

Jan CIECIELĄG, Marek WIŚNIEWSKI

WYKORZYSTANIE NISKOTEMPERATUROWYCH ŹRÓDEŁ CIEPŁA W OZE

Streszczenie

W artykule przedstawiono zasadę działania i krótki przegląd układów ORC stosowanych do wykorzystania niskotemperaturowych źródeł energii. Celem pracy jest analiza źródeł informacji w zakresie potencjału ORC do konwersji ciepła pochodzącego z geotermii, spalania biomasy, ciepła odpadowego z procesów technologicznych. W szczególności przeanalizowano wpływ czynników roboczych organicznego obiegu Rankine'a na jego efektywność.

WSTĘP

Zapotrzebowanie na energię na świecie cały czas rośnie, a znaczną część tego zapotrzebowania stanowi energia cieplna, pozyskiwana w wyniku spalania paliw konwencjonalnych bądź w procesach kontrolowanych reakcji jądrowych. Oprócz tego, znane są inne źródła – niskotemperaturowe – energii cieplnej. Niestety duża część tej energii wykorzystywana jest skrajnie nieefektywnie, najczęściej jest rozpraszana w otoczeniu. Obecnie dużą uwagę przykładają się do tego, aby wykorzystać w najlepszy sposób źródła ciepła o niskim potencjale które w olbrzymich ilościach są dostępne jako np. wody geotermalne płytkie i głębokie, spaliny odprowadzane do otoczenia w procesach spalania paliw konwencjonalnych, energia promieniowania słonecznego, biopaliwa itp.

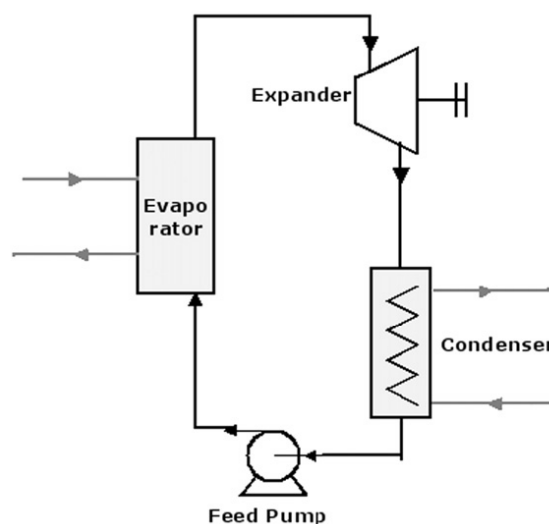
Do wykorzystania niskotemperaturowych źródeł energii wykorzystywany jest coraz częściej obieg Rankine'a pracujący z alternatywnymi czynnikami roboczymi którymi mogą być substancje organiczne w skład których wchodzi węgiel z wyjątkiem węglików, węglanów, tlenków węgla i cjanów. Takie ciała robocze powinny charakteryzować się niższą temperaturą wrzenia niż woda – dzięki tej właściwości można zrealizować obieg Rankine'a w niższych temperaturach. Odpowiedni cykl spełniający powyższe warunki nosi nazwę obiegu organicznego Rankine'a (Organic Rankine Cycle – ORC). Przyjmuje się, że źródło ciepła jest niskotemperaturowe, jeżeli jego temperatura nie przekracza 500 – 570 K (230 – 300 °C)

Nawet pobieżny przegląd literatury pokazuje, że wykorzystanie niskotemperaturowych źródeł energii pochodzących z tzw. ciepła odpadowego i alternatywnych źródeł energii rozwija się w ostatnich latach bardzo intensywnie [1 – 3]. W poniższym artykule przedstawiono możliwości zastosowania ORC w energetyce alternatywnej ze szczególnym uwzględnieniem wyboru czynnika roboczego obiegu.

1. ZASADA DZIAŁANIA

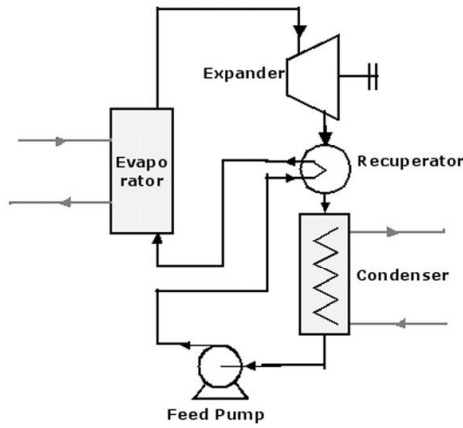
Czynnikiem roboczym w ORC jest substancja mająca niższą niż woda temperaturę wrzenia. Dzięki temu, odparowanie czynnika zachodzi przy stosunkowo niskiej temperaturze, co pozwala wykorzystać niskotemperaturowe źródła ciepła. Na rys. 1 i 2 przedstawione są schematy ilustrujące ideę ORC. Na rys.1 ukazano schemat ORC bez regeneracji, a na rys.2 – schemat ORC z regeneracją. Zasada pracy urządzenia jest oczywista. Pompa przetłacza czynnik roboczy w postaci cieczy (Rys.1) do podgrzewacza, gdzie przy wysokim ciśnieniu ciecz paruje, dalej para kieruje się do turbiny na łopatkach której jest rozprężana wykonując pracę. Wał turbiny napędza generator. Para po rozprężeniu jest ochładzana wskutek tego następuje kondensacja – ciecz jest pompowana przez pompę i w ten sposób obieg zamyka się. Na schemacie na rys. 2 czynnik

roboczy po wylocie z turbiny jest skierowany do regeneracyjnego wymiennika ciepła w którym oddaje część swojej energii cieplnej sprężonemu czynnikowi, który ogrzewa się i paruje. Energia cieplna może być przenoszona od źródła ciepła do czynnika roboczego za pomocą substancji pośredniczącej, w charakterze której może być wykorzystany olej termiczny (np. ITERM 6MB od -10 do +285 °C). Wykorzystanie oleju pośredniczącego w wymianie ciepła pozwala na uniknięcie lokalnego przegrzewu czynnika roboczego.



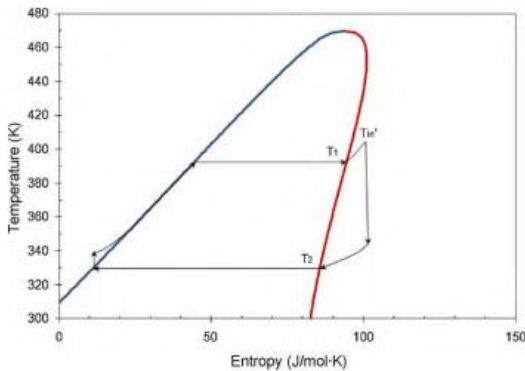
Rys.1. Schemat ORC bez regeneratora [2].

Przy dużych ilościach energii cieplnej w obiegu ORC efektywność turbiny jest większa niż przy małych strumieniach ciepła w obiegu, w takich przypadkach lepiej sprawdza się silnik tłokowy (rozprężarka, detander). Ponadto tłokowe rozprężarki lepiej się sprawują w warunkach zmiennych parametrów strumienia ciepła zewnętrznych źródeł ciepła.



Rys. 2. Schemat ORC z regeneracją [2].

Schemat organicznego cyklu Rankine'a z przegrzewem czynnika roboczego przedstawiono na wykresie T-s (Rys.3)



Rys.3. Organiczny obieg Rankine'a z przegrzewem czynnika roboczego na wykresie T-s.[14]

Rezultaty badań eksperymentalnych energetycznej i egzergetycznej efektywności urządzenia pracującego wg obiegu ORC przedstawiono w pracy [4]. Badano termiczną efektywność obiegu przy temperaturach źródła ciepła :100° C, 90° C, 80° C i 70° C. Wykazano, że przy temperaturze źródła ciepła 80°C sprawność termiczna obiegu wynosi 7,4%, przy czym sprawność izentropowa turbiny jest równa 68%. Ustalono, że główne straty energii przypadają na wymienniki ciepła , w których traci się do 74% energii cieplnej. Ogólna sprawność układu może osiągać 40%. Jako czynnik roboczy w cytowanym układzie był wykorzystany czynnik chłodniczy HCFC-123.

Efektywność egzergetyczną można obliczyć z wzoru:

$$\eta_{Egz} = \frac{\dot{W}}{\dot{E}_{W_{ej}}} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}[(h_i - h_0) - T_0(s_i - s_0)]}$$

Gdzie: \dot{m} - strumień masy czynnika roboczego,

\dot{W} - całkowita moc urządzenia,

$\dot{E}_{W_{ej}}$ - moc cieplna źródła,

h – entalpia, s – entropia,

T₀ – temperatura otoczenia,

i - indeks oznaczający stan czynnika na wejściu do obiegu,

0 – indeks oznaczający stan czynnika przy temperaturze i ciśnieniu otoczenia.

W pracy [5] przedstawiono eksperymentalne charakterystyki eksploatacyjne układu z ORC przeznaczonego do wytwarzania

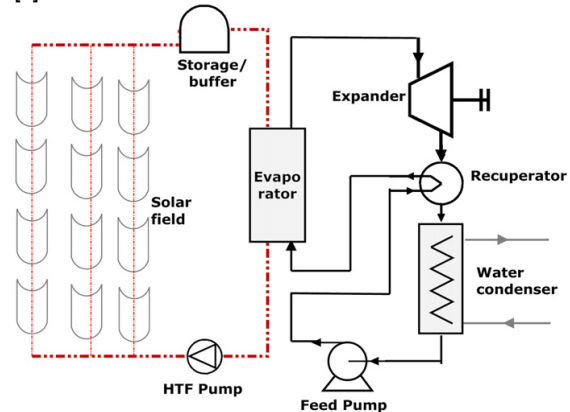
prądu elektrycznego. Czynnikiem roboczym w tym przypadku był czynnik chłodniczy R245fa (C₃H₃F₅). Temperatura czynnika roboczego w parowniku zmieniała się od 77° C do 83° C. W serii pomiarów eksperymentalnych otrzymano wartości sprawności obiegu i turbiny. Potwierdzono, że maksymalna wartość termicznej efektywności cyklu może osiągać 5,22%, sprawność izentropowa turbiny 78,7%, a moc elektryczna generowana przez urządzenie osiągnęła 32,7 kW. Ponadto określono wpływ różnych czynników na wydajność urządzenia.

2. ZASTOSOWANIE ORC

Zaletami obiegu Rankine'a w porównaniu z obiegami Braytona-Jule'a, Sterlinga czy Kaliny są: prostota realizacji, tanie urządzenia pomocnicze i efektywność. Głównym atutem ORC okazuje się możliwość jego adaptacji do różnego rodzaju źródeł energii cieplnej. Wykorzystując rozmaite czynniki robocze można ten obieg zastosować w szerokim zakresie temperatur i ciśnień. W szczególności OCR może pracować w cyklach binarnych, w obszarach wysokich i niskich temperatur. Poniżej przedstawiono najbardziej perspektywiczne możliwości zastosowania ORC.

2.1. Energia słoneczna

Energię słoneczną można przekształcić bezpośrednio w energię elektryczną w ogniwach fotowoltaicznych. Istnieje jednak sposób aby energię promieniowania słonecznego zamienić na elektryczność. Jeden ze sposobów polega na koncentracji promieni słonecznych przez wyprofilowane lustra, nagrzewaniu czynnika roboczego jego odparowaniu i transformacji energii cieplnej w elektryczną w ORC [6].



Rys.4. Schemat ORC z regeneratorem i parownikiem (układ z czynnikiem pośrednim w obiegu kolektora)[2].

ORC można wykorzystać i do odsalania wody morskiej. W takim przypadku turbina napędza urządzenia filtrów odwróconej osmozy, energia słoneczna zapewnia nagrzewanie czynnika roboczego w ORC [7].

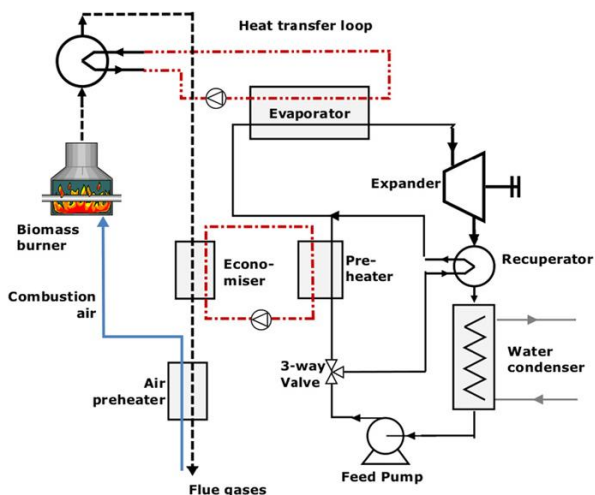
2.2. Biopaliwa i ORC

Jednym ze sposobów wykorzystania biomasy jest jej spalanie w wyniku czego wydziela się energia cieplna, którą następnie konwertujemy w energię elektryczną. Ponieważ biopaliwa mają stosunkowo małą gęstość, korzystnie jest spalać je w miejscu pozyskania. Do wykorzystania energii cieplnej z biopaliw nadają się silniki z zewnętrznymi źródłami energii (silnik Stirlinga, urządzenia ORC). Ceny biopaliw są znacznie niższe niż ceny paliw kopalnych, ale i tak nie zawsze biopaliwa są opłacalne z ekonomicznego punktu widzenia.

Dla autonomicznych źródeł energii elektrycznej celem jest zastosować biopaliwa w układzie kogeneracyjnym (wytwarzanie ciepła i elektryczności) lub w układzie trójgeneracji [8]. Poboczna

produkcja ciepła w ORC podczas wytwarzania energii elektrycznej na drodze spalania biopaliwa jest bardzo korzystna. Wydzielające się ciepło można spożytkować do ogrzewania pomieszczeń oraz do celów technologicznych. Moc generatorów do spalania biomasy zwykle nie przekracza 6 – 10 MW, z czego na moc elektryczną przypada około 1 – 2 MW. Dla takich mocy użycie zwykłego tradycyjnego cyklu Rankine'a nie jest celowe.

Ciepło otrzymywane ze spalania biopaliwa w kotle (Rys.5) przez wymiennik ciepła jest przekazywane do obiegu pośredniczącego (olej termalny). Temperatura w wymienniku ciepła waha się w granicach 150 – 320°C. Dalej ciepło jest dostarczane do ORC, gdzie służy do odparowania czynnika roboczego obiegu. Wytworzona para rozpręża się w turbinie wykonując pracę. Potem przechodzi przez rekuperator w którym ogrzewa czynnik roboczy będący w postaci cieczy i następnie ochładza się w skraplaczu. Chłodząca skraplacz woda może być użyta do celów grzewczych.



Rys. 5. Schemat budowy urządzenia do spalania biomasy z ORC [2].

Aby straty energii produktów spalania były jak najmniejsze konieczne jest ochłodzenie spalin strumieniami powietrza używanego do spalania i strumieniem czynnika roboczego. W tym celu zainstalowano podgrzewacz powietrza i podgrzewacz czynnika roboczego (Rys.5)

2.3. Energia geotermalna

Wody termalne, zwane również geotermalnymi, są to wody podziemne mineralne lub zwykłe, których temperatura mierzona na wypływie ze źródeł naturalnych lub odwiertów wynosi co najmniej 20°C. W warunkach krajowych wody geotermalne znajdujemy przeciętnie na głębokości od 1,5 do 3,5 kilometra. By zapewnić odnawialność zasobów wód termalnych, ich eksploatacja podlega istotnym ograniczeniom wynikającym z zasady racjonalnej gospodarki tymi zasobami.

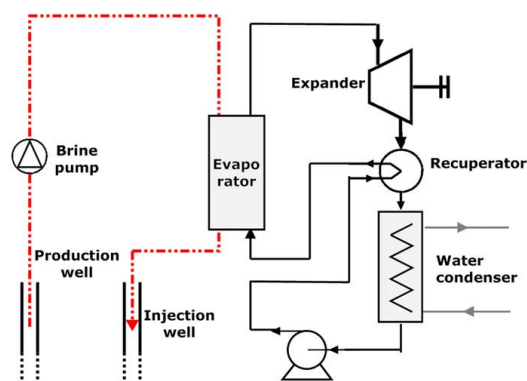
Wysoki poziom temperatury, tzn. sięgający stu - stu kilkudziesięciu stopni Celsjusza, predysponuje taką wodę termalną do wykorzystania jej jako górne źródło ciepła w organicznym obiegu Rankine'a (ORC), realizującym obieg siłowni parowej na czynnik niskowrzący. W efekcie realizacji technicznej takiego obiegu można uzyskać energię elektryczną oraz ciepło. Moc elektryczna takiej elektrowni parowej zwykle nie przekracza kilku megawatów, jednak sprawność energetyczna obiegu takiej elektrowni nie jest wysoka, sięga kilku - kilkunastu procent, przy czym silnie zależy od poziomu temperatury nośnika energii, czyli wody geotermalnej. W przypadku układu kogeneracyjnego, tzn. elektrociepłowni, a zatem współwy-

tworzania energii elektrycznej i ciepła, sprawność energetyczna takiego układu jest oczywiście znacznie wyższa.

Generacja prądu elektrycznego w elektrowniach geotermalnych odbywa się w 24 krajach. Do krajów generujących w elektrowniach geotermalnych powyżej 15% całkowitej ilości energii elektrycznej należą Filipiny (19.1%), Islandia (16.6%), Kenia (19.2%), Kostaryka (15%), Salwador (24%), a także Tybet (30%). Koszt produkcji jest zróżnicowany, najczęściej ok. 4 centy US/1 kWh. Z wyjątkiem Islandii, w krajach rozwiniętych zużywających duże ilości energii elektrycznej, moc uzyskiwana z elektrowni geotermalnych jest w ogólnym bilansie wartością marginalną. Elektrownie te spełniają rolę lokalnego źródła uzupełniającego.

Temperatury wody w źródłach geotermalnych mogą mieć wartości od kilkudziesięciu do 300°C. Przyjmuje się, że najniższa temperatura przy której oplaca się wykorzystywać wody geotermalne wynosi 80°C. Schemat cyklu energetycznego z ORC ogrzewanego energią geotermalną przedstawiono na rys. 6.

Woda ze źródła geotermalnego jest tłoczona do wymiennika ciepła (parownika), gdzie następuje kosztem jej ciepła podgrzewanie i odparowanie czynnika roboczego. Ochłodzoną wodę pompują się ponownie otworami pod powierzchnię ziemi.



Rys.6. Schemat instalacji z ORC wykorzystującej energię geotermalną [2].

Przy wyborze metody pozyskiwania energii elektrycznej wpływ mają przede wszystkim parametry wody wydobywanej z wnętrza Ziemi, czyli jej temperatura, stan termodynamiczny i skład chemiczny. Istnieją dwa podstawowe rodzaje elektrowni geotermalnych:

- z bezpośrednim odparowaniem wody geotermalnej w rozprężacz – systemy tego typu stosowane są w układzie z rozprężaczem jednostopniowym lub dwustopniowym; lub kierowaniem pary bezpośrednio do turbiny parowej skąd po ekspansji płynie do skraplacza – jednak zastosowanie drugiej metody wymaga, aby woda termalna występowała w stanie pary nasyconej suchej lub pary przegrzanej. Sprawność cieplna takich elektrowni sięga 30%;
- elektrownie dwuczynnikiowe (binarne). Gorąca woda jest kierowana do wymiennika ciepła (parownika), który spełnia rolę kotła parowego dla obiegu z czynnikiem roboczym o niskiej temperaturze wrzenia np. freon o temperaturze wrzenia – 33 stopnie Celsjusza. Sprawność cieplna tych elektrowni mieści się w granicach 10 – 15%.

2.4. Wybór czynnika roboczego

Wybór czynnika roboczego dla ORC zależy do wielu parametrów, w szczególności od źródła energii, zakresu temperatur i ciśnień roboczych oraz od mocy instalacji. Najczęściej do porównywania charakterystyk czynników roboczych wykorzystuje się termodynamiczny model obiegu. Głównym kryterium porównania jest najczęściej efektywność termiczna obiegu, która istotnie zależy od

właściwości fizyczno – chemicznych czynnika roboczego realizującego dany obieg. Niestety trudno wskazać jednoznacznie jakie to właściwości substancji mają największy wpływ na efektywność obiegu. Najczęściej przy wyborze czynników realizujących ORC brane są pod uwagę następujące wymagania:

1. Dla danego rzeczywistego zakresu temperatur występujących w obiegu praca jednostkowa obiegu powinna być jak największa. Pożądane byłoby, aby ciepło parowania czynnika roboczego było możliwie duże.
2. Mała lepkość czynnika zarówno w fazie ciekłej jak i parowej jest pożądana dla zmniejszenia strat tarcia i zwiększenia współczynnika wymiany ciepła.
3. Wysoka wartość współczynnika przewodności cieplnej czynnika roboczego pozwalająca na efektywny podgrzew i chłodzenie w wymiennikach ciepła.
4. Ciśnienie nasycenia pary czynnika roboczego w ORC nie powinno być ani zbyt wysokie ani bardzo małe, ponieważ mogą wystąpić problemy z wytworzeniem próżni i zapewnieniem odpowiedniej wytrzymałości i szczelności przewodów i aparatury.
5. Ważnym wymaganiem stawianym czynnikom pracującym w ORC jest stabilność termiczna w wysokich temperaturach. Często zdarza się, że związki organiczne podczas nagrzewania rozpadają się, ich właściwości fizyko – chemiczne wtedy również ulegają zmianie.
6. Czynnik nie powinien zamarzać w całym zakresie temperatur pracy ORC. Z tego powodu temperatura punktu potrójnego substancji powinna leżeć poniżej najniższej temperatury cyklu.
7. Czynnik roboczy nie powinien być toksyczny i łatwopalny, a jego ewentualne wycieki nie mogą wywoływać zagrożenia dla środowiska.
8. Pożądane jest aby czynnik był tani i łatwo dostępny. W tym przypadku czynniki stosowane w urządzeniach chłodniczych okazują się dobrymi kandydatami do roli czynników roboczych w ORC.

Zaletami wody jako czynnika roboczego są: jej dostępność, niska cena, ekologiczność, nietoksyczność, niepalność, chemiczna stabilność, mała lepkość. Woda ma jednak, jako czynnik roboczy pewne braki – wymaga wysokich temperatur źródła ciepła, dobrze sprawdza się przy wysokich ciśnieniach i dużych mocach instalacji.

Uwzględniając powyższe można powiedzieć, że przy wyborze

czynnika roboczego do ORC nie należy mieć na względzie tylko warunek efektywności termicznej. Wybór odpowiedniego czynnika jest zadaniem wielokryterialnym, omówiony jest w szeregu prac [9,10]. W szczególności należy uwzględnić także wielkość płaszczyzny wymiany ciepła, wymiary turbiny, koszt turbiny i koszty eksploatacji. W ten sposób kryteria ekonomiczne mogą premiować zupełnie inne właściwości czynnika roboczego niż te wynikające z analizy termodynamicznej. Mimo, że w literaturze technicznej rozpatrzone wiele różnych substancji, które mogą mieć zastosowanie w obiegach ORC, to tylko niektóre z nich stosuje się w realnie pracujących instalacjach z ORC. Do tych czynników zalicza się: HFC-134a, HFC-245fa, OMTS, toluol, solkatherm.

W pracy [11] przedstawiono rezultaty analizy możliwości zastosowania w ORC ponad 30 substancji (alkany, fluorowane alkany, etery fluorowane) w zakresie temperatur 30 – 100°C (charakterystycznych dla wód geotermalnych). W artykule [12] zaprezentowano możliwość wykorzystania 20 substancji w ORC z temperaturą około 75°C

Procesy spalania biomasy stałej w instalacjach pracujących w ORC odróżniają się pewnymi cechami charakterystycznymi, wpływającymi na właściwości czynników roboczych takich obiegów. Są one omówione w pracy [13].

Jeżeli oznaczyć tangens kąta nachylenia

$$\zeta = \frac{ds}{dT}$$

, to dla „suchych” substancji $\zeta > 0$, dla „mokrych” $\zeta < 0$, a

dla izentropowych $\zeta = 0$ (rys. 7). Podczas analizy ustalono, że największe znaczenie przy wyborze czynnika roboczego ma wysokość temperatury punktu krytycznego i wartość tangensa nachylenia ζ .

3. PERSPEKTYWY ROZWOJU ORC

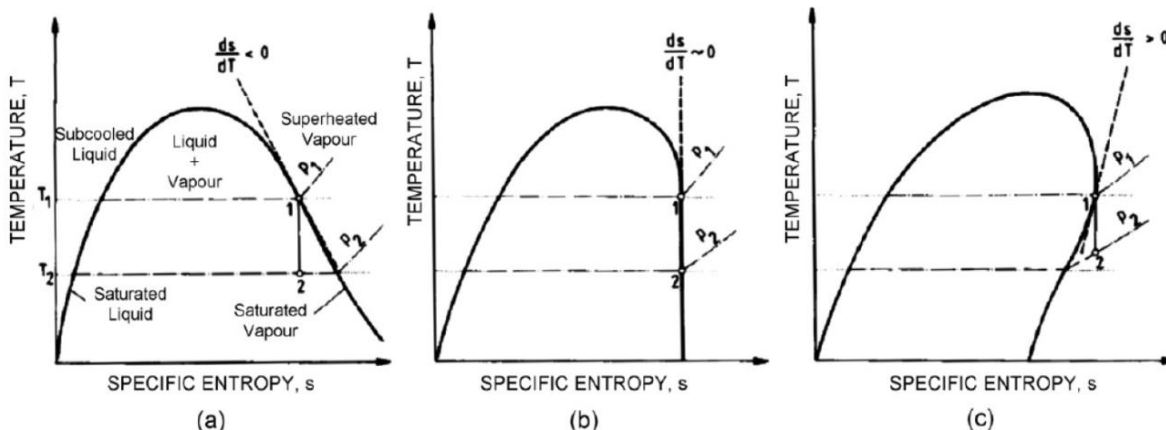
Obecnie eksploatowane instalacje z ORC, mają z reguły prostą budowę, pracują w podkrytycznym przedziale temperatur i ciśnień czynnika roboczego, w charakterze którego zwykle wykorzystuje się czyste substancje. Czasem cykl przewiduje regenerację energii cieplnej.

Trwające poszukiwania substancji, którą można by wykorzystać jako czynnik roboczy w instalacjach z ORC

W pracy [15] przedstawiono możliwości udoskonalenia organicznego obiegu Rankine’a. Zaproponowano układ z dławieniem nagrzanej cieczy (Organic Flash Cycle), która zapewnia zmniejsze-

Tab.1. Charakterystyczne temperatury OCR pracującego na stałym biopaliwie [13].

Temperatura płomienia	1200K
Maksym. temperatura czynnika roboczego	630 K
Maksym. temperatura oleju termalnego	600 K
Temperatura w skraplaczu	370 K



Rys.7. Wykres T-s substancji a) - „mokrej”, b) - „izentropowej”, c) – „suchej”, [1].

nie strat energii cieplnej w procesie nagrzewania. Przeprowadzono termodynamiczną i egzergetyczną analizę zmodyfikowanego cyklu wykorzystując równania gazu rzeczywistego (BACKONE, Spana-Wagnera, REFPROP). W charakterze czynników roboczych rozpatrzono kilka węglowodorów aromatycznych i siloksanów. Autorzy podkreślają, że wykorzystanie nowego schematu obiegu pozwala podwyższyć efektywność cieplną o 5 – 20% w porównaniu do typowego ORC.

Jednym z mankamentów instalacji niskotemperaturowych ORC jest ich niska efektywność przy częściowych obciążeniach. Tak więc jednym z zadań do rozwiązania jest zwiększenie sprawności instalacji ORC pracujących ze zmienną mocą.

PODSUMOWANIE

Zastosowanie organicznego cyklu Rankine'a pozwala wykorzystać niskotemperaturowe źródła energii (źródła geotermalne, gazy odpadowe, kolektory słoneczne, inne źródła strumieni ciepłych o stosunkowo niskiej temperaturze). Wybór czynnika roboczego dla instalacji ORC istotnie wpływa na jej charakterystyki i określa przedziały temperatur i ciśnień eksploatacyjnych. Głównymi zaletami instalacji wykorzystujących ORC są:

- brak przegrzewu czynnika roboczego,
 - stosunkowo niska temperatura gazu na wlocie do turbiny,
 - wysokie ciśnienie pary podczas kondensacji,
 - prosta konstrukcja turbiny,
 - duża gęstość czynnika roboczego, co pozwala na zmniejszenie wymiarów instalacji,
 - możliwość wykorzystania niskotemperaturowej energii cieplnej.
- Trwają prace nad stworzeniem nowego pokolenia ORC tzw. The Next Generation Organic Rankine Cycles.

BIBLIOGRAFIA

1. F., Segovia J.J., Martin M.C., Chejne F., Qijano A., Valez A. A technical, economical and market review if organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16, no.6. str. 4175 – 4189.
2. Quoilin S., Van Den Broekb M., Declaya S., Dewallefa P., Lemorta V. Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 22, str. 168 – 186.
3. Tchanche B.F., Lambrinos Gr., Frangoudakis A., Papadakis D. Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – A review of various applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15, str. 3963 – 3979.
4. Li J., Pei G., Wang D., Ji J. Energetic and exergetic investigation of an organic Rankine cycle at different heat source temperatures. *Energy*, 2012, vol. 38, no.1, str. 85 – 95.
5. Kang S.H. Design and experimental study of ORC (organic Rankine cycle) and radial turbine using R245fa working fluid. *Energy Review*, 2010, vol. 14. Str. 514 – 524.
6. Fernandez-Garcia A., Zarza E., Valenzuela L., Perez M. Parabolic-trough solar collectors and their applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. Vol. 14, str. 168 – 186. Str. 1695 – 1721.
7. Delgado –Torres A.M., Garcia-Rodrigues L. Analysis and optimization of the low-temperature solar organic Rankine cycle (ORC). *Energy Conversion and Management*, 2010, vol. 51, str. 2846 - 2856.
8. Rentizelas A., Karellas S., Karakas E., Tatsipoulosl. Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bio-energy applications. *Energy Conversion and Management*, 2009, vol. 50, str. 674 – 681.
9. Stiepanovic M.Z., Linke P., Papadopoulos A.L., Grujic A.S. on the role of working fluid properties in Organic Rankine Cycle performance. *Applied Thermal Engineering*, 2012, vol. 36, str. 406 – 413.
10. Wang Z.Q., Zhou N.J., Guo J., Wang X.Y. Fluid selection and parametric optimization of organic Rankine cycle using low temperature waste heat. *Energy*, 2012, vol. 40, str. 107 – 115.
11. Saleh B., Koglbauer G., Wendland M., Fischer J. Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles. *Energy*, 2007, vol. 32, str. 1210 – 1221.
12. Tchanche B.F., Papadikis G., Lambrinos G., Frangoudakis A. Fluid selection for a low-temperature solar organic Rankine cycle. *Applied Thermal Engineering*, 2009, vol. 29, str. 2468 - 2476.
13. Drescher U., Bruggemann D. Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. *Applied Thermal Engineering*, 2007, vol. 27, str. 223 – 228.
14. Chen H., Goswami D.Y., Stefankos E.K. A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of low-grade heat. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010, vol. 14, str. 3059 - 3067.
15. Ho T., Mao S.S., Greif R. Comparison of the Organic Flash Cycle (OFC) to other advanced vapor cycles for intermediate and high temperature waste reclamation and thermal energy. *Energy*, 2012, vol. 45, str. 213 – 223.

USING LOW-TEMPERATURE ENERGY SOURCES IN RES

Abstract

In the article a rule of operation and a brief review of ORC arrangements applied for using low-temperature energy sources were described. Analysis of sources of information is a purpose of the work in the ORC potential for the conversion of the originating warmth from geotermii, burn of biomass, waste heat from technological processes. In particular an influence of working substances of the organic circulation was analysed Rankine'a to his effectiveness.

Autorzy:

dr inż. **Jan Ciecieląg** - Wydział Mechaniczny , Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu.

dr inż. **Marek Wiśniewski** - Wydział Mechaniczny , Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu. Tel. (48) 361 79 29