

# Ciepło odpadowe jako źródło energii elektrycznej

dr inż. Jacek Daskocz  
dr inż. Piotr Kardasz  
dr inż. Łukasz Szalata

**O**becnie wobec wyczerpywania się nieodnawialnych źródeł energii ustawodawstwo krajów Unii Europejskiej kładzie nacisk na wykorzystanie odnawialnych zasobów energetycznych (OZE). Ważne staje się wykorzystanie ciepła odpadowego pochodzącego z różnych źródeł, zarówno z elektrowni, zakładów przemysłowych, zakładów związanych ochroną środowiska, z transportu, klimatyzacji, jak i innych mniejszych źródeł.

Efektywność energetyczna w Polsce jest mniej więcej trzy razy niższa niż w krajach Europy Zachodniej [15]. Duże ilości energii marnuje się poprzez spalanie bez odzysku energii, np. w pojazdach samochodowych, procesach technologicznych i w różnego typu urządzeniach. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie układu przetwarzającego ciepło odpadowe w energię elektryczną, co wpłynie na poprawę bilansu efektywności energetycznej i na ograniczenie niekorzystnego oddziaływania człowieka na środowisko, a w konsekwencji przyczyni się do zmniejszenia efektu cieplarnianego oraz pozytywnie wpłynie na efekt ekonomiczny.

Obecnie niemal wszędzie mamy do czynienia z ciepłem odpadowym. Każdy sprzęt elektroniczny wytwarza ciepło, które nie jest wykorzystywane. Gdyby można było zamienić całe ciepło, które wytwarza laptop, na prąd elektryczny, bateria wytrzymałaby trzy razy dłużej. Jeśli udało by się wykorzystać całe marnowane ciepło silnika samochodowego, to samochody elektryczne miałyby kilkanaście razy większą wydajność. Duże ilości ciepła odpadowego z procesów technologicznych trafiają do atmosfery, zamiast ogrzewać obiekty i hale produkcyjne.

Przykładowo z 1 litra wody odpadowej o różnicy temperatur równej 10°C można uzyskać 35,37 Wh energii, która może być wykorzystana do świecenia zwykłej żarówki o mocy 40 W przez 0,88 h lub żarówki LED-owej przez 7,04 h (opracowanie własne).

Rynek urządzeń do odzysku energii elektrycznej z ciepła odpadowego systematycznie się rozwija. Jest to spowodowane zarówno przystępnością materiałów tradycyjnych półprzewodników, jak i ciągłym rozwojem

nowych materiałów, szczególnie bazujących na nanomateriałach. Na rysunku 1 zamieszczono typy materiałów wraz z charakterystyką ZT (bezwymiarowy współczynnik potencjału efektywności termoelektrycznej). [Patrz: Rysunek 1.]

Obok rozwoju materiału aktywnego rozwijają się konstrukcje, urządzenia, materiały wspomagające, elektronika itp. Jak wskazuje Raport ID Tech EX, rynek termoelektrogeneratorów w roku 2017 będzie wart 1,5 bilarda dol. Na rysunku 2 rozpisany jest on na zastosowanie w urządzeniach [16]. [Patrz: Rysunek 2.]

Rynek generatorów termoelektrycznych rozwija się podobnie jak rynek elektrowni wiatrowej oraz paneli fotowoltaicznych. Generatory termoelektryczne małej mocy stanowią bezobsługową alternatywę dla baterii jednorazowych, mogą stanowić uzupełnienie lub nowe rozwiązanie zasilania do statycznych lub zamkniętych aplikacji, gdy światło nie jest dostępne (np. podziemnych rur ciepłych). Prognozę rynku przemysłu termoelektrogeneratorów zamieszczono na schemacie. [Patrz: Rysunek 3.]

Przedstawiona na rysunku 4 prognoza zawarta w raporcie Infinergia dowodzi, że wskaźniki wzrostu CARG wyniosą 31% między 2013 i 2019 r. i przekroczą próg 20 mln do roku 2020.

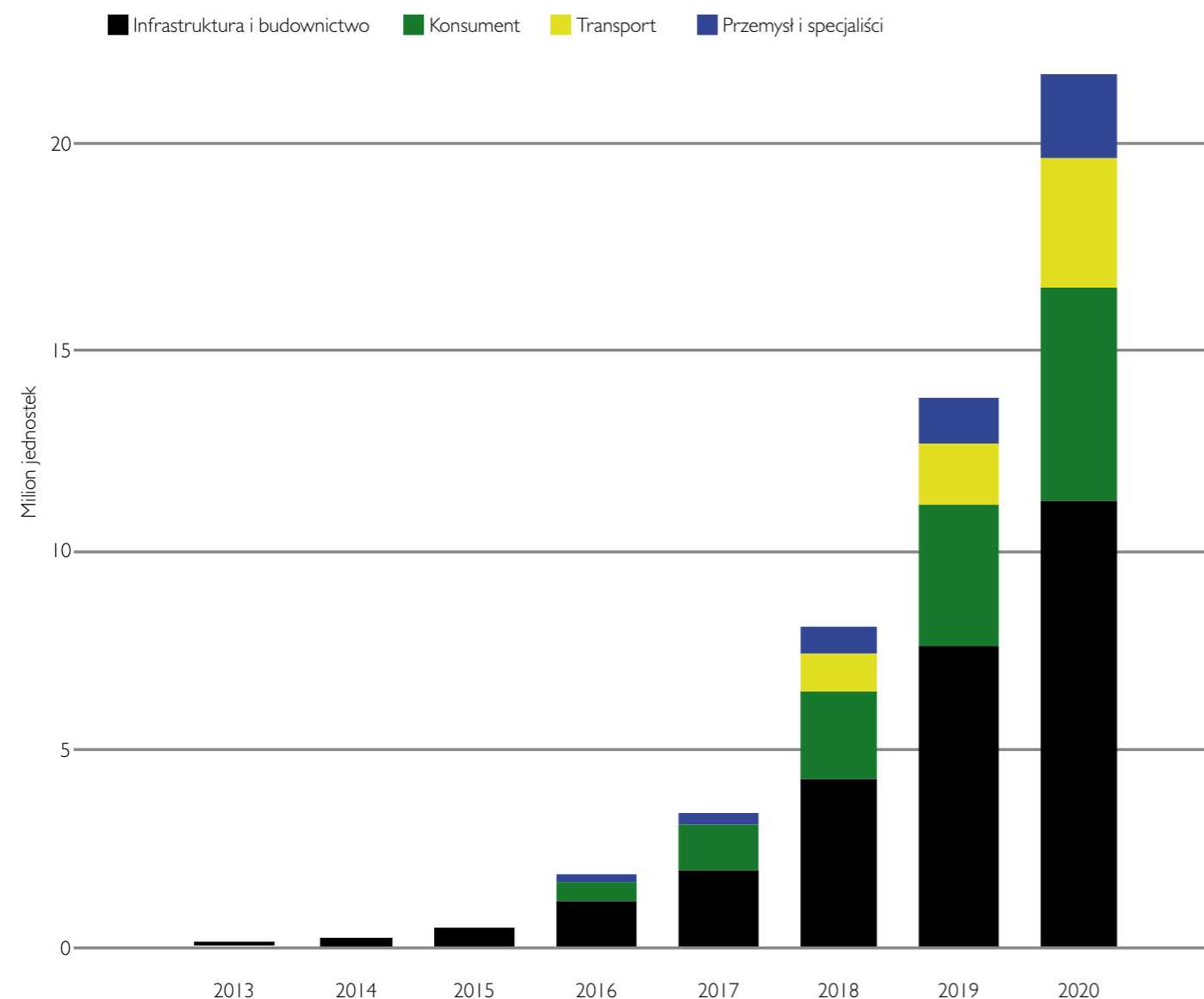
Segment rynku „Infrastruktura budynku” zajmuje przeważającą część sprzedaży, osiągając 12 mln (2020 r.) ze sprzedaży generatorów termoelektrycznych niskiej mocy, które trafiają następnie na rynek konsumencki, który cechuje najszybszy wzrost.

Rynek urządzeń do odzysku energii elektrycznej rozwija się obecnie intensywnie oraz ma perspektywę dalszego intensywnego rozwoju. Trendy na rynku wskazują, że popyt na tego typu urządzenia będzie wzrastał, a wiedza użytkowników na temat tej technologii się poszerza, co powoduje, że konsumenci zaczynają stosować te urządzenia. W związku z tym jest to dobry moment na inwestowanie w urządzenia do odzysku ciepła.

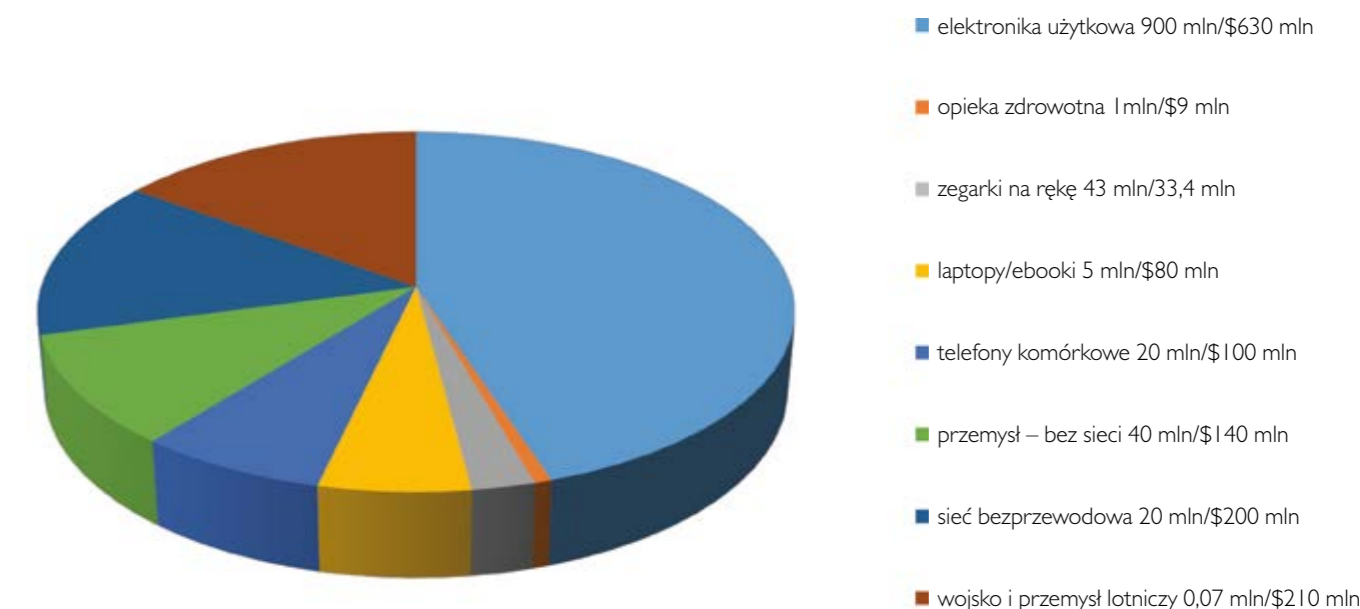
#### CIEPŁO ODPADOWE Z SILNIKÓW SAMOCHODOWYCH

Okolo 60% energii spalania w konwencjonalnym silniku spalinowym o spalaniu wewnętrznym jest marnowanych jako ciepło odpadowe poprzez gazy wydechowe i system chłodzenia. Zwiększenie wydajności spalania można osiągnąć przez zastosowanie cyklu termodynamicznego, np. cyklu Rankine'a [17]. Cykl Rankine'a przekształca ciepło w energię elektryczną, wykorzystując parowanie, rozprężanie i kondensację cieczy roboczej w obwodzie zamkniętym. Cykl Rankine'a jest wykorzystywany w większości elektrowni na świecie, a obecnie staje się coraz bardziej popularny w dużych zastosowaniach stacjonarnych. Transformacja ciepła pochodzącego z energii mechanicznej i energii elektrycznej za pomocą cyklu ter-

**Rysunek 1. Charakterystyka ZT aktualnego stanu materiałów termoelektrycznych w zależności od temperatury [16].**



**Rysunek 2. Rynek termoelektrogeneratorów w roku 2017 r. rozpisany na poszczególne urządzenia**



modynamicznego może osiągnąć poziom wydajności w zakresie od 10% do 20% w zależności od wybranego cyklu termodynamicznego, przyjętej technologii oraz temperatury. W czterech państwach europejskich realizowany jest projekt dofinansowany przez UE „Engine waste heat recovery and re-use” (NOWASTE) obejmujący okres 3 lat, który dotyczy rozwoju systemu wykorzystania ciepła odpadowego do produkcji elektryczności w pojazdach o wysokim poziomie elektryfikacji. Wykorzystuje on zaawansowaną technologię wymiennika ciepła i ekspandera, co ma zapewnić optymalną integrację cyklu i odzysk ciepła. Wykorzystano innowacyjny system oddawania ciepła minimalizujący opór chłodzenia. Założono rozwój specyficznych wymienników ciepła, aby zmaksymalizować wydajność rekuperacji ciepła oraz integrację z układem wydechowym. Projekt przewiduje ocenę systemu przy zastosowaniu dla różnych układów napędowych ciężkich samochodów ciężarowych. Projekt koncentruje się na pojazdach ciężarowych wykorzystujących elektryczne urządzenia pomocnicze. Znacznie większe korzyści zostaną osiągnięte, jeśli wykorzysta się hybrydowy lub hybrydopodobny mechanizm napędowy zębaty, w którym energia może być magazynowana i wykorzystywana w miarę potrzeb. Badacze spodziewają się ogólnego wzrostu wydajności energetycznej pojazdów o 12–15%. Odzyskiwanie ciepła odpadowego ze spalania paliw kopalnych w celu przekształcania go w elektryczność pozwalającą na zasilanie urządzeń pomocniczych lub hybrydowych mechanizmów napędowych zębatych może istotnie zmniejszyć zużycie paliwa oraz ograniczyć poziom emisji zanieczyszczeń do atmosfery [3, 4].

Innowacyjnym rozwiązaniem jest zastosowanie w samochodach specjalnych generatorów termoelektrycznych, które wprost przekształcają energię cieplną na energię elektryczną. Zespół Akademii Górniczo-Hutniczej pracuje nad wykorzystaniem modułów termoelektrycznych do efektywnego wytwarzania energii elektrycznej, których zaletami są: niewielki rozmiar, mała waga oraz brak części ruchomych, co zapewnia ich trwałość i niezawodność. Moduły mają zazwyczaj kształt płytek i wykonane są ze specjalnych półprzewodnikowych materiałów termoelektrycznych. Wystarczy je jedynie ogrzać, aby powstała użyteczna energia elektryczna. W nowoczesnych generatorach stosuje się materiały półprzewodnikowe o złożonym składzie chemicznym, które muszą zapewnić dużą sprawność i odporność na wysokie temperatury. Ponadto wymaga się, aby wykazywały one właściwości typowe dla półprzewodników oraz przewodziły elektryczność na poziomie metali. Ponadto powinny być one materiałami izolacyjnymi dla przewodzenia ciepła (szkło czy tworzywa sztuczne) oraz muszą zapewnić dużą trwałość w warunkach pracy, jakie panują w układzie

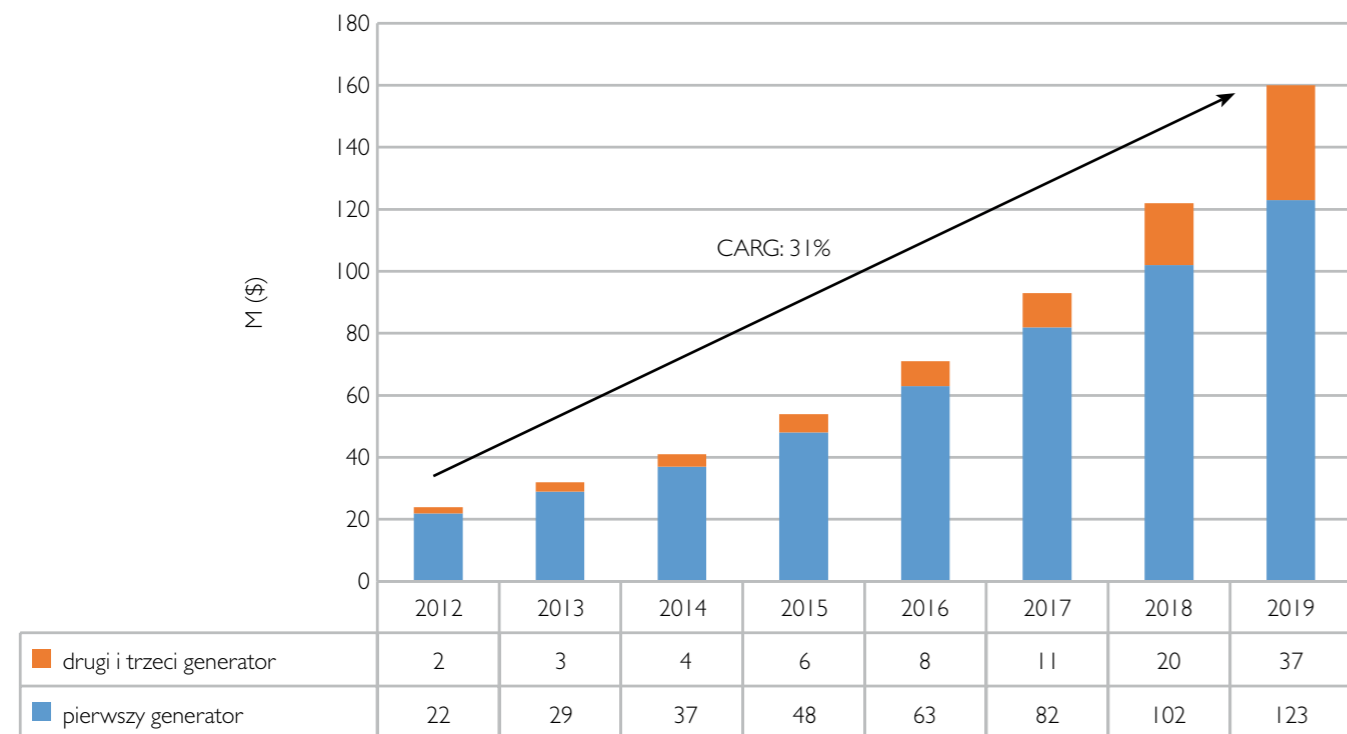
wydechowym silnika. W Laboratorium Badań Termoelektrycznych AGH powstał prototyp urządzenia do konwersji energii cieplnej na energię elektryczną zawierający moduły termoelektryczne podobne do tych montowanych w sondach kosmicznych. Zadaniem generatora termoelektrycznego po zainstalowaniu w układzie wydechowym samochodu miała być zamiana odpadowego ciepła spalin na prąd elektryczny. Urządzenie to docelowo mogłoby wspomagać lub nawet zastąpić alternator samochodowy. Jego zastosowanie docelowo wpłynęłoby na zaoszczędzenie paliwa. Zastosowaniem tego typu rozwiązań zainteresowane są wielkie koncerny samochodowe takie jak BMW czy Honda. Aby wprowadzenie tego urządzenia do powszechnego użytku było ekonomicznie uzasadnione, musi ono posiadać wystarczającą moc i sprawność. Naukowcy z AGH pracują właśnie nad materiałami, które pod wpływem wysokiej temperatury nie ulegną degradacji. Wykonany prototyp urządzenia uzyskał maksymalną moc równą 200 W, co pozwoliło na oświetlenie pojazdu i zasilenie niektórych urządzeń elektronicznych. Naukowcy twierdzą, że zastosowanie odpowiednio opracowanych kompozytowych materiałów termoelektrycznych pozwoli na zwiększenie mocy urządzenia nawet do około 1000 W i na dwukrotne podniesienie sprawności urządzenia, co w pełni zaspokoiłoby potrzeby pojazdów drogowych [5].

#### CIEPŁO ODPADOWE Z KLIMATYZACJI

Ciepło odpadowe z klimatyzacji można odzyskać w systemach GHP. Są to systemy klimatyzacji i ogrzewania zasilane gazem. Wykorzystuje się je zarówno dla kilku pomieszczeń, jak i dla całych budynków biurowych, szpitali, szkół, uniwersytetów, budownictwa mieszkaniowego, kościołów oraz obiektów przemysłowych. System GHP może zapewnić 100% wydajności grzewczej przy temperaturze zewnętrznej  $-20^{\circ}\text{C}$  przy wykorzystaniu dodatkowego ciepła odpadowego, czego nie umożliwi żaden inny system. Zarówno do chłodzenia, jak i grzania wykorzystywana jest jedna cienka instalacja chłodnicza [6]. Systemy GHP zapewniają szybkie i wydajne chłodzenie oraz ogrzewanie, a dodatkowo zwiększają dopływ ciepła do danego pomieszczenia poprzez odzysk ciepła z płynu chłodzącego silnik. Ciepło odpadowe odzyskuje się w wymienniku ciepła i wykorzystuje do podgrzania wody w trybie chłodzenia. Wykorzystywanie ciepła odpadowego z silnika sprawia, że gazowe pompy ciepła nie wymagają odszronienia, dzięki czemu dostarczają w sposób ciągły 100% wydajności grzewczej, nawet przy temperaturze zewnętrznej wynoszącej  $-20^{\circ}\text{C}$ . System GHP może dostarczyć do 30 kW mocy do podgrzewania wody do temperatury  $75^{\circ}\text{C}$ . Jeżeli temperatura zewnętrzna jest wyższa niż  $7^{\circ}\text{C}$ , to podgrzewanie wody użytkowej jest możliwe również w trybie ogrzewania [7].



**Rysunek 3. Prognoza rynku przemysłu termoelektrogeneratorów (M \$). Wskaźniki wzrostu CARG według prognozy zawartej w raporcie Infinergia (źródło: Infinergia)**



Zastosowanie systemów GHP wpływa na energooszczędność i zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> oraz NO<sub>x</sub> [6].

#### CIEPŁO Z SERWEROWNI

Systemy chłodzące w centrach danych generują od 30 do 50% kosztów (w zależności od ilości i rodzaju urządzeń) [8]. W 2012 r. IBM opracował system chłodzenia superkomputerów za pomocą ciepłej wody, który pozwolił w znacznym stopniu zmniejszyć zużycie energii w serwerowniach. Woda krążąca w obiegu zamkniętym wykorzystywana w systemie chłodzenia miała temperaturę wejściową równą około 45°C, a wyjściową dochodzącą nawet do 70°C, co pozwoliło na jej wykorzystanie do ogrzewania budynków centrum Leibnizta. Mechanizm odprowadzania ciepła był oparty na technologii mikrokanalików [9].

Obecnie inżynierowie z IBM pracują nad jeszcze bardziej zaawansowanym systemem chłodzenia o nazwie Thrive, dzięki któremu będzie możliwy większy spadek zużycia energii. System ten działa jak standardowy klimatyzator. Opiera się on na pompie ciepła, która w dużym stopniu może działać dzięki własnemu ciepłu odpadowemu. Zamiast kompresora urządzenie IBM wyposażono w adsorpcyjny wymiennik ciepła, który stanowią krzemowe desykaty. Zapewniają one funkcję adsorpcji, która jest podstawą działania technologii. Według IBM zasilana termicznie pompa ciepła pracuje dzięki wykorzystaniu ciepła odpadowego o temperaturze 60°C. Para jest adsorbowana z radiatora i kompresowana wewnątrz wymiennika ciepła. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość wykorzystania zwykłej wody zamiast drogich czynników chłodniczych [8].

#### CIEPŁO ODPADOWE Z PRZEMYSŁU

W różnych gałęziach przemysłu powstają duże ilości ciepła odpadowego z urządzeń takich jak piece piekarnicze, komory lakiernicze, suszarnicze, urządzenia do produkcji tworzyw sztucznych, gumy, urządzenia pasteryzujące, instalacje CO odprowadzające wysokotemperaturowe spaliny, które można wykorzystać w celu podwyższenia efektywności procesów technologicznych, na przykład do wstępnego podgrzewania produktu lub wody w wytwornicach pary, do dogrzewania pomieszczeń lub wytwarzania ciepłej wody. Zainstalowanie systemu odzysku ciepła odpadowego (wymieniki wysokotemperaturowe) pozwala na redukcję kosztów zużycia energii nawet o 60% [10].

#### CIEPŁO ODPADOWE Z OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

W oczyszczalniach ścieków ciepło odpadowe może pochodzić z chłodzenia kogeneracji, ze spalania biogazu, ze ścieków oczyszczonych i z ziemi. Dla przykładu w oczyszczalni ścieków w ławie, aby ogrzać posadzkę hali w suszarni osadów, zaprojektowano ciepłownię hybrydową, wykorzystującą energię z instalacji biogazu oraz z pomp ciepła. Dolne źródło dla pompy ciepła stanowi energia pochodząca z gruntu oraz oczyszczonych ścieków przepływających przez jeden z osadników wtórnych, którą odbiera się za pomocą kolektorów zainstalowanych w osadniku i ziemi wypełnionych mieszaniną glikolu z wodą. Zapewnia to niewyczerpane źródło energii, gdyż temperatura ścieków nie spada poniżej 6°C. Odzyskiwanie energii w osadniku wtórnym nie powoduje zaburzenia pracy oczyszczalni, a schłodzenie o 2–3°C oczyszczonych ścieków odprowadzanych do odbiornika powoduje, że ich temperatura jest bardziej zbliżona do naturalnej temperatury cieków wodnych. Zużywana przez pompę ciepła energia elektryczna pochodzi z własnego kogeneracji zasilanego biogazem produkowanym z osadów w zamkniętych wydzielonych komorach fermentacyjnych. Wytwarzany biogaz magazynuje się w zbiorniku biogazu wykonanym z poliestru pokrytego PVC, zabezpieczonym przed pleśnią i promieniami UV. Ze zbiornika biogaz jest przekazywany pod stałym ciśnieniem do układu kogeneracyjnego. Energia elektryczna wytwarzana przez układ kogeneracyjny z biogazu jest wykorzystywana na pokrycie potrzeb własnych oczyszczalni do zasilania urządzeń elektrycznych ciepłowni hybrydowej, oświetlenia, wentylacji mechanicznej i pozostałych urządzeń słonecznej suszarni. Dodatkowo nadwyżka energii elektrycznej przekazywana jest natomiast do publicznej sieci elektroenergetycznej. Jest to jedyne tego typu rozwiązanie funkcjonujące w Polsce [11].

Technologia produkcji energii elektrycznej w obiegu ORC (*Organic Rankine Cycle*) polega na zasilaniu turbozespołu w zamkniętym obiegu, w którym, w odróżnieniu od powszechnie stosowanego w elektrowniach obiegu parowego, jako medium energetyczne wykorzystywane są najczęściej pary oleju silikonowego. Siłownie parowe z czynnikami organicznymi jako płynami roboczymi (ORC) to stosunkowo nowa technologia zyskująca coraz większe znaczenie w energetycznym wykorzystaniu energii ze źródeł odpadowych i odnawialnych, w szczególności rozproszonych. W wypadku silnika biogazowego w oczyszczalni ścieków powstaje ciepło odpadowe z układu chłodzenia silnika oraz ciepło pozyskiwane z układu spalin. Ciepło to jest przekazywane w strumieniu wody chłodzącej silnik

i wykorzystywane do celów grzewczych. Możliwe jest tutaj zastosowanie układu ORC zasilanego ciepłem z obu źródeł lub strumieniem energii pozyskiwanej tylko z układu spalinowego [12].

#### CIEPŁO ODPADOWE ZE SŁOŃCA

Naukowcy MIT opracowali nowe rozwiązanie odzyskiwania energii słonecznej, które ma na celu poprawę efektywności wykorzystania światła słonecznego poprzez użycie go do ogrzewania materiałów wysokotemperaturowych, których promieniowanie podczerwone będzie następnie magazynowane przez konwencjonalne ogniwa fotoelektryczne. Technika ta ułatwi magazynowanie energii i jej późniejsze użycie. Możliwe będzie wykorzystanie długości fal światła, które stanowią ciepło odpadowe. Konwencjonalne ogniwa słoneczne na bazie silikonu „nie wykorzystują wszystkich fotonów”, dlatego podczas przekształcania energii fotonu w energię elektryczną poziom energii fotonu ma być zgodny z charakterystyką materiału fotowoltaicznego (PV) zwanego pasmem wzbronionym (*band gap*). Pasma wzbronione krzemu reaguje na wiele długości fal światła, ale omija sporo innych. Aby rozwiązać to ograniczenie, włożono dwuwarstwowe urządzenie pochłaniająco-emitujące (wykonane z nowoczesnych materiałów, w tym nanorurek węglowych i kryształów fotonicznych) pomiędzy światło słoneczne a ogniwo fotowoltaiczne. Ten materiał gromadzi energię o szerokim spektrum długości fal nagrzewającego go światła słonecznego. Podczas podgrzewania materiał emituje światło o określonych długościach fali, które są dopasowywane odpowiednio do pasma wzbronionego ogniwa fotowoltaicznego zamontowanego w pobliżu. Zespół zaprojektował urządzenie testowe o wydajności 3,2% i zakłada w późniejszym czasie osiągnięcie sprawności rzędu 20%. Konstrukcja dwuwarstwowego materiału pochłaniająco-emitującego może wpłynąć na zwiększenie efektywności urządzenia. Jego zewnętrzną warstwę, wystawioną na działanie promieni słonecznych, stanowi matryca wielościennych nanorurek węglowych, które bardzo skutecznie pochłaniają energię świetlną i zamieniają ją w ciepło. Warstwa ta jest połączona szczelnie z warstwą kryształu fotonicznego, która jest precyzyjnie zaprojektowana, tak że gdy jest ogrzewana przez warstwę nanorurek, to „świeci” światłem, którego intensywność pików znajduje się powyżej pasma wzbronionego przyległego do materiału fotowoltaicznego, zapewniając, że większość energii pobranej przez absorber jest następnie zamieniana w energię elektryczną.

W swoich eksperymentach naukowcy wykorzystali symulowane światło słoneczne i odkryli, że wykazuje ono największą sprawność, gdy jego intensywność była równoważna z systemem ogniskowania, który koncentruje światło słoneczne o współczynniku 750. Światło ogrzewało urządzenie absorbująco-emitujące do temperatury 962°C. Ten poziom natężenia jest już znacznie niższy niż w poprzednich próbach w systemach STPV, które skupiały światło słoneczne przy współczynniku równym kilka tysięcy. Jednak naukowcy twierdzą, że możliwe jest uzyskanie tego samego rodzaju wzmocnienia przy jeszcze niższych natężeniach światła słonecznego, dzięki czemu systemy będą łatwiejsze w obsłudze [13].

#### PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA CIEPŁA ODPADOWEGO W SZWECJI

W Szwecji około 10% ciepła w sieci ciepłowniczej stanowi ciepło odpadowe z przemysłu. Prawie 1% dostaw ciepła w szwedzkiej sieci ciepłowniczej pochodzi ze spalania gazu resztkowego z huty stali w mieście Luleå, podczas gdy w innych krajach gaz ten spalany jest w pochodni. W mieście Borlänge 70% ciepła w sieci stanowi ciepło odpadowe z fabryki papieru Stora Enso (85%) oraz z huty stali SSAB (15%). Gmina Borlänge otrzymuje to ciepło bezpłatnie z zakładów, ale wcześniej musiała zapłacić za inwestycje, które umożliwiają odbiór ciepła i jego dystrybucję w sieci. Dzięki temu firmy mają lepsze parametry środowiskowe i ponoszą niższe opłaty środowiskowe. Ciepło zawarte w Morzu Bałtyckim, w rzekach, w jeziorach i w oczyszczonych ściekach stanowi około 10% ciepła dostarczanego do sieci ciepłowniczej. Temperatura oczyszczonych ścieków w Sztokholmie waha się w zależności od pory roku w zakresie 7–22°C. Ciepło to poprzez instalacje pomp ciepła zamieniane jest na wysokoparametrową energię cieplną i wpompowuje się je do sieci ciepłowniczej. Temperatura oczyszczonych ścieków po tym procesie wynosi 1°C i są one następ-

nie wykorzystywane do chłodzenia biur, szpitali i centrów handlowych zamiast mało efektywnych klimatyzatorów. W tym wypadku sprężarkowa pompa ciepła pracuje na tej samej zasadzie co lodówka. Proporcje między uzyskiwaną energią cieplną a elektryczną konieczną do napędu sprężarki wynoszą w zależności od proporcji temperatur od 3:1 do 4:1. Wykorzystując wyprodukowany chłód, można te proporcje poprawić do odpowiednio od 5:1 do 6:1, co oznacza, że zużywając 1 kWh energii elektrycznej w pompie ciepła, uzyskuje się od 3 do 4 kWh energii cieplnej i 2 kWh chłodu. Przeciętna oczyszczalnia ścieków w Szwecji produkuje trzy razy więcej energii niż zużywa, dzięki zastosowanej technologii produkcji ciepła i chłodu w pompach ciepła zasilających sieci centralnego ciepła i chłodu oraz produkcji biogazu z osadów ściekowych [14].

#### PODSUMOWANIE

W związku z potrzebą oszczędności energii dąży się do wykorzystywania odnawialnych źródeł energii, a odzyskiwanie ciepła odpadowego wychodzi temu naprzeciw. Problem wykorzystania ciepła odpadowego jest bardzo istotny, ponieważ wiele jego źródeł jest niewykorzystanych. Poszukuje się coraz to nowych, bardziej wydajnych, skutecznych i oszczędnych rozwiązań. Jedną z technologii o dużym potencjale jest metoda odzysku ciepła z wykorzystaniem efektu termoelektrycznego. Zaletą systemów termoelektrycznych jest to, że można zaprojektować je tak, aby wykorzystywały niewielkie źródła ciepła przy małej różnicy temperatur. Małe generatory tego typu mogą być masowo produkowane do odzysku ciepła z motoryzacji lub domu w kogeneracji ciepła i elektryczności, a także do mniejszych zastosowań. Wynalazkiem wykorzystującym termoelektryki są zegarki na rękę napędzane ciepłem ciała ludzkiego czy rozruszniki serca, bransoletka zasilająca telefony komórkowe, odtwarzacze mp3 czy odzież termoelektryczna. Wykorzystanie ciepła odpadowego będzie się w najbliższym czasie rozwijać w związku z coraz lepszym dostępem do urządzeń umożliwiających jego odzysk, a także z uwagi na wytwarzanie coraz nowocześniejszych materiałów termoelektrycznych o ulepszonych właściwościach, które pozwolą efektywniej wykorzystywać nawet małe ilości ciepła odpadowego. Reasumując: zaprezentowane w artykule zastosowania przyczynią się do rozpowszechnienia urządzeń do odzysku ciepła do osobistego użytku, sprawiając tym samym, że odzysk małych źródeł ciepła na dużą skalę stanie się opłacalny. ■

1. Minnich A.J., Dresselhaus M.S., Ren Z.F., Chen G., *Bulk nanostructured thermoelectric materials: current research and future prospects*, „Energy Environ. Sci.”, 2009, no. 2, p. 466–479.

2. marketsandmarkets.com Publishing Date: September 2015 Report Code: AS 3743

3. [http://cordis.europa.eu/result/rcn/92850\\_pl.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/92850_pl.html)

4. <http://www.nowasteproject.eu/>

5. <http://www.agh.edu.pl/blog-naukowy/info/article/energia-elektryczna-ze-spalin/>

6. Sroczyński P., *Wentylacja, klimatyzacja oraz ogrzewanie w jednym systemie chłodniczym: Nowoczesne systemy GHP – SANYO zasilane gazem ziemnym lub LPG*, „Chłodnictwo & Klimatyzacja”, 2006, 12, s. 11–13.

7. <http://ghp-panasonic.pl/cieplo-odpadowe.html>

8. <http://www.benchmark.pl/aktualnosci/ibm-super-muc-superkomputer-goraca-woda-chlodzenie.html>

9. <http://www.benchmark.pl/aktualnosci/ibm-chcec-hlodnic-serwery-wykorzystujac-ich-cieplo-odpadowe.html>

10. <http://instalacje2b.pl/wydarzenia/z-firm/3873-rekuperacja-ciepła-odpadowego>

11. [http://ekoenergia.pl/index.php?id\\_akt=585&plik=Uklady\\_hybrydowe\\_w\\_oczyszczalni\\_sciekow.html](http://ekoenergia.pl/index.php?id_akt=585&plik=Uklady_hybrydowe_w_oczyszczalni_sciekow.html)

12. <http://www.kierunekwodkan.pl/artykul,15663,sp0sob-na-zagospodarowanie-ciepła-odpadowego.html>

13. <http://news.mit.edu/2014/how-to-tap-the-suns-energy-through-heat-as-well-as-light-0119>

14. <http://www.swedenabroad.com/SelectImageX/160049/krotkoenergiiszwecji.pdf>

15. *Program operacyjny. Infrastruktura energetyczna*, Wstępny projekt narodowego Planu Rozwoju 2007–2013, Ministerstwo Gospodarki i Pracy, <<http://www.funduszeuropejskie.gov.pl/informator/npr2/pol/energia.pdf>>.

16. Zervos H., *Thermoelectric Energy Harvesting 2014-2024: Devices, Applications, Opportunities* <<http://www.idtechex.com/research/reports/thermoelectric-energy-harvesting-2014-2024-devices-applications-opportunities-000392.asp>>.

17. Papierowska E., Chaczykowski M., *Wykorzystanie technologii ORC w celu wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych*, „Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska”, nr 61, 2013, s. 336–347.