

## RES Plants with PCM Storages for Presumes

### Author

Marek Laskowski

### Keywords

container biogas plant, gas purification, fuel cells, bio refineries, phase change storage

### Abstract

This article describes RES micro-plants: container biogas plant, SFR biogas purification plant, micro-cogeneration system (fuel cell-based), and bio refinery for the production of 2nd generation bioethanol, which can effectively cooperate with phase-change storage. Potential applications are also presented of variable-phase heat and cold storage in heating systems, in particular for adsorption systems that generate cold directly from system heat.

**DOI: 10.12736/issn.2330-3022.2019207**

Received by editor: 06.09.2019

Received in revised form: 10.08.2019

Accepted: 06.09.2019

Available online: 30.10.2019

The amendment to the RES (renewable energy source) Act extends the definition of prosumer. RES prosumer is a final consumer, who produces electricity from RES sources for their own needs in a micro-plant, who can store this energy or transfer it against a payment to an incumbent or another seller.

One of the most important changes is also the resignation from the obligation to prepare a building permit design for the smallest micro-plants up to 6.5 kW, and the possibility of locating micro-plants in areas that are intended for non-production purposes in local plans. The allowable size of micro-plant is 50 kW.

Micro-plant is a system based on private or municipal sources (e.g. home photovoltaic panels, biogas plants), connected to the power grid in a place where no generating sources were originally planned. It allows utilising available energy sources, and in the case of distributed generation and local consumption, avoiding the costs and losses associated with electricity and heat transmission over longer distances. At the same time, these plants enable local management of waste and other substrates for energy purposes in so-called micro-cogeneration systems, i.e. efficient and environment-friendly generation of electricity and heat [1]. Local micro-plants can utilise environmentally neutral substrates and bio-waste, generating electricity and heat in an efficient and environment-friendly way. The growing use of corn, vegetable oils, cereal grains, and sugar cane for energy and biofuels production has local and global dimensions – on the one hand, it promotes diversification of energy sources and improves energy security, on the other, it may result in the depletion of the world's strategic food resources, and the allocation of these raw materials for energy purposes may cause difficulties in balancing the global market for cereals, feed and oilseeds [2]. The

use of bio-waste (municipal, agricultural and industrial) not only enables the production of energy and fertilizers, but also allows the closure of circular economy processes.

### Biogas systems

An example of a micro-plant utilising waste from agricultural production is biogas plant that produces biogas in the methane fermentation process. The fuel for it may be locally available biodegradable waste. The plant's daily demand for the substrates is about 300 kg of silage (or its energy equivalent) and water or liquid biomass (slurry) [1]. The biomass feeding system consists of a crusher and mixer for the charge homogenization. The feeder capacity is ca. 3.5 m<sup>3</sup>, with which the daily charge can be prepared in one cycle. The dry matter content in the input mixture is ca. 6–9% [1]. Biomass after crushing and mixing is fed into the hydrolysis chamber by a pump, which is also the mixing pump for the charge comminution and preparation. Active capacity 60 m<sup>3</sup> may daily produce up to ca. 76 Nm<sup>3</sup> of biogas with a methane content over 55–65% [1]. Biogas is stored in a tank made of polyester coated on both sides with polyvinyl chloride and allowing to maintain a biogas supply sufficient for 24 hours of continuous engine operation. After treatment, biogas is directed to a cogeneration system with capacity 10 kW and voltage 230 V AC. Heat from the engine is transferred to a heat exchanger, it can be used for heating or to heat domestic hot water. Biogas plant can be remotely controlled from a dedicated automatic system. Biogas plant can also cooperate with a heat storage using phase-change materials.

Biogas generated in a large biogas plant can be used in a cogeneration system or enriched to biomethane in a biogas enrichment



Photo 1. 10 kW container biogas plant (photo by the author)



Photo 2. Container biogas plant with 200 m<sup>3</sup>/h SFR reactors (photo by the author)

system. Biogas produced in the methane fermentation process can be injected directly into a gas network or stored. Biogas contains on average from 50% to 65% methane (heating value of biogas is 19–23 MJ/m<sup>3</sup>) [1]. The rest is mainly carbon dioxide and a much lower content of water vapour, hydrogen sulphide, hydrogen, sometimes some oxygen. Therefore, before injecting into a network, it should be properly purified and compressed. Gases can be separated using physical and chemical absorption, pressure swing adsorption or membrane separation [1]. The plant, which employs chemical absorption processes with a highly effective system of contacting the liquid phase (absorbent) with the gas phase (raw biogas), called spinning fluids reactor (SFR), was produced by the Gdańsk University of Technology on commission from ENERGA SA.

After the purification process the CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S contents are very low and amount to several percent of CO<sub>2</sub> and several tens of ppm (parts per million) of hydrogen sulphide [1]. The SFR plant's modular design allows for quick adding more modules to handle a higher gas flow rate or a change in the gas composition. With the modular design, the system's faulted components can be quickly replaced. A complete biogas purification plant module with a wide range of operating parameters and capacity up to 200 m<sup>3</sup>/h is housed in a 40-foot container. Purified biogas from an SFR plant can be used locally, stored or used for transport purposes.





Photo 3. Cogeneration micro-plant with SOFC fuel cells of electrical capacity 2 kW together with a 200 l hot water tank (photo by the author)

### Fuel cell system

Another example of the high-efficiency micro-source for prosumer applications is a micro-cogeneration (1–5 kW) fuel cells based system.

They are characterized by quiet operation and low greenhouse gas emission. Micro-cogeneration systems usually use the SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) technology) with a capacity of 0.7–5 kW. The plant's key element is a stack of solid oxide fuel cells that directly convert the fuel's chemical energy into direct current. This feature allows the generation of a few kilowatts of electricity with efficiency comparable or higher than in a large, high-efficiency coal power plant. Cells can be fueled with a gas fuel, e.g. hydrogen, natural gas, biogas or carbon monoxide, or a liquid fuel, e.g. ammonia [1]. The first such a plant in Poland was produced as part of a strategic project of the National Centre for Research and Development, implemented by ENERGA SA together with the Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences at the Institute of Power Engineering in Warsaw. The system has an electrical efficiency of up to approx. 44% and a total efficiency of up to approx. 85%, and can power loads up to 2 kW at 230 V AC. The pilot installation recovers heat for heating domestic hot water in a 200 l tank. The water tank can be also replaced with a heat storage using phase-change materials. A change in the electricity output is flexibly correlated with the heat output. This unique feature distinguishes SOFC cells from classic energy technologies, such as steam or gas circuits. With the advanced control and automation system the process can be controlled to minimise the need for human assistance in every phase of the installation's operation [1]. A fuel cell cogeneration system responds to the needs of small, energy-efficient households and small enterprises, and will also help to effectively reduce low emissions. The range of achieved temperatures enables driving absorption and adsorption chillers.

### PCM storage

With the intensive development of distributed micro-sources, the generated electricity is consumed locally or via the local distribution grid or transferred to other consumers connected to the DSO grid [1]. A challenge is the local consumption of heat from micro-cogeneration sources or its efficient transmission and/or storage. The development of micro-sources also means that existing heating systems may operate inefficiently when there is a large discrepancy between heat supply and demand [1].

The ENERGA Group together with the Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences develops heat and cold storage technologies using phase-change materials (PCM) with a phase transition temperature in the range of 60–100°C (or more) for heat accumulation. To support cold generation plants, a research is in progress on a warehouse with a material with a transformation temperature below 16°C. The cold storage system is suited to cooperate with an adsorption cold generation system powered by waste heat or from a renewable energy source, e.g. a solar collector. On the other hand, thermal energy storage systems can cooperate with relatively low capacity heat sources. heat-driven absorption, adsorption and jet cooling refrigeration systems are increasingly used in trigeneration systems and waste heat systems. Due to the efficiency of these solutions, optimization of the entire refrigeration system operation to improve its energy efficiency is a particularly important issue [4]. It is quite common that after the thermo-modernization of a building, the efficiency of its heating does not match the demand [1]. Then the boilers work in short cycles with low efficiency. The use of a heat storage allows optimizing the heat production process, and thus increasing the energy efficiency and service-life of boiler room equipment. At present, hot water storage tanks are widely known, but their significant disadvantage is their size and the possible growth of thermophilic bacteria. The only solution is a

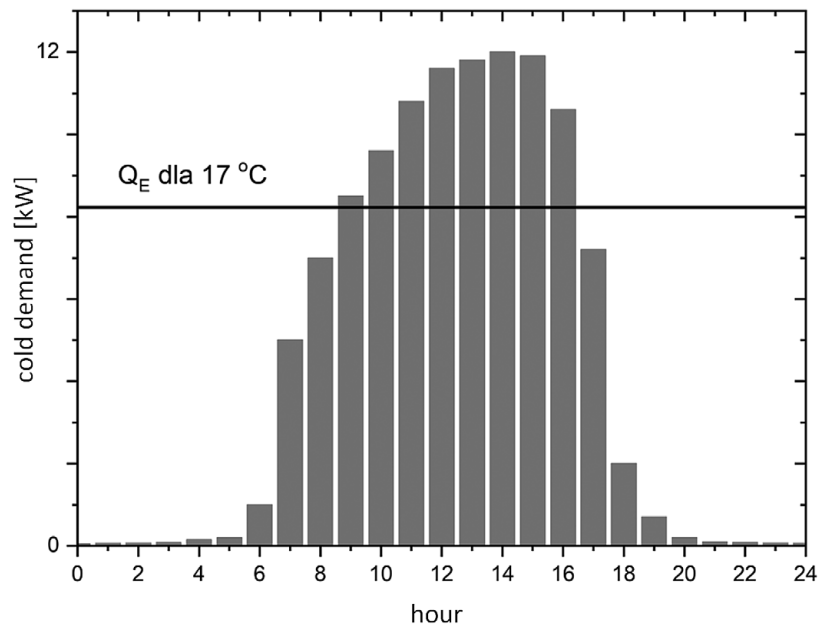


Fig. 1. Hourly variation of the cooling demand of a receiver (office space), the horizontal line marks the adsorption aggregate capacity for the average HTF temperature in TE evaporator = 17°C [3, 4]

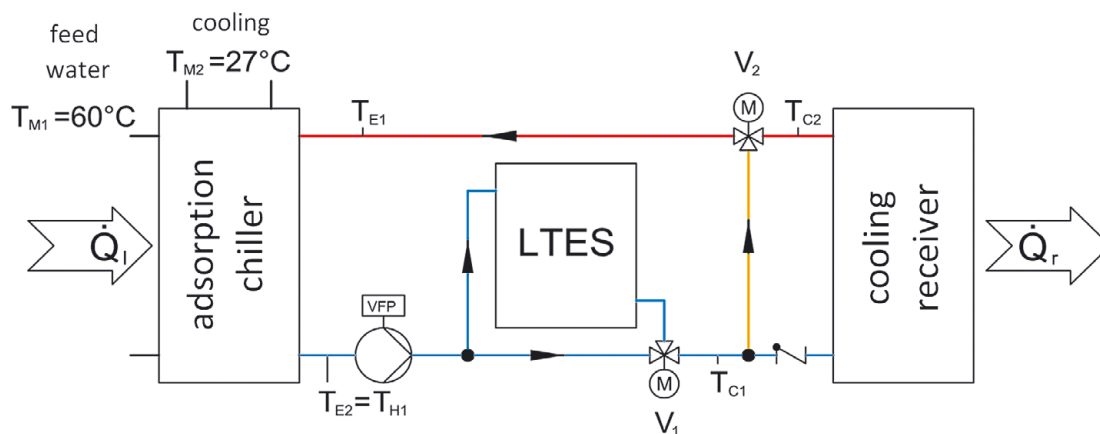


Fig. 2. Cooling installation diagram  $V_1$  – three-way control valve,  $V_2$  – three-way shut-off valve, LTES – cold tank with PCM material [3, 4]

variable-phase heat storage, ensuring that the right amount of heat is stored within acceptable dimensions [1].

Increasing attention is paid to the heat generation process optimization to minimize the consumption of primary resources (coal, oil, natural gas). In the cold production, the energy consumption reduction potential is estimated at 10–40% [1]. In cyclically operated heat/ cold production plants, the energy consumption can be reduced by using buffer heat/cold storages. With such a solution the plant operation can be optimized, and in some situations the trouble-free operation period can be extended. An example of this is the operation of a typical office building cooling system. In receivers with cyclical cooling demand, one of the effective ways to increase the economic and energy efficiency is cold buffering at times of reduced demand [3]. The equipment for typical cooling installations is selected according to the demand

for cooling power in peak demand periods. However, providing the required amount of cold to a facility involves the use of a compressor that will operate with its rated power only for several dozen hours a year. Oversized cooling installations are costly to build and operate. A way to reduce these costs is to adapt the cooling device to the average demand for cold, and to effectively use the cold stored in containers filled with phase-change materials (PCM) and capable of supplying the increased demand for cooling power at its peaks [3].

As part of the technologies developed, in cooperation with Energa Ciepło Ostrołęka, at the Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences an original design of a variable-phase cold storage coupled with a system heat driven adsorption cooling generator is developed. Too low mass flow in the adsorption aggregate feeding pipeline will cause the



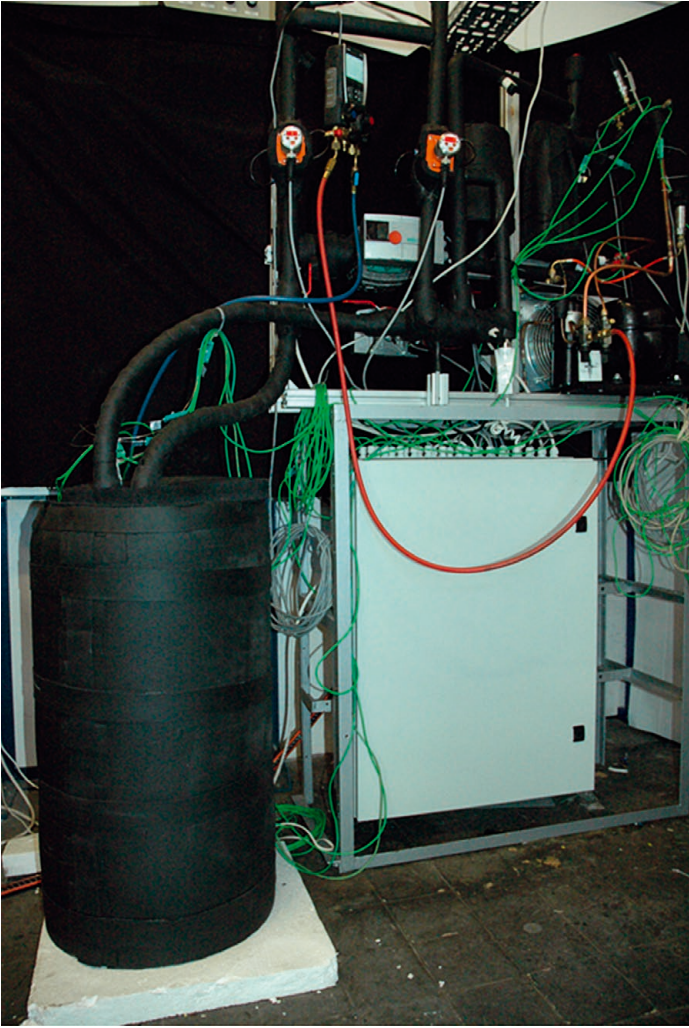


Photo 4. Phase-change storage at the Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences [3]

aggregate to operate with a reduced cooling capacity. The use of a phase-change cold storage system enables the adsorption chiller's 24 hrs a day operation. The energy accumulated at night allows covering the cooling demand during the peak period. It also reduces the dependence on technical constraints related to the existing transmission infrastructure. Increasing the heat output at night in the summer season will have a positive effect on levelling the technical minima of generating equipment and will improve the generating assets' effectiveness.

Storages with PCM materials will be widely used in cold/heat producing installations, while being an important element of energy storage. To make the said solution beneficial for the investor, it is necessary to optimize the PCM material and the exchanger designs.

### Biorefineries

The current development priorities of the biofuel market in the European Union and in the world are oriented on the use of lignocellulosic raw material, whose natural rich sources are forests or crops from marginal (unsuitable for food production) land, not competing with crops for nutritional purposes. However, there are also some economic and environmental constraints for these sources, because of the long time necessary to restore the forest stand and wood of high industrial value, due to which mainly residues are used to generate energy [2]. An example of the RES plant that converts wood into ethanol in a chemical process is a biorefinery. It uses a lignocellulosic mass to produce second generation bioethanol. The plant is made up of four modules supporting the following process stages: raw material pre-treatment and enzymatic hydrolysis (three reactors of approx. 300 l each), fermentation (two reactors of approx. 100 l each) and distillation of the resulting product with a capacity of approx. 12 l/h. Willow chips from marginal soils can be used as



Photo 5. Bio-refinery for the production of second generation bioethanol from lignocellulosic mass [6] (photo by the author)

the substrate. In the pretreatment process of the bioethanol production, concentrated orthophosphoric acid is used, which allows for easier management of the residues arising in the process, which can be used, for example, as a fertilizer enriched in phosphorus compounds [2]. Waste fractions generated during the ethanol production process can be utilized in a biogas plant to produce biogas and then electricity. Bioethanol is used as a transport fuel or to power DEFC (Direct *Ethanol Fuel Cell*), which generate electricity in electrochemical processes.

## Summary

This article describes the RES micro-plants developed by the Consortium IMP PAN/ Energa in Task IV “Development of integrated technologies for the production of fuels and energy from biomass, agricultural and other waste” of The National Centre’s for Research and Development Strategic Program “Advanced technologies for obtaining energy”: a container biogas plant, an SFR biogas purification plant, a micro-cogeneration system (based on fuel cells), and a biorefinery for the production of second generation bioethanol, which can be successfully used by prosumers. The rated capacities of most of them meet the definition of a prosumer. These plants can effectively cooperate with phase-change storages.

Potential applications are also presented of variable-phase heat and cold storage in heating systems, in particular for adsorption systems that generate cold directly from system heat. RES micro-sources of a continuous heat output with appropriate parameters can generate cold using adsorption systems.

## REFERENCES

1. Laskowski M., Lackowski M., Cenian A., Instalacje OZE dla klastrów energii [RES plants for energy clusters], *Nowa Energia*, No. 1 (66), 2019.
2. Biorafineria lignocelulozowa – uwarunkowania środowiskowe, energetyczne i społeczno-ekonomiczne [Lignocellulose biorefinery – the environmental, energy and socio-economic conditions] [in:] monographic series under the Strategic Program Research Task No. 4: “Development of integrated technologies for the production of fuels and energy from biomass, agricultural and other waste” coordinated by the Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences in Gdańsk and implemented under contract SP/E/ 4/65786/10 with the National Centre for Research and Development, edited by. M. Stolarski, J. Gołaszewski, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2015.
3. Karwacki J. et al., Analiza zastosowania magazynu ciepła z materiałem PCM przy niedopasowaniu wydajności źródła i odbiornika chłodu [Analysis of the use of heat storage with PCM material at mismatch of the source and cold receiver efficiencies], *Nowa Energia*, No. 2 (67), 2019.
4. Karwacki J. et al., Magazyn zmiennofazowy chłodu zintegrowany z adsorpcyjnym systemem jego generacji [Phase-change cold storage integrated with an adsorption cold generation system], conference proceedings “New businesses for heating and industry – cold, waste heat, heat storage”, April 11–12, 2019, Zielona Góra.

## Marek Laskowski

ENERGA SA

e-mail: marek.laskowski@energa.pl

He has been professionally involved in the energy industry for 19 years. He was involved in the management of capex, and then innovation, projects. He was responsible for the first innovative project of the ENERGA group, which the company implemented together with the Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences: “Advanced energy acquiring technologies” – co-financed by the National Centre for Research and Development as part of the Strategic Program Research Task No. 4: “Development of integrated technologies for the production of fuels and energy from biomass, agricultural and other waste”. He was a member of the project’s Steering Committee and managed tasks on behalf of the industry partner. Co-author of “Research and development policy and innovation”, “Innovation development directions”, “Strategic research agenda of the ENERGA Capital Group” and the concept of the Research and Development Centre named after M. Faraday. Initiates, implements and oversees key innovative and R&D projects of the Energy Group. Winner of the First Award of the Prime Minister for scientific and technical achievements. PhD student at the Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences.



This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 85–90. When referring to the article please refer to the original text.

PL

## Instalacje OZE wraz z magazynami PCM dla prosumenta

### Autor

Marek Laskowski

### Słowa kluczowe

biogazownia kontenerowa, oczyszczanie gazu, ogniwa paliwowe, biorafineria, magazyny zmiennofazowe

### Streszczenie

W niniejszym artykule opisano mikroinstalacje OZE: biogazownię kontenerową, instalacje do oczyszczania biogazu SFR, układ mikrokogeneracyjny (oparte na ogniwach paliwowych) i biorafinerię do wytwarzania bioetanolu II generacji, które mogą efektywnie współpracować z magazynami zmiennofazowymi. Przedstawiono również potencjalne możliwości zastosowania zmiennofazowych magazynów ciepła i chłodu w systemach ciepłowniczych, w szczególności dla systemów adsorpcyjnych generujących chłód wprost z ciepła systemowego.

Data wpływu do redakcji: 06.09.2019

Data wystawienia recenzji: 10.08.2019

Data akceptacji artykułu: 06.09.2019

Data publikacji online: 30.10.2019

Nowelizacja ustawy o OZE (odnawialne źródło energii) rozszerza definicję prosumenta. Prosument energii odnawialnej to odbiorca końcowy, wytwarzający energię elektryczną z OZE na własne potrzeby w mikroinstalacji, który może tę energię magazynować lub przekazać odpłatnie sprzedawcy zobowiązanemu albo innemu sprzedawcy.

Jedną z ważniejszych zmian jest także rezygnacja z obowiązku przygotowania projektu budowlanego dla najmniejszych mikroinstalacji do 6,5 kW oraz możliwość lokalizowania mikroinstalacji na terenach, które w planach miejscowych mają przeznaczenie inne niż produkcyjne. Dopuszczalna wielkość mikroinstalacji to 50 kW.

Mikroinstalacje to systemy oparte na prywatnych bądź komunalnych źródłach (np. przydomowe panele fotowoltaiczne, biogazownie), przyłączone do sieci elektroenergetycznej w miejscu, gdzie pierwotnie nie zakładano żadnych źródeł wytwórczych. Pozwalają one wykorzystać dostępne źródła energii, a w przypadku rozproszonej generacji i lokalnej konsumpcji uniknąć kosztów i strat związanych z przesyłem energii elektrycznej i ciepłej na dłuższych odcinkach. Jednocześnie omawiane instalacje umożliwiają lokalne zagospodarowanie odpadów i innych substratów na cele energetyczne w tzw. układach mikrokogeneracyjnych, czyli efektywną i przyjazną środowisku produkcję energii elektrycznej i ciepłej [1]. Lokalne mikroinstalacje mogą wykorzystywać środowiskowo-neutralne substraty oraz bioodpady, wytwarzając energię elektryczną i ciepłą w sposób wydajny i przyjazny dla środowiska. Rosnące wykorzystanie kukurydzy, olejów roślinnych, ziarna zbóż i trzciny cukrowej do produkcji energii i biopaliw ma wymiar lokalny i globalny – z jednej strony sprzyja dywersyfikacji źródeł energii i poprawia bezpieczeństwo energetyczne, z drugiej zaś może skutkować wyczerpywaniem strategicznych zasobów żywnościowych świata, a przeznaczanie tych surowców na cele energetyczne może powodować trudności w zbilansowaniu światowego rynku zbóż, roślin paszowych

i oleistych [2]. Wykorzystanie bioodpadów (miejskich, rolniczych oraz przemysłowych) nie tylko umożliwia produkcję energii oraz środków nawozowych, ale umożliwia też domknięcie procesów gospodarki o obiegu zamkniętym (cyrkularnym).

### Układy na biogaz

Przykładem mikroinstalacji wykorzystującej odpady z produkcji rolnej są biogazownie wytwarzające biogaz w procesie fermentacji metanowej. Paliwem dla niej mogą być lokalnie dostępne odpady biodegradowalne. Dzielne zapotrzebowanie na substraty takiej instalacji to ok. 300 kg kizsonki (lub jej energetycznego ekwiwalentu) oraz woda lub biomasa płynna (gnojowica) [1]. Układ podawania biomasy składa się z rozdrabniacza i mieszalnika umożliwiającego ujednoczenie wsadu. Pojemność robocza podajnika wynosi ok. 3,5 m<sup>3</sup>, co gwarantuje możliwość przygotowania wsadu dziennego w jednym cyklu pracy. Zawartość suchej masy w mieszaninie wejściowej wynosi ok. 6–9% [1]. Biomasa po rozdrobnieniu i wymieszaniu podawana jest do komory

hydrolizy za pomocą pompy, która stanowi jednocześnie pompę mieszającą podczas rozdrabniania i przygotowywania wsadu. Z objętości czynnej 60 m<sup>3</sup> można otrzymać do ok. 76 Nm<sup>3</sup> biogazu dziennie o zawartości powyżej 55–65% metanu [1]. Biogaz magazynowany jest w zbiorniku wykonanym z poliestru obustronnie powleczzonego polichlorkiem winylu i pozwalającym na utrzymanie zapasu biogazu wystarczającego na dobę ciągłej pracy silnika. Biogaz po oczyszczeniu kierowany jest do układu kogeneracji o mocy 10 kW i napięciu 230 V AC. Ciepło z silnika przekazywane jest do wymiennika ciepła, może być ono zagospodarowane na potrzeby grzewcze lub do ciepłej wody użytkowej. Biogazownia może być zdalnie sterowana za pośrednictwem dedykowanej automatyki. Biogazownia może również współpracować z magazynem ciepła z wykorzystaniem materiałów zmiennofazowych.

Biogaz powstały w dużych biogazowniach może być wykorzystany w systemie kogeneracji bądź wzbogacony do biometanu w układzie wzbogacania biogazu. Wyprodukowany



Fot. 1. Biogazownia kontenerowa o mocy 10 kW (zdjęcie autora)

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 85–90. When referring to the article please refer to the original text.

PL

w procesie fermentacji metanowej biogaz może być zatłaczany bezpośrednio do sieci gazowej lub magazynowany. Biogaz zawiera średnio od 50% do 65% metanu (wartość opałowa biogazu wynosi 19–23 MJ/m<sup>3</sup>) [1]. Resztę stanowi głównie dwutlenek węgla oraz znacznie mniejsza zawartość pary wodnej, siarkowodoru, wodoru, czasami nieco tlenu. W związku z powyższym przed zatłoczeniem do sieci należy go odpowiednio oczyścić i sprężyć. Separacja gazów może odbywać się z wykorzystaniem absorpcji fizycznej i chemicznej, adsorpcji zmiennociśnieniowej czy separacji membranowej [1]. Instalację wykorzystującą procesy absorpcji chemicznej z zastosowaniem wysoce efektywnego systemu kontaktowania fazy ciekłej (absorbentu) z fazą gazową (biogaz surowy), zwanego reaktorem z wirującymi płynami (ang. *Spinning Fluids Reactor* – SFR), wykonała Politechnika Gdańska na zlecenie ENERGA SA.

Po procesie oczyszczania poziom CO<sub>2</sub> oraz H<sub>2</sub>S jest bardzo niski i wynosi do kilku procent CO<sub>2</sub> i kilkudziesięciu ppm (części na milion) siarkowodoru [1]. Dzięki modułowej konstrukcji instalacji SFR możliwe jest szybkie dołączanie kolejnych modułów w razie większego natężenia przepływu gazu bądź zmiany jego składu. Budowa modułowa umożliwi również szybką wymianę elementów instalacji po wystąpieniu awarii. Kompletny moduł instalacji oczyszczania biogazu o szerokim zakresie parametrów pracy i wydajności do 200 m<sup>3</sup>/h mieści się w 40-stopowym kontenerze. Oczyszczony biogaz z instalacji SFR może być wykorzystywany lokalnie, magazynowany lub wykorzystany na cele transportowe.

#### Układ z ogniwami paliwowymi

Innym przykładem mikroźródeł o dużej sprawności do zastosowań prosumenckich są układy mikrokogeneracyjne (o mocy 1–5 kW) oparte na ogniwach paliwowych. Charakteryzują się one m.in. cichą pracą i niską emisją gazów cieplarnianych. W układach mikrokogeneracyjnych stosuje się zazwyczaj technologię stałotlenkowych ogniw paliwowych SOFC (ang. *Solid Oxide Fuel Cell*) o mocy w przedziale 0,7–5 kW. Kluczowym elementem instalacji jest stos stałotlenkowych ogniw paliwowych, które konwertują energię chemiczną paliwa bezpośrednio na prąd stały. Cecha ta pozwala wytwarzać energię elektryczną w skali pojedynczych kilowatów ze sprawnością porównywalną lub wyższą niż w dużej wysoko sprawnej elektrowni węglowej. Ogniwa mogą być zasilane paliwem gazowym w postaci np. wodoru, gazu ziemnego, biogazu czy tlenku węgla bądź paliwem ciekłym, np. amoniakiem [1]. Pierwsza taka instalacja w Polsce została wykonana w ramach projektu strategicznego NCBiR, realizowanego przez spółkę ENERGA SA wraz z Instytutem Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk w Instytucie Energetyki w Warszawie. Skonstruowany układ ma sprawność elektryczną do ok. 44% oraz całkowitą do ok. 85% i pozwala zasilić odbiorniki o mocy do 2 kW napięciem 230 V AC. Instalacja pilotażowa odzyskuje ciepło na potrzeby grzania ciepłej wody użytkowej w zasobniku o pojemności 200 l. Możliwe jest również zastąpienie zasobnika wodnego magazynem ciepła z wykorzystaniem materiałów



Fot. 2. Kontenerowa instalacja do oczyszczania biogazu z reaktorami SFR o wydajności 200 m<sup>3</sup>/h (zdjęcie autora)



Fot. 3. Mikroukład kogeneracyjny z ogniwami paliwowymi SOFC o mocy elektrycznej 2 kW wraz z zasobnikiem 200 l na ciepłą wodę użytkową (zdjęcie autora)

zmiennofazowych. Zmiana ilości wytwarzanej energii elektrycznej skorelowana jest elastycznie z ilością wytworzonego ciepła. Ta unikatowa cecha odróżnia ogniwa typu SOFC od klasycznych technologii energetycznych, jak obiegi parowe lub gazowe. Zaawansowany układ sterowania i automatyki umożliwia kontrolę procesu, minimalizując konieczność obsługi przez człowieka w każdej fazie pracy instalacji [1]. Układ kogeneracyjny z ogniwem paliwowym odpowiada na zapotrzebowanie małych, energooszczędnych gospodarstw domowych oraz małych przedsiębiorstw (SME), a także pomoże skutecznie zredukować niską emisję. Zakres uzyskiwanych temperatur umożliwia napęd generatorów chłodu zarówno absorpcyjnych, jak i adsorpcyjnych.

#### Magazyny PCM

Intensywny rozwój mikroźródeł rozproszonych powoduje, że generowana energia elektryczna konsumowana jest lokalnie lub za pośrednictwem lokalnej sieci dystrybucyjnej

przesyłana jest do innych odbiorców podłączonych do sieci OSD [1]. Wyzwanie stanowi lokalne konsumowanie ciepła ze źródeł mikrokogeneracyjnych lub efektywne ich przesyłanie lub/i magazynowanie. Rozwój mikroźródeł powoduje również, że istniejące systemy ciepłownicze mogą działać nieefektywnie, gdy występuje duża rozbieżność pomiędzy podażą i popytem na ciepło [1].

Grupa ENERGA wspólnie z Instytutem Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk rozwija technologie magazynowania ciepła i chłodu z wykorzystaniem materiałów zmiennofazowych (ang. *phase-change material* – PCM), o temperaturze przemiany fazowej w zakresie 60–100°C (lub więcej) w celu akumulacji ciepła. Natomiast w celu wspomaganie instalacji produkcji chłodu prowadzone są badania nad magazynem z materiałem o temperaturze przemiany poniżej 16°C. System magazynowania chłodu jest przystosowany do współpracy z adsorpcyjnym układem generacji chłodu,

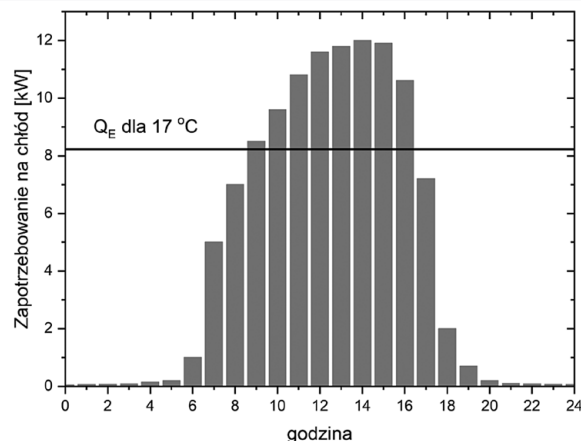


This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 85–90. When referring to the article please refer to the original text.

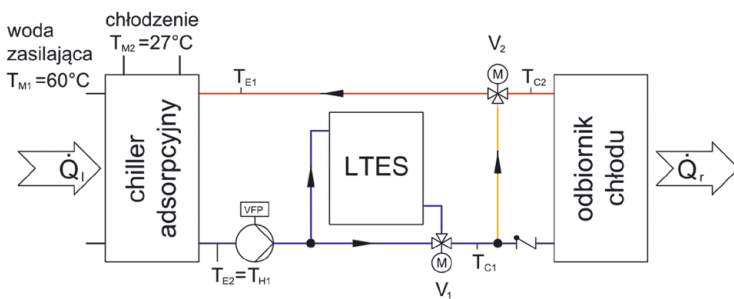
PL

który zasilany jest ciepłem odpadowym lub wspomagany z odnawialnych źródeł energii, np. kolektorów słonecznych. Z kolei systemy magazynowania energii cieplnej mogą współpracować ze źródłami energii cieplnej o stosunkowo małej mocy. Adsorpcyjne, adsorpcyjne i strumieniowe układy chłodnicze napędzane ciepłem są coraz częściej stosowane w układach trigeneracyjnych oraz instalacjach wykorzystujących ciepło odpadowe. Ze względu na sprawność wymienionych rozwiązań szczególnie istotną kwestią jest optymalizacja pracy całego układu chłodniczego poprawiająca wydajność energetyczną [4]. Często występuje sytuacja, że po termomodernizacji budynków wydajność urządzeń grzewczych jest niedopasowana do zapotrzebowania [1]. Wówczas kotły pracują w krótkich cyklach z niską sprawnością. Zastosowanie magazynu ciepła pozwala zoptymalizować proces produkcji ciepła, a tym samym zwiększyć efektywność energetyczną i żywotność urządzeń kotłowni. Obecnie powszechnie znane są zasobniki z gorącą wodą, przy czym istotną ich wadą są ich rozmiary oraz możliwość rozwoju bakterii ciepłolubnych. Jedynym rozwiązaniem jest zmiennofazowy magazyn ciepła, zapewniający zmagazynowanie odpowiedniej ilości ciepła przy akceptowalnych wymiarach [1].

Coraz większą uwagę przywiązuje się do optymalizacji procesu wytwarzania energii cieplnej, aby zminimalizować wykorzystywanie zasobów pierwotnych (węgiel, ropa, gaz ziemny). W produkcji chłodu potencjał ograniczenia energii jest szacowany na 10–40% [1]. W instalacjach produkujących ciepło/chłód, pracujących w sposób cykliczny, ograniczenie energii napędowej można uzyskać m.in. poprzez zastosowanie buforowych magazynów ciepła/chłodu. Zastosowanie tego typu rozwiązanie pozwala na optymalizację pracy instalacji oraz w niektórych sytuacjach na zwiększenie okresu bezawaryjnego działania. Jako przykład można podać pracę typowego układu chłodniczego pracującego na potrzeby budynku biurowego. W odbiornikach o cyklicznym zapotrzebowaniu na chłód jednym ze skutecznych sposobów zwiększenia efektywności ekonomiczno-energetycznej jest zastosowanie buforowania chłodu w okresie zmniejszonego zapotrzebowania [3]. Urządzenia chłodnicze stosowane w typowych instalacjach chłodniczych dobiera się według zapotrzebowania na moc chłodniczą w okresach szczytowego zapotrzebowania. Jednak dostarczenie wymaganej ilości chłodu do obiektu wiąże się z koniecznością zastosowania sprężarki, która będzie pracowała ze swoją mocą znamionową tylko przez kilkadziesiąt godzin w roku. Zastosowanie przewymiarowanej instalacji chłodniczej wiąże się z dużymi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi. Sposobem na zmniejszenie ponoszonych kosztów jest dopasowanie urządzenia chłodniczego do średniego zapotrzebowania na chłód oraz skuteczne wykorzystanie chłodu zmagazynowanego w zasobnikach wypełnionych materiałami zmiennofazowymi (PCM) i mogącego dopełnić zapotrzebowanie na moc chłodniczą w okresie szczytowym [3].



Rys. 1. Charakterystyka godzinowa zapotrzebowania na chłód odbiornika (pomieszczenia biura), linią poziomą zaznaczono wydajność agregatu adsorpcyjnego dla średniej temperatury HTF w parowniku  $T_E = 17^\circ\text{C}$  [3, 4]

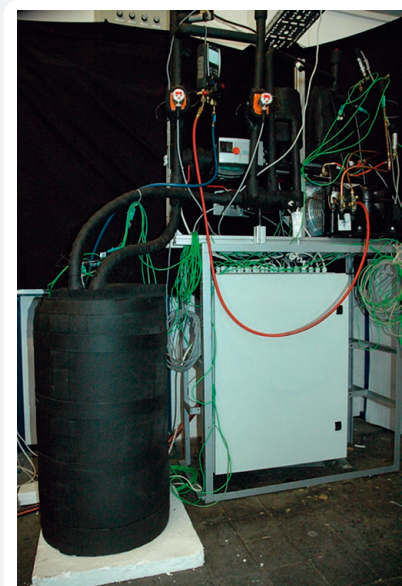


Rys. 2. Schemat instalacji chłodniczej:  $V_1$  – trójdrogowy zawór regulacyjny,  $V_2$  – trójdrogowy zawór odcinający, LTES – zasobnik chłodu z materiałem PCM [3, 4]

W ramach rozwijanych technologii, przy współudziale firmy Energa Ciepło Ostrołęka, w Instytucie Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk opracowywana jest oryginalna konstrukcja zmiennofazowego magazynu chłodu współpracującego z adsorpcyjnym generatorem chłodu napędzany ciepłem systemowym. Zbyt mały strumień masy w rurociągu do zasilania agregatu adsorpcyjnego spowoduje, że agregat będzie pracował ze zmniejszoną wydajnością chłodniczą. Zastosowanie zmiennofazowego magazynu chłodu umożliwia pracę agregatu adsorpcyjnego przez całą dobę. Zakumulowana w nocy energia pozwala na pokrycie zapotrzebowania na chłód w okresie szczytowym. Wpływa to także na zmniejszenie uzależnienia od ograniczeń technicznych związanych z istniejącą infrastrukturą przesyłową. Zwiększenie produkcji ciepła w okresach nocnych podczas sezonu letniego pozytywnie wpłynie na zniwelowanie minimum technicznych urządzeń wytwórczych oraz poprawi efektywność wykorzystania majątku wytwórczego. Magazyny z materiałami PCM znajdują szerokie zastosowanie w instalacjach produkujących chłód/ciepło, jednocześnie stanowiąc ważny element magazynowania energii. Aby wspomniane rozwiązanie było korzystne dla inwestora, konieczna jest optymalizacja materiału PCM i konstrukcji wymienników.

#### Biorafinerie

Aktualne priorytety rozwojowe rynku biopaliw w Unii Europejskiej i na świecie są zorientowane na wykorzystanie surowca



Fot. 4. Magazyn zmiennofazowy w Instytucie Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk [3]

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 85–90. When referring to the article please refer to the original text.

PL

lignocelulozowego, którego naturalnym bogatym źródłem są lasy lub uprawy na gruntach marginalnych (nieprzydatnych do produkcji żywności), niekonkurujących z uprawami na potrzeby żywienia. Jednak dla tego źródła również występują ograniczenia ekonomiczne i środowiskowe, wynikające m.in. z długiego czasu niezbędnego do odtworzenia drzewostanu oraz wysokiej wartości przemysłowej drewna, co sprawia, że energetycznie wykorzystuje się głównie pozostałości [2]. Przykładem instalacji OZE, która w procesie chemicznym przetwarza drewno na etanol, jest biorafineria. Jest to instalacja, która wykorzystuje masę lignocelulozową do wytwarzania bioetanolu II generacji. Instalacja zbudowana jest z czterech modułów, obejmujących następujące etapy technologiczne: obróbkę wstępną surowca i hydrolizę enzymatyczną (trzy reaktory po ok. 300 l), fermentację (dwa reaktory po ok. 100 l) oraz destylację powstałego produktu z potencjałem wydajności ok. 12 l/h. Jako substrat można wykorzystać zrębki z wierzby z upraw na gruntach marginalnych. W procesie obróbki wstępnej w produkcji bioetanolu wykorzystuje się stężony kwas ortofosforowy, co pozwala na łatwiejsze zagospodarowanie powstających w procesie pozostałości, które można wykorzystać np. jako nawóz wzbogacony w związki fosforu [2]. Frakcje odpadowe, powstające podczas procesu produkcji etanolu, można zagospodarować w biogazowni w celu produkcji biogazu, a następnie energii elektrycznej. Bioetanol wykorzystywany jest jako paliwo transportowe lub do zasilania ogniw paliwowych DEFC (ang. *Direct Ethanol Fuel Cell*), które w procesach elektrochemicznych wytwarzają energię elektryczną.

#### Podsumowanie

W niniejszym artykule opisano mikroinstalację OZE powstałe w Konsorcjum IMP PAN/Energa w Zadaniu IV „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych” Programu Strategicznego NCBiR „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”: biogazownię kontenerową, instalacje do oczyszczania biogazu



Fot. 5. Biorafineria do wytwarzania bioetanolu II generacji z masy lignocelulozowej [6] (zdjęcie autora)

SFR, układ mikrokogeneracyjny (oparte na ogniach paliwowych) i biorafinerię do wytwarzania bioetanolu II generacji, które mogą być z powodzeniem wykorzystywane przez prosumentów. Moc znamionowa większości z nich spełnia kryteria definicji prosumenta. Opisane instalacje mogą efektywnie współpracować z magazynami zmiennofazowymi.

Przedstawiono również potencjalne możliwości zastosowania zmiennofazowych magazynów ciepła i chłodu w systemach ciepłowniczych, w szczególności dla systemów adsorpcyjnych generujących chłód wprost z ciepła systemowego. Dla mikroźródeł OZE, generujących ciepło o odpowiednich parametrach w sposób ciągły, możliwa jest generacja chłodu z wykorzystaniem układów adsorpcyjnych.

#### Bibliografia

1. Laskowski M., Lackowski M., Cenian A., Instalacje OZE dla klastrów energii, *Nowa Energia* 2019, nr 1 (66).
2. Biorafineria lignocelulozowa – uwarunkowania środowiskowe, energetyczne

i społeczno-ekonomiczne [w:] seria monograficzna w ramach Programu Strategicznego Zadanie Badawcze nr 4 pt.: „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”, koordynowanego przez Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szewalskiego PAN w Gdańsku i realizowanego w ramach umowy nr SP/E/4/65786/10 zawartej z NCBiR, red. M. Stolarski, J. Gołaszewski, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2015.

3. Karwacki J. i in., Analiza zastosowania magazynu ciepła z materiałem PCM przy niedopasowaniu wydajności źródła i odbiornika chłodu, *Nowa Energia* 2019, nr 2 (67).
4. Karwacki J. i in., Magazyn zmiennofazowy chłodu zintegrowany z adsorpcyjnym systemem jego generacji, materiały konferencyjne z seminarium „Nowe biznesy dla ciepłownictwa i przemysłu – chłód, ciepło odpadowe, magazyny ciepła”, 11–12 kwietnia 2019, Zielona Góra.

#### Marek Laskowski

mgr inż.

ENERGA SA

e-mail: marek.laskowski@energa.pl

Zawodowo z branżą energetyczną związany jest od 19 lat. Zajmował się zarządzaniem projektami inwestycyjnymi, a następnie innowacyjnymi. Był odpowiedzialny za pierwszy innowacyjny projekt grupy ENERGA, który spółka realizowała wspólnie z Instytutem Maszyn Przepływowych PAN: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” – projekt dofinansowany przez NCBR w ramach Programu Strategicznego Zadanie Badawcze nr 4 pt.: „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”. W ramach projektu był członkiem Komitetu Stojącego i kierował zadaniami z upoważnienia partnera przemysłowego. Współautor „Polityki badawczo-rozwojowej i innowacyjności”, „Kierunków rozwoju innowacji”, „Strategicznej agendy badawczej Grupy Kapitałowej ENERGA” oraz koncepcji Centrum Badawczo-Rozwojowego im. M. Faradaya. Inicjuje, realizuje i nadzoruje kluczowe projekty innowacyjne i badawczo-rozwojowe Grupy Energa. Laureat Pierwszej Nagrody Prezesa Rady Ministrów za osiągnięcia naukowo-techniczne. Słuchacz studiów doktoranckich w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN.