dostępu do ciepłej wody użytkowej musi wspomagać system przygotowania, c.w.u. źródłem konwencjonalnym, co powoduje wzrost temperatury ciepłej wody użytkowej jedynie w górnej części zasobnika - realnie wpływa to na obniżenie ilości ciepłej wody dostępnej dla użytkownika. w okresie zimy temperatura wody w dolnej części zasobnika zbliżona jest do temperatury wody napływającej z sieci wodociągowej. Dostarczenie energii z kolektorów słonecznych (E1) powoduje zmniejszenie ilości energii dostarczanej ze źródła konwencjonalnego (E2) na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej. Energia z prawidłowo dobranej instalacji solarnej małej mocy (E1) pokrywa min. 50 % zapotrzebowania rocznego na c.w.u.

Wzrost ilości użytkowników wpływa na zwiększenie częstotliwości poboru ciepłej wody użytkowej oraz zróżnicowanie szczytów poboru wody, na które wpływ mają min. przyzwyczajenia mieszkańców jak i charakter wykonywanej pracy.

Średnia miesięczna rzeczywista sprawność systemu przygotowania c.w.u. współpracującego z instalacją solarną wzrasta wraz z ilością energii przekazywanej użytkownikowi z ciepłą wodą użytkową. Wartości średnich miesięcznych rzeczywistych sprawności systemów przygotowania c.w.u. współpracujących z instalacjami solarnymi osiągają wartości najwyższe w sezonie grzewczym. Średnie miesięczne rzeczywiste sprawności systemów przygotowania c.w.u. współpracujących z instalacjami solarnymi w analizowanym zakresie nieznacznie spadają wraz ze wzrostem wielkości instalacji. Najwyższą średnioroczną sprawność systemów przygotowania c.w.u. współpracujących z instalacjami solarnymi uzyskano dla systemu współpracującego z instalacją o najniższej pow. absorpcji 4,88 m².

Rzeczywiste średnie miesięczne sprawności systemów przygotowania c.w.u. współpracujących z instalacjami solarnymi o powierzchniach absorpcji 7,28 m² i 5,46 m² wykazują wartości bardzo zbliżone w ciągu całego roku. Analizując średnie miesięczne sprawności wszystkich obserwowanych systemów przygotowania c.w.u. współpracujących z instalacjami solarnymi uwidacznia się wysoka amplituda wahań średniomiesięcznej sprawności dla systemu współpracującego z instalacją o powierzchni absorpcji 4,88 m². Biorąc pod uwagę sprawność i średniodobową ilość energii przekazanej użytkownikowi (E3)

dla instalacji solarnych o pow. absorpcji $5,46 \text{ m}^2$ zauważyć można, że z reguły wraz ze wzrostem ilości energii przekazywanej użytkownikowi z ciepłą wodą użytkową rośnie sprawność instalacji solarnych. Podobne zależności jak w przypadku instalacji solarnych o powierzchni absorpcji $4,88 \text{ m}^2$ obserwujemy w przypadku instalacji solarnych małej mocy o pow. absorpcji $5,46 \text{ m}^2$, $7,28 \text{ m}^2$.

Wyniki obliczeń średniomiesięcznych sprawności kolektorów słonecznych wygenerowane przez program GetSolar Professional - 11.3.0 są zbliżone do wartości sprawności uzyskanej w oparciu stworzony system monitoringu. Rodzaj źródła konwencjonalnego służącego do przygotowania c.w.u. pozostają bez wpływu na sprawność kolektorów słonecznych. Analiza wyników sprawności kolektorów słonecznych przeprowadzona za pomocą programu GetSolar Professional - 11.3.0 nie wskazuje na zmianę sprawności w wyniku zmiany czynnika grzewczego z mieszaniny glikolu propylenowego na wodę. Wraz ze wzrostem ilości energii przekazywanej użytkownikowi z ciepłą wodą użytkową rośnie sprawność instalacji solarnych. Brak możliwości wprowadzenia do programu GetSolar Professional wartości energii odczytanych z lokalnych stacji meteo oraz brak możliwości uwzględnienia w obliczeniach okresowego braku dostawy energii ze źródła konwencjonalnego nie pozwala na bardzo dokładne odwzorowanie warunków rzeczywistych pracy instalacji solarnych małej mocy.

15.Literatura

- [1] Owczarek S.: Wieloparametrowy model wektorowy gęstości strumienia promieniowania słonecznego na dowolną płaszczyznę.. Materiały V konferencji Naukowo-Technicznej "Fizyka budowni w teorii i praktyce", Łódź 1995
- [2] Foit H.: Optymalizacja ochrony cieplnej budynku mieszkalnego , instalacji i źródła ciepła - Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej - Gliwice 2006 r.
- [3] Projekty wykonawcze „Modernizacja instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej w oparciu o zastosowanie systemu solarnego w ramach Programu zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii i poprawy jakości powietrza w obrębie obszarów NATURA 2000, Powiatu Suskiego , Specyfikacja Techniczna Wykonania i odbioru robót - Solarpol, Sułkowiec 2010
- [4] Instrukcja sterownika kolektorów słonecznych GH25 SB - Geco - 2012 r.
- [5] Foit H., Dyrzc P.: Monitorowanie układów solarnych małej mocy – Ciepłownictwo , ogrzewnictwo, wentylacja -2015 r.
- [6] Duffie J.A. Beckman W.A.: Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley& Sons New York 1991
- [7] 19 symulacji pracy układów solarnych małej mocy wykonanych w programie GetSolar na potrzeby „Programu wykorzystania odnawialnych źródeł energii i poprawy jakości powietrza w obrębie obszarów NATURA 2000, Powiatu Suskiego ” - 2012 r
- [8] Stączek P., Płaska S: Instalacja słoneczna ze zbiornikiem akumulacyjnym o zmiennej objętości i nastawianą temperaturą ładowania. Opis koncepcji i symulacja numeryczna. Rynek Energii 2016
- [9] Balandin D., Caccavelli D., Krauss G., Bouia H.: A Zonal Approach for Modeling Stratified Solar Tanks. Proceedings of Building Simulation 2007 str. 678 – 683 , Beijing, Chiny 2007
- [10] Hegazy A.: Effect of Inlet Design on the Performance of Storage-type Domestic Electrical Water Heaters. Applied Energy 2007, nr 12, s. 1338– 1355

- [11] Castell A., Medrano M., Sole C., Cabeza L.F.: Dimensionless Numbers Used to Characterize Stratification in Water Tanks for Discharging at Low Flow Rates. *Renewable Energy* 2010, nr 35, s. 2192–2199.
- [12] Shah L.J., Furbo S.: Entrance Effects in Solar Storage Tanks. *Solar Energy* 2003, nr 75, s. 337–348
- [13] Altuntop N., Arslan M., Ozceyhan V., Kanoglu M.: Effect of Obstacles on Thermal Stratification in Hot Water Storage Tanks *Applied Thermal Engineering* 2005, nr 25, s. 2285 –2298
- [14] Hollands G.H., Lighthstone M.F.: a review of low-flow, stratified-tank solar water heating systems . *Solar Energy* 43 2, 97-105 , 1989
- [15] Stacja meteorologiczna DAVIS pro 2 - instrukcja obsługi Conrad Electronic 2012 www.conrad.pl
- [16] PN-EN 12975- 1 Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy Kolektory słoneczne część 1 : Wymagania ogólne , 1-14 , 2007
- [17] PN-EN 12975 -2 Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy Kolektory słoneczne część 2 : Metody badań 1-125 , 2002
- [18] Mirowski A.: Analiza monitoringu instalacji kolektorów słonecznych na terenie Powiatu Suskiego – sierpień 2018 r
- [19] <http://www.insulation-keymark.org/index.php?id=2879>
- [20] 20 symulacji pracy układów solarnych w programie POLYSUN - Program zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii i poprawy jakości środowiska w obrębie obszarów NATURA 2000, Powiatu Suskiego, 2016
- [21] Chudzicki J.: Instalacje ciepłej wody w budynkach. Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii. Wyd. Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa-Poznań, 2006.
- [22] Mirowski A.: Podręcznik dobrych praktyk na bazie szwajcarskich i polskich doświadczeń w zakresie odnawialnych źródeł energii – Związek Dorzecza Parsęty Karolino 2014
- [23] Aly S.L., EL- Sharkaway A.I.: Transient thermal analysis of spherical liquid storage tank during charging . *Heat Recovery Systems CHP Vol. 10 No 5/6*, Pergamon Press 1990
- [24] *Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.R.*, Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo, *Wydawnictwo OMNI SCALA, Wrocław 2008.*
- [25] Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 812/2013 z dnia 18 lutego 2013 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i rady 2010/30/UE w odniesieniu do etykiet efektywności energetycznej dla podgrzewaczy wody, zasobników ciepłej wody użytkowej i zestawów zawierających podgrzewacz wody i urządzenie słoneczne
- [26] DIN V 18599-8:2007-02 *Energy efficiency of buildings – Calculation of the energy needs, delivered energy and primary energy for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting – Part 8: Energy need and delivered energy for domestic hot water systems.*
- [27] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 czerwca 2014 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej (DzU 2014, poz. 888).
- [28] Aneks do certyfikatu Solar KEYMARK kolektora słonecznego KS 2100 TLP ACR , KS 2200 TLP ACR , DIN CERTCO, Berlin 2013 r
- [29] Aneks do certyfikatu Solar KEYMARK kolektora słonecznego Kolektora słonecznego G 5 , AENOR Madryt 2011

- [30] sprawozdanie z wyników badań EN 12 975 kolektora słonecznego KS 2100 TLP ACR CENER, Navarra Hiszpania 2013
- [31] sprawozdanie z wyników badań EN 12 975 rodziny kolektorów G , ENAC, Mazagón, Hiszpania 2011
- [32] Karta katalogowa Termosol EKO-35
- [33] Karta katalogowa MULTICAL 6M2, str. 1 -16 Kamstrup Dania 2016
- [34] Karta katalogowa MULTICAL 402, str. 1 -20 Kamstrup Dania 2013
- [36] Karta katalogowa licznika energii ALD1 Saia –Burgess Controls AG str. 1-5 Szwajcaria 2014
- [37] Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U z 2015 , poz. 1422)
- [38] Zdalny monitoring instalacji solarnych w Powiecie Suskim – Projekt budowlany, Specyfikacja Techniczna Wykonania i odbioru robót - Solarpol, Sułkowice 2014
- [39] Baza danych NASA SSE Realsed 6.0: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- [40] Tatarczak J., Sokołowska M., Olchowiak J.: Analiza napromieniowania słonecznego Polski na podstawie danych satelitarnych NASA
- [42] Surface meteorology and Solar Energy (SSE) Release 6.0 Methodology Version 3.1.1, January 2013.
- [43] Tyrała K.: Program Ochrony Środowiska Powiatu Suskiego 2004 -2007 z perspektywą do 2011
- [44] Foit H.: Zastosowanie odnawialnych źródeł ciepła w ogrzewnictwie i wentylacji – Wydawnictwo Politechniki Śląskiej . 2013
- [45] Kasperski J., Drzeniecka- Osiadacz A., Lewkiewicz M.: Symulacja gęstości promieniowania słonecznego na podstawie aktywności danych pomiarowych Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 4, 2007
- [46] Gil I, Bieniecki M., Mocek P.: Metoda godzinowego podziału rocznego zapotrzebowania na ciepło grzewcze w celu efektywnego wykorzystania energii słonecznej, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej z. 59 , 2/2012/II , 2012
- [47] Han.Y.M , Wang R.Z. Dai Y.J.: Thermal stratification within the water tank. Renewable Sustainable Energy Reviews 13 2009 , 1014-1016
- [48] Dąbrowski J., Kolektory słoneczne do podgrzewania wody użytkowej, efektywność , opłacalność instalacji Wrocław 2009
- [49] Instrukcja obsługi programu symulacyjnego GetSolar
- [50] Hewalex – Instrukcja obsługi podgrzewaczy OKC 200-500 NTRR/SOL
- [51] Smolec W.: *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*. PWN, Warszawa 2000.
- [52] Stączek P., Płaska S.: , Instalacja słoneczna ze zbiornikiem akumulacyjnym o zmiennej objętości i z nastawianą temperaturą ładowania energią. cz. I opis koncepcji i symulacja numeryczna ("Rynek Energii" - październik 2016)