

Wykorzystanie ciepła odpadowego w procesie skojarzonego wytwarzania energii

Waste heat utilisation for cogeneration of energy

ROBERT ZARZYCKI
MARCIN PANOWSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.3.45>

W pracy przedstawiono analizę możliwości zastosowania absorpcyjnych pomp ciepła (APC) do zwiększenia efektywności wykorzystania energii pierwotnej w bloku parowym elektrociepłowni zawodowej poprzez odzysk ciepła odpadowego z układu chłodzenia oleju. W analizowanym przykładzie zastosowanie APC służyło ograniczeniu liczby uruchomień szczytowych kotłów wodnych. Uzyskane wyniki potwierdziły, że istnieje możliwość wykorzystania ciepła odpadowego w okresie największego zapotrzebowania i tym samym możliwość opóźnienia lub nawet wyeliminowania konieczności uruchamiania szczytowego źródła ciepła.

SŁOWA KLUCZOWE: odzysk ciepła, pompy ciepła, poprawa efektywności, kogeneracja

The paper shows the analysis of potential of absorption heat pump (APC) application to increase the efficiency of source energy conversion in the cogeneration power plant, by recuperation of waste heat from oil cooling system. In the presented case, the purpose of APC implementation was to eliminate the number of start up of pick hot water boilers. Obtained results showed that the waste heat may be utilised during the highest heat demand which may lead to delay or even avoiding the pick boiler start up, owing to absorption heat pump implementation.

KEYWORDS: heat recuperation, heat pumps, efficiency increase, cogeneration

Energetyka zawodowa oparta na spalaniu paliw kopalnych stoi przed wieloma wyzwaniem, które wynikają przede wszystkim z coraz bardziej restrykcyjnych wymagań dotyczących ochrony środowiska. Obecnie głównym problemem jest ograniczanie emisji różnego rodzaju zanieczyszczeń, zwłaszcza tych przyczyniających się do zwiększania efektu cieplarnianego (np. dwutlenku węgla), a także mających bezpośredni wpływ na jakość ludzkiego życia (np. pyłów). Dodatkowe wymagania wynikają z dyrektyw europejskich, które zakładają ciągłe dążenie do poprawy efektywności wykorzystania energii pierwotnej oraz zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w ogólnym bilansie wytwórczym energii elektrycznej i ciepła.

Ze względu na rosnący udział wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych kluczowym problemem polskiej energetyki zawodowej opartej na spalaniu paliw kopalnych stała się elastyczność pracy, zwłaszcza dużych jednostek wytwórczych. Ilość energii wytwarzanej ze

źródeł odnawialnych, takich jak wiatr czy słońce, zależy od silnie i szybko zmieniających się warunków atmosferycznych. Z kolei ze względu na nieprzewidywalność pogody nie da się zaplanować wielkości produkcji ze źródeł odnawialnych. Obecnie jednostki wytwórcze energetyki zawodowej nie są przystosowane do pracy w tak szybko zmiennych warunkach, gdy w bardzo krótkim czasie w sieci energetycznej raz jest nadmiar, a za chwilę niedobór energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. To w połączeniu z brakiem efektywnej technologii magazynowania energii sprawia, że zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego (rozumianego jako niezawodność dostaw) na bazie energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych nie jest obecnie możliwe. Wydaje się, że w najbliższych latach to bezpieczeństwo nadal będzie zapewnione dzięki energetyce opartej na paliwach kopalnych.

Dzisiejsza produkcja energii elektrycznej w obiegu ciepłym elektrowni konwencjonalnej jest realizowana ze sprawnością rzędu 35÷45% brutto, a w przypadku najnowszych jednostek wytwórczych sięga 50% [1]. Największe straty energii, przekładające się na takie poziomy sprawności bloków, występują w procesie skraplania pary w kondensatorze i wyprowadzaniu do otoczenia – w otwartych lub zamkniętych układach chłodzenia – ciepła odebranego od pary. Minimalizacja strat energii w skraplaczu stanowi największy potencjał poprawy sprawności wykorzystania energii pierwotnej w konwencjonalnym bloku elektrowni parowej. Niestety, ciepło odpadowe ze skraplacza charakteryzuje się niskimi parametrami termodynamicznymi, a zwłaszcza niską temperaturą, co sprawia, że jego bezpośrednie wykorzystanie do celów komunalnych czy przemysłowych jest niemożliwe. Jednakże dzięki zastosowaniu nowoczesnych technologii absorpcyjnych pozwalających na podniesienie potencjału energetycznego ciepła odpadowego przynajmniej jego część można skutecznie odzyskać [3].

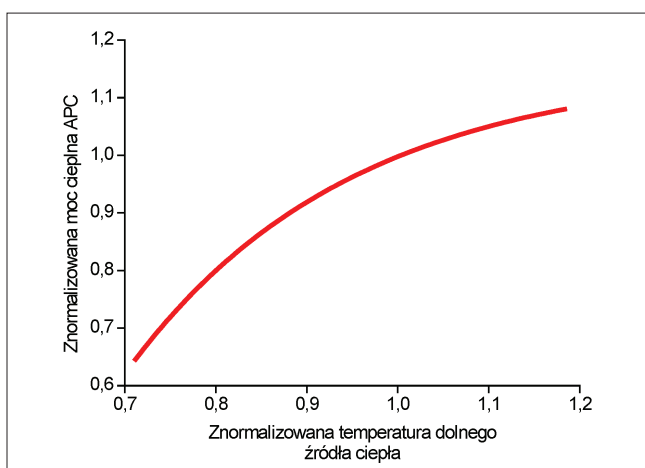
Jednym ze sposobów zagospodarowania tak odzyskanego ciepła odpadowego może być np. jego wykorzystanie do produkcji ciepła na potrzeby ogrzewania lub wytwarzania ciepłej wody użytkowej oraz na cele przemysłowe. Takie rozwiązanie można zastosować zarówno w przypadku bloków energetycznych, w których wytwarzana jest wyłącznie energia elektryczna – będzie to skutkowało ucieplowaniem bloku energetycznego, prowadzącym do jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w kogeneracji, jak i w przypadku elektrociepłowni, gdzie istnieje możliwość zwiększenia produkcji ciepła. W mniejszym stopniu technologie absorpcyjne dają się zaimplementować w blokach przeciwprężnych, w których określona ilość ciepła odpadowego jest do odzyskania np. z układów chłodzenia oleju.

* Dr inż. Robert Zarzycki (zarzycki@is.pcz.pl) – Katedra Inżynierii Energii, Politechnika Częstochowska; dr inż. Marcin Panowski (mpanowski@is.pcz.czyst.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Energetycznych, Politechnika Częstochowska

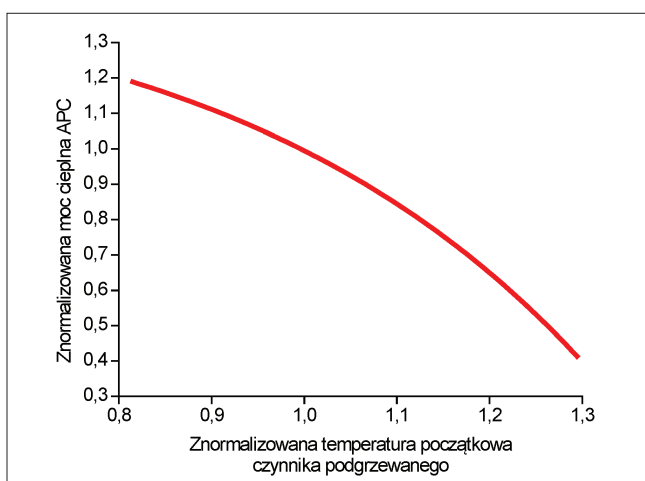
Implementacja absorpcyjnej pompy ciepła (APC)

Absorpcyjna pompa ciepła jest urządzeniem, które dzięki doprowadzeniu energii zewnętrznej w postaci ciepła realizuje proces podniesienia potencjału energetycznego czynnika niskotemperaturowego [2]. Do jej prawidłowego działania konieczne jest zatem doprowadzenie do układu czynnika podgrzewanego, a także pewnej ilości ciepła, którego źródłem w przypadku parowych bloków energetycznych może być np. strumień pary upustowej z turbiny. Dzięki temu w absorberze i generatorze pompy ciepła w sposób ciągły przebiegają cykle absorpcyjno-desorpcyjne, prowadzące do wzrostu potencjału energetycznego czynnika o niskiej temperaturze.

Zarówno ilość ciepła możliwego do odzyskania, jak i potencjalny przyrost temperatury czynnika podgrzewanego są uzależnione od wielu parametrów konstrukcyjnych pompy ciepła i parametrów procesowych [2]. Najważniejsze z nich to: rodzaj czynnika roboczego APC, temperatura dolnego źródła ciepła (może nim być woda chłodząca opuszczająca skraplacz turbiny lub układ chłodzenia oleju) oraz temperatura początkowa czynnika podgrzewanego w pompie ciepła. Przykładowe charakterystyki mocy cieplnej APC – znormalizowane przez nominalne wartości parametrów, dla których dobrano lub skonstruowano APC – w zależności od tych temperatur przedstawiono na rys. 1 i 2.



Rys. 1. Znormalizowana charakterystyka mocy w funkcji temperatury dolnego źródła ciepła

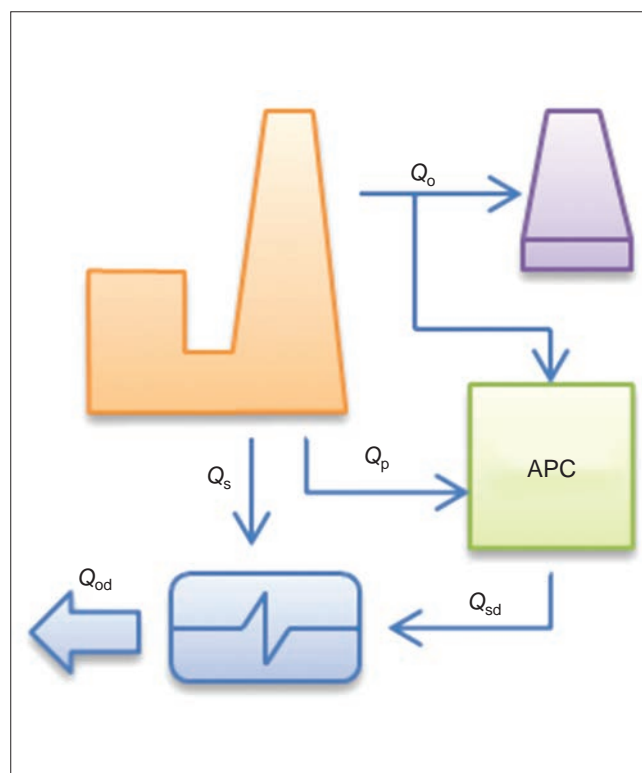


Rys. 2. Znormalizowana charakterystyka mocy w funkcji temperatury początkowej czynnika podgrzewanego

Jak pokazują charakterystyki, wydajność pompy ciepła jest silnie uzależniona od warunków zewnętrznych. Niestety, ta zależność z punktu widzenia zapotrzebowania na ciepło przez odbiorców nie jest korzystna, ponieważ potencjał APC jest tym wyższy, im wyższa jest temperatura dolnego źródła ciepła. W przypadku odzysku ciepła z obiegu chłodzenia skraplacza turbiny z taką sytuacją mamy do czynienia wtedy, gdy temperatura otoczenia jest wyższa i tym samym występuje mniejsze zapotrzebowanie na ciepło. Niemniej jednak odpowiedni dobór nominalnych parametrów pracy oraz konstrukcji pompy pozwala na znaczący odzysk ciepła odpadowego nawet w zmiennych warunkach.

Prawidłowo dobrana APC może zostać zintegrowana z blokiem energetycznym, przy czym w zależności od konstrukcji turbiny, parametrów dostępnej pary upustowej oraz mocy pompy para zasilająca może być pobierana z upustu, kolektora blokowego lub np. z przelotni NP-SP turbiny. Sposób integracji APC z blokiem energetycznym, z zaznaczeniem strumieni energii (ciepła), schematycznie przedstawiono na rys. 3.

Z punktu widzenia integracji APC z blokiem energetycznym bardzo istotny jest dobór odpowiedniego miejsca poboru pary, stanowiącej dla APC górne źródło ciepła. Decyduje to bowiem w znacznym stopniu o gabarytach APC – ze względu na konieczność przekazania w generatorze APC odpowiedniej ilości ciepła, co determinuje wielkość generatora. Z tego względu najlepszym rozwiązaniem dla APC zasilanej parą jest taki dobór miejsca poboru pary, aby w generatorze pompy odbierane było jedynie ciepło skraplania pary (to oznacza, że para zasilająca APC jest parą nasyconą). Niestety w przypadku integracji pompy ciepła z istniejącym blokiem energetycznym zazwyczaj nie ma możliwości poboru pary nasyconej bezpośrednio z bloku. W takiej sytuacji miejsce poboru pary należy dobrać w taki sposób, aby koszt energetyczny doprowadzenia



Rys. 3. Schemat integracji APC z blokiem energetycznym (oznaczenia: Q_0 – ciepło odpadowe, Q_p – ciepło w parze, Q_s – ciepło systemowe z bloku, Q_{sd} – dodatkowe ciepło systemowe z APC, Q_{od} – ciepło dla odbiorcy)

pary przegrzanej do stanu nasycenia był możliwie najmniejszy. Jednym ze sposobów przygotowania pary na potrzeby zasilania APC może być np. bezpośredni wtrysk wody ze zbiornika wody zasilającej (ZWZ).

Przykładowe rezultaty obliczeń

Jednym z elementów analizy możliwości zastosowania APC do odzysku ciepła odpadowego było określenie dla wybranego bloku elektrociepłowni (CHP) możliwości ograniczenia liczby uruchomień szczytowych kotłów wodnych (KW) poprzez implementację APC. W tym celu opracowano symulacyjny model układu APC zintegrowanego z wybranym parowym blokiem energetycznym i przeprowadzono obliczenia. Wykonano je z wykorzystaniem oprogramowania IPSEpro firmy SimTech. W jego środowisku stworzono zerowymiarowy (bazujący na równaniach zachowania masy, energii i pędu) model bloku wybranej elektrociepłowni, który zintegrowano z modelem APC.

Ze względu na charakter wybranego bloku parowego – blok z turbiną przeciwprężną o konstrukcji jednokadłubowej bez przegrzewu pary i dostępności z jednego z upustów turbiny pary o parametrach nasycenia – jako źródło zasilania APC i tym samym miejsce integracji z blokiem wybrano parę z tego upustu. Dzięki temu nie było konieczności specjalnego przygotowywania pary, która bezpośrednio mogła stanowić źródło zasilania APC. Dolnym źródłem ciepła, tj. źródłem odzyskiwanego ciepła od-

padowego, był zamknięty układ chłodzenia oleju. Analizę przeprowadzono dla wybranego roku eksploatacji bloku – wyniki obliczeń zestawiono w tablicy.

Jak widać, implementacja APC umożliwiłaby wyeliminowanie 12 uruchomień szczytowych kotłów wodnych, co w tym przypadku stanowiło ok. 35% całkowitego czasu pracy KW.

W analizowanym okresie na skutek minimum technologicznego kotłów wodnych układ CHP wraz z KW wyprodukował nadmiarowe 2762 MWh ciepła, na które nie było zapotrzebowania ze strony odbiorców. Zastosowanie APC pozwoliłoby uniknąć tej straty, jednak ze względu na małą moc przyjętej APC (wynikała ona z ilości dostępnego ciepła odpadowego z układu chłodzenia oleju) zastąpienie KW przez APC skutkowałoby niewielkim niedoborem w produkcji ciepła, na poziomie 365 MWh. Ta ilość wydaje się znacząca, jednak w ujęciu godzinowym stanowiła średnio jedynie 1,48 MWh – taka wartość jest dopuszczalna z punktu widzenia dotrzymania parametrów zasilania w ciepłą wodę odbiorcy końcowego.

Podsumowanie

Jednym ze sposobów zwiększania efektywności wykorzystania energii pierwotnej do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła jest ograniczenie strat energii do otoczenia, co w przypadku parowych bloków energetycznych realizuje się np. przez implementację APC. W za-

leżności od konkretnego bloku energetycznego ciepło może być odzyskiwane z różnych miejsc układu i wykorzystywane w różnych celach. W przedstawionym przykładzie implementacja APC miała na celu minimalizację strat elektrociepłowni w efekcie wyeliminowania rozruchów szczytowych kotłów wodnych. Uzyskane wyniki obliczeń potwierdziły, że możliwe jest wykorzystanie ciepła odpadowego w okresie największego zapotrzebowania na ciepło, dzięki czemu istnieje możliwość opóźnienia lub całkowitej eliminacji uruchamiania szczytowego źródła ciepła.

Artykuł powstał w ramach programu badań statutowych Politechniki Częstochowskiej BS/PS-404-301/11.

LITERATURA

1. Chmielniak T., Ziębik A. „Obiegi cieplne nadkrytycznych bloków węglowych”. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2010.
2. Herold K.E., Radermacher R., Klein S.A. „Absorption Chillers and Heat Pumps”. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2016.
3. Zarzycki R., Panowski M., Komur P. „Zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła w układzie skojarzonej produkcji elektryczności i ciepła”. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 17, 4 (2014): s. 375–389.

TABLICA. Zestawienie zbiorcze wyników obliczeń

Liczba rozpatrywanych godzin, h	717	
Liczba godzin pracy APC, h	246	
Liczba zastąpionych uruchomień KW, h	12	
	Suma	Średnia godzinowa
Produkcja ciepła w zastępowanym kotle wodnym, MWh	3500	14,23
Produkcja ciepła wymagana wg tabeli regulacyjnej, MWh	31 612	128,51
Rzeczywista produkcja ciepła oddawana do sieci z CHP i KW, MWh	34 375	139,73
Produkcja ciepła z CHP, MWh	30 321	123,26
Niedobór produkcji ciepła samego bloku (bez KW i APC), MWh	-1291	-5,25
Nadmiar produkcji ciepła do sieci (z CHP i KW), MWh	2762	11,23
Produkcja energii elektrycznej bez APC, MWh	15436	62,75
Produkcja energii elektrycznej z APC, MWh	15323	62,29
Spadek produkcji energii elektrycznej w wyniku pracy APC, MWh	113	0,46
Odzyskane ciepło odpadowe, MWh	381	1,55
Nadmiar produkcji ciepła bloku z APC (bez KW), MWh	-365	-1,48