

Tomasz MIROWSKI*

Metody poprawy efektywności energetycznej w gospodarstwach domowych w Polsce

STRESZCZENIE. W sierpniu 2011 roku weszła w życie ustawa o efektywności energetycznej. Jej podstawowym celem jest intensyfikacja przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej w trzech obszarach: oszczędność energii u odbiorców końcowych, zwiększenie oszczędności energii w procesie jej wytwarzania oraz zmniejszenie strat w przesyłce i dystrybucji gazu, ciepła i energii elektrycznej. Podstawowym celem do osiągnięcia jest oszczędność 9% energii finalnej, który powinien być zrealizowany do 2016 roku.

Wymuszony wdrożonymi regulacjami wzrost efektywności energetycznej polskiej gospodarki powoduje, że w najbliższych latach również krajowa energetyka jest zmuszona do poprawy efektywności energetycznej.

W artykule został poruszony problem energochłonności budynków jedno- i wielorodzinnych oraz zaopatrzenia ich w energię elektryczną i ciepło stosując układy mikro-CHP.

SŁOWA KLUCZOWE: efektywność energetyczna, gospodarstwa domowe, układy mikro-CHP

Wprowadzenie

W ostatnich latach, w krajowym systemie legislacyjnym dotyczącym energetyki, ochrony środowiska oraz prawa budowlanego zostały wprowadzone istotne zmiany, mające

* Dr inż. – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego, Kraków.

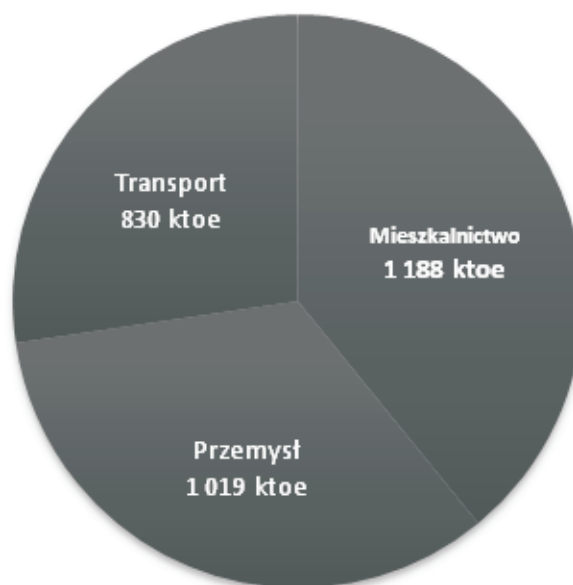
na celu wsparcie rozproszonych źródeł energii, wysokosprawnej kogeneracji oraz efektywności energetycznej. Jednym z podstawowych systemów ukierunkowanych na promowanie źródeł rozproszonych oraz oszczędności energetycznej jest system certyfikacji pochodzenia energii elektrycznej. Zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem Ministra Gospodarki obowiązek uzyskania i przedstawienia do umorzenia przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (lub uiszczenia opłaty zastępczej) świadectwa pochodzenia energii elektrycznej wytworzonej w kogeneracji w 2012 roku wynosi 3,5% dla źródeł do 1 MW_{el}, 0,6% dla źródeł gazowych z odmetanowania kopalń czy biogazowni oraz 23,2% dla pozostałych źródeł kogeneracji. W świetle Ustawy Prawo Energetyczne, cechą szczególną, rozróżniającą wysokosprawną kogenerację jest konieczność uzyskania oszczędności energii pierwotnej w procesie wytwarzania energii elektrycznej lub mechanicznej i ciepła użytkowego. Jednostki kogeneracji, które mogą zostać zaliczone do wysokosprawnych charakteryzują się tym, że: (i) oszczędność energii w nich uzyskiwana wynosi nie mniej niż 10% zużywanej energii pierwotnej w układach rozdzielonych do produkcji energii elektrycznej i ciepła, lub (ii) oszczędność energii w jednostkach o mocy zainstalowanej poniżej 1 MW_{el} w porównaniu z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła w układach rozdzielonych o referencyjnych wartościach sprawności dla wytwarzania rozdzielonego. Wsparcie wysokosprawnej kogeneracji realizowane będzie do końca marca 2013 roku w postaci „czerwonych certyfikatów”.

Pewnego rodzaju nowością w krajowej polityce energetycznej i ekologicznej jest znany z innych państw zachodnioeuropejskich instrument stymulujący wzrost efektywności gospodarki, czyli system świadectw efektywności energetycznej (tzw. białych certyfikaty). Wartość świadectwa efektywności energetycznej odpowiada ilości zaoszczędzonej energii, która ma podlegać wymianie handlowej. Firmy sprzedające energię elektryczną, gaz ziemny i ciepło odbiorcom końcowym są zatem w ramach tego systemu zobligowane do pozyskania określonej liczby certyfikatów w zależności od ilości sprzedanej energii. Ustawa zakłada stworzenie katalogu inwestycji prooszczędnościowych. Przedsiębiorca może uzyskać daną liczbę certyfikatów w drodze przetargu ogłaszanego przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (URE). Może on również kupować certyfikaty na giełdach towarowych lub rynkach regulowanych. Konsekwentnie, podmioty sprzedające energię elektryczną, ciepło, paliwa gazowe odbiorcom końcowym są zobowiązane do przedstawienia białych certyfikatów do umorzenia Prezesowi URE. Brak wypełnienia tego obowiązku powoduje konieczność uiszczenia opłaty zastępczej w wysokości 900–2700 zł/toe. Ministerstwo Gospodarki szacuje, że do 2016 r. dzięki systemowi „białych certyfikatów” oszczędności energii wyniosą 2–2,5 Mtoe. Koszty wprowadzenia systemu białych certyfikatów podniosą cenę energii jednorazowo o około 1,5–2% (MG1 2010).

Przykładem pozytywnych skutków wdrożenia systemu białych certyfikatów mogą być Włochy, w których w okresie 2005–2007 zaoszczędzono 2 Mtoe energii, pomimo deklarowania jedynie 1,1 Mtoe oszczędności. Szczególnie istotny jest fakt, że największe oszczędności energii dotyczyły energii elektrycznej w sektorze mieszkalnictwa (63%) oraz oszczędności paliwa związane z ogrzewaniem w sektorze cywilnym (21%). Mniejsze efekty uzyskano w przypadku oszczędności w sektorze przemysłowym (4%) oraz kogeneracji w sektorze cywilnym (5%) (Wnuk i in. 2010). Podobne skutki w konsekwencji wdrożenia

systemu białych certyfikatów zaobserwowano we Francji. Największe oszczędności energii osiągnięto w sektorze budownictwa mieszkaniowego (88,1%), a następnie w przemyśle (6%) oraz w sektorze budynków usługowych (4,4%) (Wnuk i in. 2010).

Działania podjęte przez rząd RP (EEAP 2007) są konsekwencją wypełniania Dyrektywy 2006/32/WE dotyczącej efektywności energetycznej (Dyrektywa 2006). Zostały określone cele indykatywne w zakresie oszczędności energii na lata 2010 i 2016. Na 2010 rok było to 2% średniego krajowego zużycia energii finalnej, przy czym uśrednienie obejmowało lata 2001–2005, a na 2016 rok będzie to 9%. Te cele zostały utrzymane po pierwszej rewizji założeń przyjętych w ustawie o efektywności energetycznej (EEAP2 2012). I tak w 2010 roku celem była oszczędność na poziomie około 1,02 Mtoe, a osiągnięto wartość około 3,04 Mtoe. Wartości uzyskanych oszczędności energii w poszczególnych sektorach gospodarki różnią się, a największy udział stanowi sektor mieszkalnictwa, 1188 ktoe (ponad 39%) (rys. 1).



Rys. 1. Oszczędności energii uzyskane w 2010 roku w Polsce
Źródło: na podstawie (EEAP2 2012)

Fig. 1. Energy savings achieved in 2010 in Poland

W 2016 r. planowano pierwotnie osiągnąć oszczędności energii na poziomie około 4,6 Mtoe. Obecnie szacunki podają wartość około 5,78 Mtoe oraz istotny potencjał oszczędności energii w sektorze mieszkalnictwa. Celem artykułu jest analiza metod poprawy efektywności energetycznej w gospodarstwach domowych. Istotnym jest jednocześnie, że jest to najmniej kapitałochłonny i najłatwiejszy sposób osiągnięcia wyraźnych efektów w krótkim czasie.

1. Efektywność energetyczna w budownictwie mieszkaniowym

Efektywność energetyczna jest obecnie postrzegana jako jeden z podstawowych instrumentów zmniejszenia zużycia surowców energetycznych, a także redukcji emisji CO₂ w stosunkowo krótkim czasie. Zgodnie z unijnymi zaleceniami, pod tym pojęciem należy rozumieć stosunek uzyskanych wyników, usług, towarów lub energii do wkładu energii; jest to zależność między energią uzyskaną a doprowadzoną. Rozszerzoną formułę pojęcia efektywności energetycznej zaproponował prof. T. Skoczkowski (Skoczkowski 2009):

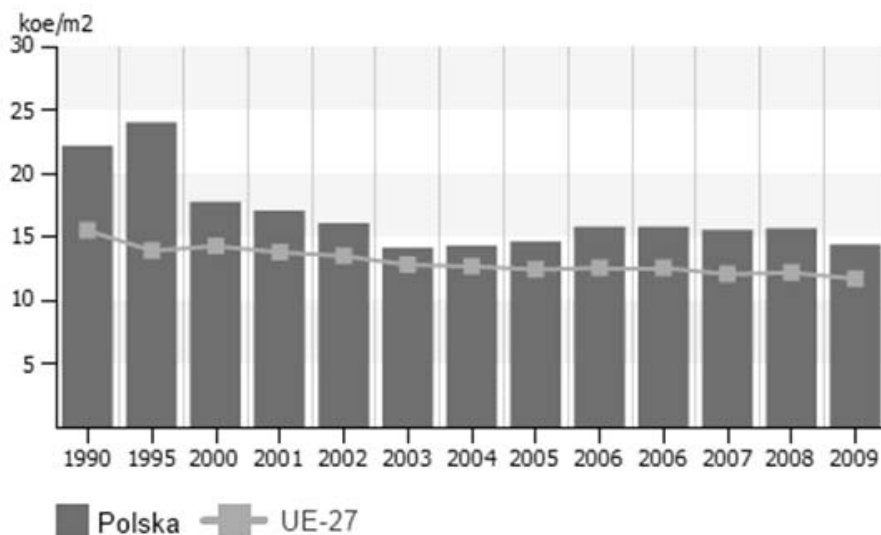
Efektywność energetyczna jest to obniżenie zużycia energii pierwotnej, mające miejsce na etapie zmiany napięć, przesyłu, dystrybucji lub zużycia końcowego energii, spowodowane zmianami technologicznymi, zmianami zachowań i/lub zmianami ekonomicznymi, zapewniające taki sam lub wyższy poziom komfortu lub usług. Rozwiązania zwiększające efektywność końcowego zużycia energii powodują obniżenie zużycia zarówno energii pobieranej przez użytkowników końcowych, jak i energii pierwotnej.

W 2009 roku Polska była na drugim miejscu w rankingu krajów UE, które osiągnęły od 2000 roku największy wzrost efektywności energetycznej w sektorze gospodarstw domowych. Wzrost efektywności energetycznej mierzony może być wskaźnikiem Odysee Energy Efficiency Index (w skrócie ODEX), który został opracowany do monitorowania celów indykatorywnych w zakresie efektywności energetycznej, nakreślonych w Dyrektywie 2006/32/WE (GUS 2011). Jest to zagregowany wskaźnik efektywności energetycznej konsumenta końcowego. Dla gospodarstw domowych przyjmuje się techniczny wskaźnik ODEX, który oddziela wpływ czynników behawioralnych na jego wartość, koncentrując się jedynie na nowych mieszkaniach. Zakłada się wówczas, że technologie w nowych budynkach mieszkalnych nie mogą być mniej efektywne energetycznie od już istniejących.

Dane statystyczne wskazują, że w Polsce średnie zużycie energii w gospodarstwie domowym wynosiło 14,381 koe/m² w 2009 roku. Zmiany tego wskaźnika na tle średniej wartości dla krajów UE-27 przedstawia rysunek 2.

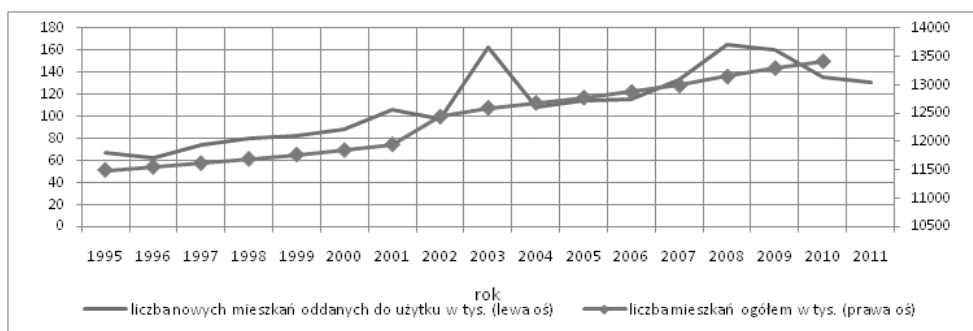
Analiza danych statystycznych prowadzi do wniosku, że liczba nowych mieszkań w Polsce w latach 1995–2011 miała tendencję wzrostową. Uwzględniając ubytki mieszkań, których średnia w latach 2001–2010 wyniosła 4021 mieszkań/rok z tendencją spadkową, od 2007 roku udział nowych mieszkań oddanych do użytku w stosunku do całkowitej liczby mieszkań w Polsce był niewielki i wyniósł około 1%. W danych statystycznych z tego okresu trudno doszukać się prawidłowości, gdyż różnice między rocznym przyrostem mieszkań ogółem, a liczbą nowych oddanych do użytku mieszkań, po uwzględnieniu ubytków, jest rozbieżna. Niemniej jednak zauważalny od 2003 roku liniowy trend wyznacza średni roczny przyrost na poziomie ponad 120 tys. nowych mieszkań (rys. 3).

W ostatnich latach zauważalna jest tendencja do wzrostu udziału indywidualnego budownictwa mieszkaniowego. W 2011 roku powstało ponad 73 tys. nowych budynków w budownictwie indywidualnym, a ich średnia powierzchnia to około 143 m². W stosunku do roku ubiegłego wzrost liczby nowych budynków mieszkalnych (domów) wyniósł 3,7%.



Rys. 2. Zużycie energii w gospodarstwach domowych [koe/m²]
 Źródło: (ENERDATA 2012)

Fig. 2. Energy consumption in households [koe/m²]



Rys. 3. Liczba nowych mieszkań i mieszkań ogółem w Polsce w latach 1995–2011
 Źródło: opracowanie na podstawie (Raport GUS 2012)

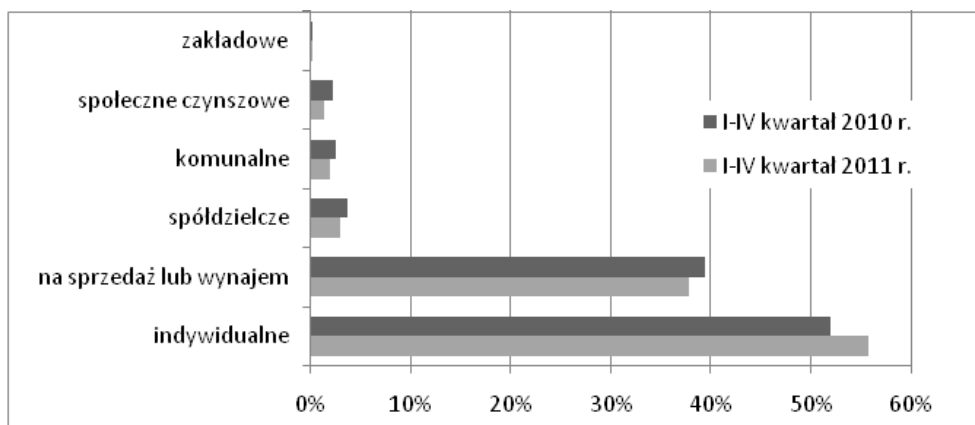
Fig. 3. Number of new dwellings and dwellings in total in Poland in 1995–2011

Na rysunku 4 przedstawiono udziały poszczególnych segmentów budownictwa mieszkalnego w Polsce w latach 2010–2011.

Założenie, że energochłonność w polskim sektorze budownictwa obniża się (a tym samym wskaźnik ODEX) jest słuszne dla nowo powstających budynków.

Certyfikacja budynków

Pierwszy kompleksowy raport z przeprowadzonych audytów energetycznych budynków został opublikowany w Polsce pod koniec 2009 roku (Build Desk 2009). Badania wykonano



Rys. 4. Udział segmentów budownictwa mieszkaniowego ze względu na formę własności w 2010 i 2011 roku
Źródło: opracowanie na podstawie (Raport GUS 2012)

Fig. 4. The share of residential segments with respect to the ownership structure in Poland, 2010, 2011

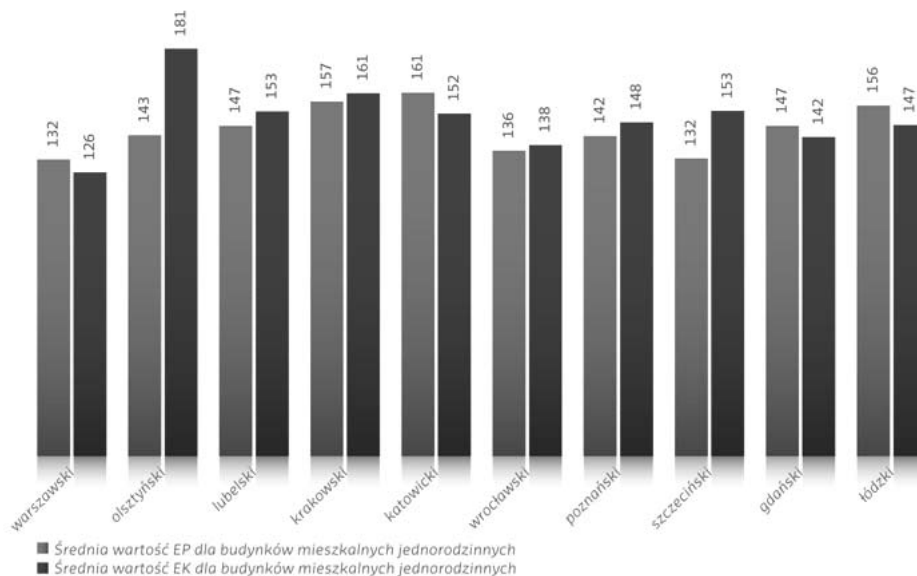
na 23 tys. wybranych budynkach, których najważniejszym celem było obliczenie wskaźników EP (Energia Pierwotna) i EK (Energia Końcowa). Wskaźnik EP określa roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza w budynku, a wyraża się go w $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{rok}$. EP odzwierciedla ilość energii zużywanej przez budynek oraz źródło, w którym ta energia jest produkowana. Niski wskaźnik EP oznacza albo małe zużycie energii przez budynek, albo fakt, że część tej energii jest produkowana przez źródło odnawialne (NAPE 2009). Wskaźnik EK określa zapotrzebowanie budynku na energię końcową bilansowaną na granicy budynku, czyli z uwzględnieniem sprawności wytwarzania energii.

Wartości wskaźników EP i EK dla budynków mieszkalnych jednorodzinnych przedstawiono na rysunku 5.

Dla budynków wielorodzinnych wskaźniki EP i EK wykazują większe rozbieżności. Może to świadczyć o większym wykorzystaniu energii z surowców nieodnawialnych niż to ma miejsce w budynkach jednorodzinnych (np. stosowanie paliw biomasowych, kolektorów słonecznych, pomp ciepła poprawia wskaźnik EP).

Zakładając, że w najbliższych 5 latach nowe domy będą powstawały z zastosowaniem technologii energooszczędnych, to zyski energii na samo ogrzewanie, jakie można by otrzymać, zestawiono w tabeli 2. W obliczeniach przyjęto średnią powierzchnię domu 143 m^2 oraz stały przyrost nowych budynków o 73 tys./rok.

Przykładowo, budując nowe domy jednorodzinne z zastosowaniem technologii energooszczędnych ($E_0 = 45 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{rok}$) statystycznie w okresie 5 lat można zaoszczędzić 1,1 Mtoe w stosunku do tej samej liczby budynków o wskaźniku $E_0 = 130 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{rok}$.



Rys. 5. Wartości wskaźników EP i EK dla budynków mieszkalnych jednorodzinnych według regionów kodowych w Polsce [kWh/m²·rok]
 Źródło: (Build Desk 2009)

Fig. 5. Primary Energy (EP) and Final Energy (EK) indicators for single-family dwellings, by voivodeship, [kWh/m²·rok]

TABELA 2. Symulacja zużycia energii dla różnych wartości wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło w okresie 5 lat

TABLE 2. Simulation of energy consumption for different values of the a 5-year period indicator of seasonal demand for heat

Wskaźnik E _o sezonowego zapotrzebowania na ciepło [kWh/m ² ·rok]	Zapotrzebowanie na ciepło w okresie 5 lat		Ekwiwalent zużytego węgla kamiennego (25 MJ/kg) w analizowanym okresie [tys. ton]
	GWh	ktoe	
300	46 976	4 039	6 764
250	39 146	3 366	5 637
150	23 488	2 020	3 382
130	20 356	1 750	2 931
100	15 659	1 346	2 255
80	12 527	1 077	1 804
45	7 046	606	1 015
15	2 349	202	338

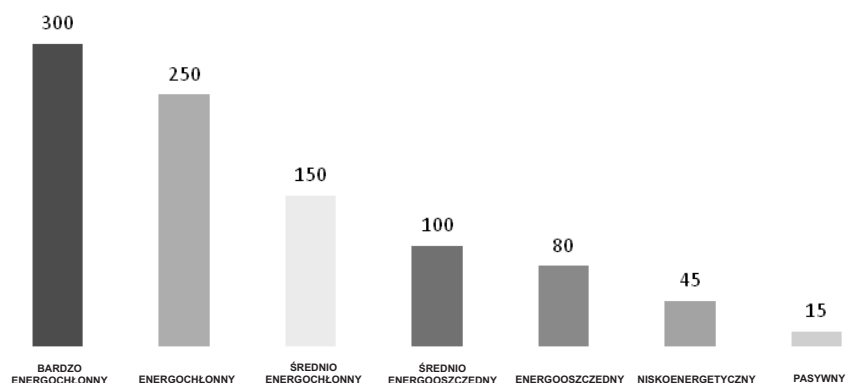
Źródło: obliczenia własne

2. Energooszczędne techniki i technologie stosowane w budownictwie mieszkaniowym

Jedną z łatwiejszych technik osiągnięcia redukcji zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych jest wymiana oświetlenia na energooszczędne. Przykładem może być projekt pilotażowy PELP (*Poland Efficient Lighting Project*), w którym osiągnięto redukcję zużycia w szczycie na sieci 0,4 kV o 15% (Guła i in. 1998) poprzez zastosowanie świetlówek kompaktowych. Do najważniejszych elementów poprawy efektywności energetycznej w nowo budowanych domach jednorodzinnych należy zaliczyć:

- ✧ odpowiednią architekturę budynku (geometria budynku, usytuowanie, wielkość przegród przezroczystych, rozmieszczenie pomieszczeń),
- ✧ izolacyjność przegród budowlanych,
- ✧ rodzaj zastosowanej wentylacji,
- ✧ rodzaj i sprawność systemu grzewczego,
- ✧ wyposażenie w urządzenia elektryczne o możliwie najwyższej klasie energetycznej,
- ✧ system zarządzania energią w budynku.

Przyszli właściciele domów jedno-, jak i wielorodzinnych oczekują zapewnienia komfortu użytkowania pod wieloma względami. Podstawowym zaniedbaniem był pomijany przez budujących aspekt kosztów przyszłej eksploatacji związany z energochłonnością budynku. Koszty te powodowane są przede wszystkim stale wzrastającymi kosztami energii, wynikającymi z podwyżki cen jej nośników. Technologię budowy domu pod względem jego zapotrzebowania na ciepło można podzielić na trzy główne grupy: budynek według obowiązującej normy (tradycyjny), budynek energooszczędny i budynek pasywny. Miernikiem ilościowym stosowanym do oceny zapotrzebowania na energię jest wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło wyrażony w $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{rok})$. Rysunek 6 przedstawia poszerzony zakres klasyfikacji budynków.



Rys. 6. Wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{rok}$) do ogrzania budynku w standardowym sezonie grzewczym

Źródło: (Kopczyk 2009)

Fig. 6. Values of indicator of seasonal demand for heat ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{rok}$) in a standard heating season

Budynek energooszczędny to budynek, który potrzebuje znacznie mniej energii niż dom tradycyjny. Efekt taki uzyskuje się dzięki zmniejszeniu strat ciepła do otoczenia oraz poprawie sprawności jego wytwarzania.

Budowę budynku energooszczędnego należy rozpocząć od wyboru właściwego projektu, uwzględniającego wpływ rozwiązań architektonicznych na zużycie energii. Kolejnym krokiem jest zapewnienie odpowiedniej grubości izolacji termicznej. Ostatnim etapem jest wybór odpowiedniego systemu zaopatrzenia w energię. Technologie zaopatrzenia w energię stosowane obecnie można podzielić na cztery zasadnicze grupy technologii wytwarzania ciepła na cele grzewcze: układy zasilane paliwem stałym (np. węgiel, biomasa), paliwem ciekłym (olej opałowy), paliwem gazowym (np. gaz ziemny, biogaz) oraz układy zasilane energią ze źródeł odnawialnych (np. energia słoneczna, pompy ciepła).

Z punktu widzenia użytkownika domu lub mieszkania, będącego konsumentem energii elektrycznej i ciepła, zastosowanie zasilanych gazem ziemnym układów kogeneracji może być źródłem istotnych oszczędności w budżecie domowym. Będzie to szczególnie ważne w nadchodzących latach, gdyż należy się spodziewać szybko rosnących cen surowców energetycznych, a w konsekwencji także podniesienia opłat za przetworzone nośniki energii. Obecnie prowadzone są badania i prace rozwojowe nad wykorzystaniem do tych celów następujących trzech rodzajów technologii: gazowych silników tłokowych spalania wewnętrznego, silników spalania zewnętrznego (Stirlinga) oraz mikroturbin gazowych (Onovwiona i in. 2006; Roossien i in. 2008). Idea prosumenta na rynku energii, wytwarzającego na własne potrzeby oprócz ciepła również energię elektryczną, wspiera stosowanie nowych technologii energetycznych mikro-CHP w gospodarstwach domowych oraz sektorze usług i małych przedsiębiorstw (Malko 2007; Popczyk 2010).

Gazowe silniki tłokowe spalania wewnętrznego. Silniki takie reprezentują dojrzałą technologię o stosunkowo niskich kosztach kapitałowych i szerokiej rozpiętości mocy produkowanych urządzeń. Urządzenia te cechuje względnie wysoka sprawność konwersji paliwa na energię elektryczną (do 43% dla jednostek o dużej mocy) i duża niezawodność działania. Wady to przede wszystkim hałas, wibracje oraz konieczność odprowadzenia dużej ilości spalin w sposób niekłopotliwy dla otoczenia (Kalina i in. 2005). W tabeli 3 i 4 przedstawiono wybrane jednostki mikro-CHP zasilane gazem ziemnym odpowiednio dla domów jednorodzinnych oraz o większej mocy stosowane w domach wielorodzinnych, hotelach itp.

Silniki spalania zewnętrznego (Stirlinga). Najlepiej nadają się do wykorzystania w małych generatorach o mocy do 25 kW. Cechuje je niska sprawność wytwarzania energii elektrycznej (ok 10%), za to współczynnik tzw. sprawności zintegrowanej (ciepło+elektryczność) może przekraczać nawet 90%. Układy z silnikiem Stirlinga pracują w układzie połączonym z zewnętrznym źródłem ciepła T_h . Ciepło z obiegu jest doprowadzane do źródła o niskiej temperaturze T_c . Sprawność obiegu zależy przede wszystkim od różnicy temperatury między źródłami (T_h-T_c). W celu zapewnienia wysokiej sprawności energetycznej (na poziomie 30%) konieczne jest zastosowanie wysokiej temperatury źródła gorącego. Zewnętrzne spalanie ułatwia kontrolę procesu spalania i powoduje, że proces ten jest czystszy i wydajniejszy. Jednym z istotniejszych elementów pracujących w obiegu jest regeneratory, który odbiera ciepło od czynnika roboczego w trakcie przepływu z przestrzeni

TABELA 3. Jednostki mikro-CHP do domów jednorodzinnych

TABLE 3. Micro-CHP units for single-family housing

Producent/model	Moc elektryczna [kW]	Moc cieplna [kW]	Źródło informacji
Whispergen model MkV AC Gas Fired	1	7,5–12	http://www.whispergen.com/main/achome/
Buderus Loganova BHKV E0204 DN-20	17	32	http://www.buderus.pl/?page_id=3585
Viessmann VITOBLOC 200	18	36	http://www.viessmann.pl/ cena 210 tys zł netto
Elmeco PBCHP10VB PBCHP15VB	10 15	11,7 kWh 26,5 kWh	http://www.agregaty-elmeco.pl/pdfy_elmeco/Kogeneracyjne.pdf
Dachs G 5.5 G 5.5 Condensing	5,5 5,5	12,5 17,5	http://www.senertec.de/en/derdachs/product-range.html

TABELA 4. Jednostki mikro-CHP do domów wielorodzinnych, hoteli, szpitali, itp.

TABLE 4. Micro-CHP units for multi-family housing, hotels, hospitals, etc.

Producent	Zakres mocy elektrycznej [kW]	Źródło informacji
Caterpillar	43–3 000	http://www.eneria.pl/polski/produkty/kogeneracja.html
MTU Onsite Energy	od ok. 120	http://www.mtu-online.com/mtuonsiteenergy/products/gas-engine-systems/gas-engine-systems-50-hz/
Cogenco	30–2000	http://www.cogenco.co.uk/downloads/Cogenco-Nat-Gas-CHP-Range-for-2011.pdf
Tedom	30–200	http://www.cogeneration.tedom.eu/
Viessmann VITOBLOC 200	18–401	http://www.viessmann.pl/pl/sieci_lokalne/systemy-grzewcze/kogeneracja/vitobloc_200_em-70.html
Buderus Loganova BHKW	19–240	http://www.buderus.pl/?page_id=3585

ogrzewanej do chłodzonej i przekazuje ciepło w trakcie procesu odwrotnego. Tabela 5 przedstawia wybrane jednostki CHP i mikro-CHP z silnikiem Stirlinga.

Zalety:

- ✧ wysoka sprawność wytwarzania energii elektrycznej, również przy częściowym obciążeniu,
- ✧ możliwość stosowania różnych paliw,
- ✧ niskie wskaźniki emisji,

- ✧ niski poziom hałasu,
- ✧ wysoka trwałość i stosunkowo niewielkie wykorzystanie oleju smarnego,
- ✧ możliwość różnych konfiguracji silników.

Wady:

- ✧ niski poziom rozwoju technologii,
- ✧ wysoki koszt,
- ✧ praktycznie brak rozwiązań komercyjnych.

Wysokie koszty silników Stirlinga wiążą się przede wszystkim z koniecznością wykorzystania drogich materiałów konstrukcyjnych przy wysokiej temperaturze źródła ciepłego. Kolejnym czynnikiem zwiększającym koszty jest duża wymagana moc chłodnicza, gdyż w przeciwieństwie do silników tłokowych ciepło nie jest usuwane ze spalinami (obieg wewnętrzny).

TABELA 5. Jednostki CHP i mikro-CHP z silnikiem Stirlinga

TABLE 5. CHP and micro-CHP units based on Stirling engine

Producent/model	Moc elektryczna	Moc cieplna	Źródło informacji
Genoastirling	0,45–7 kW		http://www.genoastirling.com/engine-available.php
Disenco	3 kW	12–18 kW	http://www.disenco.com/html/product-1.htm
BIOS Bioenergie systeme	35–70 kW	105–210 kW	http://www.bios-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/stirling-engine.html
Stirling DK	35–140 kW	140–560 kW	http://www.stirling.dk/page_content.php?menu_id=61&type=mainmenu
WhisperGen™ microCHP	powyżej 1 kW	7,5–12kW	http://www.whispergen.com/main/achomesspecs_info/

Mikroturbiny. Obecnie adoptowane są rozwiązania stosowane dla turbin gazowych, z uwzględnieniem mniejszej skali urządzeń. Optymalne moce tych generatorów to 30–200 kW, a więc nieco za duże dla potrzeb gospodarstwa domowego. Sprawność mikroturbin jest rzędu 30%.

Zalety:

- ✧ duża elastyczność pracy, krótki czas rozruchu,
- ✧ wysoka niezawodność i dyspozycyjność,
- ✧ ciepło na wysokim poziomie temperatury, dające możliwość wytworzenia pary o wysokich parametrach,
- ✧ małe rozmiary i wysoki stosunek mocy do masy,
- ✧ brak konieczności chłodzenia zewnętrznego,
- ✧ małe obciążenie fundamentu.

Wady:

- ✧ zależność mocy i sprawności od parametrów otoczenia,
- ✧ stosunkowo niska sprawność wytwarzania energii elektrycznej,

- ✧ stosunkowo wysokie ciśnienie paliwa podawanego do komory spalania,
- ✧ konieczność stosowania osłon akustycznych,
- ✧ niska sprawność przy niepełnym obciążeniu.

Mikroturbiny gazowe są konkurencyjne do silników tłokowych gazowych małej mocy, pod względem wielkości układu, ciężaru, emisji hałasu i drgań oraz kosztów obsługi i remontów. Temperatura spalin z mikroturbin jest stosunkowo niska, co wynika z zastosowania wymiennika regeneracyjnego. Powoduje to, że mikroturbiny znajdują obecnie zastosowanie głównie w układach skojarzonych, gdzie jest wytwarzana gorąca woda. Dzięki nowoczesnym materiałom i prostej konstrukcji okres między serwisami wynosi 6000–8000 h. W normalnym cyklu remontowym, przy ciągłej pracy turbiny, czynności serwisowe wykonuje się średnio raz w roku, przy czym trwają one zaledwie kilka godzin. W najgorszym wypadku czynności remontowe wymagają wymiany elementów części gorącej lub nawet demontażu i ponownego montażu całej maszyny. Z uwagi na wiele zalet mikroturbiny gazowe mogą znaleźć zastosowanie w zasilaniu energią małych obiektów, np. biur, mieszkań czy nawet domków jednorodzinnych, stając się podstawą budowy małych systemów elektryczno-chłodniczo-grzejnych, tzw. BCHP (*Building Cooling Heat and Power*). Wybrane rozwiązania komercyjnych mikroturbin gazowych zestawiono w tabeli 6.

TABELA 6. Jednostki CHP z mikroturbinami gazowymi

TABLE 6. CHP units with gas micro turbines

Producent	Zakres mocy elektrycznej	Źródło danych
Turbec T100	100 kW	http://www.turbec.com/products/products.htm
Capstone	30–200 kW (ostatnio również 15 kW)	http://www.capstoneturbine.com

Zalety małych układów kogeneracyjnych zasilanych paliwami gazowymi są następujące (Mokrzycki red. 2012):

- ✧ optymalne dopasowanie układu do potrzeb indywidualnego odbiorcy,
- ✧ możliwość lokalizacji źródła wytwórczego w miejscu odbioru energii lub bliskim jego sąsiedztwie,
- ✧ wysokie sprawności energetyczne urządzeń i bardzo małe wskaźniki emisji,
- ✧ postęp techniczny w budowie turbin gazowych oraz zasilanych gazem tłokowych silników spalinowych połączony ze wzrastającą podażą tych urządzeń na rynku,
- ✧ możliwość spalania gazów niskokalorycznych,
- ✧ małe rozmiary elektrociepłowni i praktycznie bezobsługowa eksploatacja,
- ✧ konkurencja na rynku paliw i energii oraz rozwój lokalnych rynków nośników energii,
- ✧ odpowiednia polityka energetyczna zachęcająca do inwestowania w układy kogeneracyjne,
- ✧ korzystne wskaźniki ekonomiczne dla inwestycji, a przede wszystkim krótkie okresy zwrotu nakładów,

- ✧ zmniejszenie w skali całej gospodarki zużycia paliw pierwotnych w porównaniu z produkcją rozdzieloną i związane z tym mniejsze wskaźniki emisji zanieczyszczeń,
- ✧ wysoka sprawność energetyczna układów gazowych,
- ✧ wykorzystanie proekologicznych paliw gazowych (brak emisji tlenków siarki, tlenków azotu, pyłów, zmniejszona emisja dwutlenku węgla).

Do przyszłościowych technologii wytwarzania energii elektrycznej i ciepła z gazu ziemnego w gospodarstwach domowych należy zaliczyć także ogniwa paliwowe. Projekty pilotażowe zostały zrealizowane z sukcesem w Japonii przez firmy Osaka Gas i Panasonic. Sprzedaż komercyjnej jednostki o nazwie ENE-FARM Type S rozpoczęto 27 kwietnia 2012 roku w Japonii, a jej koszty wynoszą w zależności od kursu jena około 33 530 USD (FuelCell Works 2012). Należy tylko oczekiwać, że z rozwojem technologii ogniw paliwowych jednostki dla gospodarstw domowych będą miały konkurencyjną cenę w stosunku do jednostek mikro-CHP przedstawionych w artykule.

Podsumowanie

Szansą na zwiększenie oszczędności energii w sektorach końcowego jej wykorzystania jest budownictwo energooszczędne oraz stosowanie źródeł energetyki rozproszonej w sektorach mieszkalnictwa i usług. Małe rozproszone układy CHP nie stanowią konkurencji dla energetyki zawodowej, przeciwnie – stają się bardzo pożądanym uzupełnieniem systemu elektroenergetycznego, zwiększając elastyczność jego pracy, pod warunkiem, że jest to sieć inteligentna z inteligentnym opomiarowaniem. Łączenie jednostek mikro-CHP w tzw. wirtualne elektrownie pozwoli także na zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną szczytową w lokalnych sieciach elektroenergetycznych, co wpływa na pracę Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE).

Przedstawione w artykule technologie mikro-CHP nie są obecnie konkurencyjne cenowo w stosunku do tradycyjnych metod zaopatrzenia budynków w energię elektryczną i ciepło (np. kotły gazowe, kotły węglowe, sieć ciepłownicza, sieć elektryczna). Pomimo zmieniających się trendów wydobycia węgla kamiennego (Olkuski 2010) oraz cen konwencjonalnych nośników energii.

Paradoksalnie, obecny poziom cen nośników energii (przede wszystkim węgla, gazu ziemnego i energii elektrycznej) oraz struktura zużycia są niekorzystne z punktu widzenia dalszego rozwoju małej energetyki opartej na paliwach gazowych (Grudziński, Szurlej 2011). Wzrost cen nośników energii powinien zwiększyć atrakcyjność inwestycji w układy CHP. Jest to szczególnie ważne w aspekcie przyjętych przez Polskę zobowiązań w zakresie efektywności energetycznej, wsparcia kogeneracji oraz szeroko pojętej energetyki rozproszonej.

Urządzenia, które mają obecnie największą szansę na komercyjne zastosowanie w gospodarstwach domowych oraz sektorze usług, to jednostki zasilane gazem ziemnym z silnikiem Stirlinga, których praca może być bardziej dostosowana do potrzeb odbiorcy niż

układów z silnikiem wewnętrznego spalania. Wytwarzana energia elektryczna pokrywa częściowo zapotrzebowanie, a ciepło odpadowe jest magazynowane i wykorzystywane do c.o. i c.w.u. Brak mocy cieplnej w okresach wysokiego zapotrzebowania pokrywane jest z kotła pomocniczego zasilanego również gazem ziemnym.

Praca częściowo finansowana z badań statutowych nr 11.11.210.217

Literatura

- Build Desk, 2009 – Stan energetyczny budynków w Polsce. Cigacice : Build Desk Polska. Raport w formie elektronicznej.
- Dyrektywa, 2006 – Dyrektywy 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych.
- EEAP, 2007 – Krajowy Plan Działań w zakresie efektywności energetycznej. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- EEAP2, 2012 – Drugi Krajowy Plan Działań dotyczący efektywności energetycznej dla Polski. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- ENERDATA, 2012 – Energy Efficiency Indicators in Europe Database. Elektroniczna baza danych. <http://www.odyssee-indicators.org> Ostatni dostęp 07.03.2012.
- FuelCell Works. Osaka Gas to start selling household fuel cells on April 27 2012. FuelCell Works. [Online] 14 04 2012. www.fuelcellworks.com.
- GRUDZIŃSKI Z., SZURLEJ A., 2011 – Węgiel, ropa, gaz ziemny – analiza cen w latach 2006–2011. Przegląd Górniczy t. 67, nr 7–8, s. 306–313.
- GUŁA A. i in., 1998 – Polish Efficient Lighting Project—the DSM Pilot Experiment. [aut. książki] Gula Adam Almeida, Anibal T. Development with Sustainable Use of Electricity. brak miejsca: Springer Netherlands. Vol. 56, p.71–96.
- GUS. Efektywność wykorzystania energii w latach 1999–2009. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2011.
- KALINA J., SKOREK J., 2005 – Gazowe układy kogeneracyjne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- KOPCZYK H., 2009 – Ogrzewnictwo praktyczne. Projektowanie, montaż, certyfikacja energetyczna, eksploatacja. Systherm D. Gaździńska s.j., Poznań.
- MAKOWSKA-RZADKIEWICZ S., 2011 – Dom oszczędny. Własny Dom. 2, str. 78–83.
- MALKO J., 2007 – Tendencje w wytwarzaniu energii elektrycznej – rola węgla. Polityka Energetyczna t. 10, z. spec. 2, s. 13–24.
- MG1, 2010 – Realizacja polskiej polityki energetycznej do 2030 roku – efektywność energetyczna. Departament Energetyki MG.Dokument elektroniczny, Warszawa, www.mg.gov.pl
- MG2, 2011 – Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 lipca 2011 roku (dot. wykosprawnej kogeneracji). Dz.U. 2011 nr 176 poz. 1052. Internetowy System Aktów Prawnych Sejmu RP.
- MOKRZYCKI E. (red.), 2012 – Rozproszone zasoby energii w systemie elektroenergetycznym. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.
- NAPE, 2009 – Zawartość Świadectwa energetycznego. Warszawa. Materiały opublikowane na stronie www.nape.gov.pl. Ostatni dostęp: 28.04.2012 : Narodowa Agencja Poszanowania Energii SA.

- OLKUSKI T., 2010 – Zmiana trendu w handlu polskim węglem. *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2, s. 365–375.
- ONOVWIONA H.J., URUSAL I., 2006 – Residential cogeneration systems: review of the current technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 10, issue 5, pp. 389–431.
- POPCZYK J., 2010 – Energetyka rozproszona jako odpowiedź na potrzeby rynku (prosumenta) i pakietu energetyczno-klimatycznego. Instytut na Rzecz Ekorozwoju, Warszawa, ISBN 978-83-7556-294-1.
- Raport GUS, 2012 – Budownictwo mieszkaniowe I–IV kwartał 2011. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- ROOSSEN B. i in., 2008 – Virtual power plant field experiment using 10 micro-CHP units at consumer premises. *IET Digest*. 5, DOI:10.1049/ic:20080410.
- SKOCZKOWSKI T., 2009 – Wprowadzenie do efektywności energetycznej. *Inteligentna energia. Efektywne zarządzanie energią w małej i średniej firmie*. KAPE, Warszawa, 17 lutego.
- WNUK R. i in., 2010 – Systemy białych certyfikatów w krajach Anglia, Francja i Włochy. Materiały Ministerstwa Gospodarki. Wydanie elektroniczne. www.mg.gov.pl. Ostatni dostęp 15.11.2011.

Tomasz MIROWSKI

Methods to improve energy efficiency in households in Poland

Abstract

In the recent years, in the Polish legislation system related to energy, environmental and construction sectors several changes have been introduced in order to support distributed generation, cogeneration and energy efficiency improvements. One of the most important schemes aimed to promote distributed generation and energy conservation is the system of certification of origin of electricity (the so called “certificate system”). A kind of a novelty in the Polish energy and environmental policy, which is quite well known from other Western countries, is the instrument which aims to increase economic efficiency, called the system of energy performance certificates (so-called “white certificates”). The value of the certificate of energy efficiency is the amount of energy saved, which is the subject of trade. Thus, companies that sell electricity, natural gas and heat to final consumers are within the system required to obtain a certain number of certificates. This amount depends on the amount of electricity sold. An entrepreneur could take a specific number of certificates in a tender announced by the President of the Energy Regulatory Office (Urząd Regulacji Energetyki). They can also buy certificates on commodity exchanges or regulated markets. Consequently, entities selling electricity, heat and gas to the final consumers are obliged to submit white certificates to the President of the Energy Regulatory Office (Urząd Regulacji Energetyki). Lack of fulfilment of this obligation results in a substitution fee of 900–2700 zł/toe. The Ministry of Economy estimates that by 2016 energy savings will have reached 2–2.5 Mtoe thanks to the “white certificates system”. The costs of introducing the system of white certificates would, however, raise the price of electricity by

approximately 1.5–2%. Taking into consideration that it was originally planned in 2016 to achieve energy savings of about 4.6 Mtoe (now estimates give a value of about 5.78 Mtoe) and that significant potential for energy savings in the residential sector still exists, the aim of this paper is to analyse methods to improve energy efficiency in households. It is of crucial importance, that it is the least capital intensive and easiest way to achieve substantial effects in the short term. The results of the analysis carried out in this paper indicate that installations that currently have the best chance for commercial application in households and services sector are those powered by natural gas with a Stirling engine, whose work can be more tailored to the needs of the final consumer, than systems with internal combustion engine. Generated electricity covers partially the demand, and the waste heat is stored and used when needed. Lack of thermal power during periods of high demand could be covered by an auxiliary boiler, which is also fuelled by natural gas.

KEY WORDS: energy efficiency, households, micro CHP applications