

Wojciech Kostowski^{1),4)}, Aleksandra Starzak^{2),5)},
Krzysztof Pajączek¹⁾, Piotr Niedzielski¹⁾, Jacek Kalina¹⁾,
Andrzej Jedynak²⁾, Adam Przybył^{3),6)}, Sylwia Rusek³⁾

¹⁾ Politechnika Śląska, Katedra Techniki Ciepłej

²⁾ PROEN Gliwice sp. z o.o.

³⁾ GAZ-SYSTEM S.A

Potencjał wykorzystania ciepła odpadowego w wybranych tłoczniach gazu

Potential of waste heat utilisation in selected gas compressor stations

W artykule przedstawiono potencjał ciepła odpadowego w tłoczniach gazu na przykładzie trzech obiektów. Na podstawie danych pomiarowych i znamionowych sporządzono charakterystyki generacji ciepła odpadowego. Następnie określono trzy potencjalne grupy odbiorców: odbiorca własny tłoczni, odbiorcy komunalni w pobliskich miejscowościach, hipotetyczny odbiorca przemysłowy. Dla tych odbiorców również sporządzono charakterystyki poboru. Przeprowadzono bilanse w układzie 8760 h/rok. Stwierdzony potencjał ponad 300 000 GJ ciepła odpadowego na Tłoczniach 1–3 może być zagospodarowany, przy czym najwyższy stopień zagospodarowania (65%) można uzyskać na Tłoczni 2 przy zasilaniu odbiorców komunalnych. Stopień pokrycia potrzeb ciepłych odbiorców waha się od 35 do 83%, co wynika z nieciągłej podaży ciepła odpadowego. Kierunkiem dalszych prac jest badanie możliwości akumulacji ciepła.

Słowa kluczowe: ciepło odpadowe, tłocznie gazu, charakterystyki generacji ciepła odpadowego, akumulacja ciepła

Presented is a waste heat recovery potential in three natural gas compressor stations (CS). Waste thermal power profiles have been built basing on the available measurement and nominal data. Then the demand profiles have been determined for 3 potential groups of consumers: CS stations in-house demand, space heating demand from municipal consumers and a hypothetical demand from industrial consumers. Balances have been set in a '8760 h/year' layout. The identified recoverable potential of the 1–3 CSs exceeds 300 000 GJ and the highest recovery rate of 65% can be achieved at the CS#2 in case when municipal consumers are considered. The consumers' demand coverage ratio ranges from 35% to 83%, which results from a non-continuous waste heat generation. Therefore, further research is aimed at the waste heat thermal storage.

Keywords: waste heat, gas compressor stations, characteristics of the waste heat generation, thermal storage

Wstęp

Mimo rosnącego udziału energii odnawialnej w krajowym i globalnym bilansie energetycznym nadal przeważająca część energii finalnej dostarczanej do odbiorców pochodzi z nieodnawialnych źródeł kopalnych i jądrowych. Priorytet nadawany energii elektrycznej (energetyka) oraz mechanicznej energii napędowej (transport) powoduje, że przy wytwarzaniu tych form energii przeważająca część, bo aż 72% zużytych paliw ulega stratom podczas konwersji do energii finalnej [1]. Straty te są termodynamicznie nieodwracalne i są rozpraszane w otoczeniu w postaci ciepła.

Jednocześnie, wśród różnych form energii finalnej potrzebnych odbiorcom, oprócz energii elektrycznej i mechanicznej, istotne jest także ciepło potrzebne do ogrzania pomieszczeń w ziemie oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ciepło to potrzebne jest na niskim poziomie temperatur (20°C – temperatura pomieszczeń, ok. 55°C – temperatura ciepłej wody użytkowej), tymczasem do jego wytworzenia zużywane są, zwłaszcza w Polsce, głównie paliwa kopalne, przy których spalaniu powsta-

je znacznie wyższa temperatura. Dodatkowo, w Polsce w znacznej mierze są to paliwa stałe, co jest przyczyną dramatycznego poziomu zanieczyszczenia powietrza.

Rozwiązaniem tego problemu jest z jednej strony popularyzacja pomp ciepła do ogrzewania budynków, z drugiej strony wskazany jest rozwój nowej generacji systemów ciepłowniczych, integrujących różne dostępne źródła, w tym odnawialne (np. konwersja nadmiarowej energii elektrycznej z OZE) i odpadowe. Jest to kierunek zbliżony ze strategią Green Deal w ciepłownictwie, zmierzającą do ograniczenia emisji CO₂ nawet do 0 kg/GJ ciepła użytkowego [2]. Wiele instalacji przemysłowych wytwarza ciepło odpadowe, które warto wykorzystać do pokrycia potrzeb grzewczych, gdyż w innym przypadku ciepło to jest beużytecznie emitowane do atmosfery. Rozwijane są programy wsparcia wykorzystania ciepła odpadowego na poziomie UE [3] i krajowym [4].

Branża gazownicza, identyfikowana zwykle z energetyką konwencjonalną ze względu na swój charakter oraz rozbudowaną infrastrukturę, dysponuje potencjałem ciepła odpadowego, który z powodzeniem może przyczynić się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych zarówno w krótkim, jak i długim okresie. Niezależnie od składu gazu, który pojawi się w systemie przesyłowym w przyszłości, zwiększanie efektywności energetycznej procesów związanych z jego przesyłem, w tym odzysk energii odpadowej, będzie niezwykle ważne dla osiągnięcia neutralności klimatycznej.

⁴⁾ wojciech.kostowski@polsl.pl

⁵⁾ as@proen.gliwice.pl

⁶⁾ adam.przybyl@gaz-system.pl

Charakterystyka obiektów

W artykule przeanalizowano 3 zespoły tłoczni gazu. Z punktu widzenia produkcji ciepła odpadowego istotny jest wyłącznie rodzaj i liczba zastosowanych maszyn napędowych, natomiast z punktu widzenia możliwości zagospodarowania ciepła należy zwrócić uwagę na obiekty własne tłoczni oraz pobliskie miejscowości.

Tłocznia 1 składa się z dwu obiektów (1-1 oraz 1-2) położonych w odległości ok. 500 m od siebie. W obiekcie 1.1 zainstalowany jest zespół ośmiu równolegle pracujących sprężarek tłokowych o napędzie elektrycznym. Zespół ten ma znikomy potencjał ciepła odpadowego (temperatura wody chłodzącej sprężarki gazu wynosi ok. 40-50°C). W obiekcie 1.2 zainstalowana jest sprężarka wirowa Dresser Rand 50P4 napędzana turbiną gazową Alstom GT10 o mocy 25 MW pracującą w układzie prostym (spaliny emitowane do atmosfery). Temperatura spalin wynosi około 540°C. Operator ma możliwość wyboru napędu (elektryczny przez obiekt 1.1 lub gazowy przez obiekt 1.2, zależnie od warunków makroekonomicznych).

Tłocznia 2 obejmuje dwa zespoły maszyn o napędzie gazowym, zlokalizowane na wspólnym polu technologicznym. Zespoły te obejmują 6 motosprężarek GMVH-8 oraz 5 sprężarek napędzanych silnikami Waukesha 12AT27GL. Temperatura spalin na wylocie z silników obu grup maszyn jest zbliżona i wynosi ok. 360-370°C. Obiekt posiada znaczący potencjał ciepła odpadowego ze względu na wysoką temperaturę spalin.

Tłocznia 3 stanowi pojedynczy obiekt, złożony z dwóch sprężarek typu GMVH-6 oraz pięciu motosprężarek typu GMVH-12, których temperatury spalin mierzone na wyjściu z silników są w zakresie od 200 do 300°C. Podobnie jak zespół tłoczni 2, także ten obiekt posiada znaczny potencjał odzysku ciepła odpadowego.

Z punktu widzenia zagospodarowania ciepła odpadowego należy także zdefiniować potencjalnych odbiorców ciepła. Naturalnym odbiorcą są budynki biurowe tłoczni lub zespołu tłocz-

ni, zapewniają one jednak odbiór stosunkowo niewielkiej mocy grzewczej. Z tego względu określono także potencjał danej lokalizacji pod kątem możliwego odbioru ciepła.

Tłocznia 1: budynki o łącznej kubaturze 114 575 m³ ogrzewane z istniejącej kotłowni gazowej. Otoczenie tłoczni jest bardzo ubogie w potencjalnych odbiorców, w promieniu 10 km od tłoczni znajdują się małe miejscowości o liczbie mieszkańców nie przekraczającej 1 tys. Najbliższa duża miejscowość o liczbie mieszkańców ok. 60 tys. znajduje się w odległości ponad 30 km od tłoczni i tam też zlokalizowana jest najbliższa ciepłownia.

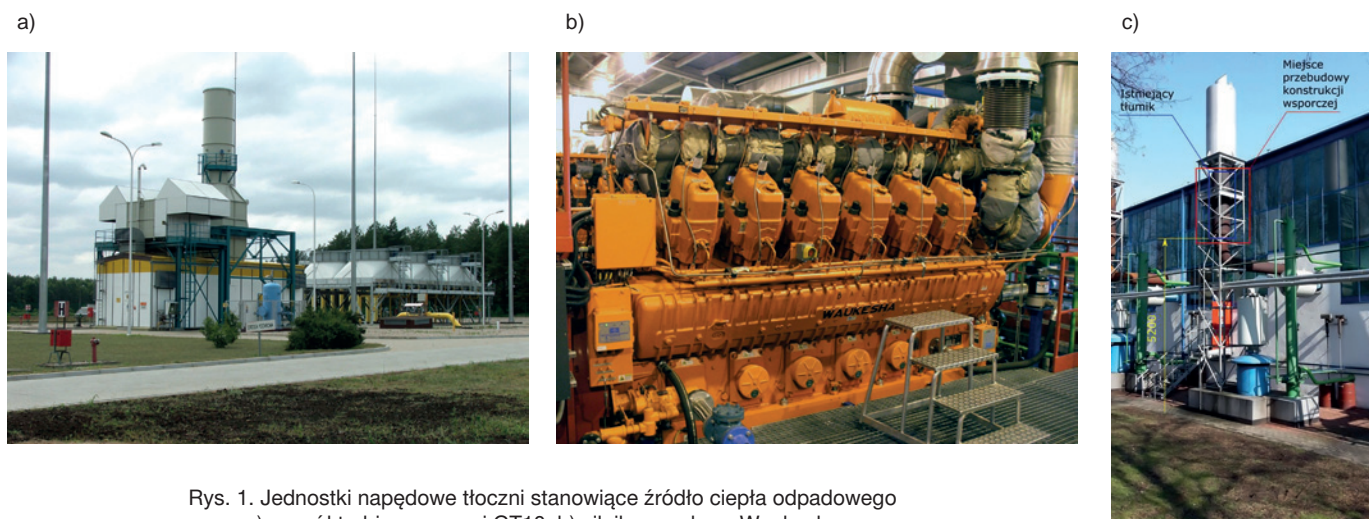
Tłocznia 2: budynki o łącznej kubaturze 59 656 m³ ogrzewane z istniejącej kotłowni gazowej. Tłocznia zlokalizowana jest w miejscowości, której liczba mieszkańców to około 40 tys., posiadającej miejską ciepłownię. W bliskim sąsiedztwie tłoczni występuje kilkanaście osiedli mieszkaniowych, które mogą stanowić potencjalnych odbiorców generowanego ciepła.

Tłocznia 3: budynki o łącznej kubaturze 20 628 m³ ogrzewane z istniejącej kotłowni gazowej. Tłocznia znajduje się w promieniu 10 km od dużej miejscowości, w której liczba mieszkańców przekracza 60 tys. i gdzie zlokalizowana jest najbliższa ciepłownia. Natomiast w bliskim otoczeniu tłoczni znajduje się kilka małych miejscowości (wsi), które mogą być potencjalnymi odbiorcami ciepła, a obecnie nie posiadają sieci ciepłowniczej.

Metodyka

Wyznaczenie ilości produkowanego ciepła odpadowego

Nośnikami ciepła odpadowego są spaliny z turbin i silników gazowych, a także woda chłodząca sprężarki tłokowe gazu, woda chłodząca silniki gazowe, woda chłodząca układ aftercooler, olej z układu smarowania, a także sprężony gaz kierowany do chłodnic. Z uwagi na poziom temperatur, nośnikami nadającymi się do bezpośredniego wykorzystania są spaliny z maszyn



Rys. 1. Jednostki napędowe tłoczni stanowiące źródło ciepła odpadowego

a) zespół turbiny gazowej GT10, b) silnik napędowy Waukesha,

c) wylot komina spalinowego silnika GMVH-6 z zaznaczonym miejscem lokalizacji wymiennika odzysku ciepła

napędowych oraz woda chłodząca silniki gazowe. Z uwagi na pierwotną funkcję tłoczni oraz niewielki przyrost temperatury wody chłodzącej silniki (ok. 77/72°C) przyjęto, że jedynym użytecznym źródłem ciepła odpadowego są spaliny z maszyn napędowych.

Strumień ciepła odpadowego jest funkcją strumienia spalin oraz ich temperatury i składu, od których zależy entalpia właściwa

$$\dot{Q} = \dot{m} (h(T) - h(120\text{ }^\circ\text{C})) \quad (1)$$

W równaniu (1) przyjęto typowe założenie przemysłowe, że odzysk ciepła jest opłacalny przy schłodzeniu spalin do temperatury 120°C, natomiast dalsze ich schładzanie jest ekonomicznie nieopłacalne, gdyż wymaga zwiększenia powierzchni wymienników ciepła. Odzysk ciepła zwykle jest realizowany przy pomocy obiegu wodnego o parametrach 90/70°C.

Nie wszystkie dane wymagane do równania (1) są mierzone w obiektach, w szczególności w żadnym obiekcie nie jest prowadzony pomiar strumienia spalin. Z tego względu konieczne było uzupełnienie danych pomiarowych poprzez odpowiednie przeliczenia, w niektórych przypadkach uproszczone. Obliczenia dla Tłoczni 1 publikowano uprzednio w [5].

W tabeli 1 przedstawiono przegląd danych użytych do określenia strumienia ciepła odpadowego według równania (1). Należy zwrócić uwagę, że Operator tłoczni dysponuje wieloma innymi danymi (np. strumienie, temperatury i ciśnienia gazu przetłaczanego, moce napędowe maszyn), które jednak nie mają związku z prowadzonymi tu obliczeniami.

Za dane najwyższej jakości przyjęto dane z systemów SCADA dostępne z rozdzielczością 8760 h/rok. W zależności od dostępnych na obiekcie danych adaptowano metodykę obliczenia strumienia spalin. W tłoczniach 1 i 2 dysponowano pomiarem chwilowym strumienia tzw. gazu paliwowego, tj. gazu ziemnego używanego do napędu jednostki (silnika gazowego, turbiny). Zakładając stały sposób spalania (stałą zawartość tlenu w spalinach i tym samym stosunek nadmiaru powietrza) oszacowano chwilowy strumień spalin. Do określenia stosunku nadmiaru powietrza przyjęto model turbiny gazowej (tłoczni 1), zaś dla silników tłoczni 2 przyjęto dane katalogowe (podane jako masowy stosunek strumienia powietrza do paliwa, AFR, *air/fuel ratio*). W tłoczni 3 przyjęto inny, uproszczony sposób szacowania strumienia spalin, na podstawie pomiaru referencyjnego spalin (dostępnego w ramach raportów emisji) oraz chwilowej prędkości obrotowej silnika ω , odniesionej do prędkości obrotowej znamionowej.

Entalpię właściwą wymaganą do określenia dostępnego strumienia ciepła odpadowego według równania (1) obliczono na podstawie wyznaczonego z obliczeń stechiometrycznych składu spalin z wykorzystaniem dodatku CoolProp do Microsoft Excel. Metodyka obliczeń stechiometrycznych i wyznaczania entalpii spalin jest zgodna z [6]

Wyznaczenie zapotrzebowania na ciepło dla różnych grup odbiorców

W niniejszym artykule analizowano odbiór ciepła na trzy różne cele:

- odbiór na cele grzewcze w wariantcie minimalnym, tj. do ogrzewania budynków własnych tłoczni oraz przygotowanie c.w.u.
- odbiór na cele grzewcze w wariantcie maksymalnym, tj. odzysk ciepła ze wszystkich dostępnych maszyn i przekazanie na cele grzewcze do pobliskich miejscowości,
- odbiór na cele technologiczne hipotetycznego odbiorcy przemysłowego (suszarnia drewna).

Zapotrzebowanie cieplne dla wymienionych grup odbiorców wyznaczono następująco:

- potrzeby własne tłoczni:** określono wprost z danych pomiarowych istniejących kotłowni lokalnych; dane pomiarowe w formacie $Q(t)$ 8760 h/rok przekazał Operator tłoczni;
- odbiór na cele grzewcze:** pobór maksymalny Q_{max} określono na podstawie orientacyjnej kubatury budynków [7], szacowanej na podstawie bilansu zasobów mieszkaniowych. Pobór ten skalowano następnie funkcją temperatury zewnętrznej [8], zakładając brak poboru przy $t_z < 12^\circ\text{C}$; orientacyjna kubatura zasilanych budynków wynosiła kolejno: 415600 m³ (Tłoczni 1), 201200 m³ (Tłoczni 2) oraz 110500 m³ (Tłoczni 3);
- odbiór na cele technologiczne:** założono suszarnię drewna na podstawie [9], wyposażoną w dwie linie technologiczne, każda z nich pracująca w czterech cyklach o malejącej intensywności suszenia:
 - moc 239 kW, czas trwania 13 h,
 - moc 63 kW, czas trwania 256 h,
 - moc 44 kW, czas trwania 208 h,
 - postój 7 h (przeładowanie);
 cykl pracy obu linii jest przesunięty o 13 h w celu redukcji poboru szczytowego.

Tabela 1

Sposób określenia danych do obliczenia ciepła odpadowego według obiektów

	Tłoczni 1	Tłoczni 2	Tłoczni 3
Kluczowe dane pomiarowe	strumień paliwa	strumień paliwa, temperatura spalin	prędkość obrotowa, temperatura spalin
Wykorzystane dane znamionowe	-	AFR = 61,3 dla silników GMVH 8 AFR = 32 dla silników Waukesha	strumień spalin (wg protokołu pomiarów emisji)
Temperatura spalin	model GT10 (Cycle Tempo) [1]	rejestracja pomiarowa 8760 h/rok	rejestracja pomiarowa 8760 h/rok
Strumień spalin	$\dot{V}_n = n''_s \dot{V}_{n,pal}$	$\dot{V}_n = n''_s \dot{V}_{n,pal}$	$\dot{V}_n = \frac{\omega}{\omega_{nom}} \dot{V}_{n,nom}$
Stosunek nadmiaru powietrza	2,77	3,55 dla silników GMVH 8 1,85 dla silników Waukesha	brak potrzeby wyznaczania

Bilans produkcji i zapotrzebowania

Odzysk ciepła określono porównując dostępność ciepła odpadowego w spaliniach (wielkość tę umownie nazwaną **produkcją** ciepła) z zapotrzebowaniem u wybranego odbiorcy oraz z maksymalną mocą cieplną wymiennika/wymienników odzyskowych. Porównania takiego dokonano dla każdej godziny pracy obiektu, przy czym o możliwości odzysku decyduje najniższa z tych wielkości:

(2)

$$Q_{\text{odzysk}} = \min(Q_{\text{produkcja}}, Q_{\text{zapotrzebowanie}}, Q_{\text{moc wymiennika}})$$

Ponadto dla odbiorców zewnętrznych przyjęto, że dostawa odbywa się poprzez zabudowę sieci ciepłowniczej.

Na potrzeby oceny efektywności układów zdefiniowano następujące wskaźniki:

- wskaźnik odzysku ciepła jako iloraz ilości ciepła odzyskanego do dostępnego ogółem:

$$\varepsilon_{OC} = \frac{Q_{\text{odzysk}}}{Q_{\text{produkcja}}} \quad (3)$$

- wskaźnik pokrycia potrzeb własnych jako iloraz cieplnych potrzeb własnych tłoczni do dostępnego ciepła odpadowego na tłoczni w skali roku:

$$\varepsilon_{PP} = \frac{Q_{\text{odzysk}}}{Q_{\text{zapotrzebowanie}}} \quad (4)$$

Wartość wskaźnika = 100% oznacza, że całkowite zapotrzebowanie na ciepło po stronie odbiorcy lub pokrycie potrzeb własnych tłoczni zostało zapewnione i nie ma konieczności spalania paliw kopalnych na cele grzewcze.

Przykładowe profile produkcji i zapotrzebowania dla Tłoczni 3 przedstawiono na rysunku 2.

Wyniki

Syntetyczne zestawienie wyników ilustruje tabela 2.

W ujęciu ilościowym, najbardziej korzystny jest odzysk ciepła odpadowego z Tłoczni 1, gdyż niezależnie od rodzaju odbiorcy odzyskiwana jest rocznie największa ilość ciepła, ponad

2-krotnie większa niż w pozostałych obiektach. Tłoczni 1 bardzo dobrze nadaje się do współpracy z potencjalnym odbiorcą przemysłowym, zapewniając wysoki stopień pokrycia jego potrzeb, o ile Tłoczni 1 będzie pracowała w miarę równo przed dłuższy czas w roku.

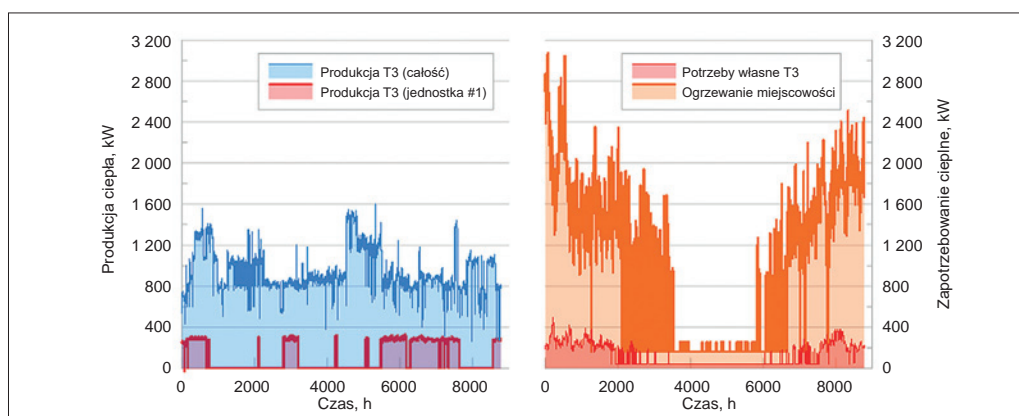
W ujęciu jakościowym, wyrażonym przez stopień odzysku ciepła, najkorzystniejsze wskaźniki są osiągnięte dla Tłoczni 3, której skala umożliwi ewentualne zasilanie w ciepło pobliskich miejscowości. Również dla Tłoczni 2 wskaźnik odzysku ciepła jest stosunkowo wysoki. W rozpatrywanym przykładzie odbiorcy komunalni pozwalają bardziej efektywnie odebrać ciepło odpadowe niż dedykowany odbiorca przemysłowy.

Tabela 2

Produkcja i odbiór ciepła odpadowego z analizowanych tłoczni gazu w kilku wariantach odbioru

odbiorcy: 1 – potrzeby własne, 2 – osiedla, 3 – przemysł

Obiekt tłoczni gazu:	1	2	3	Jedn.
Dostępne ciepło odpadowe przy uciepłownieniu:				
– całej tłoczni	230 440	57 241	29 615	GJ
– jednej maszyny	230 440	8 538	5 268	GJ
Odbiorca 1 , skala potrzeb	28 642	10 872	4 006	GJ
Liczba 'uciepłownionych' maszyn	1	1	1	
Moc wymiennika	4 000	1 000	285	kW
Zagospodarowana ilość ciepła	22 822	3 787	2 403	GJ
Stopień odzysku ε_{OC}	9,9	47,3	45,6	%
Wskaźnik pokrycia potrzeb ε_{PP}	79,5	34,8	60,0	%
Odbiorca 2 , skala potrzeb	133 941	58 085	31 879	GJ
Liczba 'uciepłownionych' maszyn	1	4	7	
Moc wymienników	4 000	4 x 1 000	7 x 285	kW
Zagospodarowana ilość ciepła	68 170	30 363	19 244	GJ
Stopień odzysku ε_{OC}	29,6	53,0	65,0	%
Wskaźnik pokrycia potrzeb ε_{PP}	50,9	52,3	60,4	%
Odbiorca 3 , skala potrzeb	3 408	3 408	3 408	GJ
Liczba 'uciepłownionych' maszyn	1	1	1	
Moc wymiennika	4 000	1 000	285	kW
Zagospodarowana ilość ciepła	2 834	1 234	1 918	GJ
Stopień odzysku ε_{OC}	1,2	15,4	36,4	%
Wskaźnik pokrycia potrzeb ε_{PP}	83,1	36,2	56,3	%



Rys. 2.
Profil produkcji
i zapotrzebowania
– Tłoczni 3

Wnioski

Wykorzystanie ciepła odpadowego napotyka pewne przeszkody w realizacji, których pokonanie wymaga integracji międzysektorowej, a przede wszystkim zachęt inwestycyjnych, zwłaszcza w zakresie budowy sieci ciepłowniczych. Jak ilustruje rysunek 2, zabudowa wymiennika na pojedynczej motosprężarce skutkuje ograniczoną podażą ciepła, a zatem poniesiony nakład inwestycyjny nie jest w pełni wykorzystany. Z kolei zabudowa wymienników na wszystkich motosprężarkach, kolekcja całości ciepła odpadowego oraz jego dostarczenie odbiorcom jest uzasadnione energetycznie, jednak wiąże się z wysokim nakładem inwestycyjnym. Ogólnie, zakład przemysłowy generujący ciepło odpadowe prowadzi zazwyczaj zupełnie inną działalność podstawową, z tego względu wskazane jest stworzenie mechanizmów prawnych wspierających zarówno inwestycje w infrastrukturę odzysku ciepła, jak też proces jego sprzedaży.

Wskazane byłoby stworzenie szczegółowych zapisów prawa energetycznego regulujących sprzedaż ciepła odpadowego (a także energii elektrycznej odzyskowej) na preferencyjnych warunkach, a także w przypadku OSP i OSD usunięcie ograniczeń regulacyjnych wynikających z II i III pakietu energetycznego UE (2003, 2009), które wymagają pilnej aktualizacji i uelastycznienia do nowych warunków.

Stochastyczny w pewnym stopniu charakter pracy maszyn napędowych tłoczni powoduje, że w eksploatacji może wystąpić dwojakie niedopasowanie: ciepło odpadowe może być dostępne przy braku zapotrzebowania (głównie okres letni), bądź odwrotnie, zapotrzebowanie nie może być pokryte wobec chwilowego postoju tłoczni lub części jej maszyn, wówczas konieczne jest uzupełnienie produkcji ciepła z innych źródeł.

Wykorzystanie odzyskanego ciepła odpadowego na potrzeby przemysłowe jest interesującym rozwiązaniem, należałoby jednak dopasować skalę takiego odbiorcy. Odbiorcy typowi

w terenach wiejskich i mniejszych miejscowości, jak suszarnia drewna, hala sportowa, basen, przedsiębiorstwo rolno-spożywcze nie zapewniają osiągnięcia skali potrzeb cieplnych powyżej 1–2 MW.

Problem ten można w pewnym stopniu rozwiązać poprzez rozszerzenie zakresu akumulacji ciepła, co będzie przedmiotem dalszych badań autorów.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Forman C., Muritala I.K., Pardemann R., Meyer B., *Estimating the global waste heat potential*. "Renew. Sustain. Energy Rev." 2016, 57, 1568–79.
- [2] Wirtz M., Neumaier L., Remmen P., Mueller D., *Temperature control in 5th generation district heating and cooling networks: An MILP-based operation optimization*. styczeń 22, 2021.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej.
- [4] *Polityka energetyczna Polski do 2040 r.*
- [5] Kostowski W., Kalina J., Bargiel P., Szufleński P., *Energy and exergy recovery in a natural gas compressor station – a technical and economic analysis*. "Energy Convers. Manage" 2015, 104, 17–31.
- [6] Szargut J., *Termodynamika*. WNT, Warszawa 2021.
- [7] Szkarowski A., Łatowski L., *Ciepłownictwo*. WNT, Warszawa 2006.
- [8] Dane klimatyczne <https://www.miiir.gov.pl/strony/zadania/budownictwo/charakterystyka-energetyczna-budynkow/dane-dobliczen-energetycznych-budynkow-1>
- [9] Kostowski W., Skorek J., *Thermodynamic and economic analysis of heat storage application in co-generation systems*. "Int. J. Energy Res." 2005, 29(2), 177–88.



 **Łukasiewicz**
Instytut Napędów i Maszyn
Elektrycznych KOMEL

XXIX KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

PROBLEMY EKSPLOATACJI MASZYN I NAPĘDÓW ELEKTRYCZNYCH [PEMINE]



ORGANIZATOR
Łukasiewicz - Instytut
Napędów i Maszyn
Elektrycznych KOMEL

TERMIN
22-24 września 2021 r.

MIEJSCE
Rybro K/NOwego SĄCZA
HOTEL „PERŁA POŁUDNIA”

ODRĘBNA SESJA
 **Elektromobilność**

Jedyna w kraju konferencja o tematyce maszyn i napędów elektrycznych o charakterze aplikacyjnym

PATRONAT
Komitet
Elektrotechniki 

WSPÓŁPRACA
Stowarzyszenie
Elektryków Polskich 

PATRONAT MEDIALNY



INFORMACJE
TEL. [32] 258-20-41 w. 25
KOM. 606-308-827
FAX [32] 259-99-48
info@komel.lukasiewicz.gov.pl
www.komel.lukasiewicz.gov.pl

