

PIOTR ZIEMBICKI\*, JAN BERNASIŃSKI\*

## PORÓWNANIE UKŁADÓW TECHNOLOGICZNYCH DUŻYCH INSTALACJI KOLEKTÓRÓW SŁONECZNYCH WSPÓLPRACUJĄCYCH Z WĘZŁAMI CIEPŁOWNICZYMI

### *Streszczenie*

*W publikacji przedstawiono układy technologiczne dużych instalacji kolektorów słonecznych współpracujących z węzłami ciepłowniczymi dla wielorodzinnych budynków mieszkalnych. Omówiono podstawowe zagadnienia dotyczące wykorzystania symulacji komputerowej do doboru tych instalacji. Przedstawiono wyniki symulacji pracy układów, a także porównano wybrane wskaźniki charakteryzujące te systemy (sprawność, uzysk energii słonecznej oraz temperatury wody w zasobniku i buforze).*

Słowa kluczowe: węzły ciepłownicze, energia odnawialna, kolektory słoneczne, sprawność systemu, symulacja komputerowa.

### WPROWADZENIE

Znaczny udział w zaopatrzeniu w ciepło budynków w Polsce mają scentralizowane systemy ciepłownicze (40%), w których funkcjonuje jedno lub wiele źródeł energii, a nośnik ciepła jest dystrybuowany do odbiorców za pośrednictwem sieci ciepłowniczych. Wśród odbiorców ciepła sieciowego, zdecydowaną większość (60%) stanowią budynki wielorodzinne, gdzie w ok. 60% przypadków ciepło sieciowe jest wykorzystywane również do przygotowania ciepłej wody użytkowej [Ziembicki 2013]. Duży udział zużycia energii na przygotowanie ciepłej wody użytkowej w bilansie energetycznym budynku, przy jednoczesnym wzroście wymagań związanych z efektywnością energetyczną jej produkcji sprawia, iż na znaczeniu zyskują alternatywne technologie produkcji ciepła, w tym systemy kolektorów słonecznych. Układy te zaliczane są do odnawialnych źródeł energii, co znacząco wpływa na wskaźnik efektywności energetycznej budynku oraz przede wszystkim obniża koszty jego funkcjonowania i redukuje emisje szkodliwych substancji, w tym CO<sub>2</sub>.

Integracja instalacji kolektorów słonecznych z węzłem ciepłowniczym jest rozwiązaniem stosunkowo rzadko stosowanym, dlatego niezbędne jest prowadzenie badań i analiz w tym zakresie.

### KOMPUTEROWA SYMULACJA UKŁADÓW TECHNOLOGICZNYCH

Hybrydowe źródła ciepła to układy technologiczne, w których do produkcji ciepła wykorzystywane są co najmniej dwa rodzaje energii. W tradycyjnych rozwiązaniach stosowanych w lokalnych lub niewielkich grupowych źródłach ciepła najczęściej wykorzystywany jest gaz ziemny jako energia pierwotna dla kotłów gazowych lub węzeł ciepłowniczy i energia słońca pozyskiwana za pośrednictwem instalacji kolektorów słonecznych. Ze względu na specyfikę dostępności energii słonecznej w Polsce, instalacje kolektorów słonecznych służą głównie do produkcji ciepła na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej i tylko w niewielkim stopniu do wspomagania instalacji grzewczej, głównie w okresach przejściowych roku [Pluta 2006, Chwieduk 2011, Kozioł 2012, Lewandowski 2012].

Prawidłowy dobór instalacji słonecznej i jej integracja z istniejącym lub projektowanym źródłem ciepła dla budynku wymaga znajomości rozwiązań technicznych i parametrów systemów solarnych, charakterystyki energetycznej budynku, profilu zużycia ciepłej wody użytkowej, a także danych klimatycznych w miejscu, w którym zlokalizowany jest budynek. Dane klimatyczne powinny obejmować roczne wartości nasłonecznienia oraz średnioroczne sumy promieniowania słonecznego w danym regionie [Guła 2008, Foit 2010].

Sposób projektowania i doboru instalacji kolektorów słonecznych uzależniony jest od stopnia złożoności systemu oraz od wiedzy i doświadczenia projektantów. Proste instalacje mogą być projektowane w oparciu o nomogramy, tabele katalogowe i wytyczne producentów kolektorów. Bardziej skomplikowane systemy, łączące w sobie wiele wariantów zaopatrzenia w ciepło oraz wiele odbiorników ciepła wymuszają zastosowanie zaawansowanych narzędzi w postaci programów komputerowych, pozwalających na symulacje projektowanych rozwiązań i wybór układów optymalnych. Każda ze stosowanych metod ma swoje zalety i wady. Nomogramy i tabele producentów wykorzystywane są do szybkiego i przybliżonego doboru instalacji kolektorów słonecznych (często na etapie poprzedzającym właściwe projektowanie). Zaletą tej metody jest szybkie oszacowanie wielkości instalacji, natomiast wadą jej niedokładność.

Dzięki zastosowaniu metod komputerowych można zwymiarować wszystkie elementy instalacji kolektorów słonecznych oraz dodatkowo przeprowadzić symulację ich pracy. Zaletą programów komputerowych jest to, że umożliwiają szybką zmianę parametrów instalacji i natychmiastową analizę wyniku takich

zmian, czyli wariantowanie obliczeń, co skutkuje precyzyjnym dopasowaniem instalacji do wymagań konkretnego obiektu.

W programach zaimplementowane są różne schematy (warianty) instalacji, które mogą być modernizowane lub symulowane w postaci niezmienionej. Celem symulacji instalacji kolektorów słonecznych przy wykorzystaniu programów komputerowych jest także określenie aspektu energetyczno-ekonomicznego przedsięwzięcia (określając ilość pozyskanej energii w okresie pracy instalacji i konfrontując to z energią i kosztem pozyskania z alternatywnego źródła energii). Wyniki przedstawiane są także graficznie, co zapewnia dużą czytelność informacji.

Na rynku dostępnych jest bardzo wiele tego typu narzędzi, natomiast aplikacje najbardziej zaawansowane i dające najwięcej możliwości to fchart, Getsolar, Polysun, ESOP, T\*SOL Expert. Niektóre z nich (fchart) dostępne są w oryginalnej wersji językowej, inne zostały przetłumaczone na polski (Getsolar, Polysun, ESOP). Całkowicie polskim programem jest Kolektorek.

#### UKŁADY WSPÓLPRACUJĄCE Z WĘZŁAMI CIEPŁOWNICZYMI

W budynkach wielorodzinnych w aglomeracjach miejskich najczęstszym rozwiązaniem zaopatrzenia w ciepło jest wykorzystanie miejskiego systemu ciepłowniczego za pośrednictwem węzła ciepłowniczego [Foit 2010]. W układzie technologicznym takiego węzła ciepłowniczego pracują wymienniki na potrzeby c.o. i c.w.u. w układzie szeregowo-równoległym (najczęściej) lub równoległym. Przy konfiguracji szeregowo-równoległej procesu przygotowania ciepłej wody odbywa się dwustopniowo. Wymiennik pierwszego stopnia podłączony jest szeregowo do przewodu powrotnego instalacji centralnego ogrzewania, a wymiennik drugiego stopnia zasilany w wodę sieciową - równoległe do instalacji centralnego ogrzewania. Przy niskiej temperaturze zewnętrznej powrotna woda systemu centralnego ogrzewania ma wystarczająco wysoką temperaturę, aby można było podgrzewać ciepłą wodę tylko za pomocą podgrzewacza pierwszego stopnia. Obniżenie temperatury wody w przewodzie powrotnym sieci w istotny sposób wpływa na podniesienie sprawności źródła ciepła. Dzięki tym zaletom węzły tego typu najczęściej stosuje się w miejskich systemach ciepłownicznych. W polskich warunkach klimatycznych do wspomaganie tak skonfigurowanych węzłów ciepłownicznych wykorzystuje się kolektory cieczowe płaskie lub próżniowe.

Istnieje wiele możliwości połączenia węzła ciepłowniczego dwufunkcyjnego z instalacją kolektorów słonecznych. W przypadku niewielkich budynków mieszkalnych wielorodzinnych (instalacje średniej wielkości – do ok. 50 m<sup>2</sup> powierzchni kolektorów słonecznych) stosuje się układ, w którym instalacja kolektorów słonecznych podgrzewa c.w.u. w podgrzewaczu pojemnościowym / zasob-

niku. W zależności od temperatury osiągniętej w podgrzewaczu pojemnościowym, ciepła woda użytkowa jest kierowana bezpośrednio do instalacji w budynku lub podgrzewana jest w wymiennikach I-go i II-go stopnia lub tylko w wymienniku II-go stopnia. W instalacjach o większej powierzchni kolektorów słonecznych zalecanym rozwiązaniem jest zastosowanie zbiorników buforowych wody grzewczej [Mirowski 2004]. Ciepło przekazywane jest z instalacji kolektorów słonecznych poprzez wymiennik ciepła do wody grzewczej w zbiorniku buforowym, a woda użytkowa podgrzewana jest w układzie wymienników zbiornika buforowego i węzła ciepłowniczego w sposób taki sam, jak w układzie z podgrzewaczem pojemnościowym.

### PORÓWNANIE UKŁADÓW TECHNOLOGICZNYCH

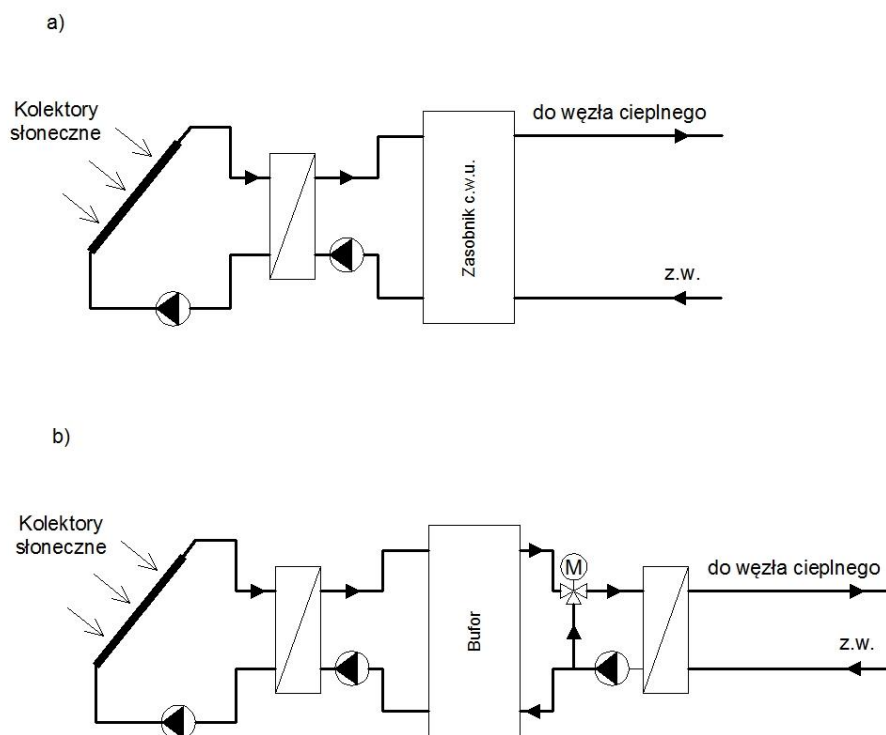
W celu porównania pracy układów technologicznych podgrzewu ciepłej wody użytkowej w budynkach wielorodzinnych przy pomocy kolektorów słonecznych, przeprowadzono symulację komputerową z wykorzystaniem oprogramowania T\*SOL Expert 4.4. Przeprowadzono ją dla dwóch wariantów układów technologicznych magazynowania energii, w których podgrzew c.w.u. wspomagany jest przez instalację kolektorów słonecznych, tj.:

- wariant 1 – bezpośredniego przekazywania energii cieplnej z kolektorów w pojemnościowych podgrzewaczach / zasobnikach,
- wariant 2 – pośredniego przekazywania energii cieplnej z kolektorów poprzez zasobniki buforowe wody grzewczej.

Ideowe schematy układów przedstawiono na rys. 1. W obu wariantach w przypadku nie osiągnięcia zadanej temperatury c.w.u. jest ona dogrzewana w wymiennikach węzła ciepłowniczego przez wodę sieciową, przy czym typ węzła z punktu widzenia przeprowadzonej analizy porównawczej nie ma znaczenia. Porównanie wariantów przeprowadzono na przykładzie budynku badawczego MBJ2030, przyjmując dane dotyczące instalacji kolektorów słonecznych i zasobników energii słonecznej zgodnie z założeniami projektowymi.

Z zestawienia wyników obliczeń (tab. 1) wynika, że dla obu wariantów wskaźniki energetyczne i ekologiczne są porównywalne. Dla wariantu 1 średnioroczny stopień pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. jest o 0,9% większy w stosunku do wariantu 2, przy czym maksymalna różnica pomiędzy nimi – 3,1% występuje w miesiącu lipcu (tab. 2 i rys. 2).

W okresie listopad – luty nieznacznie wyższy stopień pokrycia osiągany jest w wariantcie 2. Identyczne relacje pomiędzy wariantami występują w przypadku sprawności systemu, przy czym średnioroczna sprawność systemu dla wariantu 1 jest o 1,68 % wyższa od wariantu 2 (rys. 3, tab. 2). Oba warianty istotnie różnią się temperaturą c.w.u. w podgrzewaczu pojemnościowym / zasobniku i wody grzewczej w zbiorniku buforowym (rys. 4).



Rys. 1. Schematy ideowe analizowanych wariantów a) wariant 1, b) wariant 2  
 Fig. 1. Schematic diagrams of the analyzed variants a) variant 1, b) variant 2

Tab. 1. Porównanie wskaźników energetycznych i ekologicznych dla symulowanych wariantów układu technologicznego

Tab. 1. Comparison of the energy and ecological indices for the simulated variants of the technological system

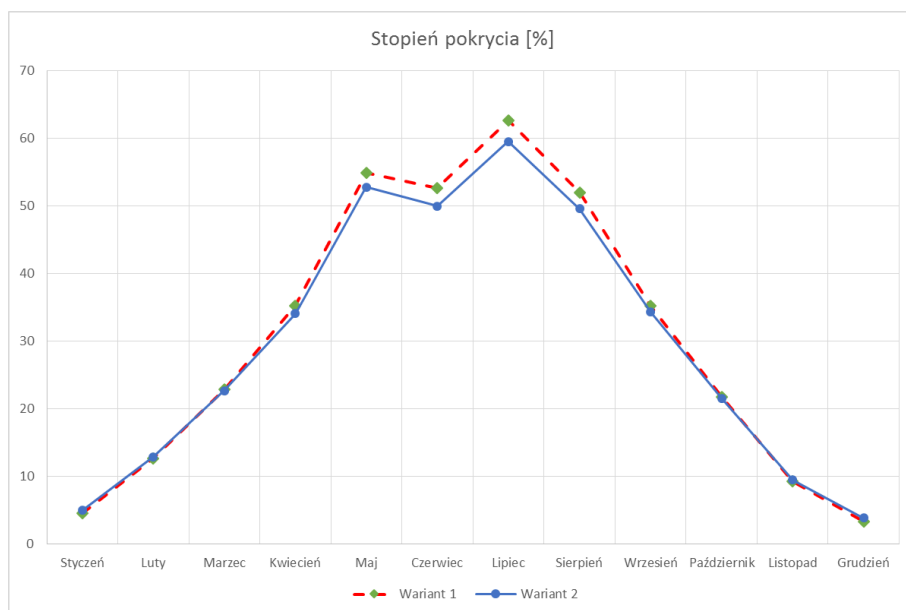
Parametr	Wariant 1	Wariant 2
Całkowita powierzchnia kolektorów próżniowych	145,25 m <sup>2</sup>	145,25 m <sup>2</sup>
Energia oddana przez instalację kolektorów	68,32 MWh 610,01 kWh/m <sup>2</sup>	66,43 MWh 593,11 kWh/m <sup>2</sup>
Stopień pokrycia rocznego zapotrzebowania energii na przygotowanie ciepłej wody użytkowej	28,70%	27,80%
Sprawność systemu	53,78%	52,10%

Tab. 2. Porównanie sprawności systemów w rozbiciu na okresy miesięczne  
 Tab. 2. Comparison of the systems efficiency in monthly periods

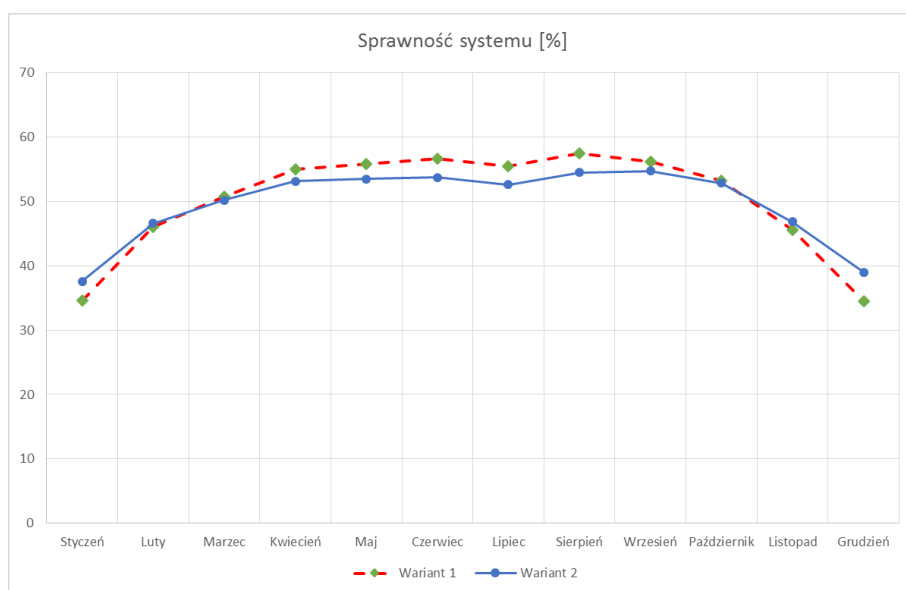
Miesiąc	Stopień pokrycia [%]	Sprawność systemu [%]	Temp. śr. w zasobniku [°C]	Stopień pokrycia [%]	Sprawność systemu [%]	Temp. śr. w zasobniku [°C]
	Wariant 1			Wariant 2		
Styczeń	4,6	34,6	11,9	5	37,6	10
Luty	12,7	46	14	12,9	46,6	13
Marzec	22,9	50,7	17,8	22,7	50,2	18
Kwiecień	35,3	55	22,3	34,1	53,1	23,9
Maj	54,9	55,8	29,8	52,8	53,5	33,4
Czerwiec	52,6	56,6	30	50	53,7	33
Lipiec	62,6	55,5	34,4	59,5	52,6	38,3
Sierpień	52	57,5	30,3	49,6	54,5	33,2
Wrzesień	35,2	56,1	24,5	34,3	54,7	25,5
Październik	21,8	53,2	19,2	21,6	52,8	19,3
Listopad	9,3	45,6	14,9	9,5	46,8	13,5
Grudzień	3,4	34,5	12,2	3,9	39	10,3

Dla analizowanego przypadku instalacji kolektorów słonecznych charakterystyczny jest zakres zmian temperatur średnich i maksymalnych w buforowym zasobniku wody grzewczej, a zwłaszcza c.w.u. w podgrzewaczu pojemnościowym. Zmniejszenie pojemności zbiorników magazynujących energię słoneczną będzie powodować wzrost temperatur c.w.u. / wody grzewczej, przy jednoczesnej redukcji stopnia pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. i sprawności systemów. Istotnym parametrem decydującym, nie tylko o rozkładach temperatur w podgrzewaczach pojemnościowych c.w.u. / zasobnikach buforowych wody grzewczej, lecz także o stopniu pokrycia i sprawności systemu jest profil rozbioru c.w.u.

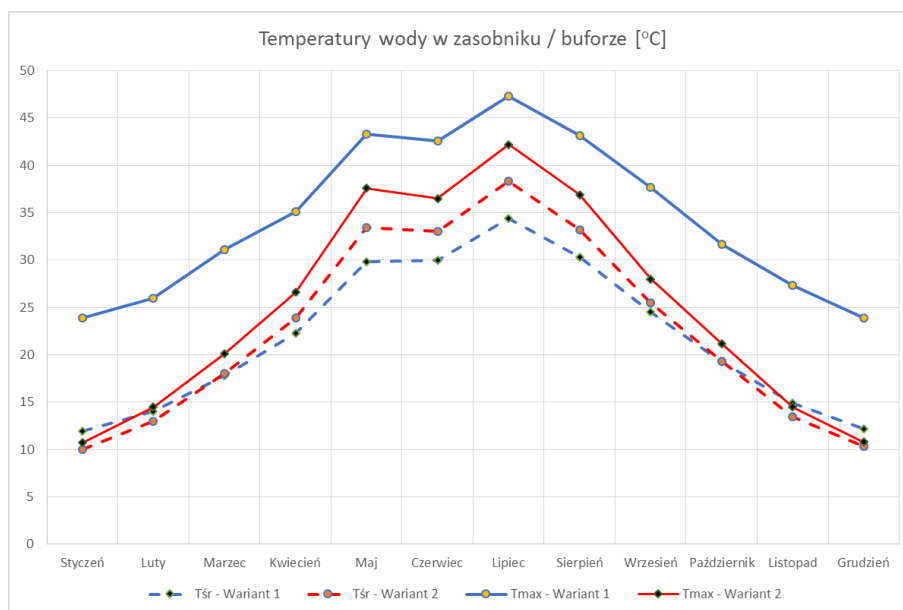
W układzie technologicznym według wariantu 2 w instalacji c.w.u. nie występuje zagrożenie rozwoju bakterii *Legionella*. Zagrożenie takie może wystąpić w wariantie 1. Nienaturalnymi środowiskami, w których rozwijają się te bakterie, są m.in. instalacje i zasobniki ciepłej wody użytkowej. Bakterie rozmnażają się w zakresie temp. 20-50°C, a optymalna temperatura dla ich rozwoju wynosi ok. 38°C.



Rys. 2. Stopień pokrycia zapotrzebowania na c.w.u.  
Fig. 2. Domestic hot water solar fraction



Rys. 3. Sprawności analizowanych systemów  
Fig. 3. The efficiency of analyzed systems



Rys. 4. Temperatury średnie i maksymalne w zbiorniku / buforze  
 Fig. 4. Average and maximum temperatures in hot water tank / buffer

Od stycznia 2008 r. obowiązuje przepis zobowiązujący do badania w budynkach zamieszkania zbiorowego i w zakładach opieki zdrowotnej zamkniętych stanu instalacji ciepłej wody na obecność bakterii Legionella, a w przypadku jej wykrycia (po przekroczeniu granicznego stężenia bakterii 100 jtk / 100 ml) obowiązek dezynfekcji instalacji [Rozporządzenie MI 2002]. Jedną z podstawowych zasad dostosowania instalacji ciepłej wody do działań zmniejszających ryzyko zakażenia bakteriami Legionella zawarta jest w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Rozporządzenie MZ 2007]. Zmiana dotycząca zakresu temperatury wody w instalacji w czasie dezynfekcji termicznej w przedziale 70-80°C wynika z wprowadzonych standardów w innych krajach europejskich. W rozporządzeniu nie określono czasu trwania dezynfekcji termicznej. Należy przyjąć, że prowadzi się ją do czasu, aż na powrocie instalacji cyrkulacyjnej otrzymamy temperaturę nie mniejszą niż 70°C. W przypadku instalacji bez cyrkulacji należy przyjąć, że temperatura powyżej 70°C powinna być uzyskana na zakończeniach instalacji, gdyż podniesienie temperatury tylko w zasobniku nie spowoduje zniszczenia bakterii w pionach i przewodach.

Oprócz najbardziej rozpowszechnionej metody termicznej stosuje się również dezynfekcję chemiczną. Przeprowadza się ją najczęściej przy wykorzystaniu podchlorynu sodu, a ostatnio głównie dwutlenku chloru, który dawkowany jest w sposób ciągły do utrzymania jego stałego stężenia na poziomie 0,2-04



mg/dm<sup>3</sup>. Automatyczne zestawy do przeprowadzania takiej dezynfekcji oferuje obecnie wiele firm (np. Grundfoss). Metody fizyczne (naświetlanie promieniami UV, filtrowanie) wykorzystywane są sporadycznie.

Zalecenie stosowania układów z wykorzystaniem zbiorników buforowych wody grzewczej dla dużych instalacji solarnych nie wynika z faktu uzyskiwania wyższego stopnia pokrycia zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową i wyższej sprawności takiego układu, lecz tylko z możliwości wyeliminowania bardzo kłopotliwego do przeprowadzenia przegrzewu ciepłej wody użytkowej w trakcie dezynfekcji termicznej. Jest to szczególnie istotne w przypadku potrzeby wykorzystania energii elektrycznej dla przeprowadzenia dezynfekcji termicznej, co może mieć miejsce w okresach letnich kiedy maksymalne temperatury wody sieciowej nie przekraczają 70°C.

### PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza porównawcza wykazała, że warianty analizowanych układów technologicznych są porównywalne. Nieznacznie wyższy stopień pokrycia zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową i sprawność systemu w przypadku wariantu 1 jest konsekwencją wprowadzenie dodatkowego stopnia podgrzewu c.w.u. w wariacie 2. Przy wyborze wariantu rozwiązania należy również przeprowadzić analizę ekonomiczną. Z oczywistych względów koszty inwestycyjne będą wyższe dla wariantu 2, natomiast koszty eksploatacyjne w przypadku konieczności przeprowadzania dezynfekcji instalacji c.w.u. dla wariantu 1. Dla obu wariantów dobór elementów układu technologicznego (powierzchni kolektorów, pojemności układu magazynowania energii itd.) powinien być optymalizowany przy wykorzystaniu programów komputerowych.

### LITERATURA

1. CHWIEDUK, D.; 2011. Energetyka słoneczna budynku, Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa.
2. FOIT, H.; 2010. Indywidualne węzły ciepłne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
3. GRONOWICZ, J.; 2010. Niekonwencjonalne źródła energii, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacyjnej – PIB, Radom – Poznań.
4. GUŁA, A.; 2008. Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii. Poradnik, TARBONUS, Kraków – Tarnobrzeg.

5. KOZIOŁ, J.; 2012. Przegląd uwarunkowań i metod oceny efektywności wykorzystania odnawialnych źródeł energii w budownictwie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
6. LEWANDOWSKI, W. M.; 2012. Proekologiczne, odnawialne źródła energii, Wydawnictwo WNT, Warszawa.
7. MIROWSKI, A., LANGE, G., JELEŃ, I.; 2004. Materiały do projektowania kotłowni i nowoczesnych systemów grzewczych, DWT Viessmann.
8. NAROWSKI P., WISZNIEWSKI A.; 2005. Konsekwencje wprowadzenia termicznej dezynfekcji instalacji ciepłej wody zasilanych z miejskich systemów ciepłowniczych, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, nr 11.
9. PLUTA, Z.; 2006. Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U.75/2002, poz. 690 wraz z późniejszymi zmianami.
11. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29.03.2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Dz.U. nr 61, poz. 417
12. ZIEMBICKI, P.; BERNASIŃSKI, J.; 2013. Rozproszone kogeneracyjne źródła energii dla budynków. Wyd. Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra.

## **COMPARISON OF THE LARGE SOLAR TECHNOLOGICAL SYSTEMS COOPERATING WITH THE DISTRICT HEATING NODES**

### *S u m m a r y*

*The paper presents the technological systems of large solar installations cooperating with district heating substations, which is dedicated for multi-family buildings. One of the topics mentioned in the paper is connected with using of computer simulation for the selection of these installations. In the article authors described the results of simulation and compared selected indicators characterizing these systems (efficiency, hot water solar fraction and water temperature in the tank and buffer).*

**Key words:** district heating substations, renewable energy, solar collectors, system efficiency, computer simulation