

Tomasz Kowalak, Grzegorz Wiśniewski¹, Konrad Wiśniewski,
Katarzyna Michałowska-Knap, Instytut Energetyki Odnawialnej

Techniczno-ekonomiczne podstawy wykorzystania w systemach ciepłowniczych niezbilansowanej energii elektrycznej z OZE

Określenie Power to Heat (P2H) dotyczy zagospodarowania produkcji energii elektrycznej z OZE, w szczególności pogodowo-zależnych wiatrowych i słonecznych oraz wodnych (tzw. *Green Power to Heat* - gP2H). Koncepcja P2H opiera się na integracji rynków energii elektrycznej i systemów ciepłowniczych, z której mają wynikać dwie podstawowe korzyści: wzrost możliwości bilansowania systemów elektroenergetycznych poprzez magazynowanie w ciepłe nadwyżek produkcji energii elektrycznej z OZE oraz dodatkowe przychody przedsiębiorstw ciepłowniczych z tytułu sprzedaży ciepła przy niższym koszcie jego wytworzenia (z większą marżą)².

Wyróżnia się cztery podstawowe technologie wykorzystywane w projektach P2H:

- kotły elektryczne rezystancyjne,
- kotły elektryczne elektrodowe,
- podgrzewacze rezystancyjne,
- pompy ciepła.

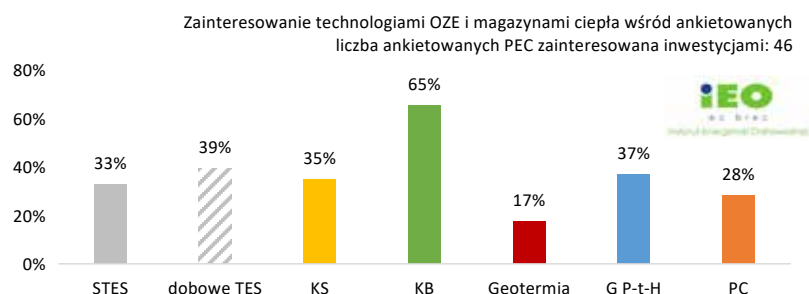
Technologia P2H może funkcjonować w oparciu o system magazynowania ciepła, ale również w oderwaniu od zasobników ciepła. Zastosowanie magazynu uwypatnia korzyści płynące z P2H oraz eliminuje ograniczenia (zarówno po stronie dostawcy, jak i odbiorcy, co otwiera pole do współpracy na zasadach rynkowych).

■ Zainteresowanie w Polsce

Preferencje kierunków inwestowania w OZE w ciepłownictwie ilustrują wyniki ankiety przeprowadzonej

przez Instytut Energetyki Odnawialnej (IEO), we współpracy z Izbą Gospodarczą Ciepłownictwo Polskie, w lutym 2018 r.³, wśród koncesjonowanych przedsiębiorstw ciepłowniczych. W ankiecie wzięty udział 44 podmioty dysponujące 13,7% łącznej mocy zainstalowanej w polskich

systemach ciepłowniczych. Mediana mocy zainstalowanej w próbie wynosiła 62,5 MW. Pytania dotyczyły preferowanych sposobów osiągnięcia statutu efektywnego systemu ciepłowniczego (minimum 50% udział energii z OZE lub ciepła odpadowe-



Rys. 1. Zainteresowanie poszczególnymi technologiami OZE i magazynowania ciepła w ankietowanej grupie przedsiębiorstw. Ozn.: STES - sezonowe magazyny ciepła, TES - dobowe magazyny ciepła, KS - kolektory słoneczne, KB - kotły na biomasę, GPtH - (green) power to heat, PC - pompy ciepła (geotermalne i PtH)

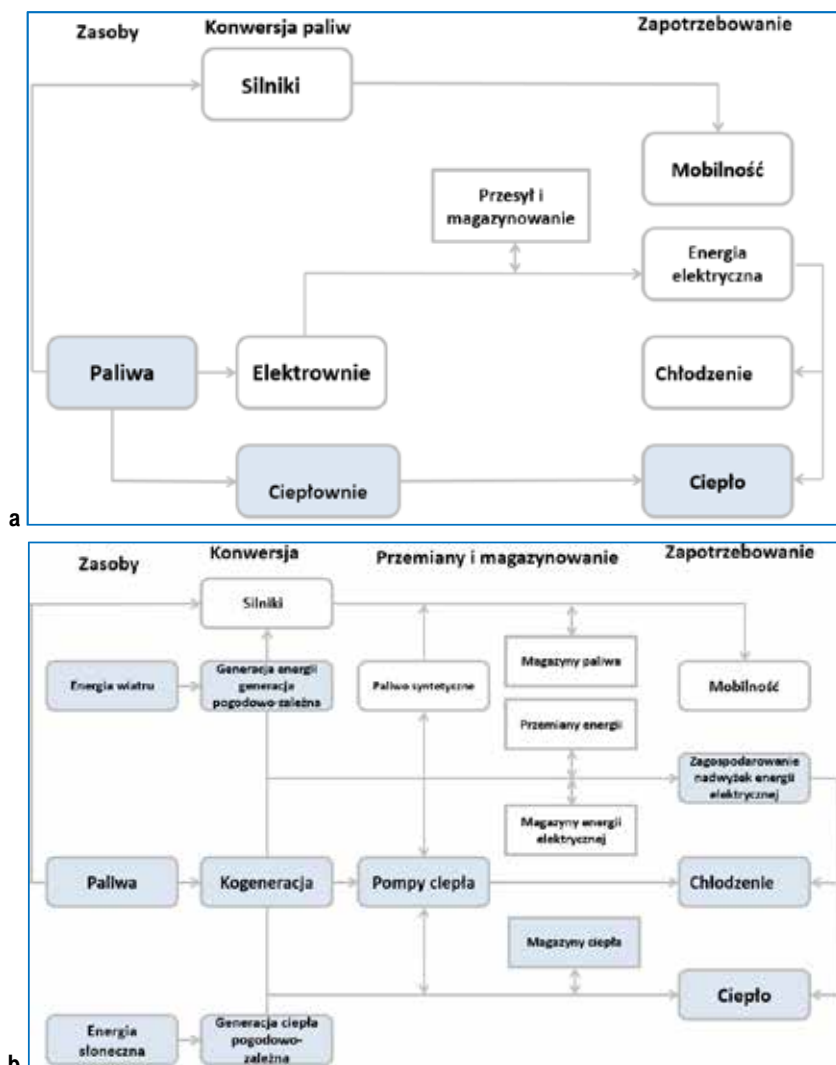
Źródło: badanie ankietowe IEO

go, ankietywane firmy nie miały możliwości wskazania na kogenerację).

Wyniki badania wskazują (rys. 1), że największym zainteresowaniem cieszą się kotły na paliwa z biomasy. Duże zainteresowanie „dobowymi” magazynami ciepła to naturalny wynik pozytywnych doświadczeń we współpracy kogeneracji z tą technologią. Co ciekawe, było ono często połączone z zainteresowaniem technologią Green Power-to-Heat (P2H), która to cieszy się zainteresowaniem porównywalnym (37%) do zainteresowania kolektorami słonecznymi.

■ Potencjał krajowy

Obecnie stosowane technologie w ciepłownictwie systemowym, oparte na spalaniu paliw stałych i modelach biznesowych opartych na utrzymaniu dotychczasowego zapotrzebowania na ciepło przy wysokiej temperaturze jego odbioru, uniemożliwiają zwiększenie udziału OZE ponad kilka procent, bez natrafienia na barierę zasobów (np. w przypadku biomasy) i ryzyko zwiększenia kosztów operacyjnych i kosztów ciepła. Obecna paleta technologii ciepłowniczych i ich odrębność (brak synergii) w stosunku do całego systemu energetycznego jest stosunkowo uboga - rys. 2a. (tzw. I i II generacja systemów ciepłowniczych wg klasyfikacji uniwersytetu w Aalborg). Nowoczesne systemy ciepłownicze w Europie, a w szczególności takie jak stosowane już obecnie np. w Danii (rozwiązanie modelowe), nie mają problemu z wdrażaniem rozwiązań wpisanych w politykę klimatyczno-energetyczną UE i ochronę atmosfery (w tym zapobieganie powstawaniu smogu), gdyż są lepiej (nawet lepiej niż elektromobilność w sektorze transportu) zintegrowane z rynkiem energii elektrycznej. Co więcej, korzystają one na integracji rynków bardziej niż elektroenergetyka, zagospodarowując w ciepłownictwie niezbilansowane moce elektryczne i nadwyżki - rys.



Rys. 2. Wprowadzanie nowych technologii i integracja ciepłownictwa z systemem energetycznym jako sposób na zwiększanie udziałów OZE w sposób zrównoważony środowiskowo: a) systemy tradycyjne I i II generacji,

b) systemy zintegrowane III i IV generacji
Źródło: Projekt Heat Road Map Europe'2050 - Multi-level actions for enhanced Heating & Cooling plans", oprac. graficzne i adaptacja - IEO

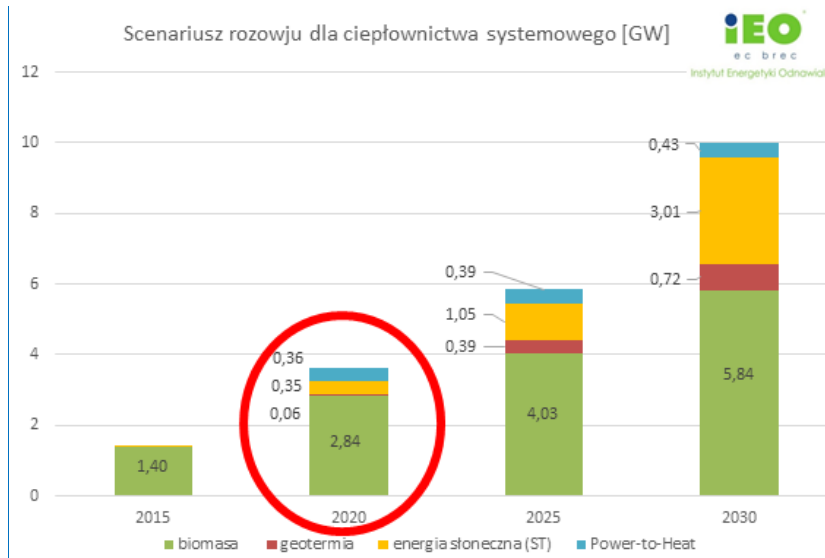
2b. (tzw. III i IV generacja systemów ciepłowniczych, op. cit.)⁴.

Nowe systemy ciepłownicze - tworzone na zasadzie stopniowego wprowadzania zróżnicowanych technologii OZE i dzięki nim, doprowadzania do udziałów OZE przekraczających 50% w wytwarzaniu ciepła (efektywne systemy ciepłownicze) - muszą bazować na różnych zasobach i technologiach.

Przyjmując założenie, że m.in. pod wpływem regulacji unijnych, wszystkie

koncesjonowane przedsiębiorstwa ciepłownicze będą dążyć do uzyskiwania statusu efektywnego systemu ciepłowniczego dzięki wykorzystaniu odnawialnych zasobów energii i uwzględniając trend do wprowadzania nowych technologii ciepłowniczych III i IV generacji, dokonano oceny realnego potencjału inwestycyjnego w OZE w ciepłownictwie. Wyniki symulacji przedstawia rysunek 3.

Przyrost potencjału inwestycyjnego w latach 2016-2030 (8,16 GW) w 50%



Rys. 3. Scenariusz rozwoju potencjału OZE w ciepłownictwie systemowym
Źródło: oprac. IEO

opiera się na źródłach całkowicie bez-emisyjnych (wytwarzanie energii bez procesów spalania), które mogą wyeliminować ok. 10-20% (w zależności od tego czy włączane i zastępowane

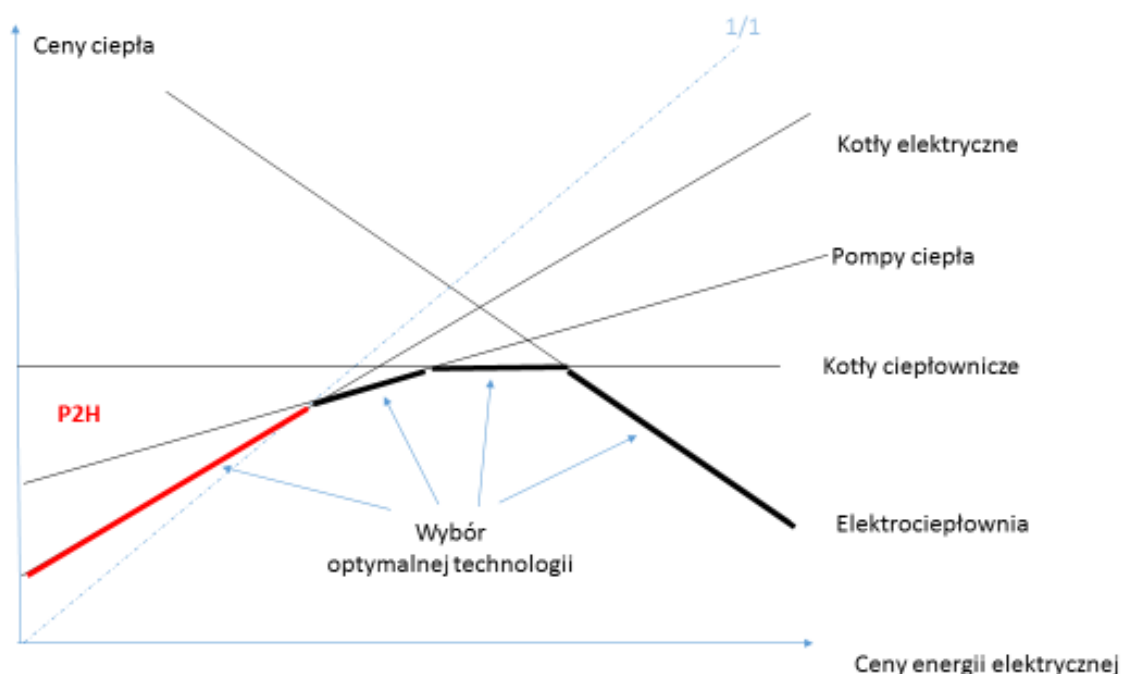
będą źródła najbardziej emisyjne) emisji szkodliwych zanieczyszczeń z ciepłownictwa do atmosfery. Tak zmodernizowane ciepłownie, po uzyskaniu statusu systemów efektywnych energetycznie,

byłyby w stanie wnieść wkład w walkę ze smogiem w dwójnasób: eliminować najbardziej emisyjne źródła indywidualne (po przyłączeniu nowych odbiorców do sieci ciepłowniczej), a jednocześnie nie zwiększać emisji własnej.

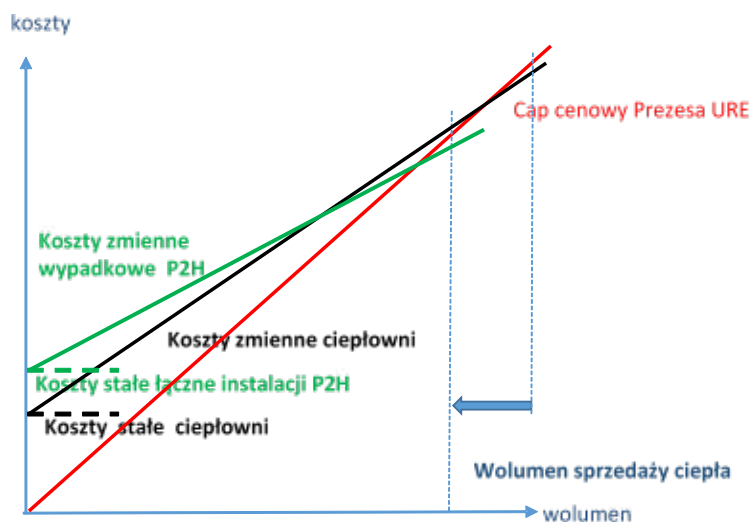
Warunek opłacalności technologii P2H

Warunkiem efektywnego zastosowania technologii P2H jest osiągnięcie racjonalnego okresu zwrotu z inwestycji w instalację P2H. Warunkiem koniecznym jest zrównoważenie niezbędnego przyrostu kosztów stałych przez odpowiednio dużą redukcję kosztów zmiennych, będących wypadkową kosztu wytworzenia ciepła w technologii dotychczasowej oraz kosztu pozyskania energii elektrycznej na potrzeby instalacji P2H.

Na rysunku 4 przedstawiono ogólną koncepcję wyboru technologii w funkcji ceny energii elektrycznej, ze wskazaniem przestrzeni biznesowej dla



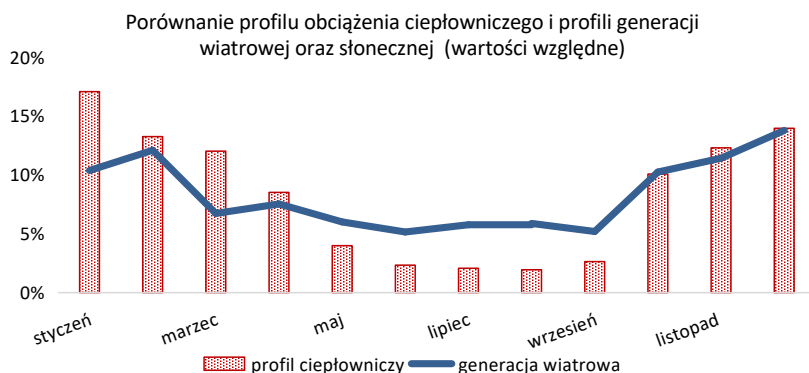
Rys. 4. Zakres wyboru form zasilania w ciepło w funkcji cen energii elektrycznej
Źródło: opracowanie własne IEO na podstawie Flex4RES



Rys. 5. Warunek opłacalności wdrożenia technologii P2H
Źródło: opracowanie własne IEO

nego rozwiązania technologicznego, jak i od realnych warunków funkcjonowania (otoczenia rynkowego), w szczególności dostępnego wolumenu energii elektrycznej z OZE z ceną niższą niż akceptowalna cena ciepła. W realiach polskiego rynku najbardziej prawdopodobne jest wystąpienie takiej sytuacji przy nadmiarze (względem potrzeb) generacji wiatrowej, która w Polsce dysponuje mocą 6 GW.

Profil obciążenia ciepłowniczego jest w warunkach polskich w dużym stopniu skorelowany z profilem generacji wiatrowej (rys. 6). Zmiany klimatu i zmiany rozkładu prędkości wiatru, postęp technologii w energetyce wiatrowej (coraz wyższe całoroczne współczynniki wykorzystania mocy i bardziej w cyklach rocznych wyrównane profile generacji wiatrowej) oraz coraz większe znaczenie roli zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową i chłód w okresach letnich powodują, że pomimo zmian na rynku, sektory ciepła i energetyki wiatrowej pozostaną ze sobą skorelowane w dłuższej perspektywie. Latem, w celu jeszcze lepszego dopasowania do profilu ciepłowniczego, energetyka wiatrowa może być wspierana przez fotowoltaikę. Łatwo zauważyć, że profile sezonowe są silnie skorelowane. Energetyka ciepła szczyt produkcji osiąga w okresie zimowym, który odpowiada profilowi produkcji energetyki wiatrowej.



Rys. 6. Zestawienie profili obciążenia ciepłowniczego oraz generacji wiatrowej
Źródło: PSE, profile ciepłownicze oprac. i skorelowane przez IEO

P2H, natomiast na rysunku 5 kluczowy warunek opłacalności P2H.

Wykorzystanie energii elektrycznej do wspomaganie produkcji ciepła w instalacji P2H może być racjonalne inwestycyjnie pod warunkiem, że dla określonej wielkości produkcji suma kosztów stałych i zmiennych ciepłowni rozbudowanej o człon bezemisyjny da wynik niższy niż dla niezmodyfikowanej ciepłowni węglowej, jednocześnie pozwalając osiągnąć cenę sprzedaży produktu w granicach akceptowalnych przez Prezesa URE. Wprowadzenie

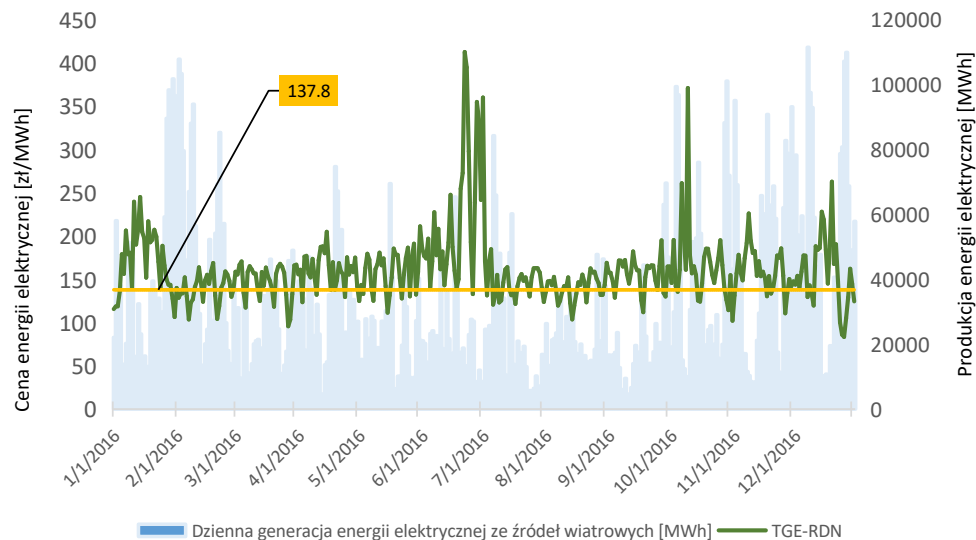
zmian do dotychczasowej instalacji może mieć też szczególny sens w sytuacji, gdy ujemna dynamika sprzedaży ciepła prowadzi do konfliktu pomiędzy kalkulacją kosztów tradycyjnej działalności, a reżimem regulacyjnym nakładanym na przedsiębiorstwo przez Prezesa URE.

Zachodzi jednak kluczowe pytanie: kiedy i przy jakich uwarunkowaniach możliwe są do osiągnięcia wartości kosztów stałych i kosztów zmiennych, które taki efekt zapewnią? Odpowiedź na nie silnie zależy zarówno od wybra-

Na tej podstawie można wyciągnąć wnioski, że ceny energii elektrycznej najkorzystniejsze z punktu widzenia ciepłownictwa, pojawią się na rynku właśnie w okresie jesienno-zimowym, kiedy zapotrzebowanie na ciepło jest największe, a ceny energii elektrycznej najniższe (rys. 7).

Do powyższych czynników wpływających na możliwości synergii modeli biznesowych energetyki wiatrowej i ciepłownictwa dochodzi duża tolerancja źródeł ciepła na zmienność profilu dostawcy energii. Elektrownie wiatrowe muszą się bilansować nie tylko w cy-



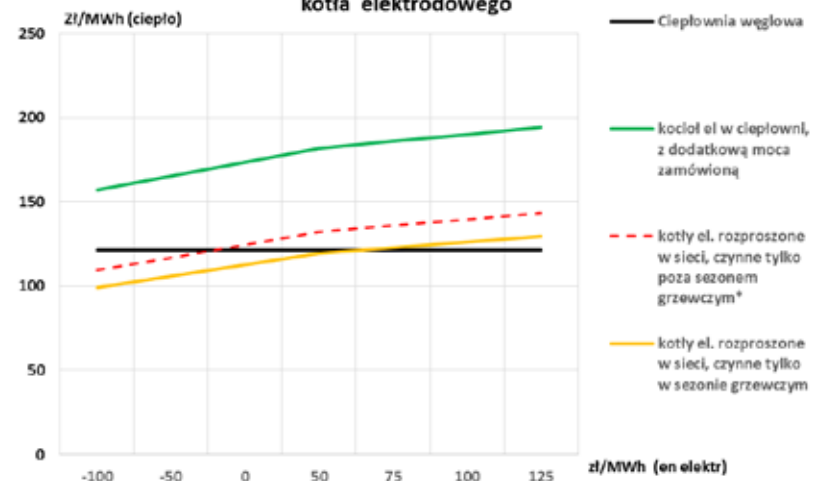


Rys. 7. Przebieg zmienności cen energii elektrycznej na rynku dnia następnego (w 2016 r.)
Źródło: TGE, PSE, oprac. IEO

klach rocznych (np. w systemie aukcyjnym), ale przede wszystkim w cyklach dobowo-godzinnych, a przychód ze sprzedaży energii z farm wiatrowych zależy od ceny giełdowej energii na rynku dnia następnego (tzw. RDN). Możliwość sprzedaży ciepłowni energii elektrycznej wtedy, gdy jej cena jest niska lub nawet ujemna, a takie możliwości daje zmiana od stycznia 2019 r. regulaminu Towarowej Giełdy Energii (TGE), jest atrakcyjną opcją dla obydwu stron. Nawet w warunkach 2016 r., przy jeszcze stosunkowo płaskim w profilu cenowym energii elektrycznej (ze wszystkich źródeł wytwórczych) przez niemal 40% godzin cena energii elektrycznej była tańsza od ceny ciepła.

Integracja sektorów elektroenergetyki i ciepłownictwa daje duże możliwości wygospodarowania nadwyżki ekonomicznej w obu sektorach oraz niesie ze sobą wartość dodaną w postaci obniżenia emisji nie tylko w ciepłownictwie (zastępowanie węglowego źródła wysokoemisyjnego, źródłem bezemisyjnym), ale także w elektroenergetyce (lepsze planowanie pracy tzw. „rezerwy gorącej” w systemie energetycznym i ograniczenie wykorzystania najbardziej emisyjnej „rezerwy zimnej”).

Opłacalność P2H w funkcji ceny energii elektrycznej i lokalizacji kotła elektroodowego



Rys. 8. Porównanie wyników opłacalności kotłów elektrycznych scentralizowanych i rozproszonych.
Źródło: opracowanie własne IEO

■ Przykładowe warunki opłacalności zastosowania P2H

Na rysunku 8 przedstawiono wynik przykładowych obliczeń dla instalacji zrealizowanej w sposób alternatywny: dla kotła elektrycznego zainstalowanego w ciepłowni lub za-

stąpionego wieloma jednostkami o tej samej mocy sumarycznej, ale rozproszonymi w sieci - zlokalizowanymi np. w węzłach ciepłowniczych bezpośrednio w pobliżu odbiorców ciepła. Z uwagi na złożoność problemu analizy prowadzono w oparciu o obecne relacje cen energii elektrycznej z OZE i ciepła. Na przyszłość łatwo przewidzieć szybki wzrost cen cie-

pła (rosnące ceny paliw i koszty środowiskowe) i coraz większe niezbalansowanie mocy wiatrowej (spadek cen w dolinach zapotrzebowania na energię elektryczną). A to oznacza, że poniżej przedstawione wyniki ekonomiczne będą znacznie bardziej optymistyczne niż obecnie⁵.

Założono, że w takim przypadku koszty przyłączenia i opłaty sieciowej stałej nie obciążają inwestora, gdyż moce poszczególnych jednostek mieszczą się w pułapie mocy umownych lokalnych instalacji, a umieszczenie źródła ciepła po stronie odbiorców ogranicza straty w sieci ciepłowniczej. Przeanalizowano dwa warianty czasu wykorzystania kotłów elektrycznych:

A) Kotły elektryczne pracują wyłącznie poza sezonem grzewczym, na potrzeby zapewnienia cwu bez konieczności uruchamiania kotła węglowego w ciepłowni, dzięki czemu unika się emisji poza sezonem grzewczym i ponoszenia strat w sieci ciepłowniczej, ale tylko na relatywnie niewielkim strumieniu energii amortyzowana jest inwestycja, dodatkowo z ryzykiem braku dostępności mocy wiatrowych w okresie letnim;

B) Kotły elektryczne pracują wyłącznie w sezonie grzewczym, gdy dostępna jest nadwyżka energii elektrycznej ze źródeł wiatrowych.

Jak widać, wyniki ekonomiczne dla wariantu z rozproszonymi kotłami elektrycznymi w sezonie grzewczym przedstawiają się znacznie korzystniej niż dla kotła centralnego. Kwestią kluczową dla analizowanego przypadku pozostaje dostępność taniej energii elektrycznej.

W przełamaniu barier ekonomicz-

nych towarzyszących nowym rozwiązaniom w ciepłownictwie, poza uwzględnieniem prognoz cen energii elektrycznej i ciepła (będzie to przedmiotem drugiej części artykułu, może pomóc planowany nowy program Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) pn. „Ciepło z OZE”. Zgodnie z założeniami Programu⁶ wsparcie pilotażowych inwestycji polegających na jednoczesnych inwestycjach w co najmniej dwa OZE w tym:

- wykorzystanie energii z co najmniej jednego źródła pogodowo-zależnego (kolektorów słonecznych, **elektrowni wiatrowych** lub systemów fotowoltaicznych) oraz

- budowie zintegrowanego z nimi **magazynu ciepła (dobowego lub sezonowego)**.

Celem inwestycji ma być m.in. uzyskanie przez przedsiębiorstwo ciepłownicze statusu „efektywnego systemu ciepłowniczego” (zgodnie z wymogiem dyrektywy o efektywności energetycznej, w tym uzyskania 50% udziału energii z OZE). Przewidziane są dwa etapy:

- pilotaż na lata 2019-2023, w tym budowa instalacji demonstracyjnych, w szczególności w koncesjonowanych przedsiębiorstwach ciepłowniczych, termin naboru: od czerwca 2019,

- replikacja w latach 2020-2025 w postaci nowych projektów i wykorzystania doświadczeń z pierwszej fazy pilotażu w latach 2018-2020.

Ogłoszenie Programu „Ciepło z OZE” i naboru wniosków jest planowane na maj 2019 r.

Wnioski

Technologia P2H, przydatne narzędzie wspomagające zarządzania bieżącym bilansem mocy na rynku energii elektrycznej, w warunkach polskiego rynku energii elektrycznej, aktualnie napotykać może na bariery ekonomiczne.

Ograniczenia te mogą ulec zredukowaniu w miarę:

- wzrostu cen ciepła z powodów fundamentalnych (ceny paliwa i pozwoleń na emisję),
- wzrostu udziału źródeł wiatrowych w miksie energetycznym i zdynamizowania realnych cen godzinowych na rynku energii elektrycznej (wzrostu wolumenu energii z cenami wyraźnie niższymi od cen ciepła, w tym ujemnymi),
- rozwoju własnych źródeł wiatrowych (w przyszłości także fotowoltaicznych, które na rynku energii elektrycznej mają podobne problemy z bilansowaniem mocy) w obrębie i bezpośrednim pobliżu ciepłowni (uwarunkowane radykalnym złagodzeniem przepisów ustawy „odległościowej”),
- zmiany mechanizmów wyceny usług sieciowych w taryfach, skutkującej obniżeniem udziału opłat sieciowych w kosztach pozyskania taniej energii elektrycznej z Krajowego Systemu Energetycznego. □

1) kontakt do autorów: tkowalak@ieo.pl

2) minimalna cena energii elektrycznej na TGE to do niedawna 70 PLN/MWh (19,44 PLN/GJ) pojawiające się w sytuacjach jej bardzo dużej nadpodaży, potężonej z ograniczonymi możliwościami transgranicznego przesyłu; od 1.01.2019 r. dolna granica ceny energii elektrycznej na Rynku Bilansującym została obniżona do -50 000zł/MWh.

3) Instytut Energetyki Odnawialnej: Założenia do ustanowienia przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej programu wsparcia dla ciepłownictwa w zakresie budowy, modernizacji i rozwoju systemów ciepłowniczych współpracujących z OZE i magazynami ciepła. Ekspertyza dla NFOŚiGW. Warszawa 2018.

4) IV generacja (tzw. 4GDH) jest to koncepcja, która - za pomocą inteligentnych sieci ciepłowniczych - zapewnia dostawę ciepła w budynkach niskoenergetycznych o niskich stratach sieci i wykorzystuje potencjał źródeł ciepła (OZE) o niskiej temperaturze. I generacja (tzw. 1GDH) wykorzystuje wyłącznie źródła kopalne energii, o najwyższej temperaturze czynnika grzewczego na zasilaniu, dostarczane do budynków o niskim standardzie energetycznym. Generacje I i II są pośrednie. Przep. aut., na podstawie Henrik Lund et al.,

5) Prognoza kosztów będzie to przedmiotem drugiej części artykułu. Przep. aut.

6) Zbigniew Kamiński: założenia programu „Ciepło z OZE”. NFOŚiGW, 2018. URL: <http://nfosigw.gov.pl/o-nfosigw/aktualnosci/art,1289,cieplo-z-odnawialnych-zrodel-energii-nfosigw-opracowuje-program-pilotazowy.html>