

doi:10.15199/48.2022.12.22

Badania węzła ciepłowniczego z kotłem indukcyjnym

Streszczenie. W artykule przedstawiono kocioł indukcyjny jako alternatywne źródło ciepła zastępujące sieć ciepłowniczą o wysokich parametrach. Przedstawiono budowę węzła ciepłowniczego z kotłem indukcyjnym, badania sprawności prototypu przemysłowego takiego kotła, oraz analizę kosztów ogrzewania budynków wielorodzinnych z wykorzystaniem OZE oraz kotła indukcyjnego.

Abstract. The article presents an induction boiler as an alternative heat source replacing a high-temperature district heating network. The construction of a heating node with an induction boiler, efficiency tests of an industrial prototype of such a boiler, and an analysis of heating costs of multi-family buildings with the use of renewable energy sources and an induction boiler were presented. (*Research on a heating node with an induction boiler*).

Słowa kluczowe: kocioł indukcyjny, indukcyjny węzeł ciepłowniczy, awaryjne źródło ciepła

Keywords: induction boiler, induction heat node, emergency heat source

Wstęp

Wymagania dotyczące emisji gazów cieplarnianych, wysokie ceny paliw i dostępność nowoczesnych technologii energetyki prosumenckiej powodują potrzebę transformacji energetyki ciepłej. Wymaga ona koordynacji działań na wielu polach, takich jak sieć ciepłownicza PEC i odnawialne źródła energii OZE. Źródła OZE optymalizowane są dla średniego zapotrzebowania na energię, zatem w czasie maksymalnego poboru lub niskiej produkcji konieczne jest uzupełnianie energii z innych źródeł – w przypadku ogrzewania jest to często sieć ciepłownicza.

Miejskie sieci ciepłownicze często wymagają gruntownego remontu, zatem rozkopania ulic miast, co jest zadaniem kosztownym i społecznie uciążliwym. Najczęściej powoduje to długotrwałe problemy komunikacyjne w mieście, co przekłada się na większe koszty życia i prowadzenia działalności gospodarczej. Powyższe problemy mogą być wyeliminowane za pomocą elektryfikacji węzła ciepłowniczego. Transport energii elektrycznej jest łatwiejszy niż ciepłej, a prowadzenie instalacji elektrycznej nie burzy infrastruktury komunikacyjnej jak w przypadku budowy lub remontu sieci ciepłowniczej. Transformacja energetyki ciepłej może być rozłożona w czasie i dotyczyć odcinków sieci ciepłowniczej, najbardziej narażonych na awarię w których usunięcie awarii skutkuje największymi problemami komunikacyjnymi i społecznymi.

Kocioł indukcyjny [1] umożliwia zastąpienie systemowej sieci ciepłowniczej w miejscu jej podłączenia do budynku, czyli po stronie wysokich parametrów, bez ingerencji w instalację budynku. Dzięki temu można będzie zrezygnować z kosztownych remontów przestarzałych odcinków sieci ciepłowniczej. Dodatkowo elektryczny węzeł ciepłowniczy w połączeniu z OZE i odpowiednim sterowaniem pozwoli na zmniejszenie kosztów ogrzewania.

W kotle indukcyjnym grzany medium jest olej termalny, co umożliwi uzyskanie wysokich temperatur medium dla ciśnienia atmosferycznego, zatem z odpowiednim zbiornikiem i sterowaniem kocioł ten może pełnić dodatkowo rolę magazynu energii ciepłej. Wysokie parametry umożliwiają też dużą dynamikę przekazywania ciepła, natomiast praca w niskich ciśnieniach zwiększa bezpieczeństwo jednocześnie obniżając koszty instalacji.

Centralnym punktem opisywanego węzła ciepłowniczego (rys. 1) jest sieciowy terminal dostępowy (STD), który zarządza całym węzłem. STD integruje wytwarzanie ciepła z odnawialnych źródeł, takich jak pompy ciepła i kolektory słoneczne, wytwarzanie i magazynowanie energii ciepłej w kotle indukcyjnym, oraz wytwarzanie energii elektrycznej z OZE. Do optymalnego zarządzania

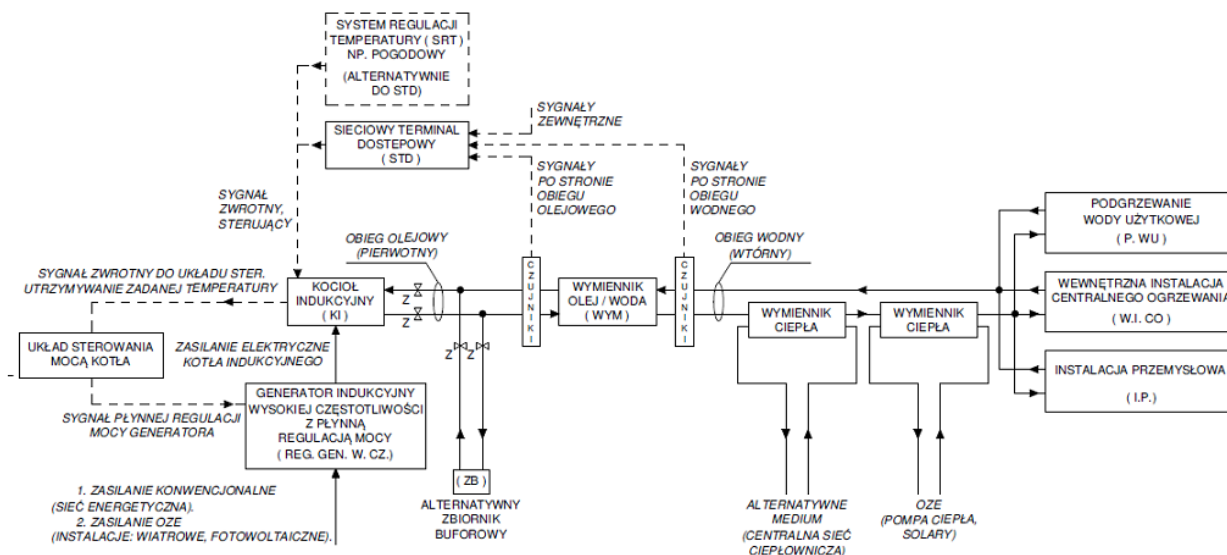
energiją STD wykorzystuje cały szereg pomiarów temperatury i przepływu i odpowiednio do warunków steruje przepływem mediów grzewczych, pracą elektrycznych urządzeń grzewczych, magazynowaną energią ciepłą z uwzględnieniem okresów pracy szczytowej OZE.

Indukcyjny węzeł ciepłowniczy

W instalacjach centralnego ogrzewania i wody użytkowej budownictwa wielomieszkaniowego, ciepło doprowadzane jest z centralnej sieci ciepłowniczej o parametrach wysokich do węzła ciepłowniczego, w którym przez wymiennik ciepła przekazywane jest do wewnętrznej instalacji centralnego ogrzewania pomieszczeń i wody użytkowej. Miejskie ciepłownie posiadają rozbudowane wielokilometrowe sieci doprowadzające ciepło do budynków mieszkalnych, o różnym przekroju, różnym zużyciu i o wielotonowym zładzie, który decyduje o dużej bezwładności ciepłej systemu grzewczego. Koszty remontów planowych, a w szczególności koszty awarii sieci są wysokie tak pod względem ekonomicznym jak też społecznym.

Indukcyjny węzeł ciepłowniczy [2] umożliwia wyeliminowanie wielokilometrowych sieci przesyłania ciepła z centralnych ciepłowni lub elektrociepłowni do budynków mieszkalnych i użytkowych oraz zapewnia efektywne dostarczenie ciepła do tych budynków. Węzeł ten pozwala też na włączenie do węzła ciepłowniczego źródeł energii odnawialnej (OZE). Praca węzła sterowana jest automatycznie, optymalizując zużycie energii, zapewniając jednocześnie komfort cieplny użytkowników.

Układ indukcyjnego węzła ciepłowniczego zawiera źródło czynnika grzewczego o wysokich parametrach temperatury o wartości powyżej 100 °C, wymiennik ciepła pomiędzy czynnikiem grzewczym o wysokich parametrach, a czynnikiem grzewczym o niskich parametrach temperatury o wartości poniżej 100 °C, przeznaczony do połączenia z wewnętrznymi instalacjami grzewczymi (centralnego ogrzewania, wody użytkowej, instalacją grzewczą przemysłową). Źródłem czynnika grzewczego o wysokich parametrach jest Indukcyjny Zespół Grzewczy, zawierający zasilany elektrycznie kocioł indukcyjny oraz pompę obiegową wraz ze zbiornikiem wyrównawczym czynnika grzewczego połączone z wymiennikiem ciepła. Indukcyjny Zespół Grzewczy zawiera dodatkowo układ sterowania mocą kotła oraz generator indukcyjny średniej lub wysokiej częstotliwości z płynną regulacją mocy. Układ zawiera też sterownik programowalny STD. Dodatkowo układ można wyposażać w magazyn ciepła zawierający czynnik grzewczy o wysokich parametrach.



Rys.1. Indukcyjny węzeł ciepłowniczy

Proponowane rozwiązanie eliminuje wady istniejących systemów ciepłowniczych. Przybliżenie produkcji ciepła do odbiorców ogranicza straty przesyłania ciepła, które występują w systemowej sieci ciepłowniczej. Indukcyjny węzeł ciepłowniczy zastępując dotychczasowy sposób zasilania budynków wielorodzinnych z systemowej sieci ciepłowniczej, eliminuje straty przesyłowe energii cieplnej, zapewnia bezpieczeństwo zasilania w ciepło, szczególnie w przypadkach wyeksploatowanych sieci ciepłowniczych o wysokiej awaryjności. Koszt doprowadzenia dodatkowego zasilania w energię elektryczną jest nieporównanie niższy od kosztów doprowadzenia energii cieplnej przez sieć systemową, a koszt zainstalowania kotła indukcyjnego jest niższy aniżeli koszt usuwania awarii sieci, wymagający rozkopania ulic i zmiany układu komunikacyjnego na czas awarii. Ponadto rozwiązanie to umożliwia zainstalowanie w węźle ciepłowniczym źródeł ciepła wykorzystujących energię odnawialną oraz zarządzanie optymalne zużyciem energii pod względem kosztów. W instalacjach przemysłowych rozwiązanie umożliwia nagrzewanie technologicznych nośników ciepła, eliminując dotychczasowe metody nagrzewania z wykorzystaniem kopalnych źródeł energii.

Kocioł indukcyjny

Proponowane rozwiązanie kotła indukcyjnego ukierunkowane jest na jego zastosowanie w węźle ciepłowniczym budynków wielorodzinnych. Celem jest zastąpienie zasilania węzła ciepłowniczego energią z systemowej sieci ciepłowniczej, ciepłem pozyskiwanym z kotła indukcyjnego. Parametry wyjściowe kotła mają być takie jak z sieci ciepłowniczej. Pozwoli to na zastąpienie sieci ciepłowniczej w miejscu jej przyłączenia do budynku bez ingerencji w instalację budynku.

Wykonano stanowisko badawcze kotła indukcyjnego (rys. 2) zawierające kocioł indukcyjny o mocy regulowanej do 200 kW, pompę obiegową, wymiennik płytowy ciepła i zbiornik wyrównawczy cieczy w obiegu węzła ciepłowniczego. Stanowisko wyposażono w system czujników temperatury, ciśnienia i przepływu wraz z systemem pomiaru i rejestracji mierzonych parametrów, które umożliwiają badania pola temperaturowego w rdzeniu kotła oraz w uzwojeniach, a w konsekwencji wyznaczenie sprawności kotła indukcyjnego zasilanego z generatora wysokiej lub średniej częstotliwości [3].

Cechy charakterystyczne badanego kotła indukcyjnego:

- prąd zasilający wysokiej lub średniej częstotliwości – większa sprawność grzania,
- rdzeń stanowi zamknięty obwód magnetyczny dla strumienia wytwarzanego przez wzbudnik indukcyjny,
- konstrukcja transformatora kubkowego z rdzeniem litym udrożnionym wewnątrz dla przepływu cieczy,
- rdzeń wykonany z rur lub profili stalowych zamkniętych,
- nagrzewanie cieczy (oleju termalnego) odbywa się w rdzeniu i uzwojeniach, zatem jest to nagrzewanie wykorzystujące straty w transformatorze.



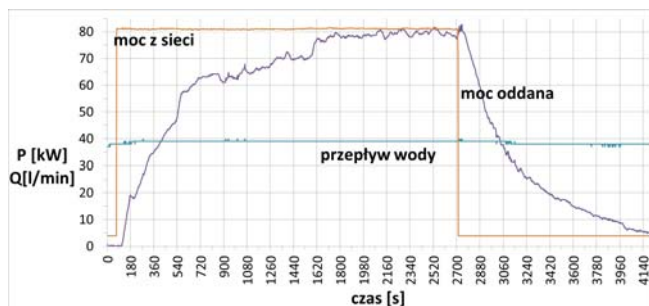
Rys. 2. Badawczy kocioł indukcyjny

Badania przeprowadzone na modelu przemysłowym kotła indukcyjnego miały na celu określenie sprawności kotła, co jest podstawowym parametrem z punktu widzenia użytkownika. W tym celu mierzono bezpośrednio energię pobieraną przez kocioł z sieci zasilającej oraz wyznaczano energię przekazywaną przez kocioł do wody po stronie niskich parametrów. Energię przekazywaną do odbioru wyznaczano na podstawie pomiaru przepływu wody przez wymiennik oraz różnicy temperatur wody na wlocie i wylocie wymiennika.

Rysunek 3 przedstawia wykres zmierzonej mocy pobieranej z sieci energetycznej oraz wykres mocy oddawanej do wody, obliczonej ze wzoru:

$$(1) \quad P_{oddana} = Q \cdot C_w \cdot (TCI - TC0) \cdot p$$

gdzie: P_{oddana} – moc oddawana do wody, W; Q - przepływu wody, l/s; C_w - ciepło właściwe wody - 4190 J/kg*K; p - poprawka, gęstość wody dla średniej temperatury w obiegu chłodzenia 35°C - 0.994kg/l; $TC0$ – temperatura wody na wlocie do wymiennika ciepła ; TCI - temperatura wody na wylocie z wymiennika ciepła



Rys. 3. Wykres zmierzonej mocy pobieranej z sieci energetycznej oraz mocy oddawanej do wody

Z krzywych mocy poprzez całkowanie wyznaczono energię pobieraną z sieci i energię oddawaną do wody. Dla wykresu z rysunku 4 sumaryczna energia z sieci wyniosła 61,1 kWh, sumaryczna energia oddana do wody poprzez wymiennik wyniosła 57,9 kWh, stąd sprawność kotła wynosi 0,94.

Zastosowanie oleju termalnego jako czynnika grzewczego umożliwia podgrzanie go do wyższych temperatur i w konsekwencji uzyskania lepszej dynamiki nagrzewania. Pierwszym czynnikiem zwiększającym dynamikę jest grzanie indukcyjne, które jest szybsze niż grzanie za pomocą grzałek elektrycznych. Ponadto magazyn ciepła z wykorzystaniem oleju termalnego jako czynnika grzewczego, zgromadzi 2,5 razy więcej ciepła aniżeli magazyn z wykorzystaniem wody [4], co umożliwia oddanie dużej ilości ciepła w krótkim czasie, na przykład po wychłodzeniu hali produkcyjnej w wyniku otwarcia bram.

Analiza kosztów eksploatacyjnych kotła indukcyjnego

Przeprowadzono wstępną analizę kosztów eksploatacyjnych kotła indukcyjnego, łącznie z pompami ciepła i ogniwami solarnymi oraz zasilaniem elektrycznym węzła z KSE. Analizę przeprowadzono w oparciu o dane rzeczywiste zużycia ciepła na cele centralnego ogrzewania CO i ciepłej wody użytkowej CWU w dwóch budynkach wielorodzinnych [4].

Analiza dotyczy budynku 11 kondygnacyjnego z 33 mieszkaniami i 5 kondygnacyjnego z 45 mieszkaniami. Dane dotyczące zużycia ciepła są za rok 2019. Dla celów CO wykorzystane jest ciepło dostarczane klasycznie, z centralnej sieci ciepłowniczej, natomiast dla celów CWU, w węzle ciepłowniczym zainstalowano pompy ciepła oraz solarne źródła ciepła. Ciepło z centralnej sieci ciepłowniczej jest w przypadku CWU ciepłem uzupełniającym.

Szczegółowa analiza bilansu ciepła i jego kosztów została przedstawiona w [4]. Przyjęto dla CO podobną proporcję pokrycia zapotrzebowania na ciepło z OZE jak dla CWU. W przypadku CO, w zelektryfikowanym systemie grzewczym, przyjęto dwa źródła ciepła: źródło podstawowe – pompy ciepła dwustopniowe, zapewniające możliwość uzyskania temperatury wody w grzejnikach do 65 °C, oraz źródło uzupełniające - kocioł indukcyjny.

Tabela 1. Zużycie ciepła CO w 2019 r.

	Bud. 11 kond. 33 mieszkania	Bud. 5 kond. 45 mieszkań
Roczne zużycie ciepła	584 GJ / 162 352 kWh	491,16 GJ / 136 542,48 kWh
Moc cieplna zamówiona w PEC	119 kW	92 kW

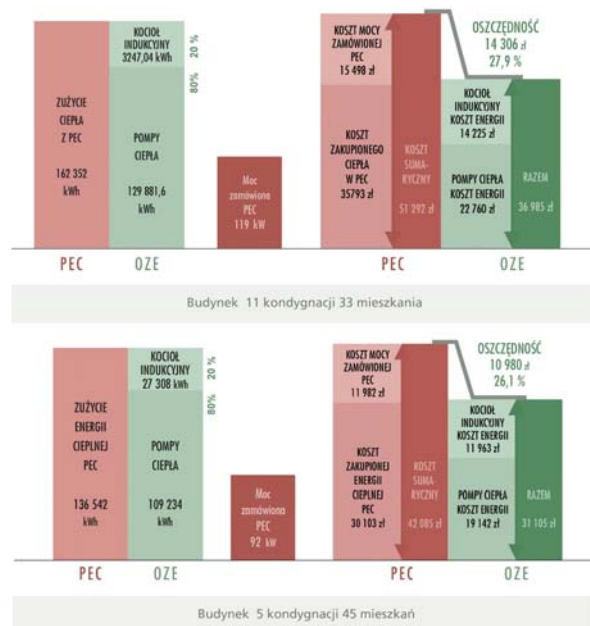
Tabela 2. Zużycie ciepła dla CWU w 2019 r.

	Bud. 11 kond. 33 mieszkania kWh	Bud. 5 kond. 45 mieszkań kWh
Zużycie roczne ciepła	220 173,22 kWh / 791,99 GJ	251 570,54 kWh / 904,93 GJ
Udział ciepła OZE	176 349,84 kolektory słon. 65 710,86	230 703,86 53 628,64
	81,10 % 29,85 %	91,76 % 25,29 %
	110 638,44 pompy ciepła	167 075,22 66,41 %
	50,25 %	
Udział ciepła PEC	43 823,92 19,90 %	20 866,68 8,24 %

Moc pomp ciepła dobiera się w wysokości 80 % mocy obliczeniowej (projektowej). Zakładając, że w najniekorzystniejszych warunkach pogodowych, osiągalna jest wydajność z pomp ciepła w wysokości 50% zapotrzebowania na ciepło, przyjęto moc nominalną kotła indukcyjnego, jako źródła uzupełniającego, w wysokości 50% mocy obliczeniowej wynikającej z obowiązujących norm ciepła w odniesieniu do 1 m².

Przyjęte rozwiązanie węzła ciepłowniczego z pompami ciepła i kotłem indukcyjnym, w przeciwieństwie do zasilania w ciepło z centralnej sieci ciepłowniczej, nie obciąża mieszkańców kosztami mocy cieplnej zamówionej w PEC.

Dla powyższych założeń przeprowadzono prognozę kosztów ogrzewania CO dla analizowanych budynków mieszkalnych, przyjmując bilans cieplny z 2019 roku [4]. Graficzną prezentację wyników analizy przedstawiono na rysunku 4 i 5.



Rys. 4. Zestawienie prognozowanych kosztów energii cieplnej dla CO w budynku 11 i 5 kondygnacyjnym w przypadku wykorzystania pompy ciepła i kotła indukcyjnego

Uwaga: Obliczenia dotyczą zasilania elektrycznego według aktualnych cen dystrybutorów związanych z Krajowym Systemem Elektroenergetycznym KSE. Nie uwzględniono sytuacji, gdy energia jest pozyskiwana z OZE, np. z paneli fotowoltaicznych.

Analiza została przeprowadzona przy założeniu prostej technicznie adaptacji węzła ciepłowniczego, polegającej na wyłączeniu zasilania z centralnej sieci ciepłowniczej i podłączeniu kotła indukcyjnego oraz rozszerzeniu źródeł zasilania w ciepło na pompę ciepła i ogniwa solarne.

Zasilanie elektryczne przyjęte z KSE. Instalacje centralnej sieci ciepłowniczej mogą być zastępowane proponowanym rozwiązaniem w miarę ich naturalnego zużycia. Nowe obiekty mogą być budowane z zastosowaniem rozproszonych źródeł ciepła OZE. Rozwiązania techniczne poszerzone o magazyn ciepła na potrzeby CO i CWU, elektrosumeryzm OZE oraz programowane zarządzanie energią, wprowadzą dodatkowe oszczędności [6][7]. W szczególności korzystna jest redukcja kosztów społecznych (awarie sieci, uciążliwość komunikacyjna). Jak przedstawiono wcześniej, efektywne jest magazynowanie ciepła w zbiorniku wypełnionym olejem termalnym, podłączonym po stronie wysokotemperaturowego obiegu grzewczego kotła [4]. Dla budynku 11 kondygnacyjnego wystarczająca jest wielkość magazynu ciepła o pojemności oleju termalnego 12 m³ dla zmagazynowania ciepła zapewniającego jego dobowe zapotrzebowanie.



Rys.5 Zestawienie zaoszczędzonych kosztów energii cieplnej dla CWU i prognozowanych dla CO z uwzględnieniem OZE (pompy ciepła i solarne źródła ciepła) i kotła indukcyjnego

Oszczędność kosztów w przypadku rozpatrywanego węzła ciepłowniczego związana jest również z wyeliminowaniem strat przesyłania ciepła, kosztów konserwacji sieci ciepłowniczej oraz kosztów usuwania awarii sieci. Ciepło wytwarzane w miejscu jego użytkowania, w ilości niezbędnej lecz wystarczającej, nie jest ponadto obciążone kosztami mocy zamówionej w PEC.

Podsumowanie

Przedstawiony w artykule kocioł indukcyjny, który jest przedmiotem zgłoszenia patentowego, w zastosowaniu w węzle ciepłowniczym jest uzupełnieniem systemowej sieci ciepłowniczej. W przypadku sieci przestarzałej, wymagającej kosztownych remontów, kocioł indukcyjny może stanowić alternatywne źródło ciepła lub całkowicie zastąpić systemową sieć ciepłowniczą. W zastosowaniu przemysłowym, kocioł indukcyjny może służyć do

dynamicznego ogrzewania hal przemysłowych i do zasilania wysokotemperaturowych technologicznych sieci ciepłowniczych energią elektryczną ze źródeł OZE. Kocioł indukcyjny może w takich instalacjach zastąpić kotły gazowe i olejowe.

Zbudowany prototyp charakteryzuje się wysoką sprawnością. Prowadzone są dalsze prace nad prostszą i bardziej zwartą budową kotła, co zmniejszy jego koszt i jeszcze polepszy właściwości dynamiczne.

W szczególności, wysoka dynamika pracy przedstawionego kotła stwarza możliwości szybkiego, dynamicznego ogrzewania hal przemysłowych. W obiektach tego typu następuje czasem skokowe wychłodzenie na skutek otwarcia bram. Kocioł indukcyjny z olejem termalnym umożliwia szybkie uzyskanie wysokiej temperatury oleju. Olej termalny może być bezpośrednio czynnikiem grzewczym w urządzeniach nadmuchiowych, co dzięki jego wysokiej temperaturze, przykładowo 200 °C, pozwoli szybko nagrzać wychłodzoną halę.

Zastosowanie kotła indukcyjnego jako dodatkowego źródła ciepła w instalacjach wykorzystujących OZE, takich jak pompy ciepła i kolektory słoneczne, włączanego w momentach szczytowego zapotrzebowania na ciepło, pozwoli na znaczące zmniejszenie kosztów ogrzewania w porównaniu do uzupełniania go z sieci ciepłowniczej.

Kocioł indukcyjny może też stanowić awaryjne źródło ciepła w przypadku remontu lub naprawy sieci ciepłowniczej [6]. Może zostać tymczasowo wpięty w miejsce sieci ciepłowniczej, zasilanie doprowadzane jest wówczas z budynku, lub w razie braku takiej możliwości można zastosować kogenerację i spalinowy generator prądu [8][9]

Autorzy: dr inż. Krzysztof KONOPKA, Politechnika Śląska, Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: krzysztof.konopka@polsl.pl; dr inż. Artur SKÓRKOWSKI, Politechnika Śląska, Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: artur.skorkowski@polsl.pl;

LITERATURA

- [1] Zgłoszenie wniosku o udzielenie patentu na wynalazek: Kocioł indukcyjny, numer zgłoszenia: P.439308
- [2] Zgłoszenie wniosku o udzielenie patentu na wynalazek: Układ węzła ciepłowniczego z kotłem indukcyjnym, numer zgłoszenia: P.439426
- [3] Konopka K., Konopka Z. Kocioł indukcyjny w wysokotemperaturowej sieci ciepłowniczej. Badania modelu przemysłowego. *Energetyka*, nr 5/2022 (815) 251-255
- [4] Konopka K., Konopka Z., Wstępna analiza celowości transformacji energetycznej ciepłownictwa do elektrosumeryzmu z zastosowaniem kotła indukcyjnego w węzle ciepłowniczym w budynkach wielorodzinnych. *Energetyka*, nr 8/2022 (818)
- [5] Konopka K., Konopka Z., Kocioł indukcyjny w węzle z pompą ciepła w wysokotemperaturowej sieci ciepłowniczej sukcesywnie eliminowanej w transformacji TETIP do elektrosumeryzmu, *Energetyka*, nr 10/2021
- [6] Popczyk J. Potrzeba i bariery konsolidacji ustaw pilotażowych do Prawa elektrycznego w procesie budowy niskoentropijnej kryzysowej odporności elektrosumenckiej, *Energetyka*, nr 5/2022 (815) 231-242
- [7] Bodzek K. Budowanie odporności elektrosumenckiej. Hybrydowe i modułowe rozwiązania w osłonach z odbiorami krytycznymi. *Energetyka*, nr 5/2022 (815) 243-250
- [8] Matuszczyk P., Popławski T., Flasza J., Rozwój energetyki prosumenckiej na przykładzie kogeneracji CHP, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 92 nr 1/2016, 105-108
- [9] Kozakiewicz M., Sołtysik M., Wróbel J., Wybrane elementy sąsiedzkiej wymiany energii – model funkcjonalny i wyniki symulacji, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 95 Nr 10/2019, 33-39