

KONCEPCJA CIEPŁOWNI ZAGOSPODAROWUJĄCEJ ENERGIĘ ZAWARTĄ W WODZIE KOPALNIANEJ

THE CONCEPT OF HEATING TO MANAGEMENT OF ENERGY CONTAINED IN MINE WATER

STRESZCZENIE

Przedstawiono koncepcję modernizacji kotłowni zasilającej w ciepło kopalnię i/lub przyległe osiedle mieszkaniowe, przeprowadzanej pod kątem zagospodarowania dołowych wód kopalnianych do celów ciepłowniczych. W koncepcji zaproponowano zastosowanie jako podstawowego źródła ciepła zespołu: zasilany gazem spalinowy blok elektryczno-ciepłowniczy - sprężarkowa pompa grzejna lub absorpcyjna pompa grzejna – wysokotemperaturowy kocioł wodny. Moc grzejna tego zespołu znajduje się w jego dolnym zakresie regulacyjnym powinna całkowicie zapewnić pokrycie zapotrzebowania na ciepło poza sezonem grzewczym. W sezonie grzewczym podstawowe źródło jest niewystarczające i wymaga uzupełnienia działaniem innych źródeł ciepła, jak np. kotły obciążenia szczytowego. Dla pracy podstawowego źródła ciepła podano podstawowe wskaźniki charakteryzujące jego efektywność energetyczną.

* * *

1. WPROWADZENIE

Konieczność oszczędzania energii jest szczególnie aktualnym postulatem społecznym, gdyż nie tylko chroni istniejące zasoby paliw, ale przyczynia się do zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska naturalnego, zarówno w postaci emisji zanieczyszczeń do atmosfery, jak i w postaci stałych odpadów procesu spalania paliw organicznych, ale i także do ograniczenia szeroko rozumianych szkód górniczych. W szczególności, procesy energetyczne powinny się realizować w taki sposób, aby zarówno energia napędowa, jak i pojawiające się nośniki energii, były wykorzystane jak najpełniej w granicach technicznych możliwości i opłacalności ekonomicznej [1]. Chociaż dla typowych przemysłowych procesów energetycznych opracowano już zasady wykorzystania głównych strumieni energii odpadowej [2,3], to jednak w gospodarce ujawniają się coraz to nowe takie strumienie, dla których nie ma dotychczas szczególnych opracowań.

Zagospodarowanie zasobów energii odpadowej, jak i resztą energii odnawialnej, napotykało dotychczas brak poważniejszego zainteresowania tymi zasobami.

ABSTRACT

In this paper the concept of mine's heating plant modernisation is presented. The heat supplies housing estate or mine by heating plant. The modernisation is prepared by taking into account the management of mine's waters for heating purposes. In the concept as a basic of heating source the combustion electric-heating block, compressor or absorption heat pump and high temperature boiler are proposed. Thermal power of this system should cover heat requirement after heating season. But in heating season basic heating source is insufficient and there is need to utilization other heating sources as e.g. boilers. For work of basic heat source main factors, which characterise thermal efficiency, are given.

* * *

Wiązało się to z niskim kosztem energii elektrycznej otrzymywanej z węgla, z niewygórowanymi opłatami za korzystanie ze środowiska, oraz niskim poziomem znajomości, a także dostępności technologii niezbędnych dla pozyskiwania energii zarówno ze źródeł odnawialnych, jak i odpadowych. Zachodząca transformacja systemu gospodarczego oraz obserwowany stały postęp technologiczny we wspomnianej dziedzinie powodują, że źródła niekonwencjonalne już wkrótce staną się poważniejszą konkurencją dla energetyki i ciepłownictwa opartych na klasycznym spalaniu węgla, szczególnie wobec konieczności spełnienia przez źródła konwencjonalne szeroko rozumianych wymogów ochrony środowiska, i to w warunkach ciągłego wzrostu cen paliw organicznych. Łączenie wspomnianych niekonwencjonalnych źródeł energii w jeden wspólny system wspomagany źródłami konwencjonalnymi wydaje się na dziś jedynym rozwiązaniem pozwalającym racjonalnie wykorzystać zarówno energię odpadową, jak i pochodzącą ze źródeł odnawialnych. Oczywiście, w takim systemie powinna się znaleźć skojarzona gospodarka ciepło-elektryczna, gdyż jak powszechnie wiadomo, prowadzi ona do uzyskania poprawy ekonomicznej tego systemu.

By wprowadzić do ciepłownictwa gospodarkę skojarzoną, mamy do dyspozycji generację nowoczesnych silników spalinowych zarówno tłokowych, jak i wirnikowych o szerokim zakresie mocy, np. [4]. Silniki takie zasilane nie tylko gazem ziemnym wysokometanowym ale także niskokalorycznym gazem ziemnym, biogazem lub innym odpadowym paliwem gazowym, np. metanem z pokładów węgla kamiennego, służą do napędu generatorów prądu elektrycznego, przy czym energia zawarta w spalinach, a w przypadku silników tłokowych - dodatkowo w wodzie chłodzącej korpus silnika i układ smarowania, może być wykorzystana do celów grzewczych.

Ponieważ przyjęto, że rozważany układ energetyczny, jako realizujący gospodarkę skojarzoną, dysponuje własną energią elektryczną, przeto możliwe staje się zastosowanie sprężarkowych pomp grzejących w celu podniesienia poziomu temperaturowego określonych nośników energii. Pokonuje się w ten sposób niecelowość stosowania sprężarkowych pomp grzejących zasilanych z krajowego systemu elektroenergetycznego opartego głównie na elektrowniach ciepłych, gdyż wówczas wymagana jest wysoka wartość wskaźnika efektywności pompy grzejnej. Ponadto dodatkowy nakład energii elektrycznej będzie niezbędny do napędu pomp przetłaczających pośrednie nośniki ciepła, o których to obieg zostanie rozbudowany podstawowy układ ciepłowni.

W poprawnie zaprojektowanym procesie energetycznym strumienie beзуżytecznej energii odprowadzanej do otoczenia powinny charakteryzować się tak niskim poziomem jakości (egzergii), by ich wykorzystanie nie było już ekonomicznie opłacalne [2]. Nie zawsze jednak wymagania takie jest spełnione, i to szczególnie w procesach technologicznych. Pomocą w zagospodarowaniu takiej energii odpadowej służą zarówno ciągle wzrost kosztów podstawowych paliw i nośników energii, jak i wspomniany uprzednio postęp technologiczny, pozwalające energię dotychczas beзуżytecznie odprowadzaną do otoczenia, zaliczyć do zasobów energii odpadowej.

Do takich zasobów zaliczyć można energię zawartą w wypompowywanych wodach kopalnianych, których usunięcie jest niezbędne do utrzymania kopalni w ruchu. Wg pracy [5] w Polsce wypompowuje się ok. 35 m³/s wód kopalnianych z odwadniania wyrobisk i kopalń. Z tego ok. 1/3, czyli ponad 10 m³/s pochodzi z kopalń węgla kamiennego i posiada temperaturę ok. 18-25 °C, ok. 1 m³/s z kopalń miedzi o temperaturze dochodzącej do ok. 30 °C i ok. 5 m³/s z kopalń cynku i ołowiu o temperaturze ok. kilkunastu °C. O aktualnej skali problemu informuje również dokument [6], z którego wynika, że w 1999 r. szcerpano ogółem 882,7 mln m³ wód kopalnianych, w tym wód pitnych i przemysłowych – 744,6 mln m³, wód zasolonych – 122,1 mln m³ i solanek – 16 mln m³. Dokument [6] podaje również zestawienie ilości wód kopalnianych odprowadzanych z kopalń węgla kamiennego: ogółem 225,1 mln m³, z czego zrzucanych 150,6 mln m³ (do

rzek i potoków zlewni Odry i Wisły), zaś reszta 74,5 mln m³ jest wykorzystana. Z kolei w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym odprowadzono 218,4 mln m³ wód kopalnianych (ok. 97,0% ilości odprowadzanych wód z kopalni węgla kamiennego), z czego zrzucano 147,0 mln m³, zaś 71,4 mln m³ wykorzystano. W zagłębiu tym wody kopalniane mają bardzo zróżnicowany chemizm od wód pitnych i przemysłowych, przez wody zasolone aż do solanek (o zawartości soli powyżej 35 g/l). Z ogólnej ilości 120,7 mln m³ wód pitnych i przemysłowych ok. 38,3 % było wykorzystane gospodarczo. Zagospodarowanie wód zasolonych wynosi 28,4 %, a solanek 10,9 % ich ilości. Dokument [6] podaje również ilość 180,1 mln m³ odprowadzanych w 1999 r. wód kopalnianych z kopalń rud cynku i ołowiu (wody pitne i przemysłowe o słabej mineralizacji), z czego tylko część (32,9 mln m³) została wykorzystana. Z kolei z kopalń rud miedzi szcerpano 25,4 mln m³ wód, z których przeważającą część (ok. 94,3 %), choć były to wody zasolone i solanki, zagospodarowano. Mimo stosunkowo niskiej temperatury są to strumienie entalpii sięgające łącznie setek MW tracone bezproduktywnie i zmniejszające zdolność rzek do samooczyszczania się, gdyż wody te w większości trafiają do rzek i obniżają w nich zawartość rozpuszczonego tlenu.

Aktualnie obserwujemy coraz większe zainteresowanie zagospodarowaniem potencjału energetycznego występującego w podziemnych kopalniach węgla kamiennego [7]. Obszarem, na którym prowadzi się obecnie intensywne i zaawansowane prace są analizy możliwości wykorzystania potencjału likwidowanych kopalń głębinowych węgla kamiennego jako elektrowni szczytowo-pompowych. Podstawowymi przesłankami inwestycji są m.in.: uzupełnienie zapotrzebowania na rynku cennej mocy szczytowej, zagospodarowanie infrastruktury podziemnej i powierzchniowej likwidowanych kopalń oraz stworzenie wielu miejsc pracy dla zwalnianych górników podczas kilkuletniego procesu inwestycyjnego oraz w okresie eksploatacji elektrowni. W prowadzonych analizach zakłada się wykorzystanie szybów kopalnianych dających spadły rzędu kilkuset metrów oraz wyrobisk podziemnych na zbiornik dolny i obiekty elektrowni.

Niezależnie od wspomnianych prac do zagospodarowania w kopalniach węgla kamiennego pozostaje energia odpadowa zawarta w dołowych wodach kopalnianych o niskim poziomie temperatury. Dlatego też celem pracy jest przedstawienie ogólnej koncepcji technicznej zagospodarowania energii (wewnętrznej) zawartej w kopalnianej wodzie dołowej. By ją utylizować zaproponowano wykorzystanie tej energii do komunalnych celów grzewczych w lokalnym systemie ciepłowniczym zasilającym określone osiedle mieszkaniowe, znajdujące się w pobliżu kopalni i/lub samą kopalnię. Uzasadnia tę koncepcję fakt, że zwykle miejsca zrzutu wód kopalnianych znajdują się w pobliżu terenów zurbanizowanych, w których występuje zapotrzebowanie na ciepło grzejne. W czynnej kopalni istnieje

również zapotrzebowanie na ciepło grzejne niezbędne przynajmniej na cele ogrzewania i produkcji ciepłej wody użytkowej. Może być ono uzyskane ze wspólnej ciepłowni dla kopalni i osiedla.

2. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII ODPADOWEJ ZAWARTEJ W WODACH KOPALNIANYCH

Chociaż znana jest koncepcja [8] wykorzystania energii odpadowej zawartej w wodach kopalnianych, jak i w kopalnianym powietrzu wentylacyjnym, to jednak koncepcja ta zmierza do wykorzystania tej energii na zasadzie regeneracji ciepła do ogrzewania powietrza nowowprowadzanego do kopalni. Jest to tzw. wewnętrzny sposób wykorzystania energii odpadowej [3], którego główną zaletą jest uzyskanie bezpośredniej oszczędności energii w rozpatrywanym procesie, a także znaczna efektywność energetyczna takiego przedsięwzięcia.

Inną koncepcją w stosunku do przedstawionej w pracy [8], jest poniżej przedstawiona koncepcja własna, którą można zaliczyć do tzw. zewnętrznego wykorzystania energii odpadowej, w tym przypadku zawartej w wodach kopalnianych. Koncepcja ta nawiązuje do wcześniejszych prac autora [9-11]. W jej założeniu jest wytworzenie odpowiedniego nośnika energii dla odbiorców znajdujących się na zewnątrz w stosunku do miejsca odbioru energii odpadowej, czyli poza właściwą kopalnią.

Istotnym utrudnieniem występującym przy energetycznym zagospodarowaniu wody kopalnianej może stanowić problem jej zasolenia. Jego przezwyciężenie pociąga konieczność stosowania w instalacji specjalnych materiałów konstrukcyjnych odpornych na korozję, co wpływa znacząco na koszt inwestycyjny przedsięwzięcia.

W rozpatrywanej koncepcji zaproponowano wykorzystanie energii odpadowej zawartej w strumieniu entalpii kopalnianej wody dołowej, odprowadzanej poza kopalnię i dalej do rzek, jako konieczności warunkującej utrzymanie kopalni w ruchu lub w stanie bezpiecznym. Przewiduje się wykorzystanie tej energii odpadowej do celów grzewczych w lokalnym systemie ciepłowniczym obsługującym zarówno samą kopalnię, jak i wybrane osiedle mieszkaniowe znajdujące się w pobliżu kopalni, lub tylko wspomniane osiedle w przypadku likwidacji kopalni. Takie rozwiązanie zmierza do istotnej przebudowy dotychczasowego źródła ciepła w lokalnej ciepłowni obsługującej kopalnię i/lub osiedle.

Ponieważ temperatura wody dołowej w kopalniach węgla kamiennego zwykle osiąga wartość ok. 20-25 °C, woda ta nie nadaje się do bezpośredniego wykorzystania do celów grzewczych. Może natomiast być wykorzystana jako dolne źródło ciepła układu pomp grzewczych, których górne źródła ciepła będą dopiero podgrzewać właściwy nośnik energii grzejnej dla osiedla.

Podaż rozpatrywanego strumienia energii odpadowej jest w zasadzie stała i wyraźnie jest niedopasowana do zmiennego w czasie sezonu grzewczego zapotrzebowania na ciepło do celów grzewczych. Właśnie wspomniane niedopasowanie wymusza zastosowanie tzw. zewnętrznego sposobu wykorzystania energii odpadowej. A zatem dla przeciwdziałania występującym w konsekwencji niedoborom lub nadmiarom wytwarzanego nośnika konieczne jest zainstalowanie zasobnika energii i/lub źródła rezerwowo-szczytowego [2,3]. W efekcie koniecznej rozbudowy dotychczasowego układu grzewczego tzw. zewnętrzne wykorzystanie energii odpadowej jest oczywiście mniej efektywne energetycznie i bardziej kapitałochłonne niż regeneracyjne wykorzystanie energii odpadowej.

Możliwe jest oczywiście również zastosowanie innego źródła energii do dogrzewania wody w zasobniku, przy czym powinno to być źródło wykorzystujące zasoby energii niekonwencjonalnej, np. odpadowej lub także ciepło. Wskazane byłoby tu zagospodarowanie ewentualnej, będącej do dyspozycji przemysłowej energii odpadowej bądź np. ciepła wywiązywanego podczas spalania odpadów komunalnych lub przemysłowych, albo wreszcie wykorzystanie innych potencjalnych lokalnych zasobów energii odnawialnej. W przypadku kopalni węgla kamiennego może to być metan pochodzący z jej pokładów węgla.

Zasobniki energii w niektórych sytuacjach górniczo-geologicznych mogą być umieszczone w wyeksploatowanych wyrobiskach odizolowanych od innych części kopalni, bądź w kopalniach lub ich częściach przeznaczonych do likwidacji. Rolę taką spełniać mogą również dobrze izolowane cieplnie warstwy wodonośne poza kopalnią, do których zatłaczana byłaby podgrzana woda. Taki zasobnik ciepła może być dodatkowo zasilany energią pochodzącą z niekonwencjonalnych źródeł, przede wszystkim energią słoneczną z wodnych kolektorów słonecznych. System taki ze specjalnie wybudowanym zbiornikiem ciepłej wody funkcjonuje od 1983 r w osiedlu Lyckebo koło Karlskrony w Szwecji, zaś system wykorzystujący jako magazyn ciepła warstwę wodonośną - w miejscowości Kullavik w pobliżu Sztokholmu [12].

Przykładowo można bliżej podać, że w osiedlu Lyckebo zbudowano dla 550 domków jednorodzinnych centralną ciepłownię wspieraną energią słoneczną. Zainstalowano tam 4320 m² kolektorów słonecznych niskotemperaturowych, które są połączone z długookresowym magazynem ciepła. Funkcję magazynu spełnia sztuczna grota skalna wykuta 30 m pod powierzchnią ziemi, o głębokości 30 m i średnicy 75 m. Pojemność groty wynosi ok. 100 000 m³. W końcu lata woda zgromadzona w grocie osiąga w górnej części temperaturę 90 °C. System kontrolno-pomiarowy i układ pomp grzewczych znajdują się nad sklepieniem groty. Ciepło do odbiorców przesyłane jest tradycyjnym sposobem, zaś system w znaczącym stopniu pokrywa zapotrzebowanie na ciepło.

Zwykle do napędu pomp obsługujących lokalny system ciepłowniczy, jak również przetwarzających dołowe wody kopalniane do wód powierzchniowych, wykorzystuje się energię elektryczną pobieraną z krajowego systemu elektroenergetycznego. Dążąc do uzyskania wysokiej efektywności nowego źródła ciepła, ale i wobec konieczności rozbudowania układu ciepłowni o elementy wymagające dodatkowej mocy elektrycznej, np. do napędu sprężarkowych pomp grzewczych, w prezentowanej koncepcji przewidziano realizowanie skojarzonej gospodarki ciepłno-elektrycznej. Szczególnie jest tutaj wskazane wprowadzenie do ciepłowni tzw. bloku elektryczno-ciepłowniczego w postaci tłokowego lub wirnikowego silnika spalinowego napędzającego generator prądu elektrycznego. Taki układ sprzężonego mechanicznie silnika z prądnicą prądu przemiennego dostarcza jednocześnie moc elektryczną oraz energię odpadową w postaci strumienia entalpii spalin wylotowych, a ponadto w przypadku silnika tłokowego - wody chłodzącej korpus oraz układ smarowania. Strumienie tej energii można wykorzystać do podgrzewania wody sieciowej lub też do zasilania zasobnika ciepłej wody.

W ciepłowni lokalnego systemu ciepłowniczego, po rozbudowie o układ wykorzystujący energię zawartą w dołowych wodach kopalnianych, podstawowym źródłem ciepła będzie pompa grzejna lub ich układ wraz z silnikiem lub silnikami spalinowymi. Dotychczasowe podstawowe źródło ciepła tej ciepłowni zwykle w postaci kotłów węglowych będzie mogło pełnić funkcję źródła szczytowego lub awaryjnego.

Proponowane rozwiązanie można zastosować do modernizacji źródeł ciepła lokalnych systemów ciepłowniczych obsługujących kopalnię i/lub przyległe osiedla mieszkaniowe w pobliżu miejsca zrzutu wypompowywanych wód kopalnianych, nie tylko z kopalni węgla kamiennego, ale również i z kopalni miedzi, cynku lub ołowiu. Może być także zastosowane w innych obiektach, gdzie występuje energia odpadowa (niektóre zakłady przemysłowe, oczyszczalnie ścieków, wysypiska odpadów komunalnych itp.) lub gdzie możliwe jest wykorzystanie lokalnych zasobów energii odnawialnej. Uwarunkowania energetyczne modernizacji ciepłowni poprzez wprowadzenie spalinowego bloku elektryczno-ciepłowniczego zostały przedstawione w pracy [13]. W niniejszej pracy zostaną wykorzystane ważniejsze wyniki analizy takiej modernizacji ciepłowni o układ służący do zagospodarowania energii dołowych wód kopalnianych. Z kolei w pracy [14] przedstawiono potencjalne możliwości zagospodarowania ciepła geotermalnego w ciepłowni ze sprężarkową pompą grzejną napędzaną silnikiem spalinowym dla różnych wydajności źródła geotermalnego.

By nadać pracy możliwie szeroki charakter, niniejsze rozważania przeprowadzono dla bliżej nieokreślonej ciepłowni obsługującej osiedle mieszkaniowe i/lub samą kopalnię. Jednak określona lokalizacja może narzucić pewne dodatkowe uwarunkowania nie uwzględnione w tym opracowaniu.

3. OPIS KONCEPCJI WYKORZYSTANIA ENERGII DOŁOWYCH WÓD KOPALNIANYCH

Przyjęto, że zagospodarowanie energii dołowych wód kopalnianych do celów ciepłowniczych następuje w ciepłowni kopalnianej lub komunalnej zasilającej w ciepło grzejne (w postaci gorącej wody jako nośnika) kopalnię i/lub osiedle mieszkaniowe znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie kopalni węgla kamiennego. Przeważnie ciepłownia taka wyposażona jest w kotły węglowe jako jedyne źródło ciepła, przy czym najczęściej są to kotły wodne z rusztem napędzanym mechanicznie, z wentylatorami podmuchu i wyciągu spalin, o średniej mocy grzewczej. Tradycyjnie układ kotłów jest tak dobrany, że jeden z nich, najczęściej najmniejszy służy jako źródło ciepła w okresie poza sezonem grzewczym. Pozostałe, a są to zwykle przynajmniej dwa kotły, zaopatrują odbiorców w wodę grzejną na pokrycie potrzeb ciepłych w sezonie grzewczym. W takim układzie w sezonie grzewczym pracują zwykle kotły obciążenia podstawowego, zaś kocioł, który poza sezonem dostarcza ciepłą wodę użytkową, pełni funkcję źródła szczytowego.

By właściwie dobrać układ źródeł ciepła dla modernizowanej ciepłowni trzeba dysponować tzw. uporządkowanym wykresem zapotrzebowania ciepła. Obejmuje on zmiany zapotrzebowania na ciepło niezbędne dla odbiorców komunalnych (na potrzeby ogrzewania, wentylacji, klimatyzacji i przygotowania ciepłej wody), jak i odbiorców przemysłowych (na cele technologiczne, ogrzewniczo-wentylacyjne, klimatyzacyjne i przygotowania ciepłej wody). Przy dobieraniu mocy źródeł ciepła należy ponadto uwzględnić sprawność przesyłania ciepła grzejnego.

Prezentowana koncepcja zagospodarowania energii dołowych wód kopalnianych sprowadza się do stosownej modernizacji ciepłowni, przeprowadzanej pod kątem możliwości ciepłowniczego wykorzystania tych wód. Jak już wspomniano, ze względu na temperaturę wód kopalnianych, zwykle mieszczącą się w przedziale 20-25 °C, nie ma mowy o bezpośrednim wykorzystaniu ich poziomu energetycznego do komunalnych celów grzewczych. Niezbędne są tutaj do zainstalowania pompy grzejnej. W przypadku zastosowania mechanicznego napędu sprężarek byłby to układ kilku równolegle ustawionych sprężarkowych pomp ciepła, przez których szeregowo połączone parowniki kolejno przepływałaby woda kopalniana, zaś odpowiednio przez ich równie szeregowo połączone skraplacze przepływałaby woda sieciowa systemu grzewczego. Ilość tych pomp grzewczych wynikałaby z zakładanego schłodzenia wody kopalnianej, zwykle nie przekraczającego ok. 5-6 K na jeden parownik. Praktycznie biorąc byłby to układ trzech lub maksymalnie czterech pomp grzewczych. Zastosowanie do napędu sprężarek energii elektrycznej z krajowego systemu elektroenergetycznego pociągałoby konieczność prowadzenia pracy pompy grzejnej ze stosunkowo wysokim wskaźnikiem efektywności, o znacznie wyższej wartości niż przy wykorzystaniu energii

elektrycznej pochodzącej z własnej elektrociepłowni. A zatem należałoby wprowadzić do ciepłowni skojarzoną gospodarkę ciepło-elektryczną opartą na pracy spalinyowego bloku elektryczno-ciepłowniczego, którego silnik zasilany gazem ziemnym lub np. gazem z odmetanowania kopalni napędzałby generator prądu przemiennego, dostarczający energię elektryczną do napędu pomp grzewczych. Ponadto silnik spalinowy zasilany tym paliwem dostarczałby ciepło do ogrzewania wody sieciowej systemu ciepłowniczego.

Przy wprowadzeniu do ciepłowni bloku spalinyowego, w porównaniu do zasilania pomp grzewczych energią elektryczną z krajowego systemu elektroenergetycznego, zauważalnie obniża się minimalna wartość wskaźnika efektywności energetycznej pompy grzewczej, zapewniającego efektywność energetyczną jej zastosowania.

By zastosować w ciepłowni (jedną) absorpcyjną pompę grzejną niezbędna jest energia napędowa w postaci wysokotemperaturowej wody grzewczej (ok. 160-180 °C). Wówczas powinno się zainstalować odpowiedni kocioł wodny dostarczający gorącą wodę do napędu absorpcyjnej pompy grzewczej. W dodatku obieg wysokotemperaturowej wody grzewczej powinien być sprzężony cieplnie poprzez wymiennik ciepła z obiegiem wody sieciowej, zapewniając możliwość jej dodatkowego dogrzania. Zarówno przy stosowaniu absorpcyjnej, jak i sprężarkowej pompy grzewczej, niezbędny jest w ciepłowni, w zależności od jej mocy grzewczej, przynajmniej jeden gazowy kocioł wodny jako szczytowe lub awaryjne źródło ciepła.

Podstawowe źródło ciepła, tzn. sprężarkowa pompa grzejna i silnik spalinowy lub też absorpcyjna pompa grzejna wraz z kotłem wysokotemperaturowym, pracując z najniższą możliwą wydajnością powinno całkowicie zapewnić pokrycie zapotrzebowania na ciepło poza sezonem grzewczym. W okresie sezonu grzewczego powyżej określone źródło ciepła powinno pracować w podstawie obciążenia cieplnego realizowanego w ciepłowni. A zatem w sezonie grzewczym podstawowe źródło jest niewystarczające i wymaga uzupełnienia pracą innych źródeł ciepła. Tę brakującą część mocy grzewczej w sezonie powinien więc zapewnić inny kocioł lub kotły obciążenia szczytowego. Ze względów ekologicznych powinny to być kotły wodne zasilane gazem ziemnym lub też np. metanem z pokładów węgla.

Ponieważ moc silnika jest dobierana do mocy niezbędnej do napędu pompy grzewczej, przeto możliwe jest wykorzystanie pracy takiego układu z częścią jego mocy nominalnej. Zwykle charakterystyka silników nowej generacji sprowadza się do bardzo płaskiego przebiegu krzywej sprawności mechanicznej silnika w znacznym zakresie zmienności jego liczby obrotów, praktycznie biorąc od połowy nominalnej do nominalnej liczby obrotów. Umożliwia to efektywna praca silnika w zakresie od połowy mocy do pełnej jego mocy nominalnej. W takim przypadku na pokrycie potrzeb cieplnych poza sezonem grzewczym silnik mógłby pracować z niepełną mocą, a gdy pozwala na to jego charakterystyka

nawet z połową mocy nominalnej. Godząc się na niewielkie pogorszenie efektów energetycznych silnika, mógłby on pracować nawet w zakresie od ok. czwartej części jego mocy nominalnej. Z kolei w sezonie grzewczym brakującą część mocy grzewczej ponad pracę silnika przy mocy nominalnej i pompy grzewczej zapewniałby szczytowy kocioł wodny.

By określić nakład energii niezbędny dla wykorzystania energii wód kopalnianych poniżej podano zarys obliczeń szacunkowych dotyczących wybranego strumienia tej wody. W obliczeniach rozpoznawczych można przyjąć, że każdemu strumieniowi objętości wody kopalnianej ok. 10 m³/h, przy założonym spadku jego temperatury w parowniku sprężarkowej pompy grzewczej ok. 17 K, odpowiada moc grzejna jej dolnego źródła ciepła na poziomie ok. 200 kW_t. Przyjmując średni wskaźnik efektywności pracy pompy grzewczej równy ok. 3,5 otrzymuje się ok. 280 kW_t mocy grzewczej na poziomie jej górnego źródła ciepła, co wymaga doprowadzenia mocy elektrycznej ok. 80 kW_e. Przyjmując wskaźnik skojarzenia (stosunek mocy elektrycznej do mocy grzewczej) silnika elektrycznego wynoszący ok. 0,6-0,7 otrzymuje się moc grzejną tego silnika na poziomie odpowiednio ok. 135 - 115 kW_t. Zatem łączny strumień ciepła uzyskiwany przez układ silnik spalinowy – pompa grzejna wynosi ok. 415 - 395 kW_t. Efekt ten można uzyskać nakładem strumienia energii chemicznej ok. 250 – 220 kW_{ch} przy sprawności ogólnej silnika odpowiednio ok. 0,90 - 0,85. A zatem efekt działania układu: spalinowy blok elektryczno-ciepłowniczy – sprężarkowa pompa grzejna wyraża się nakładem energii chemicznej przypadającej na wytworzenie jednostki ciepła ok. 0,60 – 0,55 kJ_{ch} / kJ_t.

Rozbicie całkowitego spadku temperatury wody kopalnianej 17 K na układ np. trzech pomp grzewczych ustawionych równolegle może doprowadzić do podniesienia wskaźnika efektywności energetycznej układu pomp do poziomu nawet 5,0. W konsekwencji przyniesie to obniżkę łącznej mocy grzewczej do wartości ok. 330 - 320 kW_t, przy zmniejszonej mocy elektrycznej do 50 kW_e, uzyskiwanej kosztem strumienia energii chemicznej ok. 150 – 140 kW_{ch}. Prowadzi to do wartości jednostkowego nakładu energii wynoszącego ok. 0,45 kJ_{ch} / kJ_t.

Opierając się na powyższych wielkościach charakteryzujących pompę grzejną i silnik spalinowy można również określić nakład energii pierwotnej w paliwie niezbędny na zagospodarowanie jednostki energii geotermalnej. Dla przyjętego uprzednio wskaźnika efektywności energetycznej pompy grzewczej 3,5 oraz 5,0 można oszacować ten nakład jako odpowiednio ok. 1,1 – 0,7 kJ_{ch} / kJ_{geot}. Podobna analiza zastosowana do sprężarkowej pompy grzewczej również o wskaźnikach efektywności energetycznej 3,5 - 5,0, ale zasilanej energią elektryczną z krajowego systemu elektroenergetycznego, prowadzi do następujących wyników: odpowiednio ok. 0,95 – 0,65 kJ_{ch} / kJ_t oraz ok. 1,35 – 0,85 kJ_{ch} / kJ_{geot}. A zatem nakład energii chemicznej niezbędny do zagospodarowania energii nisko-

temperaturowych wód kopalnianych przy użyciu sprężarkowej pompy grzejnej jest porównywalny do wielkości tej energii, przy czym w niekorzystnych warunkach może nawet ją przekroczyć.

Reasumując powyższe szacunki można powiedzieć, że znajdujący się w podstawie obciążenia ciepłowni blok spalinowy – pompa grzejna schładzając przykładowy strumień objętości 10 m³/h wody kopalnianej o ok. 17 K jest w stanie zapewnić moc grzejącą ok. 415 – 320 kW_t na pokrycie potrzeb poza sezonem grzewczym przy dodatkowym nakładzie strumienia energii chemicznej odpowiednio ok. 250 – 150 kW_{ch}, co się wyraża jednostkowym nakładem energii chemicznej na wytworzenie jednostki ciepła ok. 0,60 – 0,45 kJ_{ch}/kJ_t. Ten ostatni wynik jest prawie dwukrotnie korzystniejszy, niż przy zastosowaniu do zasilania sprężarkowej pompy grzejnej energii elektrycznej z krajowego systemu elektroenergetycznego.

Rozważmy teraz przypadek zastosowania absorpcyjnej pompy grzejnej np. pracującej na wodnym roztworze bromku litu. Można przyjąć, że jej wskaźnik efektywności energetycznej mieści się w granicach ok. 1,5 – 1,7. Zakładając, że ciepło napędowe dla pompy pochodzi z kotła wodnego o sprawności energetycznej ok. 0,9 otrzymuje się dla absorpcyjnej pompy grzejnej wskaźnik określający nakład energii pierwotnej na wytworzenie jednostki ciepła w wysokości odpowiednio ok. 0,75 – 0,65 kJ_{ch}/kJ_t oraz wskaźnik określający nakład energii chemicznej (pierwotnej) niezbędny na zagospodarowanie energii geotermalnej w wysokości odpowiednio ok. 2,2 – 1,6 kJ_{ch}/kJ_{geot}. A zatem w przypadku zastosowania absorpcyjnej pompy grzejnej do zagospodarowania energii dołowych wód kopalnianych należy się liczyć z faktem, że wielkość nakładu energii chemicznej na zagospodarowanie tej energii geotermalnej przekracza znacząco jej wartość.

Dla oceny porównawczej wysokości nakładu energii pierwotnej na wytworzenie jednostki ciepła można podać, że praca konwencjonalnego kotła gazowego charakteryzuje się wskaźnikiem ok. 1,10 – 1,15 kJ_{ch}/kJ_t, czyli wymaga blisko dwukrotnie większego nakładu niż absorpcyjna pompa grzejna lub też ponad dwukrotnie większego nakładu energii pierwotnej niż układ blok spalinowy – pompa grzejna. Warto tu jednocześnie podkreślić, że nakład energii chemicznej na zagospodarowanie energii geotermalnej jest prawie dwukrotnie niższy w przypadku zastosowania sprężarkowej pompy grzejnej napędzanej silnikiem spalinowym w stosunku do absorpcyjnej pompy grzejnej. A zatem przyjmując jako podstawę kryterium energetyczne, to wprowadzenie do układu ciepłowni zespołu blok spalinowy – sprężarkowa pompa grzejna do zagospodarowania energii wód kopalnianych jest ze wszech miar zalecane.

Powyżej przeprowadzona analiza energetyczna obejmuje wyłącznie przypadek pracy podstawowego źródła ciepła i nie uwzględnia pracy źródła szczytowego. By uwzględnić wpływ pracy źródła szczytowego należy dysponować szczegółowymi danymi odnośnie

proporcji wykorzystania wydajności obu źródeł. Jednak nawet takie dane nie zmieniają wymowy powyższej analizy o korzyściach płynących z zastosowania układu: sprężarkowa pompa grzejna – blok spalinowy.

Z kolei do podjęcia konkretnej decyzji inwestycyjnej niezbędna jest pełna analiza ekonomiczna obejmująca koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne proponowanego rozwiązania. Ten problem wykracza jednak poza zakres niniejszego opracowania.

4. ZAKOŃCZENIE

W niniejszej pracy przedstawiono ogólną koncepcję zagospodarowania energii zawartej w dołowych wodach kopalnianych, w szczególności kopalni węgla kamiennego.

Prezentowana koncepcja zagospodarowania energii dołowych wód kopalnianych sprowadza się do stosownej modernizacji ciepłowni, przeprowadzanej pod kątem możliwości ciepłowniczego wykorzystania tych wód. Ze względu na temperaturę wód kopalnianych, zwykle mieszczącą się w przedziale 20-25 °C niezbędne jest zastosowanie pomp grzejących. W przypadku wykorzystania mechanicznego napędu sprężarek byłby to układ jednej lub kilku równolegle ustawionych sprężarkowych pomp ciepła, przez których szeregowo połączone parowniki kolejno przepływałaby woda kopalniana, zaś odpowiednio przez ich równie szeregowo połączone skraplacze przepływałaby woda sieciowa systemu grzejącego. Rozważono zastosowanie w ciepłowni skojarzonej gospodarki ciepło-elektrycznej opartej na pracy spalinowego bloku elektryczno-ciepłowniczego, którego silnik zasilany gazem ziemnym lub np. metanem z pokładów węgla kamiennego, napędzałby generator prądu przemiennego, dostarczając energię elektryczną do napędu pomp grzejących. Ponadto silnik spalinowy dostarczałby ciepło do ogrzewania wody sieciowej systemu ciepłowniczego.

By zastosować w ciepłowni (jedną) absorpcyjną pompę grzejącą, powinno się zainstalować wysokotemperaturowy kocioł wodny dostarczający gorącą wodę do napędu absorpcyjnej pompy grzejnej, przy czym obieg wysokotemperaturowej wody grzejnej powinien być sprzężony cieplnie poprzez wymiennik ciepła z obiegiem wody sieciowej, zapewniając możliwość jej dodatkowego dogrzania.

Zarówno przy stosowaniu absorpcyjnej, jak i sprężarkowej pompy grzejnej, niezbędny jest w ciepłowni, w zależności od jej mocy grzejnej, przynajmniej jeden gazowy kocioł wodny jako szczytowe lub awaryjne źródło ciepła.

Przyjęto, że w rozpatrywanej ciepłowni podstawowe źródło ciepła, czyli np. sprężarkowa pompa grzejna i silnik spalinowy lub też absorpcyjna pompa grzejna wraz z kotłem wysokotemperaturowym, pracując z najniższą możliwie mocą grzejącą powinno całkowicie zapewnić pokrycie zapotrzebowania na ciepło poza sezonem grzewczym. W okresie sezonu grzewczego powyżej określone źródło ciepła powinno pracować

w podstawie obciążenia cieplnego realizowanego w ciepłowni, zaś brakującą moc grzejącą powinien zapewnić inny kocioł lub kotły obciążenia szczytowego. Ze względów ekologicznych powinny to być kotły wodne zasilane gazem ziemnym lub też np. metanem z pokładów węgla kamiennego.

Przeprowadzono szacunkową analizę energetyczną pracy podstawowego źródła ciepła w modernizowanej ciepłowni. Przykładowo rozpatrzono strumień objętości 10 m³/h wody kopalnianej schładzany w pompie grzejącej o ok. 17 K, który w najkorzystniejszym przypadku (w oparciu o działanie pomp grzejących napędzanych silnikiem spalinowym), jest w stanie zapewnić moc grzejącą ok. 320 - 415 kW_t dla potrzeb przygotowania ciepłej wody użytkowej przy nakładzie strumienia energii chemicznej odpowiednio ok. 150 – 250 kW_{ch}, co się wyraża jednostkowym nakładem energii chemicznej na wytworzenie jednostki ciepła ok. 0,45–0,60 kJ_{ch}/kJ_t. Podkreślono, że zastosowanie pompy grzejącej wymaga znaczącego nakładu pierwotnej energii chemicznej, porównywalnego z wielkością zagospodarowywanej energii geotermalnej.

By uwzględnić wpływ pracy źródła szczytowego na efektywność pracy ciepłowni należy dysponować szczegółowymi danymi odnośnie proporcji wykorzystania wydajności obu tych źródeł.

Jednak dla konkretnej decyzji inwestycyjnej niezbędna jest pełna analiza ekonomiczna obejmująca koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne proponowanego rozwiązania. Ten problem wykracza jednak poza zakres niniejszego opracowania.

LITERATURA

1. Szargut J.: Analiza termodynamiczna i ekonomiczna w energetyce przemysłowej. WNT, W-wa, 1983.
2. Pr. zbior.: Przemysłowa energia odpadowa. Zasady wykorzystania. Urządzenia. WNT, W-wa, 1993.
3. Ziębik A.: Zasady wykorzystania przemysłowej energii odpadowej. Gospodarka Paliwami i Energią, nr 11, 1993, s.12-16.
4. Prospekty silników spalinowych firm: Alstom Power, General Electric, Deutz MWM, MAN-Bu.W, Vartsila, Viesmann.
5. Pr. zbior.: Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych. Wyd. Uniw. Jagiell., Kraków, 1993, s. 354-371.
6. Pr. zbior.: Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31 XII 1999 Państwowy Instytut Geologiczny, W-wa 2000.
7. Kaleta K., Małeckie R.: Wybrane możliwości wykorzystania potencjalnych zasobów energetycznych na terenie działania Będzińskiego Zakładu Elektroenergetycznego S.A. [Mat.]: VII Konf. Nauk.-Techn. Ogólnopolskie Forum Odnawialnych Źródeł Energii- 2000, Łódź, 2000 r., Stow. Wykorz. Odnawialnych Źródeł Energii, Kielce 2000, s. 4.
8. Nadziakiewicz J., Nowak J., Rudnicki Z.: Zastosowanie pompy ciepła do podgrzewania powietrza wdechowego w kopalni węgla kamiennego. [Mat.]: Konf. Gospodarka ciepła i eksploatacja pieców przemysłowych, Pol. Częst., Poraj k/Częstochowy, 1995, s.85-106.
9. Kubski P., Sawicki J.: Wykorzystanie wód kopalnianych jako dolnego źródła ciepła pomp grzejących. [Mat.]: Konf. Problemy hydrologiczne południowo-zachodniej Polski; Pol. Wrocław, Wrocław 1996, s.287-295
10. Kubski P.: Analiza możliwości wykorzystania energii wód kopalnianych do celów grzewczych. Podstawy geosynoptyczne rozwoju geoenergetyki w Polsce, 1995, Zakopane. Zasady projektowania zakładów geotermalnych, 1996, Kraków-Zakopane. Polska Szkoła Geotermalna, Kraków 1996, s.281-286.
11. Kubski P.: Propozycje zagospodarowania energii kopalnianych do komunalnych celów grzewczych. Możliwości rozwoju geoenergetyki w woj. tarnowskim; Polska Szkoła Geotermalna, Kraków - Straszecin k/Debicy, 1997, s.290-296.
12. Wołoszyn M.A.: Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinnym. Centr. Ośr. Inf. Budown., W-wa, 1991, s.25-40.
13. Kubski P.: Modernizacja źródła ciepła systemu ciepłowniczego poprzez wprowadzenie spalinowego bloku elektryczno-ciepłowniczego; Gospodarka Paliwami i Energią 2000, nr 3 (550), s. 7-12.
14. Kubski P.: Ciepłownia geotermalna z pompą ciepła napędzaną silnikiem spalinowym; Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2001 (r.XXXII), nr 5 (374), s.23-31.