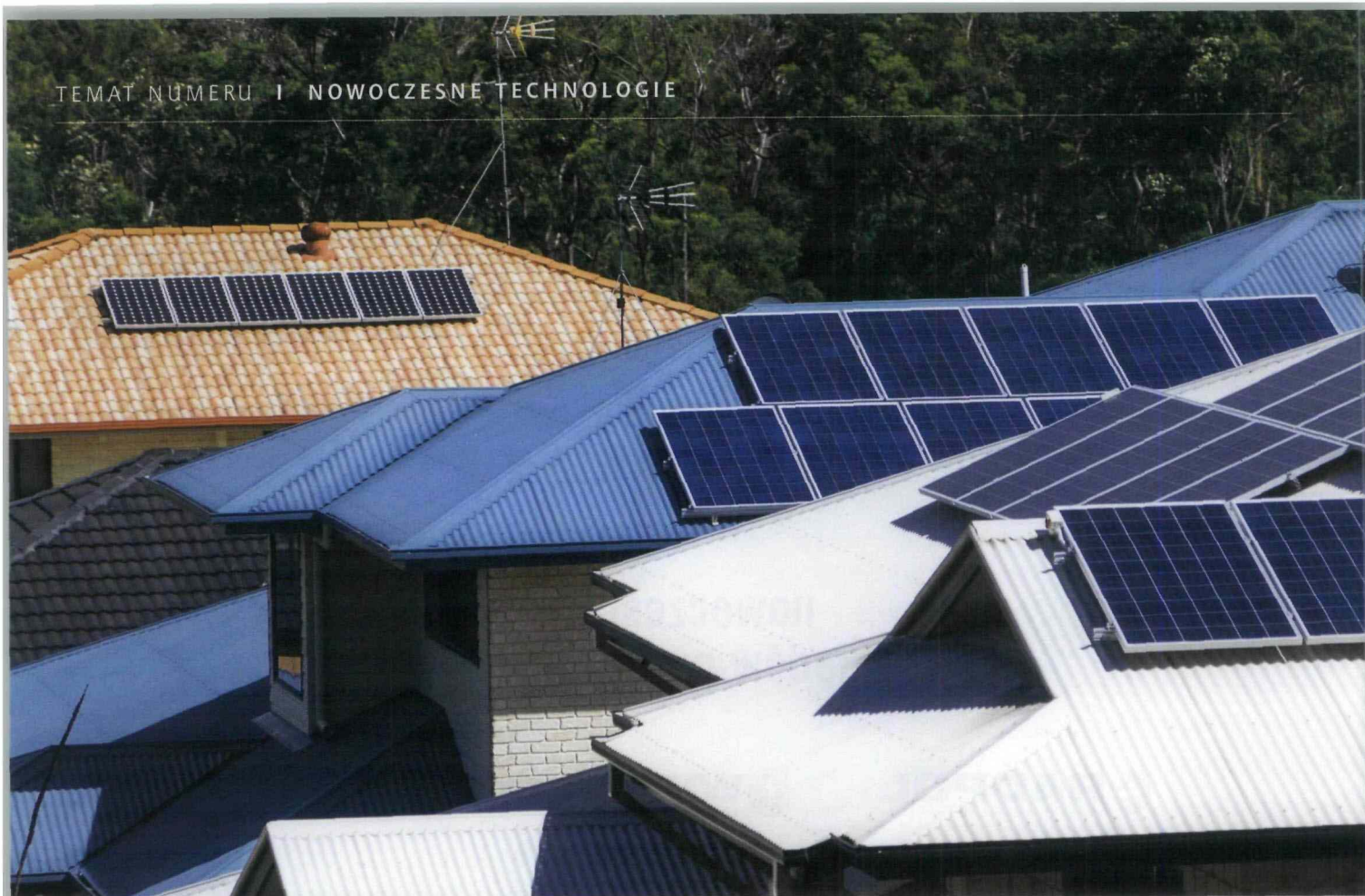


TEMAT NUMERU I NOWOCZESNE TECHNOLOGIE



# ENERGIA... NA PÓŹNIEJ

Magazynowanie energii na przykładzie zespołu budynków wielorodzinnych wyposażonych w OZE

Maciej Bujalski, Bartosz Starosielec

Mostostal Warszawa SA

W celu obniżenia wskaźnika energii pierwotnej obiektów kubaturowych, poprzez pełniejsze wykorzystanie potencjału OZE i optymalizację układów kogeneracyjnych, niezbędne stawać się będzie implementowanie systemów do magazynowania nadwyżek energii, w celu późniejszego wykorzystania w okresie deficytu.

**W** roku 2017, a następnie w 2021 zgodnie z [1] zaostrzeniu ulegną wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej budynków, jak również związane z oszczędnością energii. Jedną z najistotniejszych zmian będzie obniżenie wskaźnika zużycia energii pierwotnej przez budynki, i tak dla domów jednorodzinnych EP nie będzie mogło przekroczyć 70 kWh/m<sup>2</sup>rok, dla obiektów wielorodzinnych 65 kWh/m<sup>2</sup>rok, natomiast dla budynków użyteczności publicznej 45 kWh/m<sup>2</sup>rok.

Spełnienie powyższych wymagań będzie bardzo trudne lub wręcz niemożliwe bez wykorzystania wysoko-  
kosprawnej kogeneracji i odnawialnych źródeł energii.

## Technologie magazynowania energii

Magazynowanie energii służy równoważeniu różnic między zapotrzebowaniem a możliwościami produkcyjnymi. Różnice te wynikają głównie z nierównomierności produkcji energii w przypadku odnawialnych źródeł. Fluktuacje generowanej mocy





w przypadku systemów solarnych i wiatrowych są bowiem trudne do prognozowania nawet w krótkim okresie czasu. Ponadto, zużycie energii przez odbiorców końcowych również zmienia się dynamicznie w czasie, co skutkuje występowaniem trudnych do przewidzenia różnic między zapotrzebowaniem na energię a możliwościami produkcyjnymi na przestrzeni całego roku.

Metody magazynowania energii podzielić można na: mechaniczne, elektryczne/elektrochemiczne oraz cieplne. Przykłady poszczególnych technologii przedstawiono na rys. 1.

W przypadku metod mechanicznych wyróżnić można magazynowanie energii elektrycznej za pomocą kół zamachowych, w postaci sprężonego powietrza oraz w elektrowniach szczytowo-pompowych. Zaletą tych systemów jest możliwość magazynowania du-

## TEMAT NUMERU | NOWOCZESNE TECHNOLOGIE

### CEL: EFEKTYWNOŚĆ

Zastosowanie OZE pozwala na znaczną redukcję wskaźnika zużycia energii pierwotnej i szczególnie przyczynia się do spełnienia rosnących wymagań w zakresie efektywności energetycznej obiektów kubaturowych

zych ilości energii. Koła zamachowe są powszechnie stosowane w transporcie (pojazdy mechaniczne), lecz ze względu na znaczne koszty i krótki czas magazynowania nie są obecnie stosowane w systemach energetycznych. Sprężone powietrze znajduje zastosowanie w szczególności w przemyśle, gdzie poza magazynowaniem energii niezbędne jest w procesach technologicznych. Elektrownie szczytowo-pompowe są obecnie najbardziej popularnymi magazynami energii w systemach energetycznych, ze względu na prostotę działania i dużą pojemność. Wymagają jednak specyficznych warunków lokalnych – znacznej różnicy wysokości między dwoma pobliskimi zbiornikami wody. Z uwagi na to, w polskich warunkach rozwiązanie to nie może być stosowane na szeroką skalę.

Do grupy metod elektrycznych/elektrochemicznych zaliczane są różnego rodzaju akumulatory przepływowe i baterie, m.in. kwasowo-ołowiowe, litowo-jonowe oraz sodowo-siarkowe. Metody te wymagają jednak bardzo dużych nakładów kapitałowych. Ich zastosowanie ograniczone jest przez żywotność i relatywnie krótki czas magazynowania energii, co stanowi poważną barierę w aplikacji tego typu rozwiązań w większej skali.

Energia ciepła może być magazynowana w oparciu o wykorzystanie ciepła właściwego medium energetycznego (np. wody czy oleju termalnego), zjawiska przemiany fazowej lub zastosowanie odpowiednich reakcji chemicznych (np. procesy absorpcji, adsorpcji, hydratacji soli). Ciepłe metody charakteryzują się stosunkowo długim okresem eksploatacji oraz umożliwiają zarówno krótko-, jak i długookresowe, sezonowe magazynowanie energii. Jednocześnie są to relatywnie tanie rozwiązania.

W tab. 1 przedstawiono charakterystyczne parametry różnych systemów magazynowania energii. Z powyższych danych wynika, że dla dużych układów najbardziej wydajne ekonomicznie jest akumulowanie energii cieplnej, mniej wydajne – mechanicznej. Magazynowanie energii elektrycznej, która jest najłatwiejsza w obróbce, jest natomiast najdroższe i nie pozwala na długookresowe przechowywanie energii. Z tego

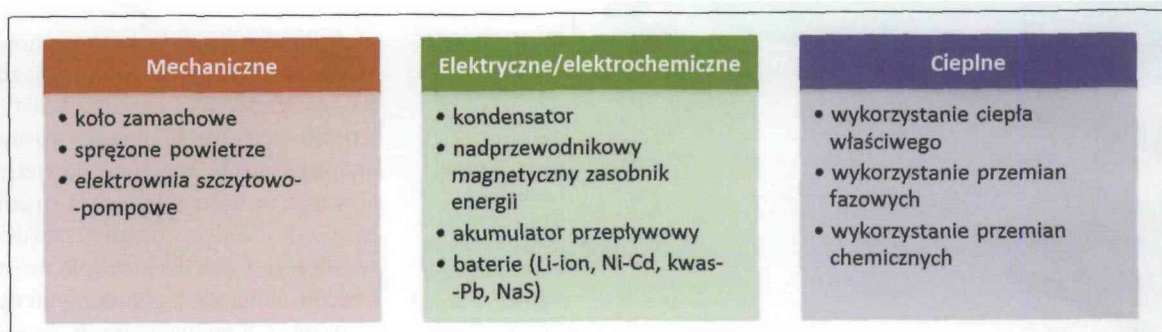
TAB. 1  
Ocena możliwości stosowania magazynów energii (opracowanie własne na podstawie [5], [6])

Metoda	Rodzaj mag. energii	Moc [MW]	Energia [MWh]	Sprawność [%]	Czas magazynowania	Żywotność	Koszt [€/kWh]
Koło zamachowe	mechaniczna	< 10	< 5	90	sekundy-godziny	10 <sup>6</sup> cykli	140 - 350
Sprężone powietrze	mechaniczna	100 - 1000	50 - 5000	75	godziny-dni	30 lat	10 - 70
Elektrownie szczytowo-pompowe	mechaniczna	100 - 3000	< 10000	80	godziny-pora roku	40 lat	35 - 70
Kondensator	elektryczna	< 10	< 3	90	sekundy	10 <sup>6</sup> cykli	70 - 400
Nadprzewodnikowy magnetyczny zasobnik energii	elektryczna	< 100	< 1000	95	sekundy	10 <sup>6</sup> cykli	200 - 500
Baterie (wodorowe, elektrolityczne)	elektryczna	< 100	< 500	50 - 90	sekundy-godziny	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup> cykli	70 - 4000
Wykorzystanie ciepła właściwego (woda)	cieplna	< 10	10 - 50 kWh/t	50 - 90	dnie-miesiące	30 lat	1 - 10
Wykorzystanie przemian fazowych	cieplna	< 1	50 - 150 kWh/t	75 - 90	godziny-miesiące	30 lat	10 - 50
Wykorzystanie przemian chemicznych	cieplna	< 1	120 - 250 kWh/t	75 - 100	pora roku	30 lat	10 - 100



RYS. 1

Podział sposobów magazynowania energii elektrycznej i ciepłej (opracowanie własne na podstawie [3], [4], [5], [6])



względu korzyści płynące z wykorzystania paneli fotowoltaicznych są znacznie ograniczone. Bilansowanie na poziomie dnia i nocy jest możliwe, ale już magazynowanie energii skumulowanej latem i wykorzystanie zimą (kiedy potrzeby energetyczne są największe) nie.

### Struktura zużycia energii

Struktura zużycia energii finalnej w Polsce jest bardzo zbliżona do innych krajów rozwiniętych. Podobnie jak na zachodzie Europy, największy udział w zużyciu stanowią budynki i są one odpowiedzialne za konsumpcję około 46% energii końcowej. Szczegółowy rozkład poszczególnych czynników energochłonnych w obiektach mieszkalnych oraz usługowych przedstawiony został na rys. 2.

Jak wskazują dane statystyczne, w budynkach mieszkalnych głównymi czynnikami energochłonnymi są: ogrzewanie pomieszczeń oraz przygotowanie ciepłej wody użytkowej (łącznie 83,6%). W budynkach użyteczności publicznej oraz usługowych są to: oświetlenie, ogrzewanie oraz chłodzenie/klimatyzowanie pomieszczeń (łącznie 55,0%).

Na rys. 3 przedstawiono procentowy udział wykorzystania energii elektrycznej oraz ciepła dla różnych sektorów w Polsce. Analizując wykres, można zaobserwować dysproporcję pomiędzy zapotrzebowaniem na te dwa nośniki energii w różnych obiektach. Nie trudno zauważyć, że energia ciepła (wraz z paliwami do lokalnego przygotowania ciepła) stanowi aż 84,1% całości energii finalnej, przy czym aż 34,3% zapotrzebowania na ciepło generowane jest w sektorze mieszkalnictwa.

Implementacja rozwiązań opartych na OZE oraz magazynowaniu energii w sektorze transportu przy powszechnym stosowaniu silników spalinowych jest wyjątkowo trudna. Z tego względu znaczne środki przeznaczają się obecnie na opracowywanie pojazdów napędzanych silnikami elektrycznymi. W przemyśle trudność ta wynika z otoczenia ekonomicznego, a każdy przypadek wymaga indywidualnej i dogłębnej analizy. Sektor mieszkalny i usługowy wykazuje natomiast bardzo dużą powtarzalność i brak znaczących barier technologicznych.

### Potencjał energetyki niekonwencjonalnej

Zastosowanie odnawialnych źródeł energii pozwala na znaczną redukcję wskaźnika zużycia energii pierwotnej i szczególnie przyczynia się do spełnienia rosnących wymagań w zakresie efektywności energetycznej obiektów kubaturowych. W tab. 2 przedstawiono potencjalne sprawności wytwarzania energii elektrycznej oraz ciepłej dla różnych technologii OZE. Podano również szacunkowy potencjał poszczególnych źródeł w Polsce. Przybliżone koszty wytworzenia energii pochodzą z rynku niemieckiego, lecz ze względu na zbliżone uwarunkowania założono, że odzwierciedlają ceny wytworzenia w Polsce.

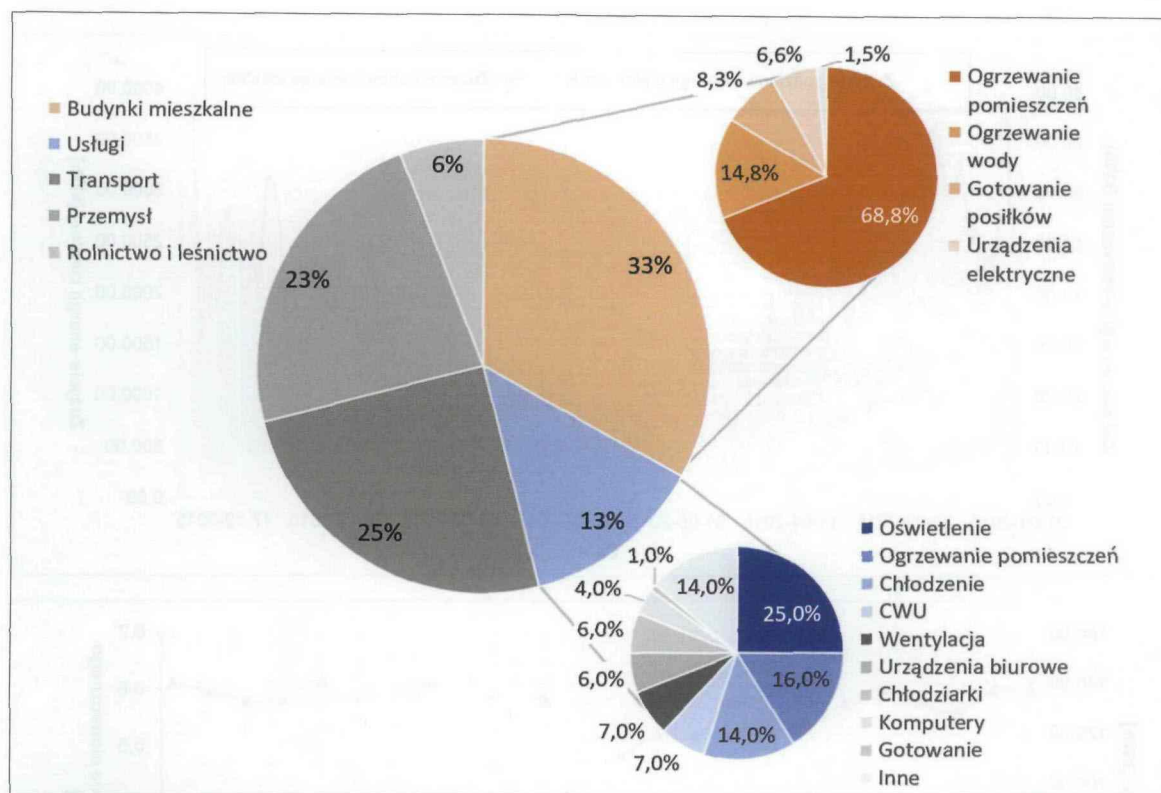
Barieri w energetyce odnawialnej wynikają głównie z braku odpowiednich uwarunkowań. Jedynie promieniowanie słoneczne jest powszechnie dostępne na zbliżonym poziomie w skali całego kraju, choć możliwości jego wykorzystania są zróżnicowane w ciągu doby, a także zależne od pory roku.

TAB. 2

Wytwarzania energii przy zastosowaniu odnawialnych źródeł energii (opracowanie własne na podstawie [2], [14], [15], [16])

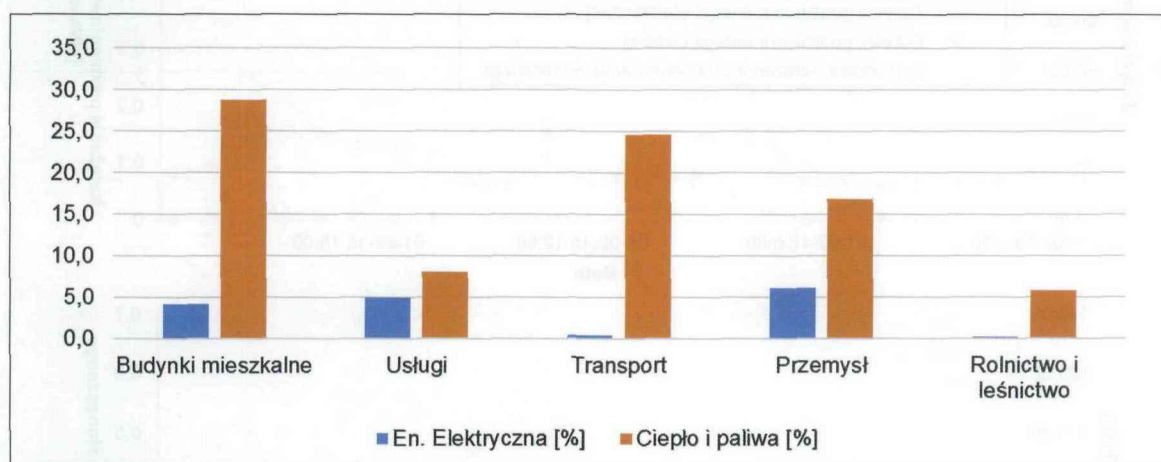
OZE	Potencjał teoretyczny [PJ/rok]	Realny potencjał techniczny [PJ/rok]	Sprawność wytw. en. el./cieplnej (w szczycie)	Koszt wytworzenie en. elektr. / ciepłej [€/kWh]	Ograniczenia i bariery
Biogaz	-	50	15 - 55% / 78 - 98%	0.14 - 0.25 / -	Infrastruktura gazowa, w tym lokalna biogazownia
Biomasa	2709	602	15 - 45% / 75 - 90%	0.08 - 0.12 / 0.04 - 0.13	Ograniczanie powierzchni użytków rolnych
Geotermia	3870	313	COP	0.08 - 0.11 / 0.05 - 0.15	Specyficzne, korzystne warunki geologiczne
Promieniowanie słoneczne	27188	381	15 - 25% / 75 - 80%	0.08 - 0.14 / 0.05 - 0.20	Bezpośrednia ekspozycja na promienie słoneczne
Energia sphywu	31	18	85 - 95% / -	0.05 - 0.11 / -	Specyficzne ukształtowanie terenu, obecność cieków wodnych
Energia wiatru	8725	2582	15 - 45% / -	0.05 - 0.19 / -	Specyficzne, wietrzne warunki lokalne





RYS. 2

Zużycie energii w zależności od sektora, ze szczegółowym rozkładem konsumpcji w budynkach mieszkalnych oraz usługowych w Polsce (opracowanie własne na podstawie [8], [9])



RYS. 3

Struktura wykorzystania energii elektrycznej oraz ciepła (wraz z nośnikami energii) w różnych sektorach w Polsce (opracowanie własne na podstawie [10], [11])

### Analiza przykładowego rozwiązania

Rozważaniom poddano zespół czterech wielorodzinnych budynków, w których zlokalizowanych jest 117 mieszkańców. Przenalizowano potencjalny wpływ integracji magazynu energii cieplnej pozyskiwanej z promieniowania słonecznego i mikrokogeneratora na efektywność wykorzystania nośników energii.

Podstawowym kryterium do oceny potencjału metod magazynowania energii jest rozkład zużycia energii w ciągu całego roku przez analizowany obiekt. Na wykresie (rys. 4) przedstawiono zmierzone zużycie energii elektrycznej [12] oraz oszacowanej (na podstawie zmierzonej ilości stopniodni grzania) energii cieplnej w zespole budynków na przestrzeni 2015 roku. Z wykresu wynika, że zużycie energii elektrycznej waha się w przedziale od około 10 do 60 kWh w ciągu godziny. Poziomą fluktuacji jest wyraźnie mniejszy w sezonie wiosenno-letnim (od maja do września).

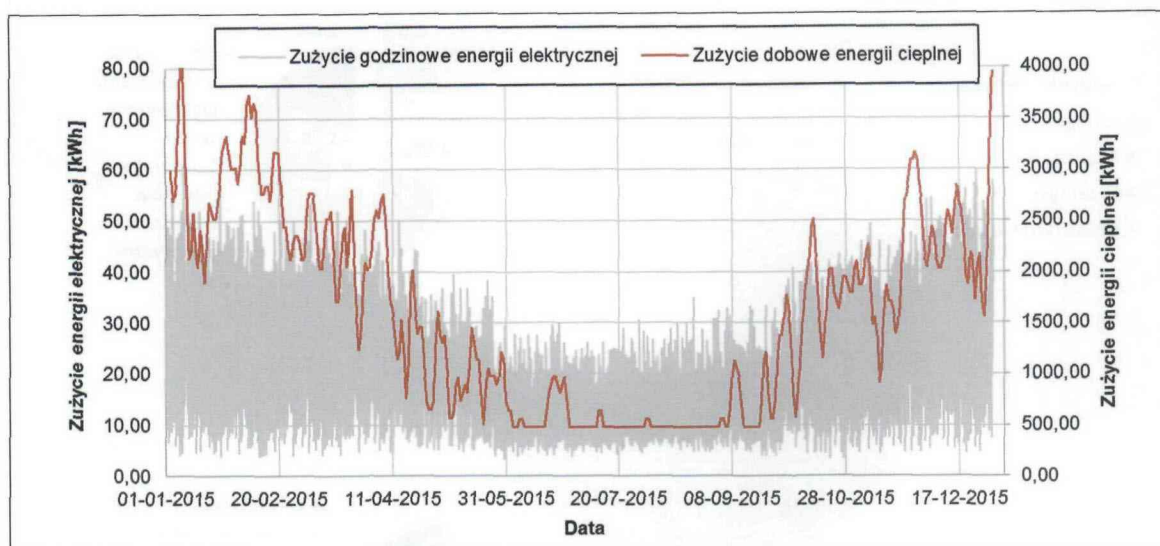
Zapotrzebowanie na energię cieplną na cele ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej również zmienia się dynamicznie w czasie, co wynika ze zmian temperatury zewnętrznej.

Analizując wybrane, reprezentatywne, dobowe profile zużycia energii w lutym oraz lipcu (rys. 5), zaobserwować można przedziały zwiększonej konsumpcji energii w porze porannej i popołudniowej. Na wykresach naniesiono również natężenie promieniowania słonecznego na jednostkę powierzchni nachyloną pod kątem 45 stopni i zorientowaną w kierunku południowym. Największy potencjał wykorzystania energii słonecznej występuje w okresie wiosenno-letnim, podczas gdy zapotrzebowanie na energię zwiększa się w okresie zimowym.

Na rys. 6 przedstawiono zbiorcze, sumaryczne zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepłą w poszczególnych miesiącach. Założono, że obiekty

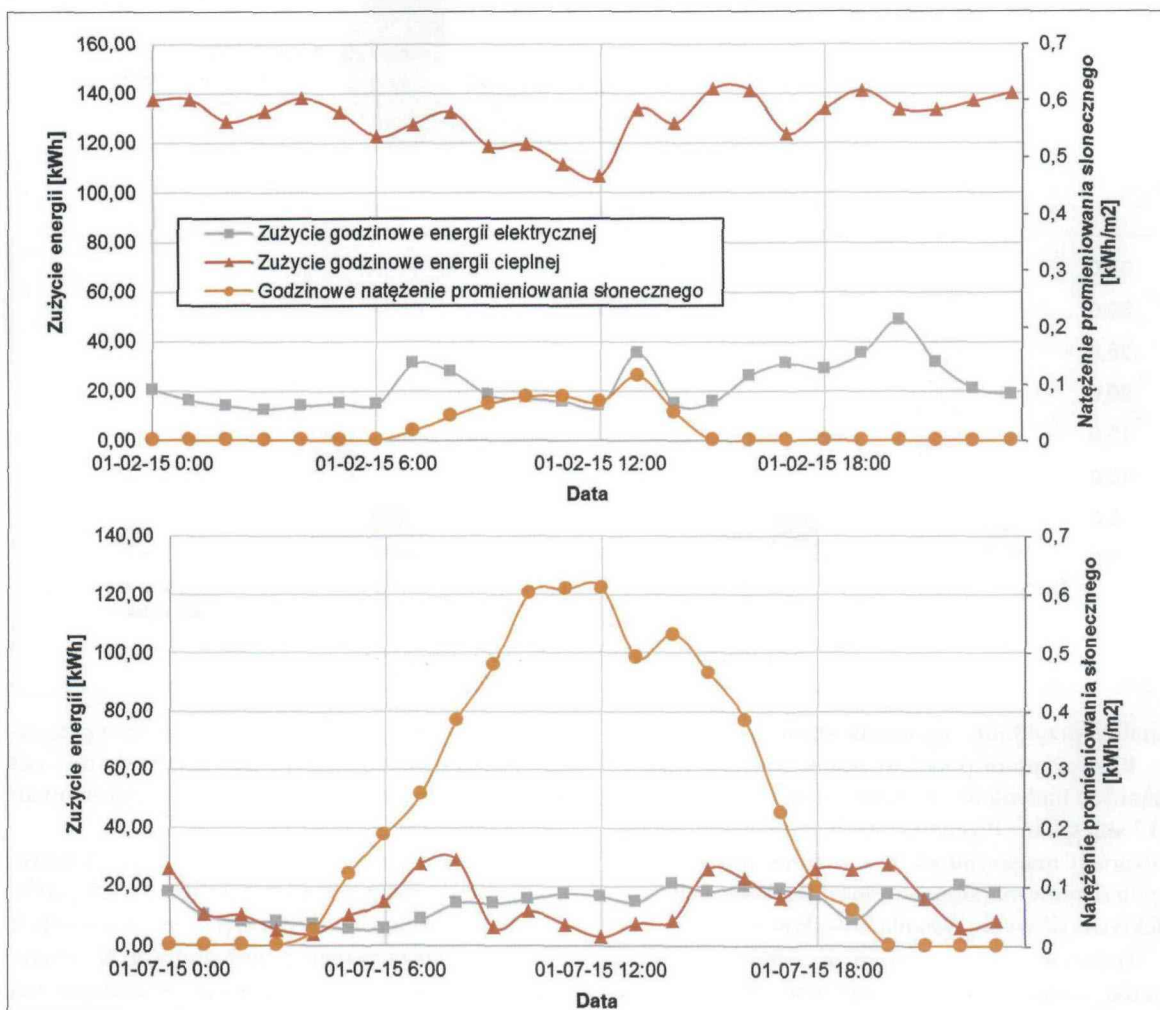
RYS. 4

Wykres rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą (opracowanie własne na podstawie [12])



RYS. 5

Wykres godzinowego zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą w okresie jednej doby wraz z godzinowym natężeniem promieniowania słonecznego (opracowanie własne na podstawie [12])

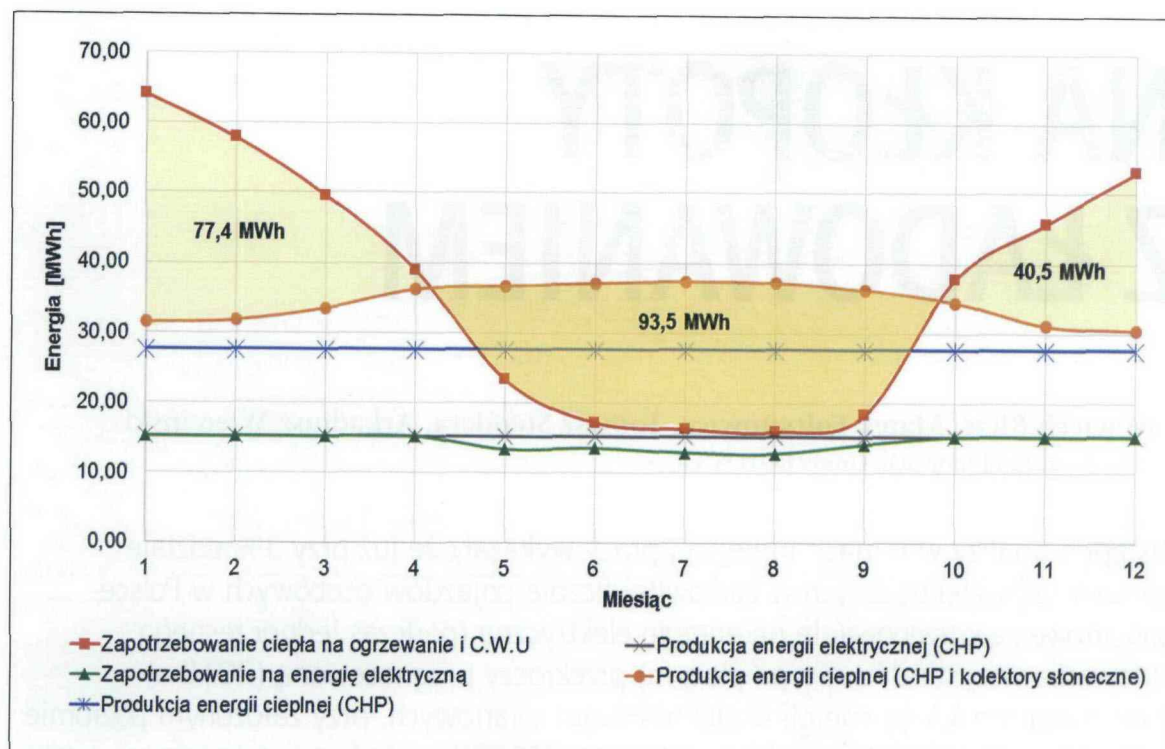


są zaopatrywane w energię elektryczną pochodzącą z układu mikrokogeneracyjnego (silnik spalinowy zasilany gazem ziemnym) o mocy elektrycznej 20 kW. Odpowiada to miesięcznej produkcji na poziomie około 14,4 MWh. Jednocześnie układ jest w stanie wygenerować w skojarzeniu około 27,0 MWh ciepła w skali miesiąca. Zakładając, że ciepło produkowane jest również z wykorzystaniem instalacji kolektorów

słonecznych, o powierzchni absorberów równej 200 m<sup>2</sup> (wartość maksymalna wynikająca z powierzchni dachu i usytuowania budynków), roczny deficyt energii wyniesie około 117,8 MWh. W sezonie letnim występuje natomiast nadwyżka energii ciepłej na poziomie 93,5 MWh, która może być zmagazynowana.

Zaproponowany układ wysokosprawnej kogeneracji (urządzenie o sprawności całkowitej, deklarowanej przez





RYS. 6

Miesięczne zapotrzebowanie na energię budynku i poziom produkcji energii z układu CHP i kolektorów słonecznych (opracowanie własne na podstawie [12])

producenta na poziomie 96%) w pełni zaspokajają zapotrzebowanie na energię elektryczną. Urządzenie CHP wraz z instalacją kolektorów słonecznych w znaczącym stopniu (73,1%) pokrywa również zapotrzebowanie na energię ciepłą. System bezpośrednio dostarcza 320,7 MWh w ciągu roku, natomiast przy założeniu sprawności układu magazynowania równej 65% zapewni pośrednio dodatkowe 60,7 MWh (co stanowi 51,5% pokrycia deficytu). Łączne zapotrzebowanie na energię ciepłą zostanie pokryte w 86,8%.

Szacowana redukcja współczynnika EP wynosi 60%, co w przypadku budynków o wskaźniku równym 150 kWh/m<sup>2</sup>rok pozwala na osiągnięcie wartości progowej, która będzie obowiązywała od roku 2021 (65 kWh/m<sup>2</sup>rok).

\* \* \*

Magazynowanie energii stanowi istotny element w zrównoważonych systemach energetycznych opartych o OZE i optymalizujących pracę systemów CHP. Może mieć również kluczową rolę w spełnieniu założeń polityki energetycznej Unii Europejskiej, szczególnie w sektorze mieszkalnym i usługowym.

Analizowany przypadek pokazuje, że zastosowanie długookresowego, możliwie efektywnego magazynowania energii współpracującego z wysokosprawną kogeneracją i odnawialnymi źródłami energii pozwala na znaczną redukcję wskaźnika EP. Możliwe staje się osiągnięcie wymaganych wartości narzucanych przez [1] po roku 2021, nawet w przypadku starych obiektów kubaturowych, w których renowacja koperty budynku w pożądanym zakresie nie jest możliwa.

Tematyka magazynowania energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych i kogeneracji, kompleksowej

renowacji wraz z implementacją rozwiązań smart grid na poziomie budynków i dzielnic, jest obecnie przedmiotem wielu prac badawczo-rozwojowych. Mostostal Warszawa SA intensywnie angażuje się w liczne inicjatywy, wspierane przez Komisję Europejską, których rezultaty pozwolą na efektywne wdrażania standardów budownictwa przyszłości również w Polsce.

#### Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z późniejszymi zmianami.
- [2] Robert Beith (Editor), *Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems: Advanced Design, Performance, Materials and Applications*, Woodhead Publishing 2011.
- [3] Lucas Hyman, *Sustainable Thermal Storage Systems Planning Design and Operations*, McGraw-Hill Education 2011.
- [4] Luisa F. Cabeza (Editor), *Advances in Thermal Energy Storage Systems: Methods and Applications*, Woodhead Publishing 2014.
- [5] Domański R., *Magazynowanie energii cieplnej*, PWN, Warszawa, 1990.
- [6] Faisas S., Santos P., Sousa J., Castro R., *An Overview on Short and Long-Term Response Energy Storage Devices for Power Systems Applications*, 1999.
- [7] Instytut Energetyki Odnawialnej, *Krajowy Plan Rozwoju Mikroinstalacji Odnawialnych Źródeł Energii do roku 2030*, Warszawa 2015.
- [8] GUS, *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2012 r.*, Warszawa 2014.
- [9] GUS, *Efektywność wykorzystania energii w latach 2003-2013*, Warszawa 2015.
- [10] International Energy Agency, <http://www.iea.org/Sankey/#?c=Poland&cs=Balance>.
- [11] Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju, *Energia w gospodarstwie rolnym*, Warszawa 2011.
- [12] Dane pomiarowe udostępnione przez Tauron Polska Energia S.A.
- [13] EA-ETSAP and IRENA Technology Brief E17, *Thermal Energy Storage - Technology Brief*, 2013.
- [14] Fraunhofer Institut for Solar Energy Systems ISE, *Levelized cost of electricity renewable energy technologies*, 2013.
- [15] Energy Information Administration, *Annual Energy Outlook 2011*, 2010.
- [16] Wiśniewski G., *Perspektywy rozwoju energetyki odnawialnej w świetle nowej ustawy o OZE*, prezentacja na Forum Czystej Energii, Poznań 2012.