

Maciej Rozpondek

Wyższa Szkoła Techniczna, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych
ul. Rolna 43, 40-555 Katowice
Katowice School of Technology, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied
Arts, Rolna 43, 40-555 Katowice, Poland,
e-mail: maciej.rozpondek@wst.com.pl

Grzegorz Kasprzyk

Wyższa Szkoła Techniczna, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych
ul. Rolna 43, 40-555 Katowice
Katowice School of Technology, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied
Arts, Rolna 43, 40-555 Katowice, Poland

s. 91-104

ZASTOSOWANIE HYBRYDOWYCH KOLEKTORÓW FOTOWOLTAICZNYCH PVT W SYSTEMACH PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ I CENTRALNEGO OGRZEWANIA W BUDYNKACH JEDNORODZINNYCH

STRESZCZENIE

Przeanalizowano sposoby zastosowania hybrydowych kolektorów fotowoltaicznych PVT do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej wody użytkowej. Zaprezentowano schematy procesowe instalacji ciepłowniczej dla domu jednorodzinnego wykorzystującej powietrzną pompę ciepła z wymiennikiem zasilanym z wodnych hybrydowych paneli fotowoltaicznych PVT. Opracowano schemat procesowy instalacji grzewczej z udziałem fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła PVT-HP z wbudowanym parownikiem pompy ciepła oraz zespolonej z magazynem ciepła. Zaprezentowano uniwersalne rozwiązanie wykorzystujące możliwość kompleksowego wykorzystania dwuobiegowej fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła w układzie z gruntowym wymiennikiem ciepła w systemie wentylacyjnym.

Methods of using PVT hybrid solar collectors to generate electrical energy and hot tap water were analyzed. The process diagrams of heating installation for a single-family

house using an air-to-water heat pump with an interchanger powered by water-based hybrid PVT solar panels were presented. A process diagram of heating installation with the use of a PVT-HP solar thermal / heat pump with a built-in heat pump evaporator, combined with heat storage was developed. A universal solution using the capability of a complex use of a two-speed photovoltaic / thermal heat pump in a system with a ground heat interchanger in a ventilation system was presented.

SŁOWA KLUCZOWE

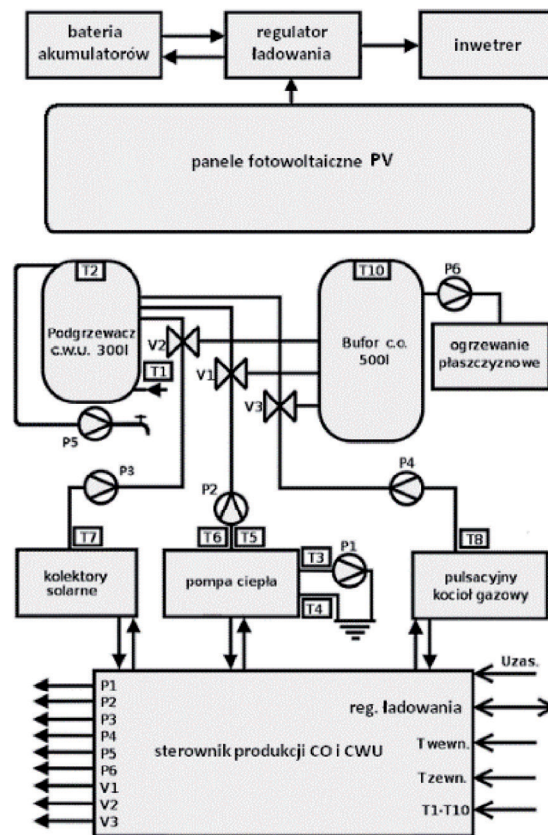
hybrydowe kolektory fotowoltaiczne PVT, systemy grzewcze i wentylacyjne, pompa ciepła, zintegrowane z budynkiem hybrydowe kolektory fotowoltaiczne BIPVT.

WPROWADZENIE

Hybrydowe kolektory fotowoltaiczne PVT (Photovoltaic Thermal) stanowią połączenie technologii ogniw fotowoltaicznych i kolektorów słonecznych. W literaturze anglojęzycznej PVT określane są jako fotowoltaiczne hybrydowe kolektory słoneczne. Dzięki umieszczeniu ogniwa fotowoltaicznego na powierzchni absorbera zwiększyła się znacznie sprawność cieplna kolektorów hybrydowych, która jest zbliżona do kolektorów słonecznych. Chłodzenie fotoogniw, czyli przepływ ciepła do kolektora słonecznego, zwiększa sprawność konwersji światła słonecznego na energię elektryczną poprzez jej stabilizację do temperatury kolektora wynoszącej 70°C. Przyjmuje się, że udział konwersji energii słonecznej na elektryczną wynosi około 0,15, natomiast 0,85 promieniowania słonecznego jest zamieniane na ciepło. Znaczną część tego ciepła stanowią straty do otoczenia. Z tego powodu przyjmuje się, że udział ciepła wykorzystywanego dla celów grzewczych wynosi około 0,45 [1]. Wyróżnia się dwa zasadniczo odmienne konstrukcyjnie rodzaje hybrydowych kolektorów PVT: cieczowe i powietrzne. Konstrukcja hybrydowych kolektorów powietrznych jest znacznie prostsza i tańsza. Powietrzne kolektory hybrydowe PVT powinno stosować się szczególnie w systemach mechanicznej wentylacji [2]. W tradycyjnych monokrystalicznych krzemowych ogniwach fotowoltaicznych, zależność sprawności od temperatury jest odwrotnie proporcjonalna, czyli ze wzrostem temperatury następuje spadek sprawności wynoszący około 0,4%/K [1,3-5]. W kolektorach hybrydowych PVT wykorzystuje się także nanotechnologię – nanorurki węglowe. Nanorurki umieszcza się na powierzchni ogniw fotowoltaicznych. Oddziaływanie fotonu z półprzewodnikiem (ogniwem) jest efektywniejsze w wyniku jego odbicia od antenek nanorurkowych i wynikowej, dodatkowej adsorpcji. Dzięki temu ta sama wartość wytwarzanej energii elektrycznej, jest możliwa przy mniejszych powierzchniach paneli fotowoltaicznych [1,3].

1. ZASTOSOWANIE CIECZOWYCH KOLEKTORÓW HYBRYDOWYCH PVT DO WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ I CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

Na rys. 1 przedstawiono schemat instalacji ciepłowniczej z wykorzystaniem odnawialnych i ekologicznego źródła energii oraz autonomicznej instalacji klasycznych paneli fotowoltaicznych PV. W instalacji zastosowano klasyczne panele fotowoltaiczne PV, kolektory solarne, pompę ciepła i pulsacyjny kocioł gazowy. Panele fotowoltaiczne połączone są z elementami instalacji tylko elektrycznie (sygnały sterujące i połączenie energetyczne), gdyż nie są bezpośrednio zintegrowane z systemem ogrzewania. Każde z trzech źródeł ciepła może zasilać obydwa obiegi przejmujące ciepło.



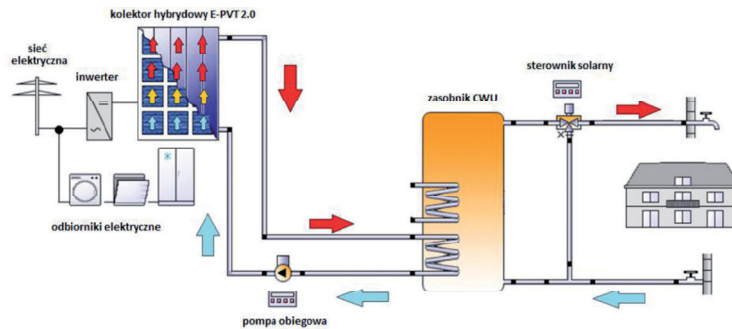
Rys. 1. Schemat sterowania instalacją ciepłowniczą odnawialnych i ekologicznego źródła energii oraz autonomicznej instalacji klasycznych paneli fotowoltaicznych PV

Fig. 1. Control scheme for heating installation of renewable and ecological energy source and autonomous installation of classic solar PV panels

W pracy [5] przedstawiono wyniki badań cieplnych paneli fotowoltaicznych PV i hybrydowych kolektorów fotowoltaicznych PVT zintegrowanych z wymiennikiem ciepła. W wyniku integracji kolektorów PVT z prototypowym wymiennikiem ciepła otrzymano średnio o 4% większy uzysk energii elektrycznej, niż ze standardowych paneli PV. Szacuje się, że w miesiącach letnich, przy wyższych wartościach temperatur zewnętrznych, uzysk będzie jeszcze większy. Ciepło z chłodzenia z kolektorów słonecznych najczęściej jest wykorzystywane do celów grzewczych np. do ogrzewania ciepłej wody użytkowej – rys. 2 i 3 [6-8]. Schematy instalacji z udziałem kolektora hybrydowego (rys. 2) i zestawu kolektorów (rys. 3) przedstawiają zbliżone układy z jednokierunkowym odbiorem ciepła, różniące się sterowaniem pracą pompy solarnej, a w drugim przypadku dodatkowo możliwością magazynowania wyprodukowanej energii.

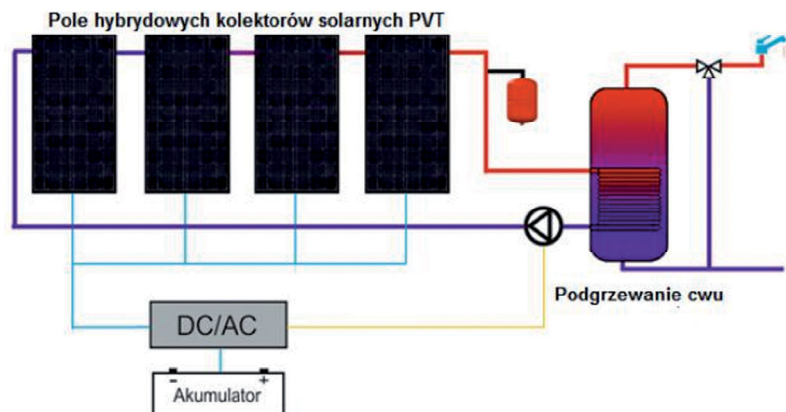
W pierwszym układzie – rys. 2 do obsługi, czyli odbioru i stabilizacji ciepła z hybrydy wykorzystano standardowy sterownik pompy solarnej. Jednak jego zastosowanie wymaga specjalnego oprogramowania w celu dostosowania parametrów do pracy w układzie hybrydowym. Jeżeli priorytetem kolektorów hybrydowych jest produkcja energii elektrycznej, to optymalna temperatura pracy systemu nie powinna przekraczać 40-50°C. W takim przypadku nie będzie można zapewnić pełnego pokrycia

zapotrzebowania na c.w.u. [4]. Brak stabilizacji i utrzymania niskiej temperatury kolektora PVT praktycznie stawia go na równi z PV, którego sprawność jest niższa o 15-25% [5]. Utrudnienie wyznaczenia właściwego algorytmu pracy przedstawionego poniżej systemu wynika z niezależności produkcji energii elektrycznej. Układ zawiera przekształtnik inwerterowy z możliwością podłączenia do sieci energetycznej (on-grid).



Rys. 2. Wykorzystanie kolektora hybrydowego PVT do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej wody użytkowej [6]
 Fig. 2. Use hybrid PVT collector to produce electricity and hot tap water [6]

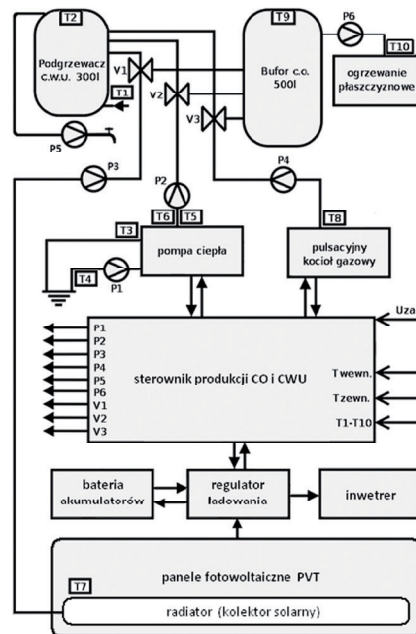
Na rys. 3 przedstawiono instalację wyposażoną w zespolony kontroler pracy pola hybrydowych kolektorów solarnych [7,8]. Urządzenie steruje produkcją c.w.u./ odbiorem ciepła z kolektorów solarnych, obsługuje magazyn energii oraz zawiera przekształtnik inwerterowy przystosowany do zasilania odbiorników AC. To kompleksowe urządzenie, sterujące polem kolektorów PVT, jest wyposażone w optymalne oprogramowanie umożliwiające produkcję energii elektrycznej i ciepła poprzez specjalnie desygnowane sensory i aktuatory. W rozwiązaniu nie przedstawiono jednak możliwości odbioru znacznych ilości nadprodukcji ciepła w okresie letnim.



Rys. 3. Wykorzystanie zespołu kolektorów hybrydowych PVT do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej wody użytkowej [7,8]
 Fig. 3. Use of PVT hybrid collectors to produce electricity and hot tap water [7,8]

Na rys. 4 pokazano schemat sterowania instalacją ciepłowniczą dla domu jednorodzinnego z zastosowaniem odnawialnych i ekologicznego źródła energii wykorzystującej

hybrydowe kolektory fotowoltaiczne PVT. Stosując hybrydowe panele fotowoltaiczne instalacja zostaje uproszczona poprzez eliminację klasycznych kolektorów solarnych.

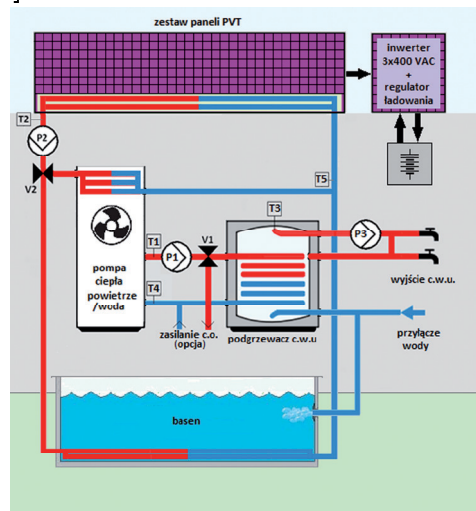


Rys. 4. Schemat sterowania instalacją ciepłowniczą z zastosowaniem odnawialnych i ekologicznego źródła energii z wykorzystaniem hybrydowych paneli fotowoltaicznych PVT
 Fig. 4. Diagram of controlling the heating installation of renewable and ecological energy sources using hybrid PVT solar panels

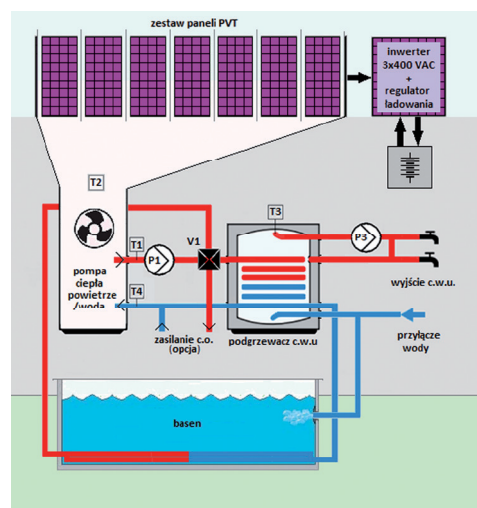
2. ZASTOSOWANIE WODNYCH I POWIETRZNYCH KOLEKTORÓW HYBRYDOWYCH PVT W SYSTEMACH GRZEWCZYCH I WENTYLACYJNYCH BUDYNKÓW JEDNORODZINNYCH

Moduły hybrydowe PVT mogą być wykorzystywane także do wspomaganie działania kotłowni, współpracy z pompą ciepła i do ogrzewania basenów kąpielowych – rys. 5 i 6. Regulator ładowania wymienia informacje ze sterownikiem systemu ogrzewania m.in. w zakresie utrzymania optymalnej temperatury czynnika transportującego ciepło do systemu ogrzewania. Krótkie okresy pracy paneli na potrzeby c.w.u. (wzrost temperatury) nieznacznie obniżają sprawność produkcji energii elektrycznej. Podłączony do regulatora ładowania akumulatorów przekształtnik inwerterowy zapewnia kontrolę i dostosowanie wartości, kształtu i częstotliwości napięcia do parametrów standardowych sieci energetycznej. Po uzupełnieniu ładunku w baterii akumulatorów i zasileniu urządzeń domowych, w tym instalacji grzewczej, wyprodukowany nadmiar energii elektrycznej w przypadku zastosowania instalacji on-grid może zostać odsprzedany do sieci energetycznej, opłacalny zwłaszcza po ustaleniu preferencyjnych cen. Występujący problem odbioru nadpodaży ciepła z instalacji pokazanej na rys. 3, można rozwiązać w sposób przedstawiony na rys. 5 i 6 wykorzystując schemat sterowania przedstawiony na rys. 4. Zarówno w przypadku wodnych, jak i powietrznych hybrydowych kolektorów solarnych zaproponowano

trzy możliwości odbioru ciepła. Optymalną temperaturę pracy hybryd, będących dolnym źródłem dla powietrznej pompy ciepła można wyznaczyć dzięki częściowemu rozsprzęgnięciu termicznemu dwóch szeregowych źródeł ciepła (rys. 6). Inwerterowa powietrzna pompa ciepła wydajnie działa w szerokim, w tym przypadku – koherentnym – zakresie temperatury. Przystosowanie kolektorów hybrydowych PVT do współdziałania z pompą ciepła powietrze/woda stanowi nową, przyszłościową tendencję w instalacjach ciepłowniczych. Ciepło z modułów hybrydowych PVT wykorzystuje się do podwyższenia temperatury dolnego źródła pompy ciepła i zwiększenia współczynnika efektywności energetycznej COP [2].



Rys. 5. Schemat instalacji ciepłowniczej dla domu jednorodzinnego wykorzystującej powietrzną pompę ciepła z wymiennikiem zasilanym z wodnych hybrydowych paneli fotowoltaicznych PVT
 Fig. 5. Heating installation diagram for a single-family house using an air heat pump with a heat exchanger powered by water hybrid PVT panels



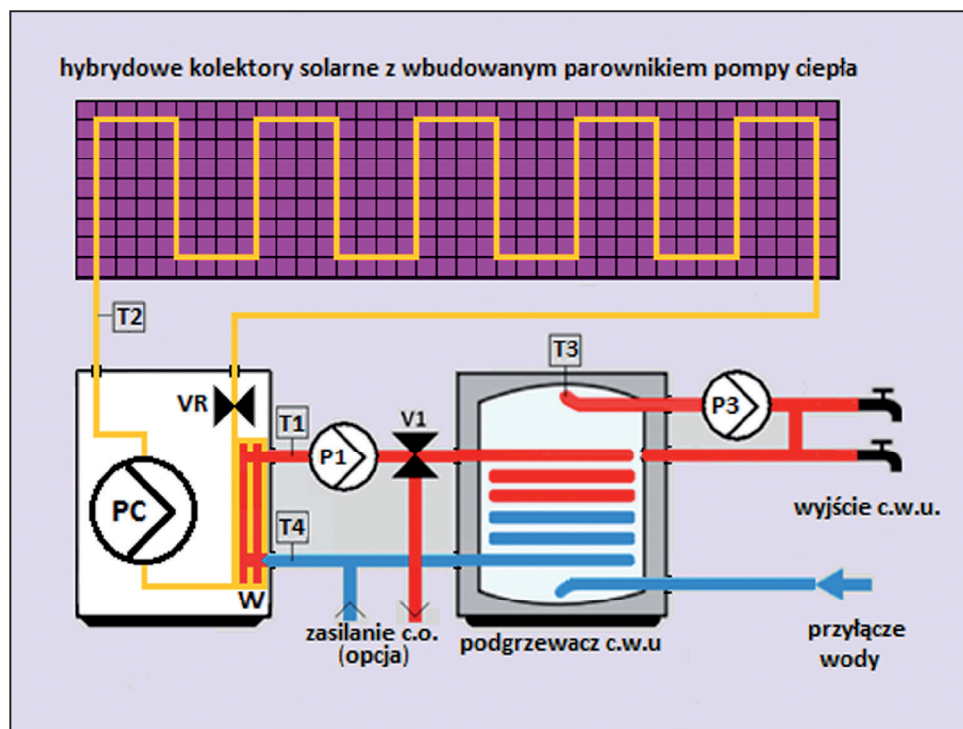
Rys. 6. Schemat domowej instalacji ciepłowniczej wykorzystującej powietrzną pompę ciepła z bezpośrednim doprowadzeniem ciepła z powietrznych hybrydowych paneli fotowoltaicznych
 Fig. 6. Home heating installation diagram using an air heat pump with a direct heat transfer from air hybrid PVT panels

Schemat instalacji ciepłowniczej dla domu jednorodzinnego wykorzystującej pompę ciepła z wymiennikiem zasilanym z wodnych hybrydowych paneli fotowoltaicznych PVT przedstawiono na rys. 5. Trójdrożny elektrozawór V1 kieruje, dzięki sprzężeniu czynnika, przez pompę obiegową P1 ciepło pochodzące z powietrznej pompy ciepła do podgrzewacza c.w.u. lub do opcjonalnego bufora c.o. Ciepło wyprowadzane za pomocą pompy obiegowej P2 z zestawu wodnych hybrydowych paneli fotowoltaicznych kierowane jest dzięki zastosowaniu trójdrożnego elektrozaworu V2 do wymiennika w pompie ciepła lub bezpośrednio do wymiennika zamontowanego w basenie kąpielowym. Zastosowanie basenu jako wielkogabarytowego wymiennika umożliwia praktycznie pełne zagospodarowanie entalpii czynnika obiegowego, szczególnie w miesiącach letnich. Dzięki działaniu pompy obiegowej P3 można utrzymać jednakową temperaturę wody we wszystkich punktach jej poboru. Programowany kontroler steruje poszczególnymi urządzeniami instalacji na podstawie danych z czujników temperatury zamontowanych w charakterystycznych punktach T1 – T4, nastawą temperatur działania systemu ogrzewania z sygnałów z regulatora ładowania sprzężonego z inwerterem AC oraz wynikającą z potrzeb chwilowych użytkownika. Prawdłowo zaprojektowana farma ON-GRID hybrydowych kolektorów PVT zapewnia optymalną wielkość produkcji energii elektrycznej z możliwością jej odsprzedaży oraz jednoczesną możliwość zwrotu nakładów inwestycyjnych. Schemat instalacji ciepłowniczej dla domu jednorodzinnego wykorzystującej powietrzną pompę ciepła z bezpośrednim doprowadzeniem ciepła z powietrznych hybrydowych paneli fotowoltaicznych PVT przedstawiono na rys. 6. Propozycja wykorzystania powietrznej pompy ciepła sprzężonej termicznie z zestawem hybrydowych paneli fotowoltaicznych wymaga również sprzężenia maszynowego urządzeń, a zatem umieszczenia ich w pobliżu. Wynikające z tego powodu utrudnienia są w pełni rekompensowane dzięki znacznemu uproszczeniu i także ograniczeniu liczby urządzeń instalacji. Czterodrożny elektrozawór V1 kieruje za pomocą pompy obiegowej P1 ciepło pochodzące z powietrznej pompy ciepła do podgrzewacza c.w.u., do bufora c.o. lub w okresie letnim do basenu kąpielowego. W miesiącach letnich produkcja ciepła przez hybrydowe panele fotowoltaiczne jest największa, a zatem możliwość zrzutu dużych ilości pobranej energii do znacznego zbiornika jakim jest basen, poza jego podgrzewaniem, zwiększa jednocześnie bezpieczeństwo działania systemu. Pompa obiegowa P3 zapewnia komfort termiczny instalacji poprzez utrzymanie stabilnej, identycznej temperatury c.w.u. we wszystkich punktach jej poboru. Programowany kontroler, identycznie jak w układzie przedstawionym na rys. 5, steruje poszczególnymi urządzeniami instalacji w oparciu o pomiary temperatury przez sensory w charakterystycznych punktach T1 – T4, nastawę temperatur pracy systemu ogrzewania, dane z regulatora ładowania sprzężonego z inwerterem AC oraz w zależności od potrzeb chwilowych użytkownika. Podgrzew powietrza w kolektorach PVT zależy od warunków klimatycznych, konstrukcji wymiennika ciepła i charakteru przepływu powietrza. W badaniach kolektora powietrznego z monokrystalicznym krzemowym modułem fotowoltaicznym o sprawności $\eta = 15,46\%$ w warunkach STC otrzymano sprawności odpowiednio: elektryczną – 15% i cieplną – 22%. Różnica temperatur pomiędzy temperaturą wlotową i wylotową powietrza wynosiła około $\Delta t = 5\text{ K}$ i dlatego wstępnie podgrzane, świeże powietrze można zagospodarować w wentylacji mechanicznej w systemie rekuperacyjnym odzysku ciepła – Heat Recovery Ventilation HRV budynku [9]. Bardzo zbliżoną sumaryczną sprawność $\eta = 37,15\%$ otrzymano w badaniach kolektora powietrznego [10]. W pracach [11,12] przedstawiono wyniki badań dla czterech wariantów parametrów ciepło-przepływowych hybrydowego kolektora powietrznego PVT, w zależności od usytuowania kanałów, kierunków przepływu oraz gęstości strumienia masy powietrza chłodzącego absorber. Badania przeprowadzono w godzinach od 8 do 17 – maksymalne

nasłonecznienie wynosiło około 900 W/m^2 . Sprawności cieplne wynosiły od 24 do 58% i były funkcją głównie gęstości strumienia masy powietrza oraz badanego wariantu - konfiguracji przepływu. W badaniach teoretycznych hybrydowego cieczowego kolektora fotowoltaicznego PVT zastosowanego w systemie wentylacji mechanicznej do ogrzewania i chłodzenia budynku stwierdzono, że sprawność systemu PVT jest tylko o $\Delta\eta = 9\%$ mniejsza od sumarycznej sprawności panelu PV i kolektora słonecznego. Przedstawiono także zastosowanie PVT w systemie wentylacyjnym chłodzenia domowego w sezonie letnim. Zastosowano agregat absorpcyjny niskiej mocy o współczynniku COP wynoszącym od 0,6 do 0,8 [12]. W literaturze [11,13-15] przedstawiono wyniki badań powietrznych kolektora PVT dla zwiększenia przepływu ciepła do powietrza chłodzącego oraz opracowanego na tej podstawie modelu analitycznego. Poprawę efektywności kolektora PVT, czyli strumienia ciepła odprowadzanego z panelu fotowoltaicznego, otrzymano w wyniku zwiększenia powierzchni wymiany ciepła poprzez wprowadzenie do kanału powietrznego specjalnie ukształtowanej cienkiej płyty metalowej, względnie użebrowania dolnej powierzchni panelu PV. Badania wykonano dla różnych konfiguracji kanałów i kierunków przepływu powietrza w stosunku do powierzchni panelu PV. Stwierdzono, że najmniej efektywny jest przepływ powietrza przez kanał nad panelem fotowoltaicznym, natomiast dla pozostałych tj. kanału powietrznego pod panelem oraz dla trzeciego wariantu, czyli kanałów nad i pod panelem ze zgodnym kierunkiem przepływu i czwartym rozwiązaniem z „zawiniętym” przepływem od góry do dołu panelu - sprawności są zbliżone. Zastosowanie turbulentnego przepływu powietrza w module hybrydowym PVT w istotny sposób zwiększa wartości współczynników przejmowania ciepła od panelu PV. Powietrzne moduły hybrydowe (kolektory) PVT mają niższą efektywność w stosunku do cieczowych, jednakże ich koszty wykonania i eksploatacji są relatywnie niższe. Z tego powodu zastosowanie powietrznych modułów hybrydowych jest uzasadnione w przypadku lokalnego zapotrzebowania na ciepłe powietrze - przykładowo w instalacjach wentylacji mechanicznej budynków. Zastosowanie hybrydowych kolektorów fotowoltaicznych, jak podano w karcie katalogowej PVT19 Tehaco Energy, zamiast tradycyjnych kolektorów słonecznych i paneli fotowoltaicznych skraca okres zwrotu inwestycji od 11 do 20% [15]. W literaturze [16] przedstawiono koncepcję możliwości wykorzystania paneli fotowoltaicznych w układzie ogrzewania budynku z powietrzną pompą ciepła, przy uwzględnieniu całkowitego rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną w systemie prosumenckim on-grid, bez magazynowania energii. Oszacowano, że przy założeniu niezmienności cen energii, nakłady inwestycyjne zwrócą się po około 10 latach użytkowania. Zalety powyższych rozwiązań pozwalają na integrację hybrydowych systemów fotowoltaicznych z budynkiem BIPVT (Building Integrated Photovoltaic Thermal) w wentylacji naturalnej przy ich ogrzewaniu lub chłodzeniu [17]. Ocenia się, że zastosowanie hybrydowego kolektora PVT o powierzchni 16 m^2 w systemach BIPVT zmniejsza zajmowaną powierzchnię dachu o około 36%, czyli zastępuje łącznie 21 m^2 paneli PV i 4 m^2 kolektorów słonecznych oraz umożliwia jego optymalne wykorzystanie [18].

Przedstawiono propozycję nowego systemu fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła o nazwie PVT-HP, czyli pompy ciepła zespolonej z hybrydowym kolektorem solarnym PVT z wbudowanym parownikiem w miejsce dotychczasowego standardowego absorbera solarnego. Schemat instalacji grzewczej wykorzystującej nowe rozwiązanie hybrydowych kolektorów solarnych produkujących energię elektryczną i ciepłą z wbudowanym parownikiem pompy ciepła PVT-HP przedstawiono na rys. 7. Hybryda została zmodyfikowana poprzez zamianę konwencjonalnych okrągłych rur miedzianych przeznaczonych dla solanki, na wielopunktowe płaskie, wytłaczane rury aluminiowe przystosowane do pracy przy podwyższonym (HP - High Pressure) ciśnieniu czynnika

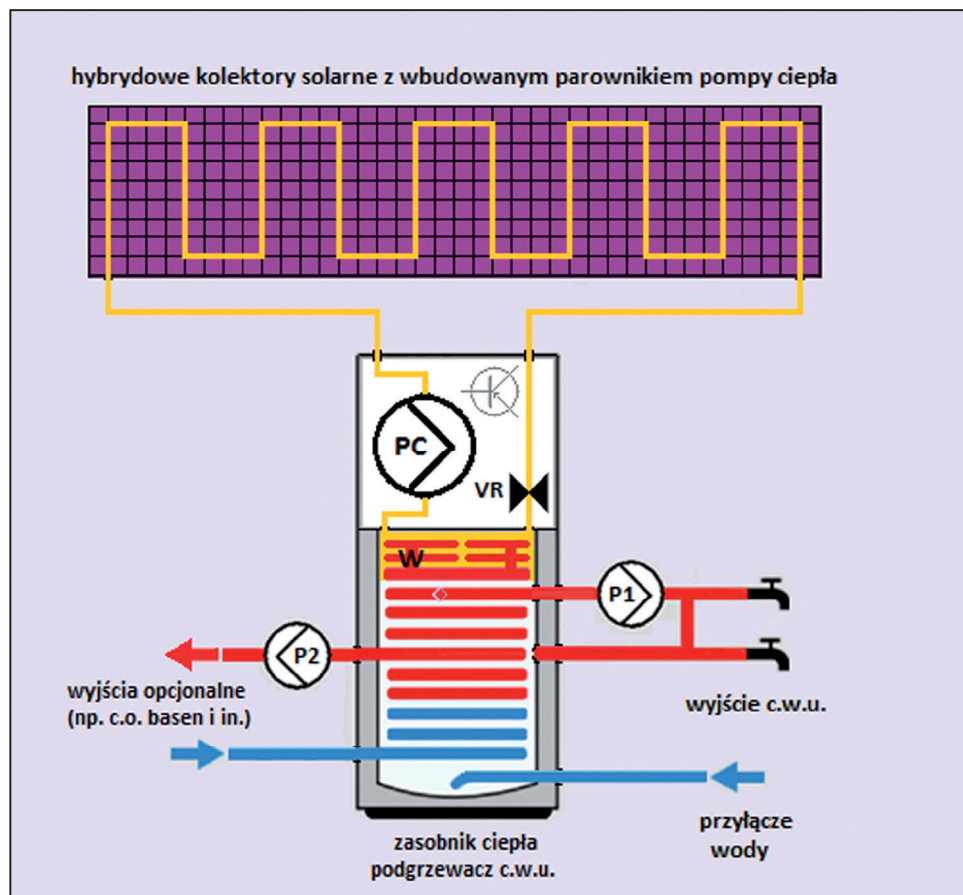
chłodniczego. Entalpia czynnika roboczego uzyskana w parowniku hybrydy i pompie ciepła PC zostaje rozładowana w wymienniku ciepła – W, poprzez przejście energii cieplnej przez solankę przetłaczaną przez pompę obiegową – P1. Zawór rozprężny – VR przechładza czynnik do optymalnej temperatury ogniw fotowoltaicznych, zapewniając maksymalną sprawność elektryczną hybrydy pobiera kolejne porcje energii cieplnej. Podgrzana solanka oddaje ciepło w zasobniku ciepła / podgrzewaczu c.w.u. lub poprzez elektrozawór – V1 w innym odbiorniku ciepła np. c.o. lub w basenie kąpielowym. Pompa – P3 zapewnia utrzymanie jednakowej temperatury we wszystkich punktach poboru c.w.u. Podstawową funkcją przedstawionych układów pozostaje produkcja energii elektrycznej. Wytwarzanie ciepła jest funkcją dodatkową i chociaż ma wyższą wartość od elektrycznej nie powinna wpływać na obniżenie sprawności paneli fotowoltaicznych.



Rys. 7. Schemat instalacji grzewczej z udziałem hybrydowych kolektorów solarnych PVT-HP produkujących energię elektryczną i ciepłą z wbudowanym parownikiem pompy ciepła
 Fig. 7. Diagram of a heating installation with the participation of hybrid PVT-HP solar collectors producing electricity and heat with a built-in heat pump evaporator

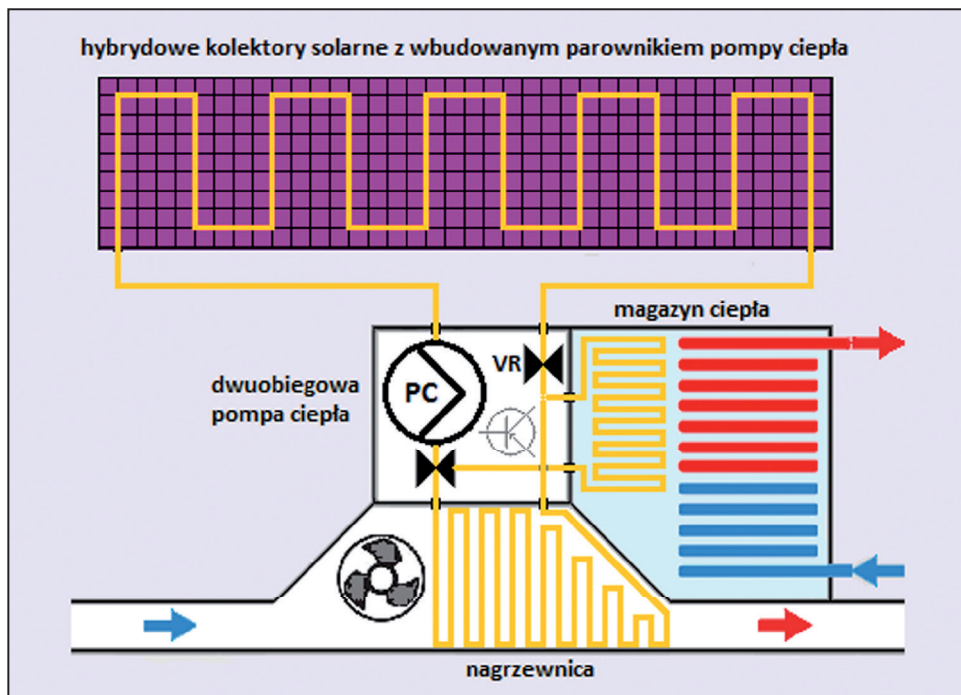
Modyfikacją przedstawionej powyżej instalacji podnoszącą wartość współczynnika COP jest zintegrowane połączenie fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła PVT-HP z zasobnikiem-magazynem ciepła. Podwyższenie COP uzyskuje się dzięki umieszczeniu wymiennika ciepła – W, bezpośrednio w zbiorniku i eliminacji poboru energii elektrycznej przez pompę przetłaczającą solankę. Na rys. 8 przedstawiono schemat instalacji grzewczej z udziałem fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła PVT-HP zespolonej z podgrzewaczem c.w.u., będącym jednocześnie magazynem ciepła dla innych odbiorników. Pompa obiegowa – P1 pracuje cyklicznie w celu utrzymania jednakowej temperatury c.w.u. we wszystkich punktach poboru, pompa – P2 zasila pozostałe odbiorniki ciepła lub rozładowuje nadmiar wyprodukowanego ciepła. Optymalne

warunki pracy pompy ciepła zapewnia zastosowanie zmiennie-prędkościowej sprężarki i elektronicznie sterowany zawór rozprężny – VR. Dla nowoczesnych klimatyzowanych, energooszczędnych, a zwłaszcza pasywnych budynków dobrym rozwiązaniem wykorzystania fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła PVT-HP może okazać się bezpośrednio wprowadzony do kanału nawiewowego powietrzny wymiennik ciepła.



Rys. 8. Schemat instalacji grzewczej z udziałem fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła PVT-HP zespolonej z magazynem ciepła
 Fig. 8. Diagram of a heating installation with a PVT-HP combined solar thermal / heat pump combined with a heat storage

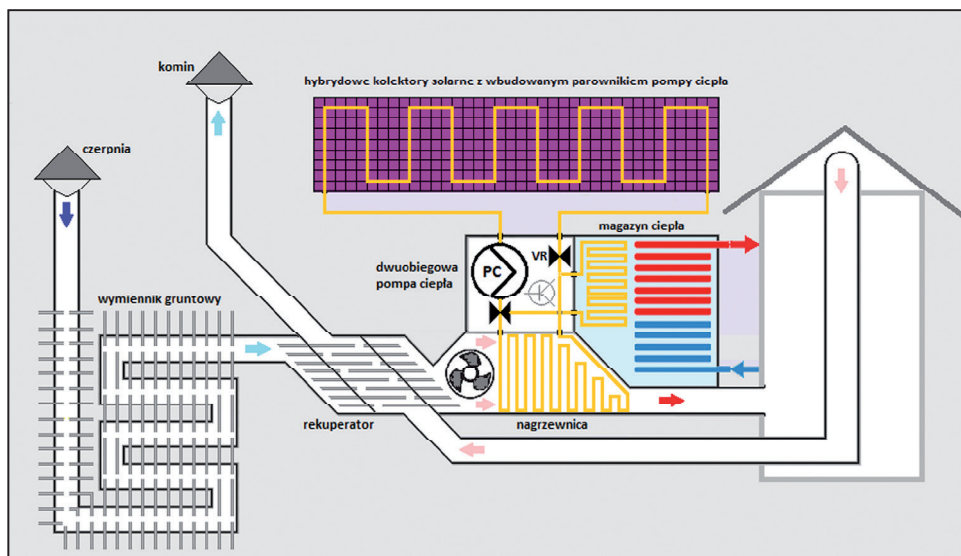
Na schemacie instalacji dwuobiegowej fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła – rys. 9 – skraplacz w kanale nawiewowym instalacji wentylacyjnej budynku został oznaczony jako nagrzewnica. W układzie zmiennej konfiguracji połączeń kierunku obiegu czynnika chłodniczego dwuobiegowej pompy ciepła można zamieniać poszczególne wymienniki jako górne lub dolne źródła ciepła. W ten sposób można uzyskać np. jednoczesny odbiór ciepła z kolektorów i z kanału wentylacyjnego w okresie letnim i oddać do np. solankowego magazynu ciepła. Z magazynu ciepła można zasilać instalację c.w.u. lub basen kąpielowy. W okresie zimowym zasysane przez czepnię powietrze zostaje wstępnie podgrzane w gruntowym wymienniku i w rekuperatorze ciepła od powietrza w wentylacyjnej instalacji wywiewnej.



Rys. 9. Schemat instalacji grzewczej z udziałem fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła PVT-HP zespolonej z magazynem ciepła

Fig. 9. Diagram of a heating installation with a PVT-HP combined solar thermal / heat pump combined with a heat storage

Na rys. 10 przedstawiono możliwość kompleksowego wykorzystania dwuobiegowej fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła w układzie z gruntowym wymiennikiem ciepła i rekuperatorem odzyskującym ciepło od wywiewanego powietrza.



Rys. 10. Schemat dwuobiegowej fotowoltaicznej / termicznej pompy ciepła w układzie z gruntowym wymiennikiem i rekuperatorem ciepła

Fig. 10. Diagram of a two-circuit photovoltaic / thermal heat pump in a system with a ground heat exchanger and recuperator

Przedstawione rozwiązanie działa sprawnie zarówno w trybie podgrzewania i schładzania powietrza. W okresie letnim wymiennik gruntowy schładza wstępnie zasysane przez czerpnie powietrze, a rekuperator może odbierać chłód od powietrza wywiewanego w przypadku wysokich temperatur. Pompa ciepła może jednocześnie lub kolejno odbierać ciepło nie tylko z hybrydowych kolektorów solarnych, ale także i od powietrza przepływającego w kanale nawiewowym. Powietrzna odwracalna wielofunkcyjna kaskadowa inwerterowa pompa ciepła powietrze-woda (w wersji kompaktowej stosuje się mieszanek glikolową) produkowana w czterech wersjach i siedmiu mocach od 6 do 90 kW znalazła także zastosowanie w systemach chłodnictwa i klimatyzacji zarówno w budynkach jednorodzinnych, jak i obiektach użyteczności publicznej [18]. W okresie letnim wymiennik gruntowy schładza wstępnie zasysane przez czerpnie powietrze, a rekuperator może odbierać chłód od powietrza wywiewanego w przypadku wysokich temperatur. Pompa ciepła może jednocześnie lub kolejno odbierać ciepło z pola hybryd i od powietrza przepływającego w kanale nawiewowym. Po zaopatrzeniu instalacji c.w.u. nadmiar ciepła może zostać skierowany z magazynu do wymiennika w basenie kąpielowym.

PODSUMOWANIE

Przedstawiono schematy procesowe zastosowania hybrydowych kolektorów fotowoltaicznych PVT w budynkach jednorodzinnych – rys. 4-10. Pompa ciepła sprzężona termicznie z zestawem hybrydowych – cieczowych i powietrznych – kolektorów PVT zwiększa w istotny sposób współczynnik efektywności COP ze względu na podwyższenie temperatury dolnego źródła. Instalacje PVT i pompy ciepła cechują się wzajemnymi powiązaniem technologicznymi, tj. wspólnymi sterownikami, buforami, zasobnikami i niezależnością eksploatacyjną. Zastosowanie hybrydowych modułów PVT wodnych i powietrznych, ogranicza zużycie energii w budynkach przez podniesienie koherentności systemów wytwarzania energii elektrycznej i ciepła dla potrzeb c.w.u. i c.o. Zwiększenie sprawności i wydajności systemów z udziałem kolektorów hybrydowych uzyskuje się na drodze eliminacji stopni wymiany czynników transportujących ciepło. Kolektor hybrydowy z absorberem w postaci parownika - dolnego źródła inwerterowej pompy ciepła oraz umieszczenie jej skraplacza w podgrzewaczu / zasobniku c.w.u. eliminuje pośrednie wymienniki, pompy obiegowe oraz znaczne ilości roztworu glikolu etylenowego (solanki). Zaproponowane rozwiązania, oprócz znacznej poprawy wartości współczynnika COP, obniżają jednocześnie koszty inwestycji. Zastosowanie szczytowo-awaryjnych źródeł ciepła, urządzeń do jego przechowywania, magazynów energii elektrycznej oraz centralnego sterowania systemem produkcji ciepła i energii elektrycznej poprawiają stabilność systemu, jego koherentność i sprawność oraz umożliwiają ich optymalne wykorzystanie, szczególnie w strefie klimatu umiarkowanego przejściowego. Zastosowanie hybrydowych kolektorów fotowoltaicznych w integracji z konstrukcją budynku, np. dachu lub fasadą, czyli w systemach BIPVT istotnie redukuje koszty inwestycji. Konstrukcja parownikowego kolektora hybrydowego PVT w instalacjach z pompami ciepła może być optymalnym rozwiązaniem przy braku możliwości zastosowania hybrydowych systemów fotowoltaicznych PVT zintegrowanych z budynkiem.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Jaroszyk F., Pająk K.: Metody zwiększenia wytwarzania energii elektrycznej w systemach hybrydowych modułów fotowoltaicznych PVT. W: Gospodarka niskoemisyjna. Uwarunkowania i wyzwania. Wydawnictwo Adam Marszałek, Toruń 2014, s. 132-139.
- [2] Szymański B.: Panel fotowoltaiczny i kolektor słoneczny w jednym. GLOBenergia 2011 nr 2, s.30-31.
- [3] Jastrzębska G.: Ogniwa słoneczne. Budowa, technologia i zastosowanie. WKiŁ 2013, s. 131-133, 188-193. ISBN 978-83-206-1847-1.
- [4] [dostęp 23.10.2017]. Dostępny w: <http://kompaniasolarna.pl/strefa-instalatora/pvt-hybrydowy-modul-czym-warto-zastosowac/>
- [5] [dostęp 14.11.2017]. Dostępny w: <https://www.imp.gda.pl/wfos/projekt.htm>
- [6] [dostęp 16.10.2017]. Dostępny w <https://www.google.pl/search?q=modu%C5%82y+kolektory+hybrydowe+pvt&sa=N&tbm=isch&tbo=u&source=univ&ved=0ahUKewj7vjXFhsHXAhVmCZoKHcVRDEQ4ChCwBAhB&biw=1536&bih=759#imgrc=Qto8BxJf-TiUuM>
- [7] [dostęp 15.10.2017]. Dostępny w <https://www.google.pl/search?q=modu%C5%82y+kolektory+hybrydowe+pvt&sa=N&tbm=isch&tbo=u&source=univ&ved=0ahUKewj7vjXFhsHXAhVmCZoKHcVRDEQ4ChCwBAhB&biw=1536&bih=759#imgrc=hGpUzjOFOZt7uM>
- [8] [dostęp 26.10.2017]. Dostępny w: <http://www.automaeko.sklepna5.pl/towar/156/hybrydowy-kolektor-sloneczny-e-pvt-20.html>
- [9] Jin-Hee K., Se-Hyeon P., Jun-Tae K.: Experimental performance of a photovoltaic-thermal air collector. Energy Procedia 48 (2014) 888 – 894, [dostęp 18.10.2017]. Dostępny w: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214003646>
- [10] Vokas G., Theodoropoulos N., Georgiou D.: Simulation of Hybrid Photovoltaic/Thermal Air Systems on Building Facades. Energy Procedia 50 (2014) 917 – 930. [dostęp 10.03.2018] Dostępny w: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214008467>
- [11] Bać A., Kasperski J., Pacyga M., Kierunki rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenie Dolnego Śląska. W: Hybrydowe kolektory słoneczne. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2013, s. 333-342, [online], [dostęp 8.10.2017]. Dostępny w: http://direct.dbc.wroc.pl/Content/24087/kierunki_rozwoju_budownictwa.pdf
- [12] Vokas G., Christiandonis N., Skittides F.: Hybrid photovoltaic-thermal systems for domestic heating and cooling – a theoretical approach, [online], [dostęp 4.02.2018] Dostępny w: <https://kundoc.com/pdf-hybrid-photovoltaicthermal-systems-for-domestic-heating-and-cooling-a-theoretical.html>
- [13] Hegazy A.A. (2000) Comparative Study of the Performances of Four Photovoltaic/Thermal Solar Air Collectors. Energy Conversion and Management, [online], [dostęp 4.01.2018]. Dostępny w: <https://pl.scribd.com/document/283992011/Comparative-Study-of-the-Performances-of-Four-Photovoltaic-Thermal-Solar-Air-Collectors>
- [14] Tonui J.K., Tripanagnostopoulos Y.: Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements, [online], [dostęp 8.12.2017]. Dostępny w https://www.researchgate.net/publication/223076399_Air-cooled_PVT_solar_collectors_with_low_cost_performance_improvements
- [15] Hongbing Chen, Saffa B. Riffat.: Development of photovoltaic thermal technology in recent years: a review. International Journal of Low-Carbon Technologies, [online], [dostęp 11.10.2017]. Dostępny w <https://academic.oup.com/ijlct/article/6/1/1/783335>
- [15] Obracaj D., Korzec M., Matusik M., Sas S.: Analiza możliwości wykorzystania paneli fotowoltaicznych w układzie ogrzewania budynku z powietrzną pompą ciepła. W: Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2017 (48) nr 6. s. 240.
- [16] Gołubiewski G.: BIPV – fotowoltaiczne systemy zintegrowane z budynkiem. GLOBenergia 2010 nr 3, s.50-51. [dostęp 16.11.2017]. Dostępny w: <http://globenergia.pl/bipv-fotowoltaiczne-systemy-zintegrowane-z-budynkiem/>

- [17] Dawid R.: Tehaco Energy. Małe elektrownie wodne. Moduły PVT – ciepło i prąd. Konferencja OZE. [online], [dostęp 20.01.2018]. Dostępny w http://www.wmae.pl/userfiles/zainwestujOZE/4_ryszard_dawid_konferencja_oze_olsztyn_23-05-2012.pdf
- [18] Duo – wielofunkcyjna kaskadowa inwertorowa pompa ciepła powietrze-woda. [dostęp 14.03.2018]. Dostępny w: <http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/artykuly/196-wydanie-042012/2194-duo-wielofunkcyjna-kaskadowa-inwerterowa-pompa-ciepa-powietrze-woda.html>

USE OF PVT HYBRID SOLAR COLLECTORS IN HOT WATER AND CENTRAL HEATING SYSTEMS IN SINGLE-FAMILY BUILDINGS

KEY WORDS

photovoltaic thermal (PVT) hybrid solar collectors, heating and ventilation systems, heat pump, building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) system.