

WYKORZYSTANIE CIEPŁA SKRAPLANIA JAKO DOLNEGO ŹRÓDŁA ENERGII SPRĘŻARKOWEJ POMPY CIEPŁA (SPC)

Część 1

inż. Rafał MATERA
YORK Polska
dr inż. Zenon BONCA
Politechnika Gdańska

1. CHŁODNICTWO A ENERGIA

Zainteresowanie wykorzystaniem ciepła skraplania jest podyktowane m. in. poszukiwaniem nowych, ekologicznych źródeł energii (w tym przypadku jest to energia wtórna). Przyczyny takiego stanu rzeczy są następujące:

- wzrost cen nośników energii,
- wzrost liczby ludności: dla przykładu 2-krotny wzrost liczby mieszkańców pociągnie za sobą 3-krotny wzrost produkcji energii¹,
- wzrost jednostkowego zużycia energii na osobę, spowodowany postępowaniem i dążeniem ludzi do życia w luksusie,
- wyczerpywanie się zasobów paliw kopalnych,
- gwałtowny wzrost koncentracji CO₂ w atmosferze ziemskiej, co powoduje tworzenie tzw. efektu cieplarnianego.

Chłodnictwo i klimatyzacja są dziedzinami techniki wykorzystującymi znaczne ilości energii elektrycznej. Przyczyniają się tym do degradacji środowiska naturalnego, ponieważ praktycznie cała energia elektryczna wytwarzana na przykład w Polsce powstaje ze spalania paliw kopalnych, a proces ten pociąga za sobą określone – szkodliwe dla środowiska skutki. Szacuje się, że aż 15% wyprodukowanej na świecie energii jest przeznaczona na cele chłodnictwa i klimatyzacji!

O tym, jak wielki wpływ na środowisko ma emisja zanieczyszczeń do atmosfery, świadczy powstanie **Protokołu Montrealskiego**, który m. innymi zakłada wycofanie z użycia czynników z grup CFC i HCFC. Powodem tego jest właśnie ich znaczny wpływ na degradację środowiska naturalnego. W celu oceny szkodliwości czynników chłodniczych, wprowadzono szereg wskaźników, a są to:

- **ODP** (ang. Ozone Depletion Potential) – potencjał niszczenia ozonu odniesiony do freonu R11, dla którego ODP = 1,
- **GWP** (ang. Greenhouse Warming Potential) – potencjał „efektu cieplarnianego” odniesiony do freonu R11, dla którego GWP = 1,
- **POCP** – potencjał smogowy,
- **TEWI²** (ang. Total Equivalent Warming Impact) – całkowity równoważnik efektu cieplarnianego, który uwzględnia wskaźnik GWP, ilość czynnika w urządzeniu, emisję CO₂ do atmosfery w procesie produkcji energii elektrycznej, żywotność czynnika w atmosferze.

1.1. Problematyka odzysku ciepła skraplania

W obliczu powyższych faktów wydaje się celowe wykorzystywanie ciepła skraplania w celach grzewczych i do przygotowania CWU, gdyż przyczyni się to do zmniejszenia liczby konwencjonalnych kotłowni olejowych, węglowych i gazowych. To zaś pocią-

gnie za sobą redukcję zanieczyszczeń trafiających do atmosfery.

Ciepło skraplania można wykorzystać w różnoraki sposób, a mianowicie:

- w procesach technologicznych:
 - w przetwórstwie żywności (chłodzenie mleka, warzenie piwa, przetwórstwo mięsa),
 - do suszenia (np. drewna) – do podgrzania powietrza ochłodzonego uprzednio do punktu rosy,
 - do ogrzewania podłóg w chłodniach i mroźniach w celu przeciwdziałania zamarzaniu gruntu (aby nie występowała dylatacja podłóg),
- do podgrzewania powietrza w pomieszczeniach (biura, maszynownie),
- jako dolne źródło sprężarkowych pomp ciepła (SPC),
- do odszraniania parowników.

Ciepło odpadowe, jakim jest ciepło skraplania, może być doskonałym dolnym źródłem SPC. Należy jednak pamiętać o wymaganiach stawianych dolnemu źródłu ciepła. Z analizy przeprowadzonej w pracy [3] wynika, że najwyższą wydajność skraplacza dla porównywalnych warunków pracy, uzyskuje się z urządzenia amoniakalnego, dlatego najwydajniejsza byłaby współpraca pompy ciepła z urządzeniem napełnionym tym płynem roboczym. Dotychczas stosowane duże instalacje przemysłowe chłodni

¹ Wg [1]

² Wskaźnik ten ma kilka wersji, uwzględniających różne czynniki.

składowych, czy też sztucznych lodowisk działały w oparciu o ten właśnie czynnik, co znacznie rozszerza zakres możliwości stosowania tego typu rozwiązań. Oczywiście możliwa jest współpraca z urządzeniem chłodniczym napełnionym innym czynnikiem. W każdym przypadku należy indywidualnie przeanalizować, czy wprowadzane do atmosfery ciepło skraplania jest na tyle duże, aby celowy był jego odzysk za pomocą SPC.

Włączenie do instalacji chłodniczej bloku odzysku ciepła skraplania w postaci SPC niesie ze sobą szereg korzyści, będących sumą korzyści wynikających zarówno z odzysku ciepła skraplania, jak i zastosowania ogrzewania opartego na pompie ciepła. Należą do nich:

- a) *Ochrona środowiska.* Wg [12] wyposażenie każdego urządzenia chłodniczego w Polsce o wydajności powyżej 10 kW w węzeł odzysku ciepła skraplania przyczyniłoby się do zmniejszenia spalania w kotłach:
 - węgla o około 1 mln t,
 - oleju o około 800 tys. l,
 - innych surowców opałowych o około 600 – 800 tys. t.
- b) *Polepszenie bilansu energetycznego urządzenia chłodniczego.*
- c) *Niski koszt inwestycji.* Wykorzystując ciepło skraplania w SPC, nie musimy inwestować w dolne źródło – ono już istnieje. W związku z tym poniesione na przedsięwzięcie koszty ulegają obniżeniu nawet o 50%. Cena układu automatyki sprzęgającego pracę urządzenia chłodniczego i SPC z pewnością jest mniejsza niż koszt wykonania dolnego źródła w postaci wymiennika gruntowego czy studni. Przykładowo układ wyposażony w odzysk prawie 100% energii cieplnej z urządzeń chłodniczych zainstalowanych w szczecińskim supermarkecie „zwrócił się” w ciągu 2 – 3 lat. Po upływie 3 lat odzyskana energia w przeliczeniu na zł przyniosła ok. 40 – 50 tys. zł zysku rocznie.
- d) *Niski koszt eksploatacji.* Wykorzystanie ciepła skraplania jako

dolnego źródła SPC powoduje dodatkowe obniżenie tych kosztów. Wynika to z zależności opisującej współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła:

$$\text{COP} = \frac{T_k}{T_k - T_o} \quad (1)$$

gdzie:

- T_k – temperatura skraplania (górnego źródła),
- T_o – temperatura parowania (dolnego źródła).

Ciepło skraplania jest ciepłem o wyższym potencjale (wyższej temperaturze) niż możemy uzyskać z gruntu czy wody. Przy zastosowaniu tego samego systemu grzewczego, jak w przypadku gruntu czy wody jako dolnego źródła, a zatem dla tych samych parametrów górnego źródła ($T_k = \text{idem}$), różnica $T_k - T_o$ zmniejsza się, a zatem COP rośnie. Na skutek tego potrzebna jest mniejsza ilość energii elektrycznej doprowadzanej do SPC, aby uzyskać ten sam efekt grzewczy.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia nasuwa się wniosek, że odzysk ciepła skraplania jest jak najbardziej pożądany, a jego niewątpliwe zalety, to:

- ochrona środowiska,
- korzyści ekonomiczne,
- warunki do racjonalnego zużycia energii i jej poszanowania.

Śledząc literaturę fachową z zakresu chłodnictwa widać wyraźne zainteresowanie (i ciągły jego wzrost) odzyskiem ciepła skraplania. Szereg firm interesuje się tym problemem. Niektóre z nich proponują gotowe, typowe węzły odzysku tego ciepła (Danfoss, DK, Schiessl).

W przypadku pomp ciepła często spotyka się sytuację, w której jako dolne źródło wykorzystuje się ciepło odpadowe np. z procesów technologicznych (np. chłodzenie maszyn) lub zawarte w ściekach. Jak dotąd rzadko spotyka się jednak instalacje odzysku ciepła skraplania urządzenia chłodniczego przez pompy ciepła. Są one zdecydowanie rzadziej stosowane, niż

układy z podgrzewaczami wody. Przyczyny tego mogą być następujące:

- dotychczas stosunkowo niewielkie zainteresowanie SPC,
- większe zaawansowanie techniczne, co może zniechęcać projektantów,
- większe koszty inwestycyjne,
- konieczność zastosowania pewnych zabiegów, które uniezależnią pracę SPC od pracy urządzenia chłodniczego.

Mimo to warto podejmować działania mające na celu odzysk ciepła skraplania również i w tym kierunku. Obecnie inwestorzy, przewidując oszczędności w trakcie eksploatacji, życzą sobie, aby już w fazie projektowej uwzględnić odzysk ciepła skraplania z instalacji chłodniczej.

2. PRZYKŁAD OBIEKTU CHŁODNICZEGO I OCENA WIELKOŚCI CIEPŁA SKRAPLANIA DLA JEGO ZMIENNEGO OBCIĄŻENIA CIEPLNEGO

Ze względu na znaczne ilości ciepła skraplania, urządzenia amoniakalne nadają się szczególnie dobrze do tego, aby wyposażyć je w węzeł odzysku ciepła. Podyktowane jest to również tym, że instalacje napełnione amoniakiem znajdują zastosowanie głównie w dużych i średnich urządzeniach przemysłowych, w których mamy do czynienia z ciepłem skraplania licznym w setkach kW. Daje to większe możliwości wykorzystania tego ciepła, np. do ogrzewania osiedla domków jednorodzinnych lub szkoły, ewentualnie na potrzeby własne zakładu, w którym znajduje się taka instalacja.

Przykładem zastosowania może być instalacja chłodnicza **sztucznego lodowiska**. Zaletą tego typu obiektu jest wspomniana już wcześniej duża ilość ciepła skraplania wyprowadzana z układu oraz to, że znajduje się on zwykle w pobliżu innych zabudowań. W związku z tym wykorzystanie ciepła skraplania w celach grzewczych nie pociągałoby za sobą konieczności prowadzenia instalacji przesyłowej o znacznej długości, co powodowałoby straty ciepłone i w konsekwencji

mogłoby być nieopłacalne. Korzystanie z urządzenia chłodniczego lodowiska ma też swoje wady. Najważniejszą z nich jest zmienność jego obciążenia cieplnego. Jest to związane z tym, że inny strumień ciepła musi być odprowadzany podczas zamrażania tafli lodowej, a inny w trakcie utrzymywania jej w stanie zamrożonym. Zmiany w obciążeniu powoduje też różny sposób użytkowania takiego obiektu. Logiczne jest bowiem, że większa ilość ciepła musi być odprowadzona podczas gry w hokeja czy udostępnienia obiektu dla kilkudziesięciu ludzi w celach rekreacyjnych, a inna w przypadku np. zawodów łyżwiarstwa figurowego, gdy na tafli znajduje się jedna lub dwie osoby. Duży wpływ mają również warunki zewnętrzne, dlatego sztuczne lodowiska są najczęściej wyłączane z użytkowania w okresie letnim ze względu na zbyt duży koszt ich eksploatacji. W tym czasie mogą się odbywać w takim obiekcie wystawy, koncerty lub też może on być wykorzystywany do uprawiania innych sportów.

Biorąc pod uwagę duże ilości wyprowadzanego ciepła, do analizy przyjęto tego typu obiekt chłodniczy, aby jego ciepło skraplania wykorzystać jako dolne źródło ciepła SPC. Obiekt jest lodowiskiem krytym, które w okresie letnim wykorzystywane jest jako tor do jazdy na wrotkach oraz do imprez kulturalno-rozrywkowych, po uprzednim rozmrożeniu płyty. Okres, w jakim czynne jest lodowisko, jest określony cyklem treningów i meczy hokejowych, czyli od 15 lipca do 15 maja. Oprócz meczy hokejowych, obiekt jest również udostępniany ludności dla celów rekreacyjnych (dla 50 osób).

Lodowisko jest wyposażone w instalację z pośrednim systemem chłodzenia, w której czynnikiem chłodniczym jest amoniak (NH_3), zaś chłodziwem roztwór wodny chlorku wapnia (CaCl_2). Obiekt charakteryzuje się następującymi cechami:

- wymiary płyty wynoszą: $60,6 \times 30,6 = 1854,36 \text{ [m}^2\text{]}$;
- zamrażanie płyty odbywa się w dwóch etapach:
 - wychłodzenie górnej betonowej

warstwy płyty tak, aby jej zewnętrzna temperatura obniżyła się do -4°C ,

- wychłodzenie górnej betonowej warstwy płyty do temperatury -10°C , połączone z wymrożeniem 2 cm warstwy lodu na jej powierzchni;
- czas zamrażania płyty dla pierwszego i drugiego etapu wynosi odpowiednio (maksymalnie) 30 i 42 godziny;
- temperatura górnej warstwy lodu o grubości 2 cm wynosi -3°C ;
- w hali utrzymywana jest stała temperatura $t = +18^\circ\text{C}$ i wilgotność $\phi = 50\%$.

2.1 Określenie wielkości ciepła skraplania

Zazwyczaj, gdy stosuje się pompy ciepła w celach grzewczych, określa się w pierwszej kolejności parametry, jakimi musi charakteryzować się dolne źródło, aby zapewnić właściwą pracę takiej pompy (uzyskać określony efekt w postaci żądanej ilości CWU o danej temperaturze oraz zapewnić wymaganą temperaturę w ogrzewanych pomieszczeniach). W rozpatrywanym przypadku sytuacja jest odwrotna. Dysponując dolnym źródłem w postaci ciepła odpadowego, jakim jest ciepło skraplania urządzenia chłodniczego, należy określić jego wielkość, a następnie dobrać SPC, która może to ciepło wykorzystać w sposób najbardziej efektywny.

Sztuczne lodowisko jest obiektem specyficznym. Jak już stwierdzono, występują w nim znaczne różnice w obciążeniu cieplnym tafli lodowej (inne np. podczas zamrażania płyty, inne zaś podczas jej eksploatacji). Pociąga to za sobą również zmianę ilości ciepła skraplania, która jest usuwana z układu. Należy przy tym pamiętać, że nie można brać pod uwagę maksymalnej wielkości tego ciepła, gdyż w warunkach zmniejszenia obciążenia cieplnego lodowiska można doprowadzić do zachwiania warunków pracy urządzenia chłodniczego. Powodem tego jest fakt, że SPC dążyłaby do pobierania nadal wymaganej ilości ciepła, aby zagwarantować zadane parametry po stronie źródła górnego.

W celu określenia wielkości ciepła skraplania konieczne jest wyznaczenie obciążenia cieplnego lodowiska dla różnych warunków jego pracy, co dla przyjętego do analizy obiektu, przedstawiono w tabeli 1.

Najmniejsza wielkość ciepła skraplania jest odprowadzana z układu w nocy, podczas normalnej eksploatacji lodowiska. Powody tego są następujące (patrz tab. 1):

- mniejsza ilość ciepła napływa do tafli z powietrza w wyniku konwekcji,
- nie ma napływu ciepła spowodowanego tarcieniem łyżew,
- nie trzeba wychładzać płyty lodowiska,
- nie trzeba wymrażać lodu.

Wielkość tego ciepła w tych warunkach dla analizowanej instalacji chłodniczej lodowiska wynosi

$$\dot{Q}_k \text{ min} = 364,8 \text{ kW} .$$

Jest to minimalna (obliczeniowa) ilość ciepła, jaka jest przekazywana w skraplaczu przez cały okres eksploatacji obiektu i może być wykorzystywana przez SPC bez naruszenia parametrów pracy urządzenia chłodniczego. Występuje ona w nocy podczas normalnej eksploatacji lodowiska. W ciągu dnia wielkość ta wzrasta, podobnie jak w trakcie każdego z etapów zamrażania. W tych przypadkach nadmiar ciepła musiałby być odprowadzany przez skraplacze urządzenia chłodniczego.

Można zaproponować rozwiązanie, w którym zawsze wykorzystywane byłoby całe ciepło skraplania, ale prowadziłyby to do uzależnienia od niego efektu grzewczego osiąganego przez SPC. Należałoby wówczas wprowadzić dodatkowy system grzewczy, oparty np. na kotłach olejowych czy gazowych. Byłoby to konieczne, aby zapełnić lukę wynikającą z różnicy między maksymalną ilością ciepła skraplania, a jego ilością wynikającą z aktualnych warunków pracy urządzenia chłodniczego, która osiąga największą wartość właśnie w nocy i wynosi:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{k \text{ max}} - \dot{Q}_{k \text{ min}} \text{ [kW]}$$

Tab. 1. Obciążenie cieplne płyty lodowiska

zapotrzebowanie wydajności chłodniczej dla pierwszego etapu zamrażania płyty lodowiska (30 h, -4°C)	
w tym: wychłodzenie płyty	100 kW
ciepło napływające z powietrza w wyniku konwekcji	285,6 kW
ciepło napływające z gruntu	4,4 kW
ciepło od kondensacji i wymrażania wilgoci	99 kW
razem:	489 kW
zapotrzebowanie wydajności chłodniczej dla drugiego etapu zamrażania płyty lodowiska (42 h, -10°C)	
w tym: wychłodzenie od -4°C do -10°C w 42 h	6,9 kW
wymrożenie 20 mm lodu	86,4 kW
ciepło napływające z powietrza w wyniku konwekcji	272,6 kW
ciepło napływające z gruntu	4,4 kW
ciepło od kondensacji i wymrażania wilgoci	88 kW
razem:	458,3 kW
zapotrzebowanie wydajności chłodniczej podczas właściwej eksploatacji płyty lodowiska	
w tym: ciepło napływające z powietrza w wyniku konwekcji	389,4 kW
ciepło napływające z gruntu	4,4 kW
ciepło od kondensacji i wymrażania wilgoci	88 kW
ciepło od tarcia łyżew	4,9 kW
razem:	486,7 kW
zapotrzebowanie wydajności chłodniczej w nocy	
w tym: ciepło napływające z powietrza w wyniku konwekcji	168,7 kW
ciepło napływające z gruntu	4,4 kW
ciepło od kondensacji i wymrażania wilgoci	88 kW
razem:	261,1 kW

stąd

$$\dot{Q} = 263,5 \text{ kW}$$

Potrzebny byłby więc kocioł o mocy około 300÷350 [kW]³, aby przy współpracy z SPC zapewnić stały poziom mocy grzewczej.

Można wziąć pod uwagę jeszcze jedno rozwiązanie, a mianowicie takie, w którym pracowałyby dwa układy SPC. Pierwszy z nich wykorzystywałby niezmienną – minimalną ilość ciepła skraplania, która jest do dyspozycji przez cały czas pracy urządzenia chłodniczego, na cele użytkowników indywidualnych, u których występuje ciągle zapotrzebowanie na ciepło. Drugi układ włączany byłby podczas pracy urządzenia chłodniczego w ciągu dnia, gdy pracuje ono z około dwukrotnie większą wydajnością.

Rozwiązanie zaproponowane powyżej wydaje się być najbardziej racjonalne. Powody tego są następujące:

- praca SPC w stałych, nominalnych warunkach, jest najbardziej efektywna i najbardziej uzasadniona ekonomicznie,
- użytkownicy indywidualni mieliby zagwarantowaną stałą wydajność

grzewczą SPC, przez cały okres pracy urządzenia chłodniczego,

- nadmiar ciepła skraplania, występujący w ciągu dnia, może być wykorzystany na cele grzewcze lodowiska, które w nocy praktycznie go nie potrzebuje.

Maksymalna wydajność skraplacza wynosi 628 kW. Jest to wartość o ok. 15% mniejsza niż wynikająca z sumy wydajności chłodniczej dwóch parowników i mocy dostarczonej do napędu dwóch sprężarek, w które to urządzenia wyposażona jest analizowana instalacja chłodnicza lodowiska. W nocy zapotrzebowanie na moc chłodniczą obniża się do poziomu, przy którym pracuje tylko jedna sprężarka. Można więc założyć, że ciepło skraplania jest wtedy dwukrotnie mniejsze – ok. 300 kW. Jest to wartość o ok. 17% mniejsza niż wynika to z obliczeń teoretycznych (364,8 kW). Jest więc zapewniony odpowiedni margines bezpieczeństwa i po jego uwzględnieniu do dyspozycji jest ciepło skraplania w wysokości:

- ok. 300 kW przez cały czas pracy urządzenia chłodniczego,
- ok. 600 kW w ciągu normalnej eks-

ploatacji lodowiska w dzień oraz podczas zamrażania jego płyty.

Zaproponowano wykorzystać to ciepło w następujący sposób:

- 300 kW na cele grzewcze i przygotowanie CWU dla pobliskiego osiedla domków jednorodzinnych,
- 300 kW na cele grzewcze i przygotowanie CWU dla obiektu lodowiska.

Z uwagi na znaczną moc cieplną, istnieją dwie możliwości:

- wyposażenie każdego domu w indywidualną SPC oraz lodowiska w zestaw SPC,
- zastosowanie najmniejszej możliwej liczby pomp, zapewniających wykorzystanie ciepła skraplania, które jest do dyspozycji.

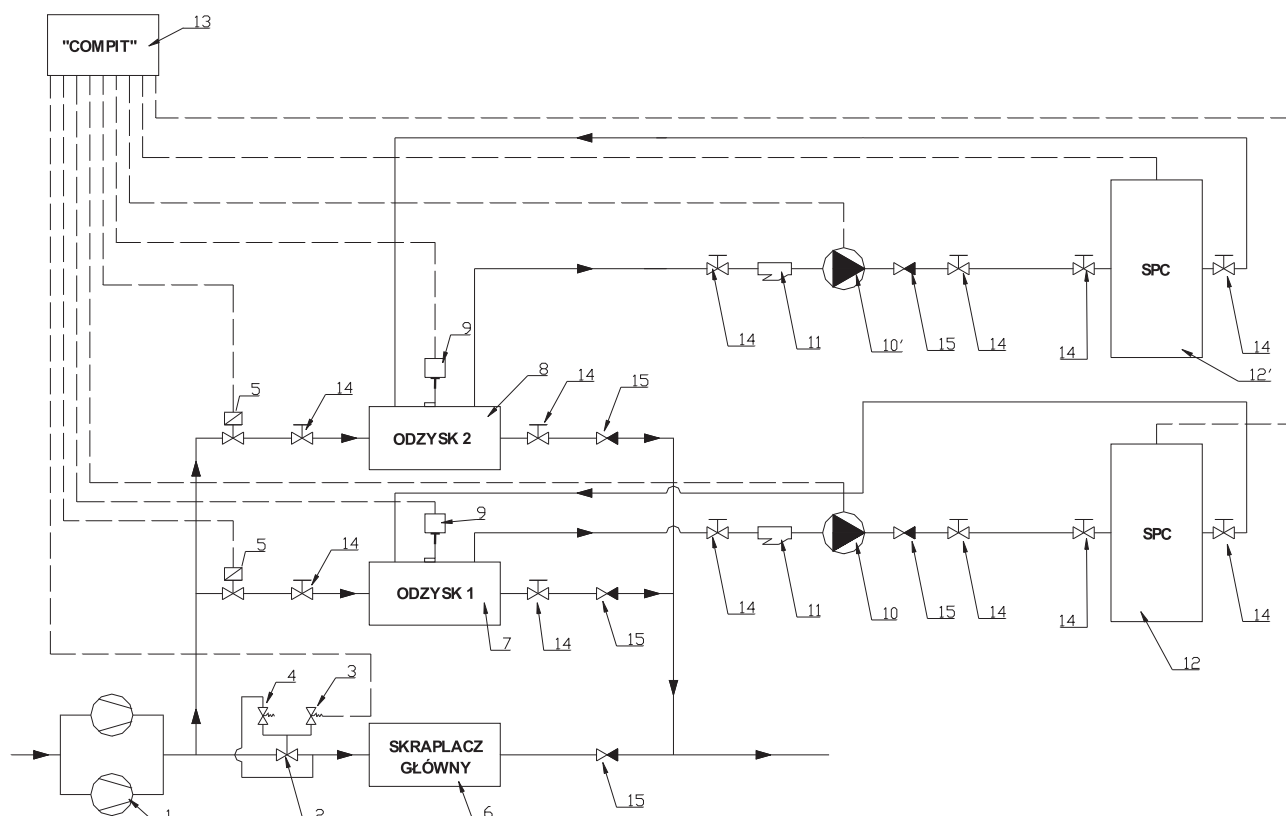
Pierwsza z wyżej wymienionych propozycji wiąże się ze znaczną rozbudową instalacji. Standardowy domek jednorodzinny o powierzchni 100 ÷ 200 m² potrzebuje ok. 8 ÷ 15 kW. Przy takich założeniach ciepło w ilości 300 ÷ 400 kW pokryłoby zapotrzebowanie na ciepło dla 20 do 40 wolnostojących budynków. Potrzebne byłoby więc tyle samo, a zatem 20 do 40 SPC. Wiązałoby się to z wysokim kosztem inwestycyjnym, dlatego do analizy wytypowano rozwiązanie drugie.

Większość oferowanych na rynku polskim SPC charakteryzuje się podobnymi parametrami pracy. Znaczące różnice występują jednak w cenach. Kierując się tym kryterium, do analizy wytypowano urządzenia firmy SeCeS-Pol. Największa pompa ciepła tego producenta charakteryzuje się wydajnością chłodniczą rzędu 60 kW. W związku z tym konieczne będzie dobranie kilku takich urządzeń.

Mając do wyboru system pośredni lub bezpośredni, przyjęto system pośredni, kierując się następującymi kryteriami:

- wg danych firmy SeCeS-Pol temperatura odparowania czynnika chłodniczego SPC nie powinna przekraczać +10°C, dlatego strata

³ Moc kotła musi być równa wydajności grzewczej SPC, która jest w przybliżeniu równa sumie wydajności chłodniczej SPC (równej ciepłu skraplania urządzenia chłodniczego) i mocy doprowadzanej do sprężarki SPC, która wynosi ok. 1/3 – 1/4 wydajności chłodniczej (dla COP = 3).



Rys. 1. Schemat ideowy węzła odzysku ciepła skraplania: 1 – sprężarka urządzenia chłodniczego, 2 – zawór główny, 3 – zawór pilotowy elektromagnetyczny, 4 – zawór pilotowy różnicy ciśnień, 5 – zawór elektromagnetyczny, 6 – skraplacz urządzenia chłodniczego, 7, 8 – skraplacze odzysku ciepła, 9 – termostat, 10, 10' – pompy obiegowe, 11 – filtr, 12, 12' – SPC, 13 – urządzenie sterujące, 14 – zawór odcinający, 15 – zawór zwrotny

cieplna wynikająca z dwukrotnego przekazywania ciepła nie jest w tych warunkach istotnym ograniczeniem;

- zastosowanie systemu pośredniego umożliwi umieszczenie SPC w oddzielnym pomieszczeniu. Ze względu na to, że odzysk ciepła skraplania jest projektowany dla istniejącego obiektu, dotychczasowa maszynownia chłodnicza lodowiska może być za mała;
- zastosowanie systemu pośredniego umożliwi pracę pompy ciepła niezależnie od cykliczności pracy urządzenia chłodniczego.

W proponowanym rozwiązaniu wybrano równoległy system połączenia skraplaczy.

3. PROJEKT WĘZŁA ODZYSKU CIEPŁA SKRAPLANIA (RYS. 1)

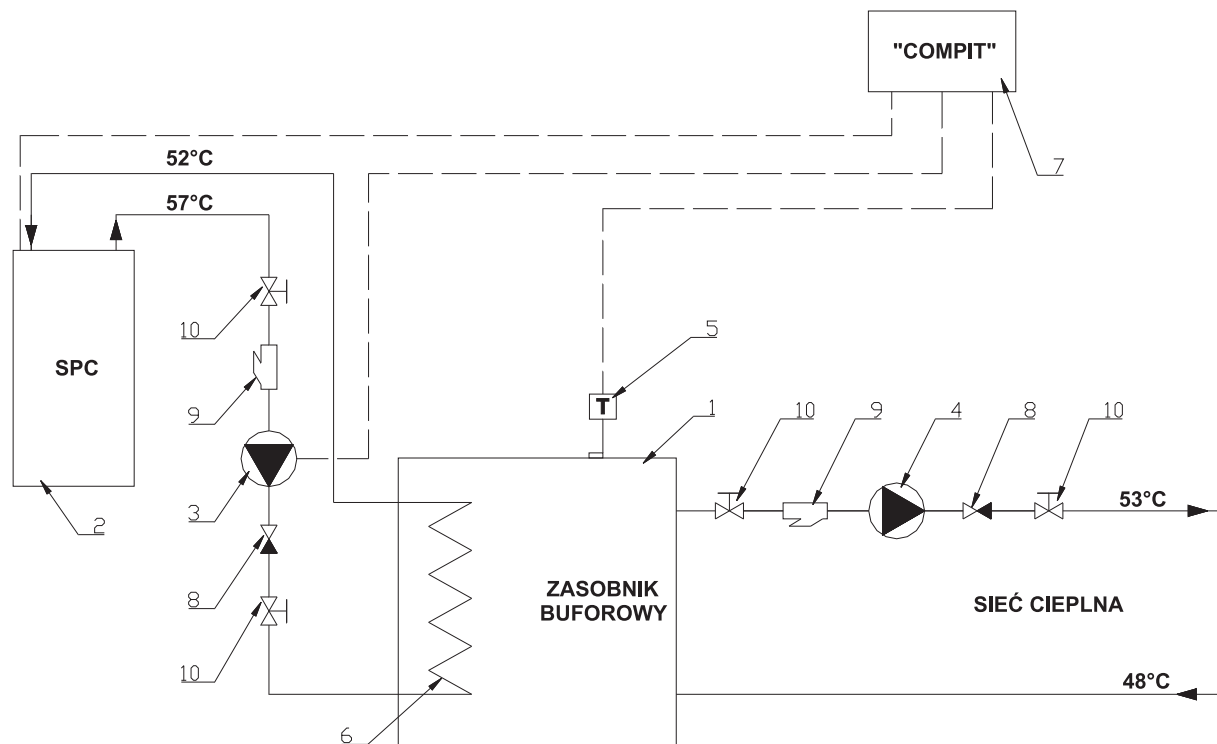
W związku z tym, że w instalacji chłodniczej lodowiska zastosowany

został skraplacz natryskowo – wyparny, a nie chłodzony wodą, nie można go wykorzystać. Zaproponowano włączenie równoległe dwóch dodatkowych skraplaczy (7) i (8), każdego o mocy 300 kW, współpracujących z SPC. Skraplacz (7) i SPC (12) pracują na rzecz domków jednorodzinnych, zaś skraplacz (8) i SPC (12') na rzecz lodowiska. Podczas pracy nocnej pracuje tylko jeden z nich, zaś przy wzroście ciepła skraplania w urządzeniu chłodniczym, włącza się drugi i wówczas obydwa pracują równoległe. Takie rozwiązanie powoduje, że obydwa skraplacze są wtedy lepiej wykorzystane, pracując z wyższymi sprawnościami.

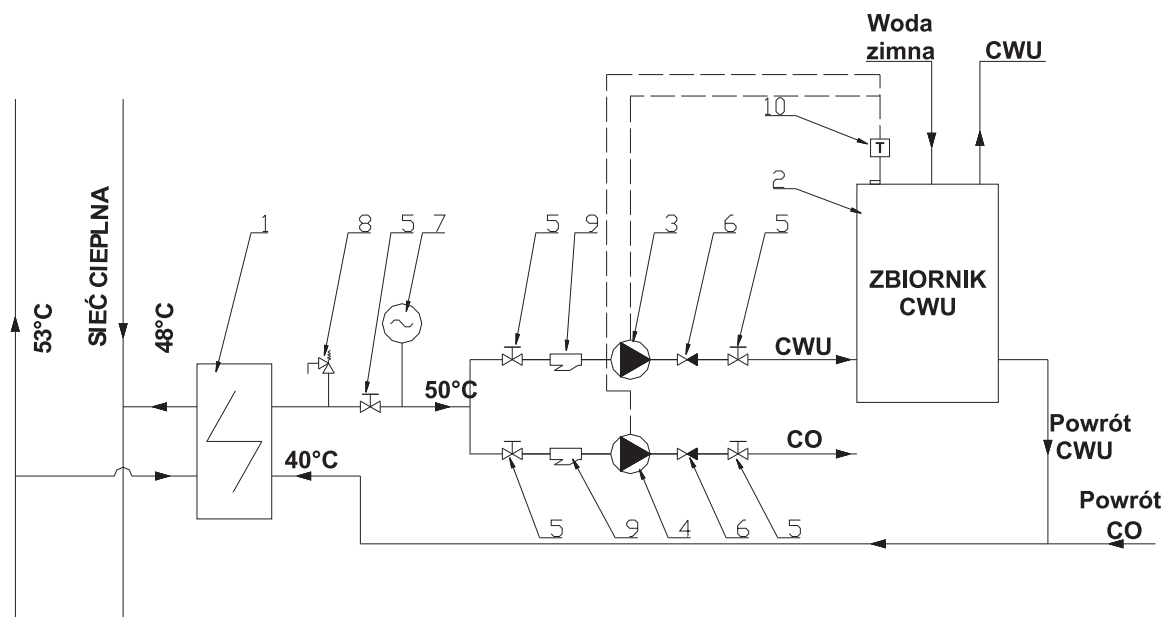
SPC pracują wówczas, gdy istnieje zapotrzebowanie na ciepło, co nie zawsze musi się pokrywać z pracą urządzenia chłodniczego. Dlatego zaproponowano zainstalowanie skraplaczy (7) i (8) w postaci węzłownic umieszczonych w zbiornikach akumulacyjnych wody. Pozwoli to na

nagrzanie wody przez skraplający się czynnik chłodniczy, gdy SPC nie pracują, a następnie wykorzystanie tej wody jako dolnego źródła ciepła niezależnie od tego, czy urządzenie chłodnicze pracuje, czy nie.

Termostaty (9), poprzez urządzenie sterujące (13), sterują pracą zaworów elektromagnetycznych (5), które zamykają lub otwierają przepływ przez nie czynnika chłodniczego do skraplaczy odzysku ciepła. Zabezpieczają one przed nadmiernym wzrostem temperatury wody w zbiornikach, co prowadziłoby do wzrostu ciśnienia skraplania i pogorszenia ogólnych warunków pracy urządzenia chłodniczego. Nie można również doprowadzić do nadmiernego wzrostu tej temperatury, ze względu na możliwość wykorzystania wody przez SPC (jak już wcześniej wspomniano, nie zaleca się, aby temperatura parowania czynnika chłodniczego w SPC przekraczała 10°C). Z chwilą zamknięcia zaworów (5) i wyłączenia skraplaczy odzysku



Rys. 2. Schemat ideowy instalacji przygotowania ciepłej wody na cele ogrzewania osiedla domków jednorodzinnych: 1 – zasobnik ciepła, 2 – SPC, 3, 4 – pompy obiegowe, 5 – termostat, 6 – skraplacz, 7 – urządzenie sterujące, 8 – zawór zwrotny, 9 – filtr, 10 – zawór odcinający



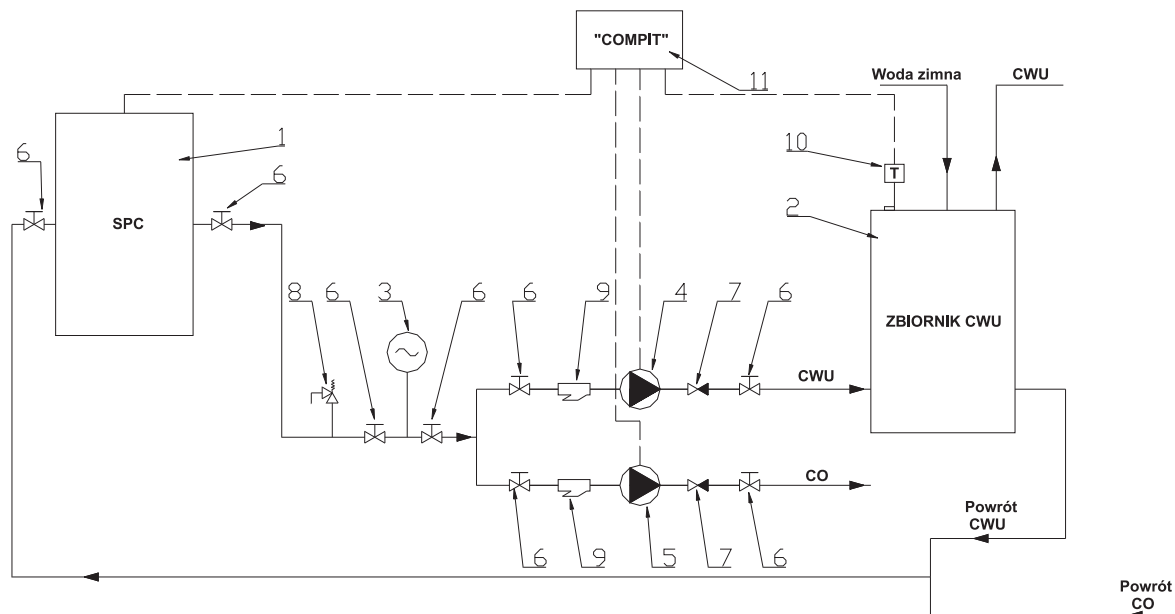
Rys. 3. Schemat ideowy instalacji ogrzewania domu jednorodzinnego [26]: 1 – wymiennik ciepła, 2 – zbiornik CWU, 3, 4 – pompy obiegowe, 5 – zawór odcinający, 6 – zawór zwrotny, 7 – naczynie wzbiorcze, 8 – odpowietrznik, 9 – filtr, 10 – termostat

ciepła, przesyłany jest sygnał do zaworu pilotowego elektromagnetycznego (3), który wymusza otwarcie zaworu głównego (2) i włączenie do pracy skraplacza urządzenia chłodniczego (6). Zawór pilotowy różnicy ciśnień (4) otwiera częściowo zawór główny (2) i nadmiar sprężonej pary przepływnie

do skraplacza głównego w przypadku, gdy wzrośnie spadek ciśnienia skraplania w skraplaczach odzysku ciepła – jest to również zabezpieczenie przed zmianą warunków pracy urządzenia chłodniczego.

Jak już wcześniej wspomniano, jeden ze skraplaczy odzysku ciepła (7)

pracuje przez cały czas, zaś drugi (8) jest włączany, gdy wydajność urządzenia chłodniczego wzrasta (włączenie drugiej sprężarki). Jest on włączany również zaworem (5), którym w tym przypadku steruje przekaźnik czasowy. W nocy, gdy sprężarka ta nie pracuje, zawór (5) jest zamykany, wyłączając



Rys. 4. Schemat ideowy instalacji ogrzewania obiektu lodowiska: 1 – SPC, 2 – zbiornik CWU, 3 – naczynie wzbiorcze, 4, 5 – pompy obiegowe, 6 – zawór odcinający, 7 – zawór zwrotny, 8 – zawór odpowietrzający, 9 – filtr, 10 – termostat, 11 – urządzenie sterujące

z pracy skraplacz (8) i SPC (12').

Dolnym źródłem ciepła SPC (12 i 12') jest woda doprowadzana ze zbiorników (7) i (8). Jej przepływ wymuszany jest pompami cyrkulacyjnymi (10). Włączenie pomp następuje dzięki sygnałowi przesyłanemu z urządzenia sterującego (13) na podstawie zmian temperatury po stronie górnego źródła. Wyłączenie tych pomp jest również sterowane urządzeniem sterującym (13) na podstawie temperatury wody mierzonej termostatami (9). Zabezpiecza to przed zamrożeniem wody w zbiornikach (7) i (8). Oprócz tego pompa (10') wyłączana jest wówczas, gdy pracuje tylko jedna sprężarka urządzenia chłodniczego. Sygnałem sterującym jest wtedy sygnał pochodzący z przełącznika czasowego, wyłączający jednocześnie za pomocą zaworu (5) skraplacz (8) i SPC (12').

3.1 Układ ogrzewania domków jednorodzinnych (rys. 2 i 3)

Ilość ciepła, wytworzona przez SPC wystarczy na ogrzanie kilkunastu domków jednorodzinnych, w związku z tym konieczne jest zaprojektowanie sieci ciepłej zdalaczynnej, do której będzie podłączony każdy z nich. Zapotrzebowanie na ciepło każdego

z budynków nie musi się pokrywać w czasie, dlatego zaproponowano zastosowanie, podobnie jak po stronie dolnego źródła ciepła, zasobnika ciepła (1), stabilizującego pracę SPC oraz zapewniającego dostarczenie koniecznej ilości ciepła w czasie, gdy SPC nie pracują. Włączaniem i wyłączaniem SPC steruje termostat (5), umieszczony w zasobniku (1), który jednocześnie steruje pracą pompy cyrkulacyjnej (3).

Każdy z wolnostojących domków posiada oddzielne podłączenie do sieci ciepłej przez wymiennik (1) – rysunek 3.

W tym przypadku stosuje się rozwiązanie w którym priorytet ma CWU (rys. 3). Pompa cyrkulacyjna ogrzewania (4) pracuje cały czas i wyłączana jest w chwili włączenia pompy CWU (3). Sterowanie może się odbywać za pośrednictwem termostatu umieszczonego w zbiorniku CWU lub za pomocą przełącznika czasowego w przypadku zapotrzebowania na CWU w określonych porach dnia.

3.2 Układ ogrzewania obiektu lodowiska

Schemat ideowy układu ogrzewania obiektu lodowiska przedstawiono na rysunku 4. W tym przypadku można

zrezygnować z zasobnika buforowego i w ten sposób obniżyć temperaturę skraplania SPC do poziomu $50^{\circ}\text{C} \div 55^{\circ}\text{C}$, dzięki czemu uzyska się korzystniejszy współczynnik COP, zaś parametry pracy ogrzewania (temperatury) będą utrzymywane na tym samym poziomie, jak dla osiedla domków jednorodzinnych. Przy ogrzewaniu obiektu lodowiska sterowanie pracą pomp ciepła następować będzie bezpośrednio na podstawie warunków panujących w instalacji ogrzewania i przygotowania CWU. Jeżeli konieczne byłoby zastosowanie układu biwalentnego, wówczas należy w instalację równolegle włączyć kocioł.

Zestawienie literatury w części 2 artykułu.

cdn...