UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI • ZESZYTY NAUKOWE NR 143

Nr 23 **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA** **2011**

PIOTR ZIEMBICKI, JAN BERNASIŃSKI*

ALGORYTMY STEROWANIA JEDNOSTOPNIOWYMI WĘZŁAMI CIEPŁOWNICZYMI WSPOMAGANYMI INSTALACJAMI KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

S t r e s z c z e n i e

W publikacji przedstawiono schematy technologiczne jednostopniowych węzłów ciepłowniczych wspomaganych instalacją kolektorów słonecznych. Przeanalizowano scenariusze ich pracy w zależności od zapotrzebowania na energię, nasłonecznienia oraz charakterystyki pracy instalacji ciepłej wody użytkowej i centralnego ogrzewania. Zaproponowano algorytmy sterowania pracą węzłów, a także określono warunki pracy automatyki regulacyjnej oraz urządzeń wykonawczych.

Słowa kluczowe: węzły ciepłownicze, energia odnawialna, kolektory słoneczne, sterowanie, automatyka regulacyjna, algorytmy sterowania

WPROWADZENIE

Prawidłowe funkcjonowanie węzłów ciepłowniczych, stanowiących źródło ciepła dla obiektów mieszkalnych, jest niezwykle istotne zarówno z punktu widzenia zaspokajania zapotrzebowania na energię, jak również w aspekcie racjonalizacji jej zużycia. Konieczność ograniczania zużycia paliw kopalnych wymusza integrację węzłów ciepłowniczych z odnawialnymi źródłami energii (np. instalacjami kolektorów słonecznych), co znacząco komplikuje ich układy technologiczne oraz wpływa na sposób pracy. Istotne jest zarówno prawidłowe zaprojektowanie technologii węzła pracującego w powiązaniu z kolektorami słonecznymi, jak również wybór sposobu regulacji i sterowania poszczególnymi elementami układu. Automatyka regulacyjna powinna być dobrana i skonfigurowana w sposób umożliwiający uwzględnienie wszystkich istotnych dla pracy węzła parametrów, takich jak temperatura zewnętrzna, nasłonecznienie, temperatury w pomieszczeniach, temperatura ciepłej wody użytkowej i inne. Niezwykle istotne jest również zdefiniowanie algorytmów sterowania, które po zaim-

* Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski

plementowaniu w sterownikach i regulatorach zamontowanych w węźle ciepłowniczym będą kontrolować pracę poszczególnych jego elementów [4].

UKŁADY TECHNOLOGICZNE WĘZŁÓW CIEPŁOWNICZYCH ZINTEGROWANYCH Z INSTALACJAMI KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

Wybór rozwiązania funkcjonalnego i koncepcji współpracy odnawialnych źródeł energii z węzłem ciepłowniczym zależy od przyjęcia stopnia pokrycia przez OŹE zużycia ciepła w budynku. Analizowane układy technologiczne węzłów ciepłowniczych współpracujących z instalacją kolektorów słonecznych są przeznaczone do pracy w budynku mieszkalnym, którego koncepcja powstaje w ramach realizacji celowego projektu badawczego pod nazwą MBJ2030 (Miejski Budynek Jutra 2030 r.) [1], [2], [3].

Przedstawione rozwiązania współpracy z węzłem ciepłowniczym opierają się na wykorzystaniu pojemnościowego podgrzewacza ciepłej wody użytkowej i obejmują układy technologiczne z jednostopniowym węzłem ciepłej wody użytkowej z kolektorami słonecznymi wspomagającymi głównie podgrzew ciepłej wody użytkowej, a w miarę możliwości także niskoparametrową instalację centralnego ogrzewania (podgrzewacze pojemnościowe ciepłej wody w okresach braku zasilania z instalacji solarnej mogą dodatkowo pełnić funkcję zasobników ciepłej wody).

Wszystkie węzły mogą pracować z podgrzewem ciepłej wody użytkowej w podgrzewaczu pojemnościowym do temperatury 60^{o}C lub 90^{o}C. Scenariusze pracy automatyki regulacyjnej zostały opracowane dla wybranych przykładowo układów współpracy węzłów ciepłowniczych z instalacjami solarnymi, dla których wyznaczono punkty pomiarowe i elementy wykonawcze [4]. Dla innych układów mogą być one tworzone poprzez analogię.

Przyjęto, że instalacja kolektorów słonecznych pracować będzie z priorytetem podgrzewu ciepłej wody użytkowej.

SCENARIUSZE (ALGORYTMY) PRACY WĘZŁÓW CIEPŁOWNICZYCH

W analizowanych układach węzłów ciepłowniczych uwzględniono czujnik natężenia promieniowania słonecznego. Czujnik ten w pewnym stopniu „upraszcza" pracę układu kontroli i sterownia, a o celowości jego zastosowania w konkretnym przypadku decydować powinien projektant. Rezygnacja z zastosowania czujnika nie zmienia przedstawionych scenariuszy (algorytmów) pracy instalacji, tj. sposobu jej kontroli i sterowania.

W scenariuszach kontroli i regulacji układu uwzględniono także warunek dotyczący sprawdzania celowości załączania pomp instalacji solarnej w obie-

gach podgrzewu c.w.u. i niskoparametrowej instalacji c.o. (PSc.w.u. i PSc.o.). Oprócz podstawowego warunku dotyczącego różnicy temperatur pomiędzy czynnikiem grzewczym na wyjściu z instalacji solarnej, a odpowiednio temperaturą wody w dolnej części podgrzewacza pojemnościowego Pwu i temperaturą powrotu z instalacji c.o., tj.:

- podgrzew c.w.u. $T2 > T1A + \Delta T1$
- instalacja c.o. $T2 > T9 + \Delta T3$

sprawdzane są dodatkowo różnice temperatur na zasilaniu i powrocie instalacji solarnej w obiegach, tj.:

- podgrzew c.w.u. $T2 - T3 > \Delta T2$
- instalacja c.o. $T2 - T10 > \Delta T4$

Warunki te dotyczą porównania wielkości chwilowego uzysku energii z instalacji solarnej i energii pobranej przez pompy obiegowe (z uwzględnieniem ceny energii elektrycznej). Tak jak w przypadku zasadności stosowania czujnika natężenia promieniowania słonecznego, o celowości stosowania dodatkowego warunku oraz wielkościach zmian temperatur $\Delta T1 \div \Delta T4$ dla konkretnego obiektu decydować będzie projektant. Identycznie jak poprzednio eliminacja dodatkowego warunku nie zmienia przedstawionych scenariuszy.

Przedstawione scenariusze zawierają tylko uproszczony algorytm sterowania pracą instalacji c.o. Przyjęty warunek rozpoczęcia ogrzewania budynku w zależności od minimalnej temperatury zewnętrznej jest konsekwencją tego uproszczenia.

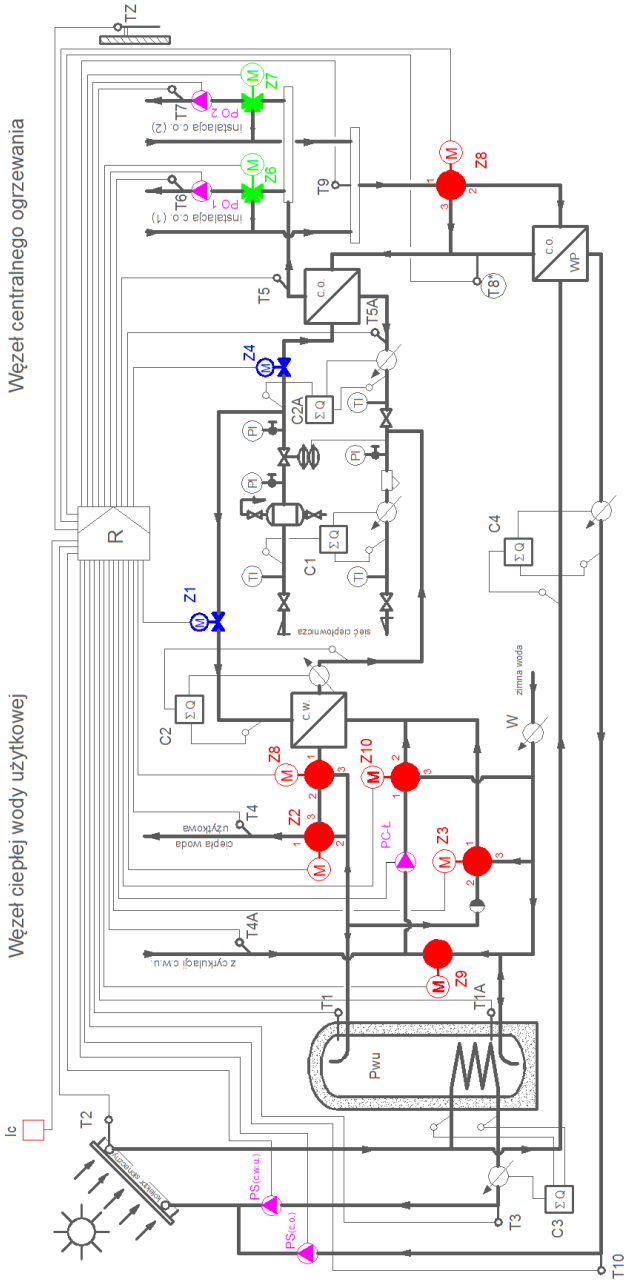
Poniżej przedstawiono algorytmy kontroli i sterowania pracą dwóch układów technologicznych. Podane ustawienia zaworów trójdrogowych (np. Z2(1-2)) określają możliwy kierunek przepływu czynnika. W przypadku zaworów dwudrogowych, w tym także regulacyjnych stosowane oznaczenia (ZAM) i (OTW) oznaczają odpowiednio całkowite zamknięcie i otwarcie zaworu.

Przyjęte temperatury na wyjściu ciepłej wody z pojemnościowego podgrzewacza w konkretnym przypadku danego budynku mogą zostać skorygowane w zależności od strat ciepła w instalacji ciepłej wody użytkowej.

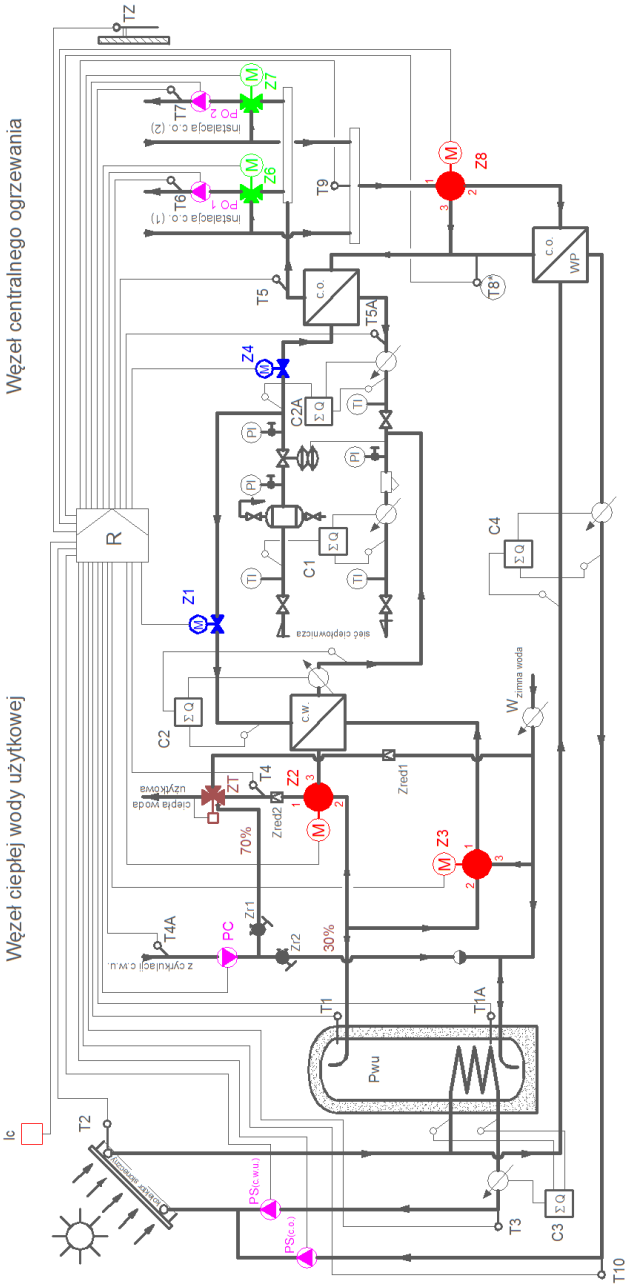
W celu uproszczenia opisu poszczególne układy technologiczne oznaczono numerem wariantu, zgodnie z poniższym zestawieniem:

- wariant 1 – układ technologiczny dotyczący współpracy kolektorów słonecznych z jednostopniowym węzłem c.w.u. i węzłem c.o. (podgrzew wody w Pwu do temperatury 60^oC z możliwością wykorzystania podgrzewacza Pwu jako zasobnika ciepłej wody użytkowej),
- wariant 2 – układ technologiczny dotyczący współpracy kolektorów słonecznych z jednostopniowym węzłem c.w.u. i węzłem c.o. (podgrzew wody w Pwu do temperatury 90^oC z możliwością wykorzystania podgrzewacza Pwu jako zasobnika ciepłej wody użytkowej).

Rysunki dla poszczególnych wariantów przedstawiono poniżej.



Rys. 1. Układ technologiczny węzła ciepłowniczego – wariant 1.
Fig. 1. Technological scheme of district heating substation – variant 1.



Rys. 2. Układ technologiczny węzła ciepłowniczego – wariant 2.
Fig. 2. Technological scheme of district heating substation – variant 2.

SCENARIUSZ (ALGORYTM) PRACY UKŁADU TECHNOLOGICZNEGO WARIANT 1

Schemat układu przedstawiono na rys. 1, natomiast scenariusz pracy instalacji – jej kontroli i sterowania na rys. 3. W zależności od wielkości natężenia promieniowania słonecznego Ic i od przyjętej wartości minimalnej tego natężenia sprawdzana jest celowość załączania pomp instalacji solarnej. W przypadku spełnienia warunku minimalnego natężenia promieniowania:

- $Ic > Icmin$

oraz odpowiednio wyższej temperatury czynnika grzewczego na wyjściu z instalacji solarnej T2 i spełnieniu warunku podstawowego:

- $T2 > T1A + \Delta T1$

oraz warunku dodatkowego:

- $T2 - T3 > \Delta T2$

załączana jest pompa PSc.w.u. i ustawiane są odpowiednio elementy wykonawcze (zawory trójdrogowe, odcinające i regulacyjne) w zależności od aktualnej temperatury c.w.u. na wylocie z podgrzewacza pojemnościowego Pwu, tj.:

- dla $T1 < 55^oC$ – c.w.u. dogrzewana jest w wymienniku zasilanym z sieci ciepłowniczej,
- dla $T2 \leq 60^oC$ – c.w.u. kierowana jest bezpośrednio do instalacji ciepłej wody użytkowej,
- dla $T1 > 60^oC$ – kierunek przepływu c.w.u. jak powyżej i wyłączana jest pompa obiegowa PSc.w.u. (jej podgrzew w Pwu).

W przypadku braku potrzeby wspomagania c.w.u. i spełniania warunku celowości podgrzewu niskoparametrowej instalacji c.o. przy jej pracy, tj.:

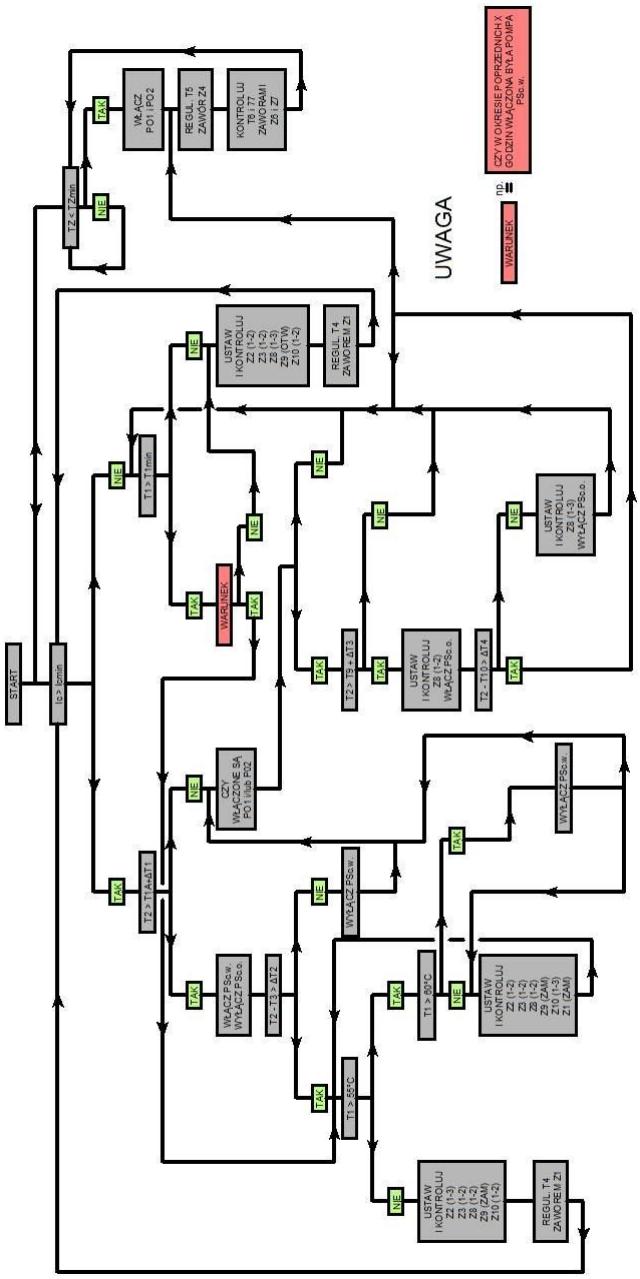
- $T2 > T9 + \Delta T3$

oraz warunku dodatkowego:

- $T2 - T10 > \Delta T4$

załączana jest pompa PSc.o., natomiast dogrzew wody do temperatury T5 w zależności od temperatury zewnętrznej TZ regulowany jest zaworem Z4, a temperatury czynnika na zasilaniu w poszczególnych obiegach instalacji grzewczej, regulowane są trójdrogowymi zaworami (sterowanie T6 i T7 przez zawory trójdrogowe mieszające Z6 i Z7).

W trakcie wspomagania przez instalacje solarną podgrzewu wody w instalacji c.o. (włączona PSc.o.) równolegle kontrolowane są parametry i warunki celowości podgrzewu w obiegu ciepłej wody użytkowej. W przypadku ich spełnienia wyłączana jest pompa obiegu c.o. (PSc.o.) i załączana jest pompa obiegu ciepłej wody użytkowej (PSc.w.u.), tj. realizowana jest praca układu z priorytetem podgrzewu ciepłej wody użytkowej przez instalację solarną.



Rys. 3. Algorytm regulacji i sterowania węzła ciepłowniczego – wariant 1.
Fig. 3. Algorithm of regulation and control of district heating substation - variant 1.

W przypadku braku możliwości wspomagania przez instalacje solarną podgrzewu ciepłej wody użytkowej i niskoparametrowej instalacji centralnego ogrzewania zapotrzebowanie na ciepło dla obu instalacji pokrywane jest z sieci ciepłowniczej. W tym trybie pracy poprzez przesyłanie sygnałów pomiędzy modułem sterującym podgrzewem ciepłej wody użytkowej i modułem sterującym podgrzewem czynnika w obiegach instalacji centralnego ogrzewania, także w sposób ciągły kontrolowane jest natężenie promieniowania słonecznego oraz sprawdzana jest możliwość pracy instalacji solarnej.

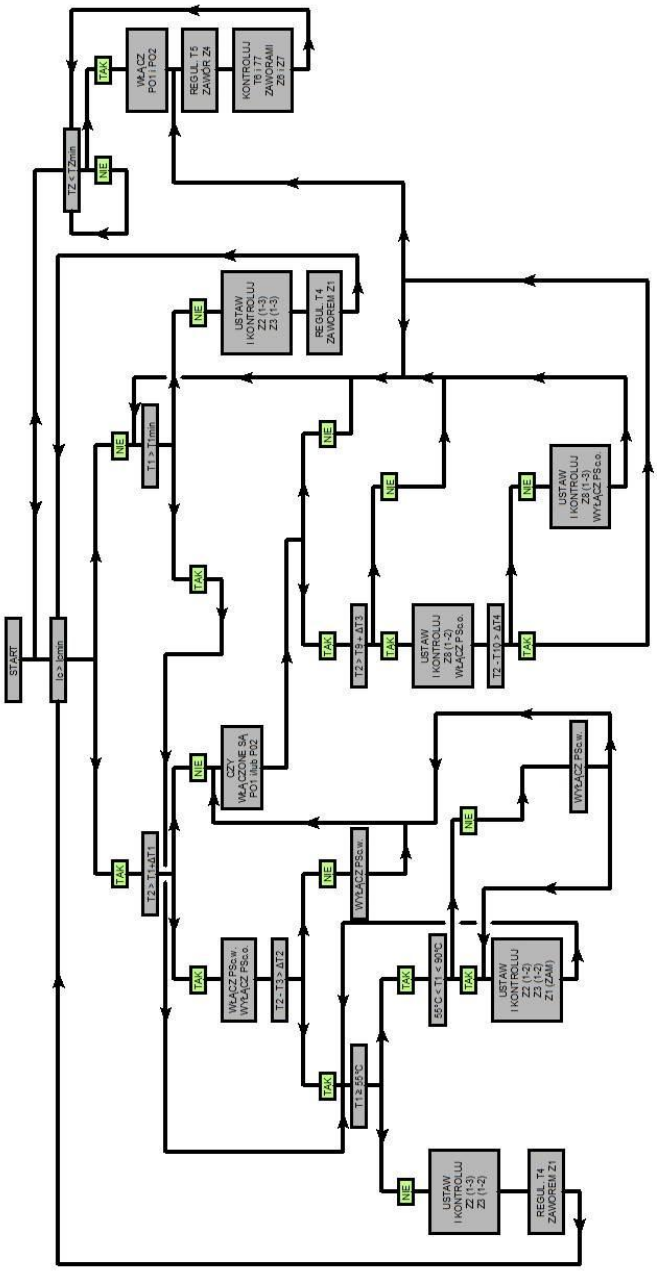
Analizowany układ umożliwia wykorzystanie podgrzewacza pojemnościowego Pwu jako zasobnika ciepłej wody użytkowej przy dostarczaniu ciepła tylko z sieci ciepłowniczej. Najtrudniejszym do zdefiniowania dla konkretnego obiektu jest warunek przejścia podgrzewacza pojemnościowego Pwu na tryb pracy jako zasobnika ciepłej wody użytkowej. Wcześniejsze przejście na ten tryb redukuje możliwość wykorzystania energii słonecznej, np. załadowanie zasobnika Pwu w godzinach nocnych eliminuje możliwość maksymalnego pozyskania energii słonecznej następnego dnia w godzinach porannych. Wpływa zatem znacząco na obniżenie efektywności energetycznej węzła ciepłowniczego.

Zdefiniowanie ostateczne tego warunku wymaga przeprowadzenia badań symulacyjnych układu, na etapie projektowania. Do przeprowadzenia tych symulacji konieczne jest wykorzystanie oprogramowania komputerowego, którego cechy będą umożliwiać korygowanie parametrów wszystkich zdefiniowanych w układzie technologicznym węzła ciepłowniczego elementów regulacyjnych i sterujących. Pozwoli to na dowolne kształtowanie pracy modelu układu i w konsekwencji na optymalny wybór konfiguracji i nastaw urządzeń automatyki regulacyjnej. W przedstawionym algorytmie przyjęto warunek dotyczący czasu od ostatniego wspomagania podgrzewu c.w.u. Warunek ten może być oczywiście zmieniony i rozbudowany, np. o porównanie dla danego dnia (dni) danych dotyczących nasłonecznienia z danymi statystycznymi oraz statystycznych tendencji ich zmian.

SCENARIUSZ (ALGORYTM) PRACY UKŁADU TECHNOLOGICZNEGO WARIANT 2

Schemat układu przedstawiono na rys. 2, natomiast algorytm jego pracy na rys. 4. Przyjęto, że regulacja przepływów wody (równoważnie hydrauliczne) przez termostatyczny zawór mieszający ZT, za pomocą zaworów regulacyjnych ZR odbywać się będzie przy rozruchu i kontroli pracy instalacji.

Układ ten w stosunku do powyżej przedstawionego wariantu 1 różni się zasadniczo tylko dopuszczalną temperatura ciepłej wody użytkowej w pojemnościowym podgrzewaczu Pwu.



Rys. 4. Algorytm regulacji i sterowania węzła ciepłowniczego – wariant 2.
Fig. 4. Algorithm of regulation and control of district heating substation - variant 2.

Podobnie jak poprzednim schemacie technologicznym w zależności od intensywności rozbioru ciepłej wody użytkowej i wielkości natężenia promienio-

wania słonecznego, a więc w konsekwencji temperatury c.w.u. na wyjściu z podgrzewacza Pwu (T1) zmieniają się nastawy zaworów trójdrogowych przełączających kierunki przepływu, tj.:

- dla T1 < 55°C – c.w.u. dogrzewana jest w wymienniku zasilanym z sieci ciepłowniczej,
- dla 55°C < T1 ≤ 90°C – c.w.u. kierowana jest bezpośrednio do instalacji ciepłej wody użytkowej z pominięciem wymiennika ciepła,
- dla T1 > 90°C – przy kierunku przepływu c.w.u. jak wyżej zostaje wyłączona pompa obiegowa PSc.w.u.

Tak samo jak w wariancie 1 wspomagany jest podgrzew w obiegach niskoparametrowej instalacji c.o., tj. z ciągłą kontrolą możliwości zmiany trybu pracy na podgrzew c.w.u. Układ ten umożliwia także wykorzystanie podgrzewacza pojemnościowego Pwu jako zasobnika ciepłej wody przy podgrzewie realizowanym tylko z sieci ciepłowniczej.

Uwagi co do warunku przejścia Pwu z funkcji podgrzewacza pojemnościowego do funkcji zasobnika ciepłej wody jak w wariancie 1.

Przedstawiony algorytm można bardzo prosto przystosować do układu z podgrzewem c.w.u. w podgrzewaczu Pwu do 60°C, poprzez zmianę kryteriów dotyczących temperatur c.w.u. (T1) na wyjściu z podgrzewacza Pwu (jak w wariancie 1).

PODSUMOWANIE

Przedstawione powyżej scenariusze pracy układów technologicznych węzłów ciepłowniczych wspomaganych przez instalację solarną i algorytmy kontroli i sterowania pracą układów mają charakter wytycznych do doboru automatyki regulacyjnej. Zawarte w algorytmach kryteria sterowania pracą układów dla konkretnego budynku muszą być uściślone na etapie projektowania. Tak jak wielokrotnie podkreślano optymalne uściślenie tych kryteriów powinno być poprzedzone analizą przeprowadzoną na podstawie symulacji pracy układu. Przeprowadzić ja można przy pomocy dostępnych, komercyjnych programów komputerowych, np. Polysun.

Przedstawione algorytmy kontroli i sterowania mogą być w prosty sposób adoptowane dla innych układów technologicznych.

W przedstawionych scenariuszach nie uwzględniono potrzeb termicznej dezynfekcji układu podgrzewu ciepłej wody użytkowej z uwagi na brak ostatecznego zdefiniowania warunków jego przeprowadzania. Jest ono konieczne zwłaszcza w dłuższych okresach podgrzewu c.w.u. w podgrzewaczu Pwu, przy T1 < 55°C oraz przed ponownym podgrzewem ciepłej wody w podgrzewaczu Pwu, po dłuższym okresie zasilania układu tylko z sieci ciepłowniczej (przy wyłączonym z obiegu podgrzewu ciepłej wody podgrzewacza Pwu).

LITERATURA

1. KOZŁOWSKI B, PŁACHTA J.: *Opis koncepcji współpracy instalacji pozyskiwania energii słonecznej z węzłami ciepłowniczymi oraz układem odzysku ciepła ze ścieków, obejmujący parametry pracy, schemat działania, parametry urządzeń i założenia sterowania,* Raport W3.2.2, MBJ2030, Warszawa 2010
2. KOZŁOWSKI B., PŁACHTA J.: *Opis propozycji koncepcji systemu integrującego OŹE z węzłem ciepłowniczym,* Raport W2.4.3, MBJ2030, Warszawa 2010
3. KOZŁOWSKI B., PŁACHTA J.: *Opis propozycji koncepcji rozwiązania pozyskiwania energii słonecznej w zależności od potrzeb mieszkańców budynków wielorodzinnych miejskich,* Raport W2.4.4, MBJ2030, Warszawa 2010
4. ZIEMBICKI P., KUCZYŃSKI T.: *Lista urządzeń wykonawczych i ich parametrów potrzebnych do efektywnej kontroli instalacji pozyskiwania energii słonecznej współpracującymi z węzłami ciepłowniczymi,* Raport W4.2.1, MBJ2030, Warszawa 2010

ALGORITHMS OF REGULATION AND CONTROL OF ONE-STAGE DISTRICT HEATING SUBSTATIONS ASSISTED BY SOLAR COLLECTOR INSTALLATIONS

S u m m a r y

The publication presents a technological schemes of one-stage district heating substations assisted by solar collector installations. In the paper was presented a scenarios of work of this installations depending on various parameters, including heat energy demand, intensity of solar radiation and characteristics of domestic hot water installation and domestic heating systems. The authors proposes an algorithms of regulation and control of district heating substations and defines a conditions of work of basic regulation subsystems

Key words: district heating substations, renewable energy, solar collectors, control, control devices, control algoritms