

Robert ZARZYCKI*, Marcin PANOWSKI*, Piotr KOMUR**

Zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła w układzie skojarzonej produkcji elektryczności i ciepła

STRESZCZENIE. W pracy przedstawiono wyniki obliczeń symulacyjnych ucieplwienia nadkrytycznego bloku parowego na potrzeby dedykowanego odbiorcy ciepła. Na podstawie wykresu uporządkowanego temperatur dla lokalizacji odbiorcy ciepła oraz tabeli regulacyjnej parametrów dostarczanego ciepła rozważono dwa warianty ucieplwienia bloku parowego: pierwszy za pomocą dedykowanego wymiennika ciepła (DWC) zasilanego parą z upustu turbiny, drugi za pomocą absorpcyjnej pompy ciepła APC pracującej jako podstawowe źródło ciepła wraz wymiennikiem szczytowym (SWC). Opierając się na wymaganych przez odbiorcę parametrach ciepła ustalono moc nominalną absorpcyjnej pompy ciepła oraz moc wymiennika szczytowego. W celu realizacji obliczeń opracowano model symulacyjny absorpcyjnej pompy ciepła, który został zintegrowany z nadkrytycznym blokiem parowym o mocy 900 MW_e. Model pompy ciepła został opracowany z wykorzystaniem charakterystyk rzeczywistego urządzenia.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych ustalono, że dla analizowanego przypadku pompa ciepła o mocy 17,5MW_t pozwala na pokrycie produkcji ciepła na potrzeby dedykowanego odbiorcy w 90%. Stwierdzono ponadto, że zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła wraz ze szczytowym wymiennikiem ciepła pozwala na zmniejszenie o 35% negatywnego wpływu na produkcję energii elektrycznej, w porównaniu do wariantu z dedykowanym klasycznym wymiennikiem ciepła. Efekt ten jest bezpośrednim wynikiem zwiększenia sprawności wytwarzania energii w kogeneracji, dzięki zastosowaniu absorpcyjnej pompy ciepła.

SŁOWA KLUCZOWE: modelowanie, obiegi cieplne, pompa ciepła, produkcja ciepła

* Dr inż., ** Inż. – Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Katedra Inżynierii Energii, Częstochowa; Instytut Zaawansowanych Technologii Energetycznych, Częstochowa; e-mail: zarzycki@is.pcz.czest.pl, mpanowski@is.pcz.czest.pl, piotrek18902@gmail.com

Wprowadzenie

Od wielu lat prowadzone są liczne prace związane z ograniczeniem negatywnego wpływu wytwarzania ciepła i energii elektrycznej na środowisko naturalne z procesów spalania paliw kopalnych. Stosuje się nowe technologie oczyszczania spalin z pyłów, SO₂, NO_x oraz rozwija się technologie wychwytu CO₂ ze spalin w celu np. jego podziemnego składowania (CCS). Coraz częściej elektrownie stosują technologie spalania fluidalnego (Bis 2010), które w odróżnieniu od tradycyjnych kotłów pyłowych emituje mniejsze ładunki zanieczyszczeń do atmosfery. Prowadzone są także liczne prace związane z wdrażaniem czystych technologii węglowych, których przykładem może być technologia spalania tlenowego węgla w kotłach pyłowych i fluidalnych (Nowak i Czakiert 2013; Czakiert i Nowak 2013).

W ostatnich latach, aby zmniejszyć ilość szkodliwych związków emitowanych przez polską energetykę zaczęto zwiększać rolę odnawialnych źródeł energii, skutkiem czego jest rosnąca z każdym rokiem produkcja energii z tych źródeł. Główny wpływ na to mają elektrownie wodne oraz elektrownie wiatrowe, których liczba stale rośnie. Duży wpływ na redukcję emitowanych zanieczyszczeń w poprzednich latach miało spalanie i współspalanie biomasy (Kobyłecki i Bis 2006a, 2006b; Kobyłecki i in. 2005). Jednak od 2013 roku elektrownie wycofują się z tych rozwiązań i powracają do spalania wylączenia węgla.

W konwencjonalnych elektrowniach cieplnych przy produkcji energii elektrycznej powstają duże ilości zanieczyszczeń, które poprzez zastosowanie odpowiednich urządzeń (elektrofiltry, odsiarczanie i odazotowanie spalin) są ograniczane do dopuszczalnych poziomów emisji. Coraz częściej mówi się także o energii odpadowej powstającej przy produkcji energii elektrycznej. Mowa tu o ciepłe odpadowym powstającym w procesie kondensacji pary, którego duże ilości są bezpowrotnie tracone do otoczenia.

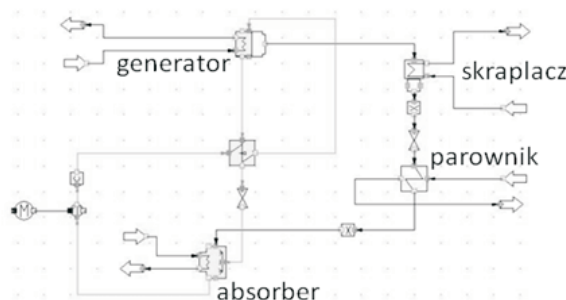
W odróżnieniu do wcześniej wspomnianych zanieczyszczeń, ciepło odpadowe można zagospodarować i wykorzystać np. do zasilania w ciepło dedykowanych odbiorców, miasta lub np. szklarni. Jednakże ze względu na niski potencjał termiczny, ciepło odpadowe nie nadaje się do bezpośredniego wykorzystania. Utylizacja tego ciepła możliwa jest jedynie poprzez podniesienie jego potencjału termicznego (w szczególności temperatury) np. poprzez zastosowanie absorpcyjnej (lub innego typu) pompy ciepła (APC), która dzięki wysokotemperaturowej sile napędowej oraz niskotemperaturowemu ciepłu odpadowemu pozwala podnieść potencjał energetyczny trzeciego czynnika. W przypadku pomp absorpcyjnych zintegrowanych z blokiem parowym, do ich napędu wykorzystuje się parę pobieraną z upustu turbin, natomiast ciepło odpadowe, np. z kondensacji pary wodnej w skraplaczu, stanowi źródło ciepła niskotemperaturowego. Takie rozwiązanie technologiczne pozwala na ucieplwienie kondensacyjnego bloku parowego, a tym samym ograniczenie zużycia paliwa, co przekłada się na ograniczenie emisji szkodliwych substancji. W pracy przedstawiono koncepcję oraz obliczenia ucieplwienia kondensacyjnego bloku parowego za pomocą absorpcyjnej pompy ciepła.

1. Absorpcyjna pompa ciepła

Urządzenia wymuszające przepływ ciepła z obszaru o niższej temperaturze do obszaru o temperaturze wyższej nazywane są pompami ciepła. Aby możliwy był transport ciepła konieczne jest dostarczenie energii z zewnątrz do realizacji tego procesu. W technice można spotkać wiele różnych konstrukcji pomp ciepła, a ich głównymi typami są: pompy sprężarkowe, adsorpcyjne i absorpcyjne.

Istotą absorpcyjnych pomp ciepła (APC) jest odzysk ciepła niskotemperaturowego, które wraz z ciepłem wysokotemperaturowym np. w postaci gorącej wody, pary lub spalin pozwala wytworzyć ciepło użyteczne np. do celów grzewczych lub technologicznych.

W układzie urządzenia APC czynnikiem roboczym może być roztwór amoniaku i wody lub roztwór wodny bromku litu (LiBr) (Herold i in. 1996). Schemat takiej pompy ciepła, opartej na wodnym roztworze bromku litu opracowany w środowisku IPSEpro przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Model symulacyjny bromowo-litowej absorpcyjnej pompy ciepła

Fig. 1. Simulation model of LiBr absorption heat pump

W generatorze APC kosztem dostarczonego ciepła w postaci pary (z upustu turbiny) następuje odparowanie pary wodnej z rozcieńczonego roztworu bromku litu i wody. Odparowanie w generatorze jest możliwe dzięki ciśnieniu znacząco niższemu od atmosferycznego. Odparowana czysta para wodna przechodzi do skraplacza i zostaje skondensowana, oddając ciepło w wymienniku przeponowym. Uzyskane w ten sposób skropliny podawane są poprzez układ dławiący do parownika, gdzie odparowując na wymienniku przeponowym w warunkach wysokiej próżni, odbierają niskotemperaturowe ciepło nieużyteczne z dolnego źródła. Podczas odbioru ciepła woda wrze. Powstała w parowniku para wodna jest następnie pochłaniana w absorberze przez roztwór stężony bromku litu, z którego wcześniej w generatorze odparowała, utrzymując w ten sposób wysoką próżnię w urządzeniu, a więc i niską temperaturę wrzenia w parowniku. Proces absorpcji jest silnie egzotermiczny dlatego też wymagany jest odbiór znaczącej ilości ciepła przez wymiennik przeponowy, co stanowi dodatkowe źródło energii oraz pierwszy stopień podgrzewu wody wlotowej. Stężony roztwór pochłaniając parę rozcieńcza się, a następnie przetłaczany jest przez pompę roztworu z powrotem do generatora, gdzie woda z roztworu zostaje odparowana, stężony roztwór zostaje przepompowany do absorbera i cykl się powtarza.

Obecnie na rynku dostępne są m.in. bromolitowe pompy ciepła, które mogą być zasilane ciepłem odpadowym o parametrach:

- ✧ 20–70°C w przypadku absorpcyjnych pomp ciepła pierwszej kategorii,
- ✧ 65–130°C w przypadku absorpcyjnych pomp ciepła drugiej kategorii.

Górnym źródłem ciepła dla tych urządzeń może być para wodna, gorąca woda, olej termiczny, spaliny, gaz ziemny, biogaz itp. Jako źródło ciepła odpadowego można wykorzystać np. wodę chłodzącą o temperaturze 30°C lub niskoparametrową wodę geotermalną. Istnieje możliwość podniesienia temperatury wody podgrzewanej nawet o 50°C, przy współczynniku $COP = 1,8$ (*Coefficient Of Performance*). Zakres oferowanych mocy cieplnych: 2 MW–38 MW (www.net-sa.eu; www.shuangliang.com).

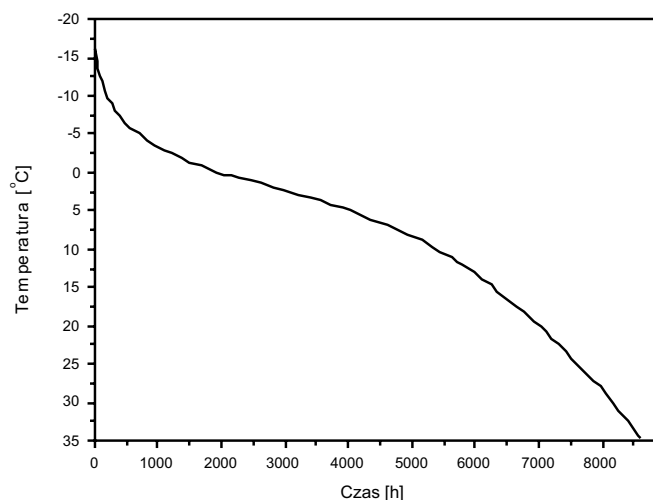
W pracy rozważono możliwość wykorzystania absorpcyjnej pompy ciepła do zasilania w ciepło dedykowanego odbiorcy. Dla wykazania potencjału zastosowania APC obliczenia przeprowadzono w dwóch wariantach. Pierwszy przypadek to wytwarzanie ciepła za pomocą klasycznego, dedykowanego wymiennika ciepła (DWC), natomiast drugie rozwiązanie realizowane było za pomocą absorpcyjnej pompy ciepła (APC) wyposażonej w wymiennik szczytowy (SWC). W obu wariantach układy APC zostały skojarzone z blokiem nadkrytycznym o mocy 900 MW_e. Założono, że moc kotła w bloku parowym będzie stała, a ewentualny spadek mocy elektrycznej wynikać będzie z ucieplnienia bloku.

Strumień ciepła przekazywany na potrzeby dedykowanego odbiorcy transportowany będzie przy stałym, niezmiennym w czasie strumieniu masy wody gorącej wynoszącym 110 kg/s. Taki sposób regulacji zapotrzebowania na ciepło nazywany jest regulacją jakościową poprzez zmiany temperatury czynnika (tabela regulacyjna). Dedykowany odbiorca znajduje się w strefie klimatycznej, dla której występują temperatury zgodnie z przedstawionym na rysunku 2 wykresem uporządkowanym temperatur.

Na podstawie wykresu uporządkowanego temperatur zewnętrznych (rys. 2) określono liczby godzin trwania danej temperatury zewnętrznej w okresie grzewczym (rys. 3). Analizując wykres przedstawiony na rysunku 3, stwierdzić można, że przez ponad 67% okresu grzewczego występują temperatury z przedziału od –2 do +8°C, natomiast temperatury poniżej –8°C występują zaledwie przez około 6% okresu grzewczego.

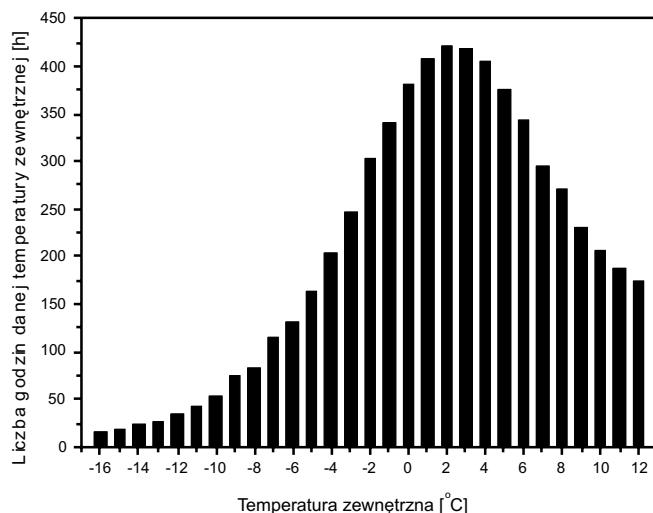
Jednym z istotnych parametrów decydujących o zapotrzebowaniu na ciepło dedykowanego odbiorcy są wartości temperatur otoczenia i odpowiadające im wartości czynnika zasilającego i powracającego od odbiorcy w zależności od temperatury otoczenia. Parametry te określane są w tabeli regulacyjnej, której wartości zestawiono na rysunku 4. Zakładając, że w całym okresie grzewczym występuje stały przepływ czynnika grzewczego o wartości 110 kg/s możliwe jest na podstawie zestawionych wartości temperatur zasilania i powrotu (rys. 4) określenie zapotrzebowania na strumień ciepła w funkcji temperatury zewnętrznej (rys. 5).

Analizując przedstawiony na rysunku 5 przebieg zapotrzebowania na strumień ciepła można zauważyć, że maksymalne zapotrzebowanie na ciepło osiągnięte jest przy najniższej temperaturze –16°C i wynosi ono blisko 30 MW_t. W przypadku zakresu temperatur od 2 do 8°C zapotrzebowanie na ciepło kształtuje się na poziomie około 17 MW_t. W przypadku temperatur zewnętrznych w zakresie od 9 do 12°C obserwuje się nieznaczny wzrost zapotrzebowania na ciepło wynikający z uruchamiania sieci ciepłowniczej – nieco niższej temperatury powrotu (rys. 4).



Rys. 2. Wykres uporządkowany temperatur zewnętrznych dla lokalizacji dedykowanego odbiorcy ciepła

Fig. 2. The structured graph of outer air temperature for localisation of dedicated heat recipient

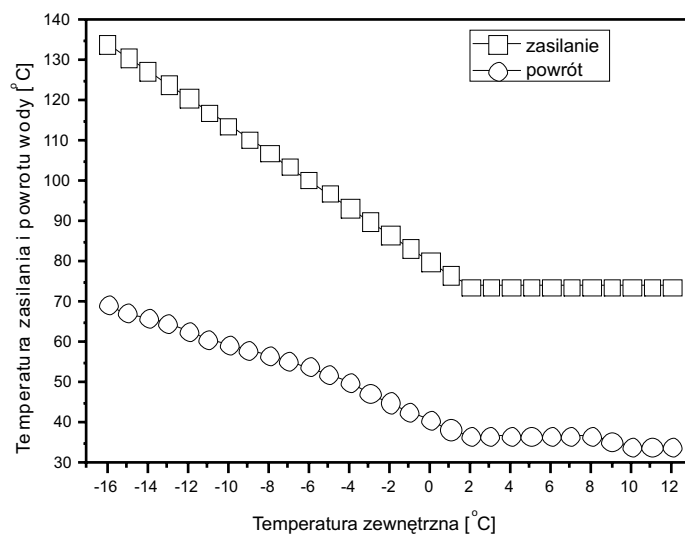


Rys. 3. Liczba godzin występowania poszczególnych temperatur zewnętrznych w ciągu okresu grzewczego

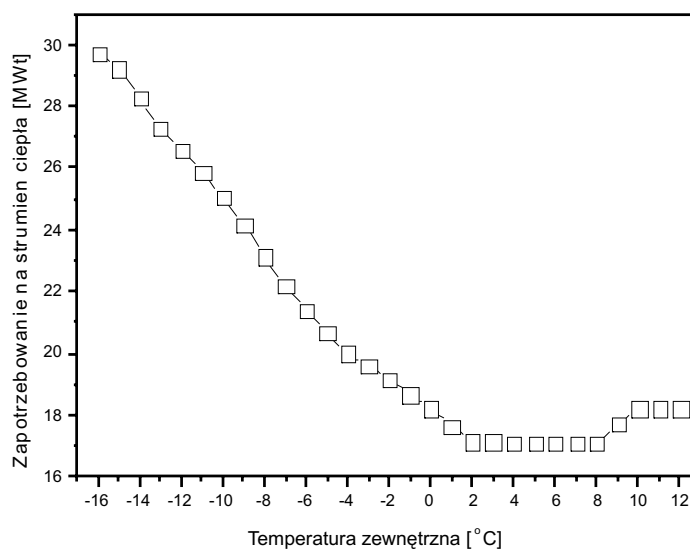
Fig. 3. Hours of presence of outer air temperature during the central heating season

W przypadku doboru mocy urządzeń do pokrycia zapotrzebowania na ciepło istotne jest określenie zmienności zapotrzebowania na ciepło w funkcji temperatury. Na rysunku 6 przedstawiono rozkład zapotrzebowania na ciepło w funkcji temperatury zewnętrznej.

Największa ilość ciepła wymagana jest przez odbiorcę w zakresie od -2 do 8°C (rys. 6). Podstawowe źródło ciepła winno zatem być dobrane tak, aby w zakresie tych temperatur możliwe było pokrycie wymaganego zapotrzebowania. W przypadku wyboru jako podstawowego źródła ciepła absorpcyjnej pompy ciepła (APC) istotne jest dobranie właściwych



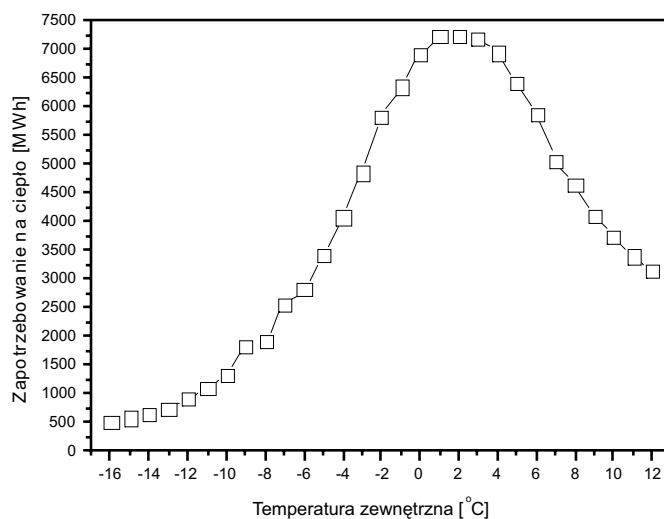
Rys. 4. Wartości temperatury zasilania i powrotu wody w funkcji temperatury otoczenia
 Fig. 4. Values of feed and return water temperature as a function of outer air temperature



Rys. 5. Zapotrzebowanie na strumień ciepła w funkcji temperatury otoczenia
 Fig. 5. Heat demand as a function of outer air temperature

parametrów pracy tego urządzenia do wymaganej mocy cieplnej odbiorcy i parametrów tabeli regulacyjnej.

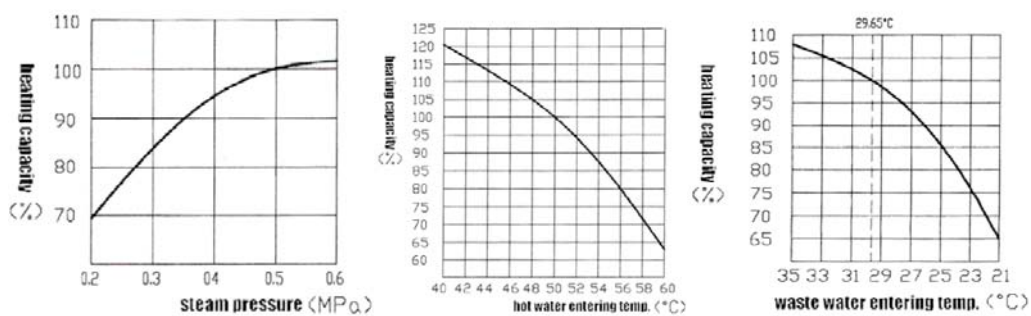
Moc absorpcyjnej pompy ciepła wynika z przyjętej mocy nominalnej oraz zależy od warunków zewnętrznych takich jak temperatura dolnego źródła (odpadowego), parametrów górnego źródła (ciśnienie pary zasilającej APC) oraz od temperatury na wejściu czynnika, który



Rys. 6. Rozkład zapotrzebowania na ciepło w funkcji temperatury zewnętrznej

Fig. 6. Heat demand distribution as a function of outer air temperature

jest w pompie ciepła podgrzewany. Wartość rzeczywistej mocy APC zależy od jej mocy nominalnej i trzech charakterystyk (rys. 7).



Rys. 7. Charakterystyki mocy cieplnej APC w funkcji ciśnienia pary nasyconej, temperatury wody gorącej na wejściu do APC oraz temperatury dolnego źródła (www.shuangliang.com)

Fig. 7. Characteristics of AHP thermal power as a function of saturated steam pressure, feed hot water temperature and low temperature heat source temperature (www.shuangliang.com)

Przyjęta do rozważań absorpcyjna pompa ciepła firmy SHUANGLIANG (www.shuangliang.com) posiada wynikające z jej konstrukcji pewne ograniczenia wśród których najważniejsze to: minimalna wydajność APC wynosząca 20% mocy nominalnej, temperatura wody gorącej na wyjściu z APC przy przepływie nominalnym wynosząca 88°C oraz maksymalna temperatura przy zmniejszonym przepływie równa 95°C.

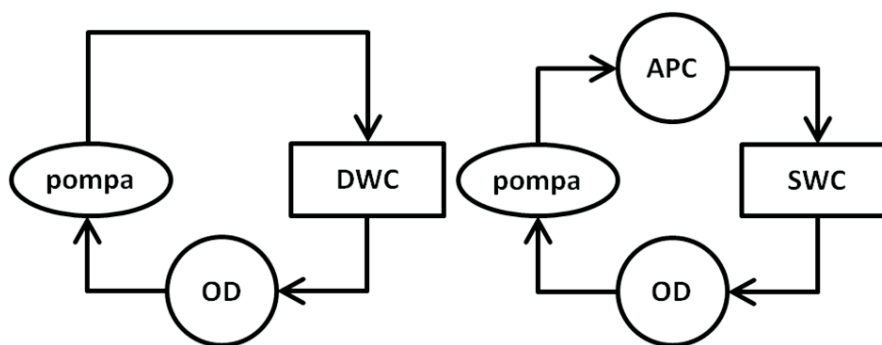
Znając ograniczenia APC, a także wymagane przez odbiorcę temperatury oraz zapotrzebowanie na ciepło, można przystąpić do doboru mocy APC. Temperatura wody gorącej zasilającej APC osiąga wartość 60°C (zgodnie z tabelą regulacyjną) dla temperatury otoczenia -10°C.

Wówczas zapotrzebowanie na ciepło przez odbiorcę dedykowanego wynosi około 25 MW_t . Jednakże w tym przypadku temperatura wymagana gorącej wody dla odbiorcy przewyższa znacząco możliwości produkcyjne APC. Dodatkowo zapotrzebowanie na moc rzędu 25 MW_t występuje przez krótki okres czasu. Na podstawie analizy wykresów 3, 4, 5 i 6 stwierdzono, że optymalnym rozwiązaniem będzie pompa ciepła o mocy $17,5 \text{ MW}_t$. Tę ilość ciepła należy dostarczyć do odbiorcy dedykowanego przy temperaturze zewnętrznej -2°C . W przypadku tej temperatury zewnętrznej woda gorąca wchodząca do APC posiada temperaturę $45,2^\circ\text{C}$, a wychodząca z APC i kierowana do odbiorcy $86,8^\circ\text{C}$ (zgodnie z tabelą regulacyjną). Ze względu na to, że szczytowe zapotrzebowanie odbiorcy może sięgać 30 MW_t konieczne jest zabudowanie szczytowego wymiennika ciepła (SWC), który zapewni wymagany strumień ciepła oraz temperaturę wody kierowanej do odbiorcy przy temperaturze poniżej -2°C . Mając na uwadze, że dedykowany odbiorca musi być zasilany niezależnie czy APC pracuje czy nie, proponuje się, aby moc SWC była równa 30 MW_t , co pozwoli w przypadku awarii APC pokryć zapotrzebowanie na ciepło.

Na tej podstawie do analizy przyjęto dwa warianty ucieplownienia bloku kondensacyjnego o mocy 900 MW_e :

- ✧ ucieplownienie za pomocą dedykowanego wymiennika ciepła (DWC) o mocy maksymalnej 30 MW_t , wymiennik zasilany jest parą z upustu;
- ✧ ucieplownienie za pomocą absorpcyjnej pompy ciepła (APC) o mocy nominalnej $17,5 \text{ MW}_t$, która powinna zapewnić zaopatrzenie w ciepło do temperatury zewnętrznej -2°C , oraz szczytowego wymiennika ciepła (SWC), który pozwoli na dostarczenie do odbiorcy dedykowanego (OD) ciepła w warunkach, w których APC nie jest w stanie już pracować.

Na rysunku 8 przedstawiono schematy zasilania w ciepło dla obu rozważanych wariantów.

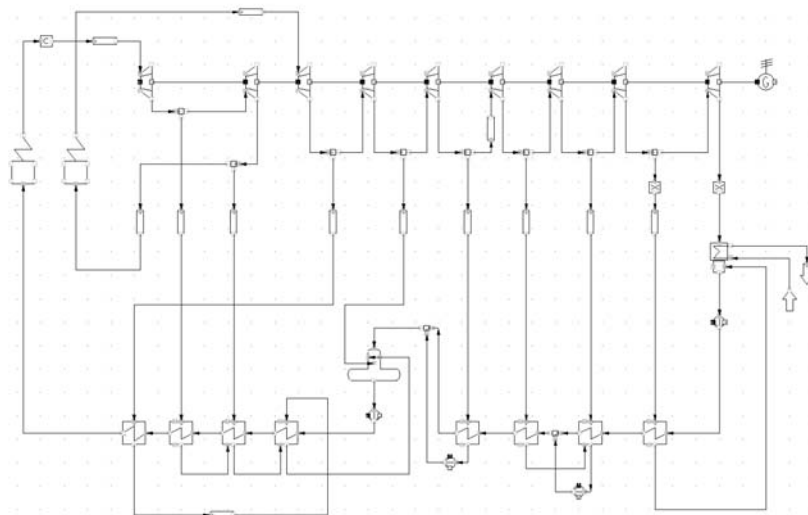


Rys. 8. Analizowane układy zasilania odbiorcy dedykowanego (OD) w ciepło

Fig. 8. Diagrams of analysed hot water feeding systems

Do zasilania obu wariantów konieczna jest para pobierana z upustu turbiny. Para zasilająca APC powinna być parą nasyconą, której temperatura nie może przekraczać 180°C . Z tegoż względu konieczny jest wybór upustu o ciśnieniu około $0,5 \text{ MPa}$ (charakterystyka moc APC – ciśnienie; rys. 7a). W przypadku, gdy temperatura pary będzie wyższa od 180°C konieczne jest obniżenie jej temperatury poprzez wtrysk wody np. ze zbiornika wody zasilającej. W przypadku wymiennika ciepła nie ma takiej konieczności.

Należy się spodziewać, że pobór pary na cele ciepłownicze wpłynie na obniżenie mocy elektrycznej bloku. Na rysunku 9 przedstawiono schemat bloku parowego, który został poddany uciepłownieniu.

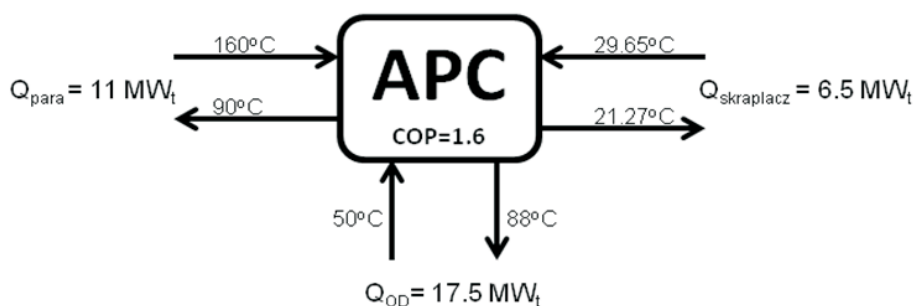


Rys. 9. Schemat nadkrytycznego bloku parowego o mocy 900 MW_e

Fig. 9. The scheme of 900 MW_e supercritical power plant

Źródło ciepła odpadowego zasilającego APC stanowi woda opuszczająca skraplacz bloku parowego. W niniejszej pracy założono, że temperatura tej wody zmienia się liniowo i przy temperaturze otoczenia -16°C wynosi 21°C , natomiast przy temperaturze otoczenia 12°C wynosi $33,5^{\circ}\text{C}$.

Na rysunku 10 przedstawiono schemat opracowanego na podstawie danych katalogowych (www.shuangliang.com) i charakterystyk modelu symulacyjnego absorpcyjnej pompy ciepła wraz z zaznaczeniem strumieni czynników wchodzących i wychodzących z jednostki wraz z ich parametrami w warunkach nominalnych.



Rys. 10. Schemat modelu symulacyjnego absorpcyjnej pompy ciepła

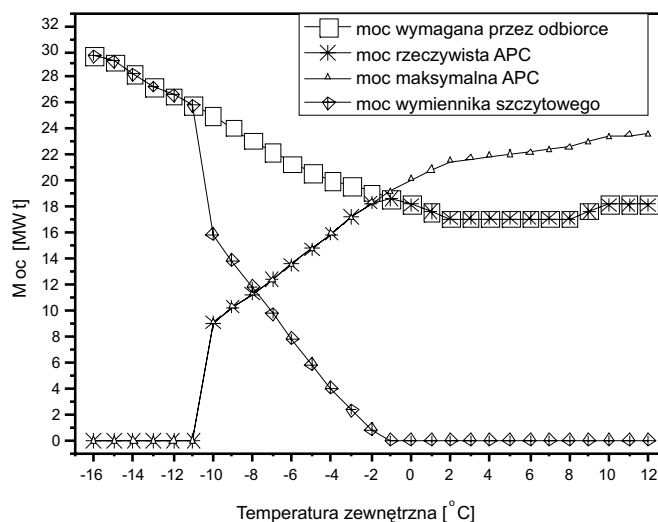
Fig. 10. The scheme of absorption heat pump simulation model

Wyniki obliczeń symulacyjnych

Obliczenia ucieplownienia kondensacyjnego bloku parowego na potrzeby produkcji ciepła dla dedykowanego odbiorcy przeprowadzono w programie IPSEpro. Wyniki obliczeń symulacyjnych zestawiono na rysunkach od 11 do 16.

Na rysunku 11 przedstawiono przebieg mocy wymaganej przez odbiorcę dedykowanego, moc rzeczywistą APC, moc maksymalną APC, jaką można uzyskać w danych warunkach oraz moc wymiennika szczytowego (SWC). Widoczne jest, że powyżej temperatury -1°C moc APC jest wyższa od wymaganej przez odbiorcę. Wynika to z dwóch powodów: z niższej temperatury wody gorącej powracającej od odbiorcy i dodatkowo z wyższej temperatury dolnego źródła ciepła w przypadku wyższych temperatur otoczenia. Widoczne jest, że dopiero przy temperaturze -2°C zostaje uruchomiony z niewielką mocą SWC. Widoczne jest, że APC może pracować aż do temperatury -10°C , co związane jest z temperaturą powrotu gorącej wody. Poniżej temperatury otoczenia -11°C SWC stanowi jedyne źródło ciepła dla odbiorcy dedykowanego.

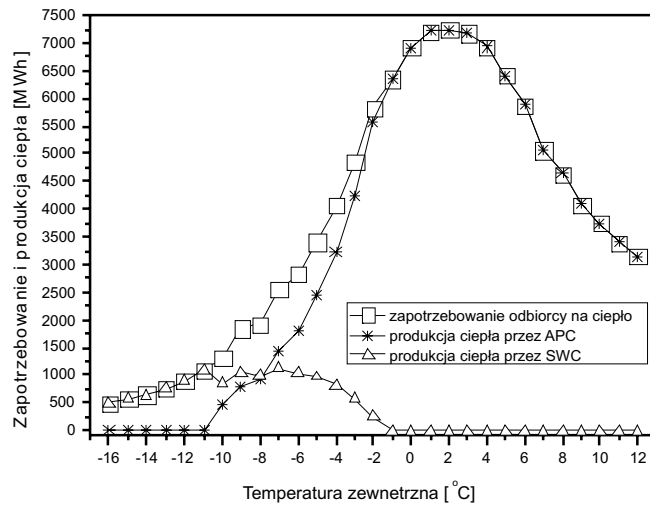
Informacje o produkcji ciepła przez APC i SWC można uzyskać, analizując rysunek 12. Widoczne jest, że APC pokrywa około 90% zapotrzebowania na ciepło natomiast w sezonie grzewczym produkcja ciepła z SWC stanowi jedynie 10% całkowitego zapotrzebowania na ciepło. Analizując rysunki 11 i 12 można stwierdzić, że poprzez właściwy dobór parametrów APC możliwe jest dzięki jej pracy 90-procentowe pokrycie zapotrzebowania na ciepło przez odbiorcę dedykowanego.



Rys. 11. Zestawienie mocy absorpcyjnej pompy ciepła i wymiennika szczytowego

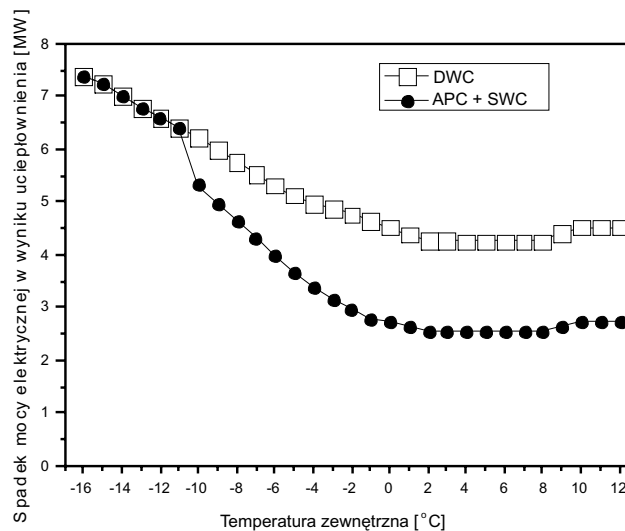
Fig. 11. The comparison of AHP and pick heat exchanger (PHE) power

Na rysunku 13 przedstawiono spadek mocy elektrycznej bloku w wyniku ucieplownienia DWC i APC+SWC. Widoczna jest znacząca różnica w spadku mocy elektrycznej w zakresie



Rys. 12. Zestawienie zapotrzebowania i produkcji ciepła przez APC i SWC

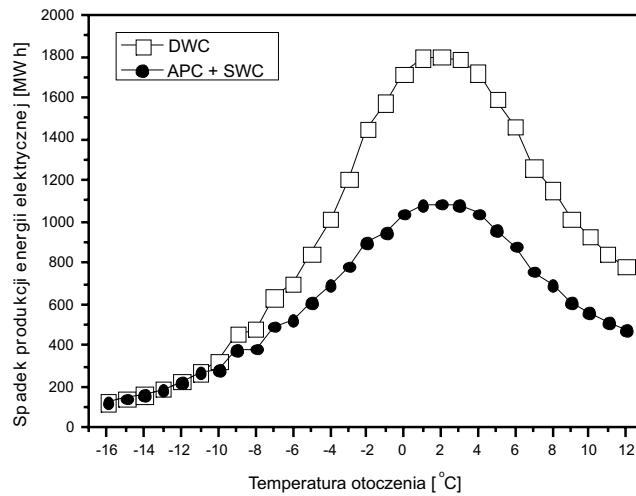
Fig. 12. The comparison of heat demand and heat production by AHP and PHE



Rys. 13. Spadek mocy elektrycznej bloku w wyniku ucieplnienia za pomocą DWC i APC+SWC

Fig. 13. The decrease in power plant electric power due to heat production with DHE and AHP+PHE

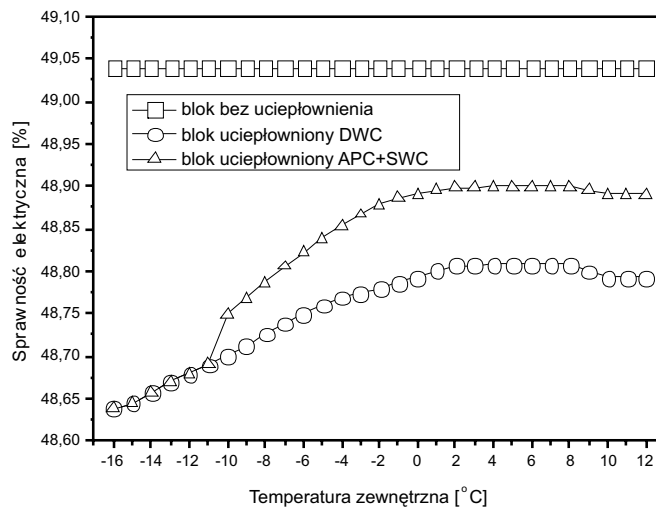
temperatur od -2 do 12°C . Poniżej temperatury -2°C różnice te się zmniejszają, co wynika z mniejszej mocy APC i wzrostu mocy SWC. Różnice w zastosowaniu APC+SWC w porównaniu do DWC są wyraźniej widoczne na spadku produkcji energii elektrycznej (rys. 14). Przy analizie przebiegi obu krzywych widoczne jest, że zastosowanie APC+SWC wyraźnie ogranicza negatywny wpływ ucieplnienia bloku parowego. Dzięki zastosowaniu APC+SWC dokonano ograniczenia negatywnego wpływu ucieplnienia o około 35% w porównaniu do zastosowania dedykowanego wymiennika ciepła DWC.



Rys. 14. Spadek produkcji energii elektrycznej w wyniku ucieplwienia z pomocą DWC i APC+SWC

Fig. 14. The decrease in electricity generation due to heat production with DHE and AHP+PHE

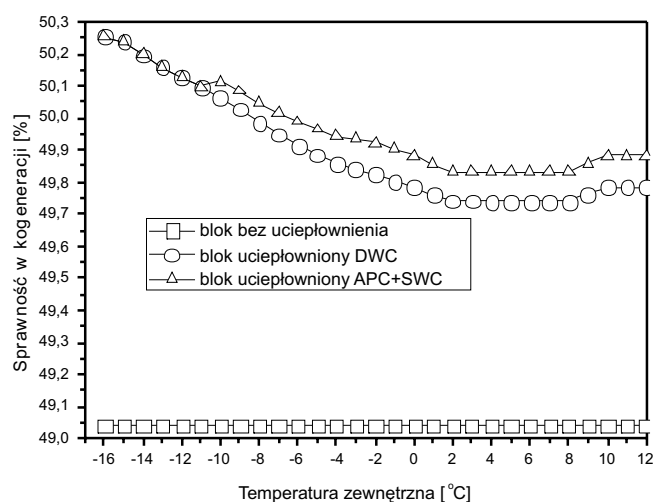
Sprawność elektryczną bloku brutto dla przypadku bloku nieocieplwionego oraz z ucieplwieniem za pomocą DWC i APC+SWC przedstawiono na rysunku 15. Widoczne jest, że niezależnie od sposobu ucieplwienia jego sprawność elektryczna wyraźnie spada. W przypadku ucieplwienia za pomocą DWC spadek sprawności jest większy i wynosi około 0,25% (z 49,04 do 48,79%), natomiast w wariancie ucieplwienia za pomocą APC+SWC spadek sprawności jest niższy i wynosi około 0,13% (z 49,04% do 48,91%). W przypadku temperatur niższych niż -2°C spadek sprawności w obu przypadkach wyraźnie wzrasta ze względu na większe zapotrzebowanie na ciepło przez odbiorcę dedykowanego.



Rys. 15. Sprawność elektryczna bloku

Fig. 15. The efficiency of electricity generation

Na rysunku 16 przedstawiono rozkłady sprawności kogeneracyjnej uciepłonnionego bloku. Widoczne jest, że uciepłownienie wpływa wyraźnie na wzrost sprawności wytwarzania energii w skojarzeniu. W przypadku wariantu z APC+SWC wzrost ten jest wyższy i wynika z wykorzystania ciepła odpadowego do produkcji użytecznego ciepła na potrzeby odbiorcy.



Rys. 16. Sprawność kogeneracyjna bloku

Fig. 16. The efficiency of electricity and heat generation in cogeneration

Przedstawione w pracy wyniki uzyskano dla mocy nominalnej APC 17,5 MW_t i dla mocy szczytowej uciepłownienia blisko 30 MW_t. Uciepłownieniu poddano blok parowy o mocy elektrycznej 900 MW_e.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki obliczeń symulacyjnych uciepłownienia bloku parowego o mocy 900MW_e na potrzeby produkcji ciepła dla dedykowanego odbiorcy. Przeprowadzona analiza parametrów zapotrzebowania na ciepło pozwoliła na ustalenie mocy nominalnej absorpcyjnej pompy ciepła na 17,5 MW_t przy zapotrzebowaniu szczytowym na poziomie ok. 30 MW_t. Dla przyjętych warunków pracy absorpcyjnej pompy ciepła ustalono, że za pomocą tego urządzenia możliwe jest pokrycie zapotrzebowania dedykowanego odbiorcy w 90% na ciepło w sezonie grzewczym. Pozostała ilość ciepła musiała zostać przygotowana za pomocą szczytowego wymiennika ciepła, którego moc pokryć musi szczytowe zapotrzebowanie odbiorcy. W wyniku obliczeń symulacyjnych ustalono, że poprzez zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła wraz z wymiennikiem szczytowym możliwe jest ograniczenie o 35% negatywnego wpływu tego procesu w porównaniu do dedykowanego wymiennika ciepła.

Zastosowanie APC+SWC pozwala na uzyskanie niższego spadku sprawności produkcji elektrycznej niż w przypadku DWC. Zaobserwowano, że zastosowanie APC+SWC pozwala uzyskać wzrost sprawności wytwarzania energii w skojarzeniu.

Przedstawione w artykule wyniki zostały uzyskane w badaniach współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach umowy SP/E/1/67484/10 – Strategiczny Program Badawczy – Zaawansowane technologie pozyskiwania energii: Opracowanie technologii dla wysoko sprawnych „zero-emisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO₂ ze spalin.

The results presented in this paper were obtained from research work co-financed by the National Centre of Research and Development in the framework of Contract SP/E/1/67484/10 – Strategic Research Programme – Advanced technologies for energy generation: Development of a technology for highly efficient zero-emission coal-fired power units integrated with CO₂ capture.

Literatura

- [1] BIS, Z. 2010. Kotły fluidalne – teoria i praktyka, seria monografie nr 175 (ISBN 978-83-7193-428-5; ISSN 0860-5017), Częstochowa: Wyd. Polit. Częstochowskiej.
- [2] KOBYLECKI, R. i BIS, Z. 2006a. Autotermiczna Termoliza Jako Efektywna Technologia Produkcji Czystych i Wysokoenergetycznych Paliw. *Archiwum Spalania* vol. 6, nr 1–4, s. 114–119, ISSN 1641-8549.
- [3] KOBYLECKI, R. i BIS, Z. 2006b. Biocarbon – Efektywna Konwersja Energii ze Źródeł Odnawialnych. *Energetyka*, czerwiec 2006, s. 57–58, ISSN 0013-7294.
- [4] KOBYLECKI i in. 2005 – KOBYLECKI, R., BIS, Z. i NOWAK, W. 2005. Zwaloryzowana Biomasa i Paliwa Alternatywne – Wartościowe Surowce dla Czystej Konwersji Energii, Ekologia, Energie Odnawialne. *Ciepłownictwo w Polsce i na Świecie* nr 3/4, s. 44–46, ISSN 1792-1271.
- [5] NOWAK, W. i CZAKIERT, T. 2013. Spalanie tlenowe dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂. *Mat. III Konferencji Naukowo-Technicznej – Współczesne Technologie i Urządzenia Energetyczne*, Kraków, 16–18 października, s. 177–188.
- [6] CZAKIERT, T. i NOWAK, W. 2013. Spalanie tlenowe w układach z kotłami PC, CFB i PCFB. *Energetyka* 11, s. 787–790
- [7] HEROLD i in. 1996 – HEROLD, K.E., RADERMACHER, R. i KLEIN, S.A. 1996. Absorption Chillers and Heat Pumps. *CRC Press*, ISBN 997-80-84939-427-0.
- [8] www.net-sa.eu – <http://www.net-sa.eu/shuangliang5.html>
- [9] www.shuangliang.com – http://www.shuangliang.com/eng/product_show.asp?PID=42&BigID=24

Robert ZARZYCKI, Marcin PANOWSKI, Piotr KOMUR

The application of an absorption heat pump for cogeneration electricity and heat production

Abstract

This paper presents the results of numerical simulations of absorption heat pump application for cogeneration electricity and heat production delivered to dedicated recipients. Two cases of heat production were analysed. First, as a reference unit, the study examined a standard heat exchanger (DWC) fed with steam taken from turbine steam bleeding. The second analysed configuration was an absorption heat pump (APC) equipped with a pick heat exchanger (SWC). The heat parameters were assumed based on the structured graph of outer air temperatures for a dedicated recipient locality as well as on a regulation table. The nominal thermal power of APC and SWC was also assumed based on the dedicated recipient's needs. The simulation model of the absorption heat pump was developed and integrated with a model of a supercritical, 900MWe power plant. The absorption heat pump model was developed with the use of real APC characteristics.

The results of the calculations performed show that the analysed heat pump of 17.5MWt power makes it possible to cover almost 90% of particular receiver of heat. Moreover, application of an absorption heat pump equipped with a pick heat exchanger decreases the negative impact on electricity production by about 35% when compared to heat production by heat exchanger alone. This is a direct result of increasing the cogeneration efficiency for simultaneous production of heat and electricity, due to the application of APC. KEY WORDS: modelling, thermal cycles, heat pumps, heat production

KEY WORDS: modelling, thermal cycles, heat pumps, heat production

