

Leszek PAJAŁ
Wiesław BUJAKOWSKI
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk
Pracownia Odnawialnych Źródeł Energii
ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków
e-mail: pajak@meeri.pl, buwi@meeri.pl

Technika Poszukiwań Geologicznych
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1/2016

ANALIZA ZMIAN CEN ENERGII CIEPLNEJ POCHODZĄCEJ Z INSTALACJI GEOTERMALNYCH I WYBRANYCH ŹRÓDEŁ KONWENCJONALNYCH NA PODSTAWIE TARYF ROZLICZENIOWYCH W LATACH 2007–2016

STRESZCZENIE

W pracy zaprezentowano przegląd działających w Polsce instalacji wykorzystujących energię geotermalną. Dotychczasowe dane publikowane w literaturze uzupełniono o nowe instalacje. Całkowitą moc cieplną zainstalowaną w geotermii w skali kraju oszacowano na 390 MW, a produkcję roczną energii na 3,37 PJ (z czego większość, zarówno mocy zainstalowanej jak i produkowanej energii, przypada na pompy ciepła). W dalszej części artykułu, na podstawie obowiązujących taryf rozliczeniowych, oszacowano cenę całkowitą energii cieplnej pochodzącej z instalacji geotermalnych przy uwzględnieniu wszystkich kosztów stałych i zmiennych związanych z wytwarzaniem i dystrybucją energii. Ceny te porównano z cenami energii pochodzącej z nośników konwencjonalnych. Zakres zmienności ceny całkowitej energii dla odbiorcy końcowego, a pochodzącej z konwencjonalnych nośników energii, oszacowano na poziom od 42 do 93 zł/GJ. Tak samo określona cena dla energii pochodzącej ze źródeł geotermalnych wynosiła od 47 do 87 zł/GJ. Energia geotermalna – wbrew powszechnym osądom – nie jest droższa od konwencjonalnych nośników energii. Artykuł stanowi kontynuację cyklicznie prowadzonych przez autorów od roku 2007 analiz porównujących cenę energii z geotermii i konwencjonalnych nośników. W omawianym przedziale czasu relacja cen energii geotermalnej do cen energii ze źródeł konwencjonalnych nie ulega znaczącym zmianom.

SŁOWA KLUCZOWE

Energia geotermalna, moc zainstalowana, produkcja energii, taryfy rozliczeniowe, cena energii

* * *

WPROWADZENIE

Zgodnie z najnowszą Ustawą o odnawialnych źródłach energii z 2015 roku (Dz.U. 2015 poz. 478), energia geotermalna jest to energia o pochodzeniu nieantropogenicznym i występująca w postaci ciepła pod powierzchnią Ziemi. Dziewański (1993) definiuje ją jako energię wnętrza Ziemi skumulowaną w skałach i wodach podziemnych. Ciepło we wnętrzu Ziemi jest częściowo ciepłem pierwotnym, które pochodzi z okresu formowania się naszej planety, a częściowo jest ciepłem współczesnym, pochodzącym głównie z rozpadu pierwiastków promieniotwórczych, m.in. z szeregu uranowego, aktynowego i torowego oraz promieniotwórczego izotopu potasu.

Definicje te nie określają głębokości na jakiej występuje energia oraz wartości temperatur z jakimi jest związana. Wynika z tego, że pojęcie energii geotermalnej dotyczy praktycznie każdej temperatury wód wglębnych lub skał, z których jest możliwe jej pozyskanie i zagospodarowanie. Powszechność występowania oraz odnawialność energii geotermalnej, a także – co jest istotnym problemem energetyki słonecznej czy wiatrowej – brak zależności od zmieniających się warunków klimatycznych, dają możliwość wykorzystania potencjału geotermalnego w szeregu instalacjach m.in. do ogrzewania pomieszczeń i przygotowania ciepłej wody użytkowej, zastosowania w rolnictwie, balneoterapii i rekreacji.

Nośnikiem energii geotermalnej są naturalne płyny złożowe, zwykle wody – często wysoko zmineralizowane, ale także ropa naftowa, gaz ziemny i para wodna, występujące w porach i szczelinach skał budujących skorupę ziemską oraz specjalne ciecze, jak np. glikol w pionowych i poziomych systemach gruntowego źródła ciepła dla pomp grzewczych. W tym drugim przypadku mówimy o pozyskiwaniu energii geotermicznej.

Niekiedy, w nomenklaturze polskiej, stosuje się pojęcia energii wnętrza Ziemi, zawierające dwa znaczenia, tj. energii geotermalnej i geotermicznej, jakkolwiek obydwa dotyczą procesu wykorzystania energii geotermalnej do wytwarzania użytecznej energii (elektrycznej lub ciepła). O energii geotermalnej *stricte* mówimy przede wszystkim wówczas, gdy nośnikiem energii jest przede wszystkim naturalnego pochodzenia złożowa woda czy para wodna. Energia geotermiczna z kolei wiązana jest z procesem wykorzystania energii geotermalnej w procesie wprowadzania nienaturalnego pochodzenia cieczy do górotworu w celu podniesienia ich temperatury i zagospodarowania jej na powierzchni: głównie do wytwarzania ciepła w systemach sprężarkowych pomp ciepła i bardzo rzadko w systemach HDR umożliwiających generację energii elektrycznej.

Energia geotermalna posiada użytkowy charakter jedynie w przypadku istnienia nośnika energii, którym jest zwykle podziemna woda bardziej lub mniej zmineralizowana. Wody takie zostały zdefiniowane w prawie polskim jako wody termalne, jeżeli ich temperatura na wypływie z otworu wynosi minimum 20°C (nie dotyczy to wód pochodzących z procesu odwadniania kopalń ponieważ nie są uznane jako kopalina podstawowa, pomimo że ich temperatura może przekraczać 20°C). Pojęcie „woda termalna” jest charakterystyczne dla polskiej terminologii, w świecie używa się praktycznie jedynie pojęcia *geothermal waters* co tłumaczymy na „wody geotermalne” – jednoznacznie wskazujące pochodzenie źródła ener-

gii. Prawodawca zaklasyfikował takie wody do grupy kopalin podstawowych. Takie usytuowanie prawne niesie ze sobą szereg konsekwencji m.in. formalnych, wśród których jednym z wymogów umożliwiających eksploatację jest utworzenie zakładu górniczego. Uznać zatem należy, że wszystkie zakłady geotermalne wydobywające wody termalne powinny posiadać status zakładów górniczych. Trzymając się tej konwencji w artykule zestawiono wszystkie polskie zakłady górnicze – instalacje geotermalne eksploatujące wody o temperaturze powyżej 20°C niezależnie od stopnia ich mineralizacji i sposobu ich zagospodarowania.

Tabela 1 prezentuje zestawienie wszystkich funkcjonujących aktualnie w Polsce zakładów górniczych, w których odbywa się eksploatacja wód termalnych oraz instalacji pomp ciepła wykorzystujących głównie ciepło gruntu. Przedstawione wartości mocy zainstalowanej oraz wielkości produkcji energii dotyczą energii geotermalnej. Wartości mocy zostały oszacowane na podstawie znajomości rozwiązania technologicznego węzła grzewczego indywidualnie dla każdego z obiektów, biorąc pod uwagę fakt, że w większości mamy do czynienia z hybrydowymi źródłami energii. W zakładach geotermalnych wytwarzających ciepło dla odbiorców najczęściej źródło geotermalne współpracuje z gazem ziemnym, który wykorzystywany jest w kotłach szczytowych lub kotłach wysokotemperaturowych. Kotły szczytowe pokrywają chwilowe – szczytowe potrzeby odbiorców ciepła niemożliwe do zabezpieczenia ze źródła geotermalnego, natomiast kotły wysokotemperaturowe wytwarzają ciepło napędzające pracę absorpcyjnych pomp ciepła. W zakładzie PEC Geotermia Podhalańska S.A. gaz ziemny wykorzystywany jest ponadto w silnikach kogeneracyjnych wytwarzających ciepło i energię elektryczną. Elementem źródła hybrydowego są także sprężarkowe pompy ciepła, umożliwiające znaczne schłodzenie wód złożowych i pozyskanie w ten sposób pokaźnych ilości energii możliwej do komercyjnego zagospodarowania np. w zakładzie geotermalnym Geotermii Mazowieckiej S.A. Sprężarkowe pompy ciepła napędzane są energią elektryczną zwykle pochodzącą z krajowej sieci elektroenergetycznej. Zakłady geotermalne niewytwarzające ciepła na sprzedaż, a jedynie na własne potrzeby, np. ośrodki termalne „Białka”, „Bukowina Tatrzańska” oraz systemy pomp ciepła oprócz energii geotermalnej w hybrydowym źródle zawierają energię elektryczną wykorzystywaną do napędu urządzeń i pokrywającą pozostałe potrzeby energetyczne zakładu. Oczywiście także i pierwsza grupa zakładów, tj. wytwarzających ciepło na sprzedaż, wykorzystuje energię elektryczną do swoich celów. Ocena wielkości wytworzonej energii z geotermii w danym zakładzie geotermalnym, w którym funkcjonuje hybrydowe źródło energii, jest bardzo utrudniona. Przykładowo, w zakładzie PEC Geotermia Podhalańska S.A. w 2015 roku wytworzono sumarycznie około 400 tys. GJ energii przy mocy zamówionej u odbiorców ciepła na poziomie 61 MW, zakładając (na podstawie dyskusji z zarządem Spółki) 90% udział geotermii oszacowano, że ze źródła geotermalnego pochodzi około 360 tys. GJ ciepła.

Podejmując próbę oszacowania wielkości udziału energii geotermalnej w całkowitej ilości energii wytworzonej w źródle ciepła pomocna jest rejestrowana i dokumentowana wartość rocznego poboru wód złożowych (Bilans Zasobów 2014). Zakładając realne schłodzenie wód można w przybliżeniu określić faktyczne ilości ciepła pochodzenia geotermalnego.

Tabela 1

Zestawienie głównych parametrów energetycznych zakładów górniczych - instalacji geotermalnych, balneologicznych i pomp ciepła w Polsce (opracowane na podstawie Bujakowski 2015; Kępińska 2015; Lisik, Szczepański 2014; Ciężkowski, Liber-Makowska 2011; Baza PSH – www.mineralne.pgi.gov.pl; Bilans Zasobów 2014)

Table 1

Summary of the main parameters of mining plants, balneological and heat pumps in Poland (based on: Bujakowski 2015; Kępińska 2015; Lisik, Szczepański 2014; Ciężkowski, Liber-Makowska 2011; Base PSH – www.mineralne.pgi.gov.pl; Balance Resources 2014)

Lokalizacja instalacji	Sposób wykorzystania wód i energii, Typ wody	Moc zainstalowana z geotermii* [MW]	Pobór wód** [m ³ /rok]	Produkcja energii z geotermii* [TJ/rok]
1	2	3	4	5
Grupa I – Instalacje wykorzystujące wody geotermalne do ogrzewania i rekreacji (temp. > 25°C)				
1. Podhale – Bańska Nizna	sieć grzewcza, ogrzewanie i woda do kąpieliska, T, Z	40,8	4 003 896	360
2. Pyrzyce	sieć grzewcza, T, Z	15,5	906 214	110
3. Mszczonów	sieć grzewcza, woda do kąpieliska, wody pitne, T	3,7	351 243	15
4. Uniejów	ogrzewanie i woda do kąpieliska, sieć grzewcza, T, Z	3,1	831 588	40
5. Podhale – Zakopane Antałówka	ogrzewanie i woda do kąpieliska, T	0,52	315 102	4
6. Podhale – Bukowina Tatrzańska	ogrzewanie i woda do kąpieliska, T	2,46	294 563	15
7. Stargard Szczeciński	sieć grzewcza, T, Z	12,6	1 387 141	213
8. Podhale – Zakopane Szymbarkowa	ogrzewanie i woda do kąpieliska, T, Z	0,3	141 522	3
9. Poznań – otw. Swarzędz IGH-1	ogrzewanie i woda do kąpieliska, T, Z	0,44	10 303	10
10. Podhale - Białka	ogrzewanie i woda do kąpieliska, T, Z	0,37	170 428	12
11. Poddębice	sieć grzewcza, ogrzewanie i woda do kąpieliska, T	10,0	724 021	47
12. Podhale – Witów	ogrzewanie kąpieliska, T	0,2	78 108	6
13. Cieplice	ogrzewanie i woda do kąpieliska, Ls, T	0,3	153 006	10
14. Trzemesz	ogrzewanie kąpieliska, woda do hodowli łososia, T, Z	3,5	200 000*	bd
Razem		ok. 94		ok. 845

Tabela 1 cd.
Table 1 cont.

1	2	3	4	5
Grupa II – Instalacje wykorzystujące wody lecznicze – geotermalne do balneologii i lecznictwa				
1. Ciechocinek	Lz, T	3,2	91 107	3,0
2. Duszniki	Ls, T	1,0	278 305	10,2
3. Grudziądz - Marusza	Lz, T	0,5	4 158	0,3
4. Łądek Zdrój	Ls, T	0,8	170 787	8,6
5. Lubatówka – Iwonicz Zdrój	Ls, Lz, T	0,38	16 437	0,8
6. Rabka Zdrój	Lz, T	0,09	3 298	0,2
7. Ustroń	Lz, T	0,03	6 343	0,3
8. Gołdap	Lz, T	0,2	5 200	0,14
9. Ustka	Lz, T	0,29	bd	0,02
10. Busko Zdrój	Lz, T	0,08	26 177	1,1
Razem				
Grupa III – Instalacje wykorzystujące ciepło gruntu i wód w pompach ciepła (temperatura <25°C)				
Pompy ciepła (ok. 35 000*)		ok. 290		ok. 2 500
SUMA WSZYSTKICH INSTALACJI		ok. 390		ok. 3 370

Symbol użyte w tabeli: Z – wody zmineralizowane (mineralizacja > 1 g/dm³); Lz – wody lecznicze zmineralizowane (mineralizacja > 1 g/dm³); Ls – wody lecznicze słabozmineralizowane (mineralizacja < 1 g/dm³); T – wody geotermalne; bd – brak danych

* - wartości oszacowane, ** - stan na 31.XII.2014 r. (Bilans Zasobów Ziół i Kopalni w Polsce W-wa 2015)

Problem mógłby być stosunkowo łatwo rozwiązany poprzez zastosowanie odpowiedniego opomiarowania instalacji w części obiegu wód geotermalnych. Wymagałoby to jednakże odpowiednich decyzji formalnych.

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie wybranych, głównych parametrów, cechujących pracujące instalacje geotermalne w Polsce. Dane te uzupełniają dotychczasowe informacje na temat stanu wykorzystania energii geotermalnej w Polsce (np. Kępińska 2015).

1. METODYKA OSZACOWANIA CENY CAŁKOWITEJ ENERGII CIEPLNEJ DLA ODBIORCY KOŃCOWEGO

Określenia ceny jednostkowej zakupu energii cieplnej, która uwzględnia wszystkie składniki zawarte w taryfie rozliczeniowej (opłata stała za moc zamówioną i stawka przesyłowa oraz cenę za energię cieplną i zmienną opłatę przesyłową), dokonano przy pewnych założeniach. Minimalną granicę jednostkowego zapotrzebowania na energię cieplną konsumowaną w celach ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej, w odniesieniu do 1 m² powierzchni użytkowej i czasu jednego roku, określono na $q_{H-W_min}=70,8$ kWh/(m² rok). Odpowiada to rocznemu zapotrzebowaniu na energię pierwotną, które będzie obowiązywać od 1 stycznia 2017 roku dla budynków wielorodzinnych mając na uwadze ten sam zakres zapotrzebowania na energię ($EP_{H-W} = 85$ kWh/(m² rok) – wg Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 roku – Dz.U. 2013 poz. 926) dla obiektów podłączonych do lokalnej sieci ciepłowniczej łączącej odbiorcę z ciepłownią gazową lub olejową (wskaźnik nakładu $w_i = 1,2$ – Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z 27 lutego 2015 – Dz.U. 2015, poz. 376).

$$q_{H-W_min} = E_{PH-W} / w_i = 85 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok}) / 1,2 = 70,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok}) = 0,255 \text{ GJ}/(\text{m}^2 \text{ rok})$$

Maksymalne zapotrzebowanie na energię cieplną konsumowaną w celu ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej q_{H-W_max} określono przyjmując zapotrzebowanie na energię pierwotną $EP_{H-W} = 300$ kWh/(m² rok). Dla $w_i = 1,2$ dało to:

$$q_{H-W_max} = 300 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok}) / 1,2 = 250 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok}) = 0,9 \text{ GJ}/(\text{m}^2 \text{ rok})$$

Maksymalne zapotrzebowanie na energię odpowiada mniej więcej obiektom budowlanym wznoszonym w latach 1967–1985 (Norwisz red. 2004).

W celu określenia maksymalnego zapotrzebowania na moc grzewczą posłużono się bezwymiarowym współczynnikiem średniorocznego wykorzystania mocy maksymalnej zamówionej (współczynnikiem obciążenia LF), definiowanym jako:

$$LF = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{Q}{\max(P(\tau)) \cdot 3,1536 \cdot 10^7 \frac{s}{rok}} \quad (1)$$

gdzie:

- LF – średnioroczny współczynnik wykorzystania mocy zamówionej [-],
- Q – rzeczywista ilość energii zużytej przez odbiorcę [J/rok],
- Q_{\max} – maksymalna ilość energii zużytej przez odbiorcę, gdyby przez cały rok pobierał moc zamówioną – równą maksymalnej mocy chwilowej zamówionej $\max(P(\tau))$ [J/rok],
- $\max(P(\tau))$ – maksymalna moc chwilowa zamówiona [W],
- $3,1536 \cdot 10^7$ s/rok – ilość sekund w roku kalendarzowym.

Oszacowania maksymalnej wartości średniorocznej współczynnika wykorzystania mocy zamówionej dokonano oceniając stopień chwilowego wykorzystania mocy zamówionej $p_c(\tau)$, uwzględniającego stopień wykorzystania mocy na cele: ogrzewania $p_{co}(\tau)$ i przygotowania ciepłej wody użytkowej $p_{cwu}(\tau)$. Wielkości te zdefiniowano następująco:

$$p_{co}(\tau) = \frac{t_w - t_z(\tau)}{t_w - t_{z \min}} \quad (2)$$

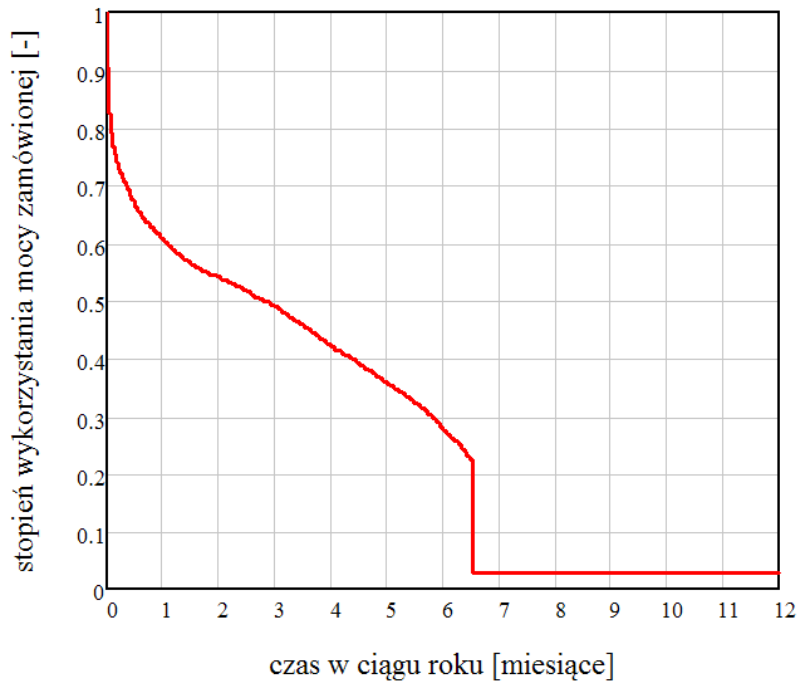
$$p_{cwu}(\tau) = \frac{Q_{cwu}}{P_{cwu \max} \cdot 3,1536 \cdot 10^7 \frac{s}{rok}} \quad (3)$$

$$p_c(\tau) = \frac{p_{co}(\tau) + p_{cwu}(\tau)}{\max(p_{co}(\tau)) + \max(p_{cwu}(\tau))} \quad (4)$$

gdzie:

- τ – czas w ciągu roku [s],
- $p_c(\tau)$ – stopień chwilowego wykorzystania całkowitej mocy zamówionej [-],
- $p_{co}(\tau)$ i $p_{cwu}(\tau)$ – stopień chwilowego zapotrzebowania na moc zamówioną dla centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej [-],
- t_w – obliczeniowa temperatura wewnętrzna [°C],
- $t_z(\tau)$ i $t_{z \min}$ – wartość chwilowa temperatury zewnętrznej i wartość minimalna [°C],
- Q_{cwu} – roczne zapotrzebowanie na energię w celu przygotowania ciepłej wody użytkowej [J/rok],
- $P_{cwu \max}$ – moc maksymalna zamówiona związana z przygotowaniem ciepłej wody użytkowej [W].

Chwilowa wartość temperatury zewnętrznej oraz wartość minimalna może zostać określona np. na podstawie „Typowych lat meteorologicznych i statystycznych danych klimatycznych do obliczeń energetycznych budynków” (MiB RP 2016). Na rysunku 1 przedstawiono wykres uporządkowany prezentujący stopień wykorzystania całkowitej mocy zamówionej przez odbiorcę. Zaprezentowany wykres uzyskano przy założeniu, że maksymalne zapotrzebowanie na całkowitą moc zamówioną przez odbiorcę odpowiada dokładnie rzeczywistemu zapotrzebowaniu na moc (moc zamówiona nie jest „przewymiarowana”).



Rys. 1. Wykres uporządkowany stopnia wykorzystania mocy maksymalnej zamówionej dla odbiorcy zlokalizowanego w Krakowie i korzystającego z energii cieplnej w celu przygotowania ciepłej wody użytkowej i ogrzewania

Fig. 1. Ordered curve of the utilization capacity of maximum power – for an energy user located in Krakow and uses the heat both for central heating and domestic water heating

Korzystając z zaprezentowanych rozważań maksymalną wartość średniorocznej wartości współczynnika wykorzystania mocy zamówionej określić można zależnością:

$$LF = \frac{\int_0^{1rok} p_c(\tau) d\tau \frac{s}{rok}}{\max(p_c(\tau)) \cdot 3,1536 \cdot 10^7 \frac{s}{rok}} \quad (5)$$

Wartość średnioroczną wykorzystania mocy zamówionej, wyrażoną powyższą zależnością dla obiektu zlokalizowanego w Krakowie (dane meteorologiczne zaczerpnięto z – MIiB RP 2016) i korzystającego z instalacji ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, oszacować można na $LF_{\max} = 0,27$. Może być ona traktowana jako maksymalnie teoretycznie możliwa do uzyskania wartość idealna. W rzeczywistości spotykamy się najczęściej z sytuacją, w której wartość mocy zamówionej przewyższa wartość rzeczywistego zapotrzebowania na moc. W tej sytuacji wartość współczynnika średniorocznego wykorzystania mocy zainstalowanej przyjmuje zdecydowanie mniejsze wartości. W dalszych obliczeniach

założono, że w skrajnym przypadku wartość LF może być o 30% mniejsza od wartości teoretycznej (LF_{\max}) – zatem wynosić będzie około $LF_{\min} = 0,19$. Idealne dopasowanie mocy zamówionej skutkować będzie redukcją kosztów stałych zaspokojenia potrzeb odbiorcy w zakresie pokrycia zapotrzebowania na energię cieplną. Zamówienie mocy większej od realnie wykorzystywanej powoduje wzrost kosztów stałych zaspokojenia potrzeb.

Na podstawie wartości LF ocenić można rzeczywistą wartość mocy zamówionej w celach grzewczych p_z :

$$p_z \left[\frac{W}{m^2} \right] = \max(p_c(\tau)) = \frac{q_{H-W} \left[\frac{GJ}{m^2 rok} \right] \frac{1rok}{(8670 \cdot 3600)s} \frac{10^9}{G}}{LF} = 31,71 \frac{q_{H-W} \left[\frac{GJ}{m^2 rok} \right]}{LF} \quad (6)$$

$$p_{z \min} \left[\frac{W}{m^2} \right] = 31,71 \frac{q_{H-W \min} \left[\frac{GJ}{m^2 rok} \right]}{LF_{\max}} \quad (7)$$

$$p_{z \max} \left[\frac{W}{m^2} \right] = 31,71 \frac{q_{H-W \max} \left[\frac{GJ}{m^2 rok} \right]}{LF_{\min}}$$

Zapotrzebowanie na moc zamówioną maksymalną i minimalną oszacowano na:

$$p_{z \min} = 31,71 (0,26 \text{ GJ}/(m^2 \text{ ok}) / 0,27) = \sim 30 \text{ W}/m^2$$

$$p_{z \max} = 31,71 (0,9 \text{ GJ}/(m^2 \text{ ok}) / 0,19) = \sim 150 \text{ W}/m^2$$

W tabeli 2 zestawiono aktualne (czerwiec 2016) taryfy rozliczeniowe obowiązujące dla wybranych przedsiębiorstw ciepłowniczych – zarówno korzystających z energii geotermalnej, jak i z konwencjonalnych nośników energii. W tabeli zestawiono wszystkich dostawców energii cieplnej wytwarzanej przy wykorzystaniu geotermii, którzy mają zatwierdzoną przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki i publikowaną taryfę rozliczeniową. W przypadku wyboru referencyjnych dostawców energii pochodzącej ze źródeł konwencjonalnych kierowano się zasadą, że muszą to być duże przedsiębiorstwa, działające na rynku obrotu energią cieplną od wielu lat – w ten sposób autorzy starali się zminimalizować błąd polegający na porównywaniu geotermii z taryfami rozliczeniowymi niepoprawnie skalkulowanymi.

Na podstawie danych zestawionych w tabeli 2 i obliczeń dotyczących zapotrzebowania na moc i energię dokonać można oceny minimalnej i maksymalnej ceny zakupu energii cieplnej przez odbiorcę końcowego:

Tabela 2

Zestawienie danych dotyczących cen energii u poszczególnych dostawców, wartości netto według stanu na czerwiec 2016

Table 2

Energy price for the final energy user (based on billing tariffs), the net value as of June 2016

Lp	Nazwa (grupa taryfowa) \ rodzaj opłaty	Opłata stała za moc zamówioną c_{smz} $\left[\frac{zł}{MW \cdot rok} \right]$	Cena za energię cieplną c_{ec} [zł/GJ]	Cena nośnika ciepła [zł/m ³]	Staća stawka opłaty przesyłowej c_{sop} $\left[\frac{zł}{MW \cdot rok} \right]$	Zmienna stawka opłaty przesyłowej c_{zop} [zł/GJ]
1	Geotermia Pyrzyce (grupa odbiorców A)	136 138,44	40,90	18,03	42 423,00	15,31
2	Geotermia Pyrzyce (grupa odbiorców B)	136 138,44	40,90	18,03	31 755,00	11,53
3	Geotermia Pyrzyce (grupa odbiorców B1)	136 138,44	40,90	18,03	38 628,48	15,47
4	Geotermia Pyrzyce (grupa odbiorców B2)	136 138,44	40,90	18,03	16 557,24	6,91
5	Geotermia Mazowiecka (grupa M1 80/60°C)	114 313,89	46,52	13,78	33 203,06	10,98
6	Geotermia Mazowiecka (grupa M2 70/50°C)	114 313,89	46,52	13,78	29 196,79	11,92
7	Geotermia Podhalańska (M1 węzeł indywidualni odbiorcy)	74 969,80	19,75	17,22	47 107,40	14,65
8	Geotermia Podhalańska (M2) węzeł indywidualni odbiorcy PEC)	74 969,80	19,75	17,22	51 897,86	19,94
9	Geotermia Podhalańska (M4 węzeł grupowy PEC)	74 969,80	19,75	17,22	59 256,95	19,94
10	Geotermia Podhalańska (G zasilanie bezpośrednie geotermia)	47 751,73	16,83	3,30	0,00	0,00
11	PEC Stargard (B1 PEC Stargard Szczeciński)	60 572,13	26,26	44,99	20 526,61	11,93
12	PEC Stargard (B2/1 PEC Stargard Szczeciński)	60 572,13	26,26	44,99	37 703,62	17,79
13	PEC Stargard (B2/2 PEC Stargard Szczeciński)	60 572,13	26,26	44,99	31 076,17	14,21
14	PEC Stargard (B3 PEC Stargard Szczeciński)	60 572,13	26,26	44,99	39 069,29	18,34
15	MPEC Kraków (KO-w z oleju opałowego)	118 169,64	72,48		0,00	0,00
16	MPEC Kraków (KG-w z gazu ziemnego)	126 723,00	59,05		0,00	0,00
17	Dalkia Warszawa SA (A12B1C3 gaz ziemny Nurzyńska 1)	100 814,64	59,34	13,23	23 490,72	8,07
18	Geotermia Mazowiecka (S1 węgiel i biomasa)	125 211,16	34,44	12,09	35 030,88	10,23
19	Dalkia Warszawa SA (A15B1C1 węgiel)	71 542,80	33,27	4,29	8 247,84	3,17
20	Dalkia W-wa SA (A3B1C221 sieć ciepłownicza, MPO)	35 801,88	25,65	7,72	28 241,64	8,81
21	MPEC Kraków SA (S1 WGP węzeł należy do MPEC)	67 819,56	24,92	16,38	44 205,24	16,38

$$c_{\min} \left[\frac{zł}{GJ} \right] = \frac{(c_{smz} + c_{sop}) \left[\frac{zł}{MW \text{ rok}} \right] P_{z_min} \left[\frac{W}{m^2} \right] + (c_{ec} + c_{zop}) \left[\frac{zł}{GJ} \right] q_{H-W_min} \left[\frac{GJ}{m^2 \text{ rok}} \right]}{q_{H-W_min} \left[\frac{GJ}{m^2 \text{ rok}} \right]} \quad (8)$$

$$c_{\max} \left[\frac{zł}{GJ} \right] = \frac{(c_{smz} + c_{sop}) \left[\frac{zł}{MW \text{ rok}} \right] P_{z_max} \left[\frac{W}{m^2} \right] + (c_{ec} + c_{zop}) \left[\frac{zł}{GJ} \right] q_{H-W_max} \left[\frac{GJ}{m^2 \text{ rok}} \right]}{q_{H-W_max} \left[\frac{GJ}{m^2 \text{ rok}} \right]} \quad (9)$$

gdzie:

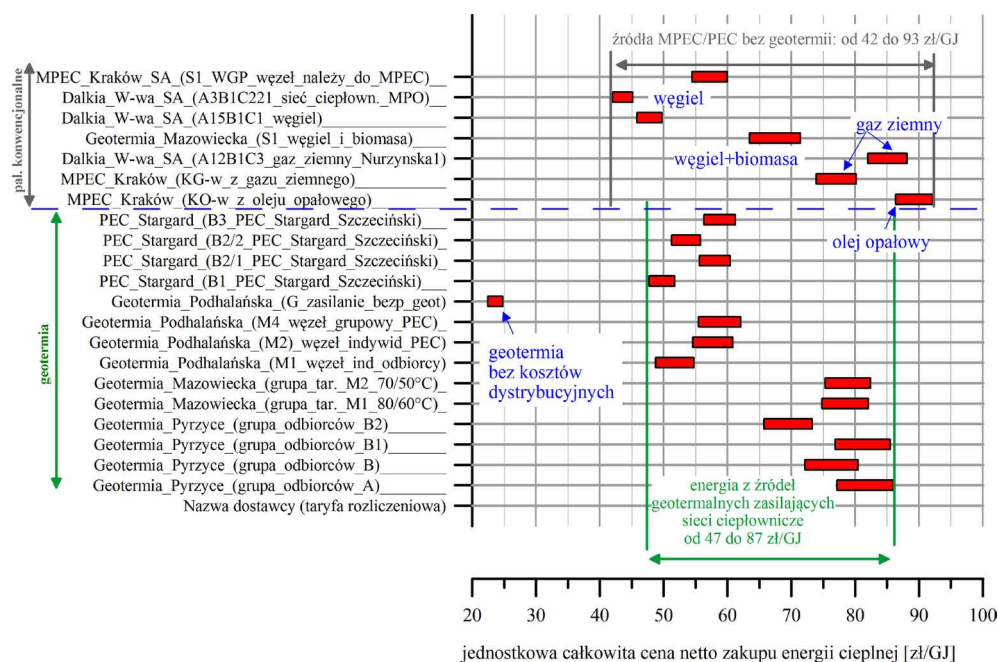
- c_{\min}, c_{\max} – minimalna i maksymalna cena energii obowiązująca odbiorcę końcowego, uwzględniająca zarówno opłaty stałe jak i zmienne,
- c_{smz} – opłata stała za moc zamówioną (tab. 2),
- c_{sop} – stałą stawką opłaty przesyłowej (tab. 2),
- c_{ec} – opłata za energię cieplną (tab. 2),
- c_{zop} – zmienna stawka opłaty przesyłowej (tab. 2).

Określona według równań 8 i 9 cena całkowita minimalna i maksymalna obowiązująca odbiorcę końcowego została przedstawiona na rysunku 2 dla wszystkich zestawionych w tabeli 2 dostawców energii.

PODSUMOWANIE

W 2015 roku całkowita geotermalna moc cieplna dla instalacji wykorzystujących wody geotermalne w Polsce może zostać oszacowana na 390 MW (tab. 1), przy rocznej produkcji energii cieplnej z geotermii około 3,37 PJ. 290 MW mocy zainstalowanej przypada na instalacje pomp ciepła, których ilość szacuje się na około 35 tys. Wytwarzają one rocznie około 2,5 PJ energii cieplnej z geotermii. Moc instalacji wykorzystujących wody geotermalne, lecznicze, w celach balneologicznych i leczniczych szacowana jest na około 7 MW (wytworzona energia z geotermii 25 TJ/rok). 94 MW to moc zainstalowana w instalacjach wykorzystujących wody geotermalne do ogrzewania i rekreacji. Ostatnia grupa instalacji wytwarza rocznie z geotermii około 845 TJ energii cieplnej.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń – bazujących na aktualnych taryfach rozliczeniowych (rok 2016) – można stwierdzić, że całkowita cena jednostkowa zakupu energii cieplnej przez odbiorcę netto, dla analizowanych źródeł (tab. 2) zawierała się w przedziale od 42 do



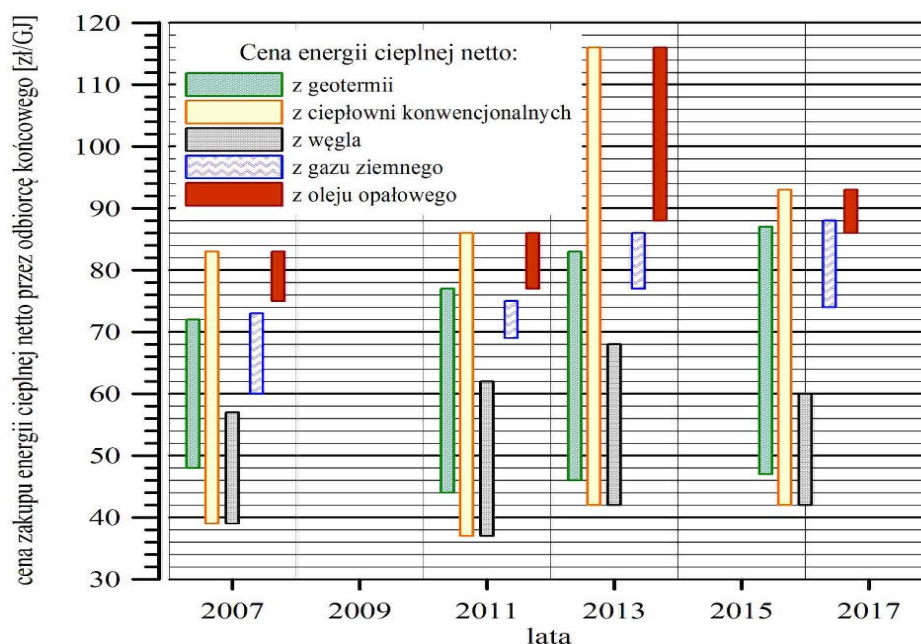
Rys. 2. Zestawienie cen jednostkowych zakupu netto energii ciepłej obowiązujących odbiorcę końcowego i zawierających wszystkie opłaty stałe i zmienne dla wybranych przedsiębiorstw w roku 2016

Fig. 2. Statement of the unitary net price of purchase heat suitable for the end user, includes all fixed charges and variables for the selected companies in 2016

93 zł/GJ (rys. 2). Jest to przedział odpowiadający dostawcom energii bazującym na konwencjonalnych nośnikach energii. Cena energii dla ciepłowni wykorzystujących węgiel zawierała się w przedziale od 42 do około 60 zł/GJ (netto – rys. 2). Cena energii dla dostawców korzystających z gazu jako nośnika energii zawierała się w przedziale od około 73 do około 88 zł/GJ. Najdroższa jest energia pochodząca z oleju opałowego jej cenę oszacowano na od około 87 do 93 zł/GJ (rys. 2). Cena energii ciepłej dla przedsiębiorstw korzystających z energii geotermalnej zawierała się w przedziale od 47 do 87 zł/GJ. Wartości od 47 do około 62 zł/GJ obowiązują tam, gdzie parametry geotermalnego źródła energii pozwalają osiągnąć wysoką temperaturę płynu geotermalnego (Stargard Szczeciński i Geotermia Podhalańska). Instalacje w tej grupie są konkurencyjne cenowo wobec dostawców wykorzystujących jako paliwo węgiel. Wartości wyższe, od 66 do 87 zł/GJ, charakteryzują instalacje, które muszą korzystać z zasobów geotermalnych o niższej temperaturze – wykorzystując pompy ciepła (Geotermia Mazowiecka i Geotermia Pyrzyce). Odbiorcy w tej grupie mogą konkurować z konwencjonalnymi źródłami energii korzystającymi z gazu ziemnego jako podstawowego nośnika energii ciepłej.

Stwierdzić można, że cena energii dla odbiorcy końcowego w przypadku źródeł korzystających z geotermii zawiera się między ceną energii pochodzącej z węgla a ceną energii z gazu ziemnego. Dostawcy energii korzystający z geotermii sprzedają energię ciepłą konkurencyjnie wobec konwencjonalnych nośników energii. Na przełomie kilku ostatnich lat

sytuacja dotycząca cen energii obowiązujących odbiorcę końcowego nie uległa znaczącym zmianom (Pająk i Bujakowski 2013, 2011 i 2007). Na rysunku 3 zaprezentowano zmiany cen w czasie charakteryzujące poszczególne nośniki, w tym geotermię. Z danych zaprezentowanych na wykresie wynika, że od roku 2013 znacznemu obniżeniu uległa cena sprzedaży energii charakteryzująca olej opałowy. Zakres cen energii pochodzącej z geotermii z czasem poszerza się (zwiększa się różnica między ceną maksymalną i minimalną), wartość średnia pozostaje mniej więcej na stałym poziomie i wynosi około 65 zł/GJ (w kolejnych latach 2007; 2011; 2013 i 2016 było to w zł/GJ: 60; 60,5; 65 i, 67).



Rys. 3. Zestawienie porównawcze cen netto energii cieplnej obowiązującej odbiorcę końcowego w przedziale czasu od roku 2007 do roku 2016 (na podstawie: Pająk i Bujakowski 2007, 2011 i 2013)

Fig. 3. Comparison of the net unitary heat price for the end-user in the time interval from 2007 to 2016 (on the basis of: Pająk and Bujakowski 2007, 2011 and 2013)

Uzyskane powyżej wyniki analizy przeprowadzonej dla wybranych źródeł energii korespondują z ogólną informacją Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki nr 17/2016 w sprawie średnich cen sprzedaży ciepła wytworzonego w jednostkach wytwórczych niebędących jednostkami kogeneracji za 2015 rok. Zgodnie z tą informacją ...w 2015 r. średnia cena sprzedaży ciepła, wytworzonego w należących do przedsiębiorstw posiadających koncesje jednostkach wytwórczych niebędących jednostkami kogeneracji: a) opalanych paliwami węglowymi wyniosła 41,52 zł/GJ, b) opalanych paliwami gazowymi wyniosła 75,24 zł/GJ, c) opalanych olejem opałowym wyniosła 109,60 zł/GJ, d) stanowiących odnawialne źródła energii wyniosła 46,44 zł/GJ (Informacja Prezesa URE 2016).

Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, grant nr 245079 (2014–2017).

LITERATURA

- Baza PSH – www.mineralne.pgi.gov.pl
- Bilans zasobów złóż i kopalin w Polsce wg. stanu na 31.XII.2013 r. Wyd. PIG-PIB, Warszawa 2014.
- BUJAKOWSKI W., 2015 — Geologiczne, środowiskowe i techniczne uwarunkowania projektowania i funkcjonowania zakładów geotermalnych w Polsce. Studia Rozprawy Monografie Nr 193, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- CIEŹKOWSKI W., LIBER-MAKOWSKA E., 2011 — Charakterystyka warunków występowania i eksploatacji wód termalnych Łądka-Zdroju. Technika Poszukiwań Geologicznych, Nr 1–2, str. 61–69.
- DZIEWAŃSKI J. (red.), 1993 — Encyklopedyczny słownik zoologiczny (ochrona środowiska). Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków.
- Informacja Prezesa URE, 2016 -www.ure.gov.pl/pl/stanowiska/6478,Informacja-nr-172016.html
- KEPIŃSKA B., 2015 — Geothermal Energy Country Update Report from Poland 2010–2014. Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 11 pp.
- LISIK R., SZCZEPAŃSKI A., 2014 — Siarczkowe wody lecznicze w części zapadliska przedkarpacciego. Wyd. Posteris. Kielce.
- PAJAŁ L., BUJAKOWSKI W., 2013 — Porównanie cen energii cieplnej pochodzącej z instalacji geotermalnych z cenami konwencjonalnych źródeł energii na podstawie taryf rozliczeniowych obowiązujących w 2013 roku. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1, str. 35–45.
- PAJAŁ L., BUJAKOWSKI W., 2011 — Porównanie cen zakupu energii pochodzącej z polskich ciepłowni geotermalnych z energią innych dostawców w świetle obowiązujących taryf rozliczeniowych. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1–2, str. 237–244.
- PAJAŁ L., BUJAKOWSKI W., 2007 — Analiza cen energii cieplnej pochodzącej z działających w Polsce ciepłowni geotermalnych. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1, str. 9–15.
- NORWISZ J. (red.), 2004 — Termomodernizacja budynków dla poprawy jakości środowiska. Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii, Gliwice.
- Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa RP. Wskaźniki emisji i wartości opałowe paliwa oraz typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków, http://mib.gov.pl/2-Wskazniki_emisji_wartosci_opalowe_paliwa.htm#, dostęp 2016.06.17.
- Dalkia Warszawa, 2014. Aktualny wyciąg cen oraz stawek opłat stosowanych przez Dalkię Warszawa S.A. od dnia 1.08.2014 r.
- MPEC Kraków S.A., 2016. Taryfa MPEC S.A. w Krakowie dla odbiorców ciepła (netto) obowiązująca od 01.01.2016 r.
- PEC Stargard, 2015. Taryfa dla ciepła obowiązująca od 1 września 2015 r.
- Załącznik do Decyzji Nr OSZ-4210-23(14)/2014/420/XI/CK Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki z dnia 15 października 2014 r. „GEOTERMIA PYRZYCE” Sp. z o.o. 74-200 Pyrzyce, ul. Ciepłownicza 27 TARYFA DLA CIEPŁA Pyrzyce, 2014 r.
- Załącznik do decyzji Prezesa URE z dnia 12 maja 2016 r. nr OKR-4210-42(14)/2015/2016/401/IX JI Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Geotermia Podhalańska S.A. TARYFA DLA CIEPŁA

Taryfa dla ciepła Geotermia Mazowiecka S.A. ul. Spółdzielcza 9A 96-320 Mszczonów. Dziennik Urzędowy Województwa Mazowieckiego. Warszawa 17 grudnia 2015 r., poz. 11449.

ANALYSIS OF CHANGES IN THE PRICE OF THERMAL ENERGY DERIVED FROM GEOTHERMAL INSTALLATIONS VERSUS PRICES OF SELECTED CONVENTIONAL ENERGY SOURCES ACCORDING TO TARIFFS SETTLEMENT FROM 2007–2016

ABSTRACT

The paper presents an overview of systems based on geothermal energy operating in Poland. The existing data published in the literature has been supplemented with new data. The total thermal power installed in the geothermal energy in the country is estimated at 390 MW and an annual production of energy 3.37 PJ (installed capacity and energy produced are generally connected to heat pump systems). The second part of the paper, based on the applicable tariffs settlement, estimates the total price of thermal energy for final user derived from geothermal installations taking all fixed and variable costs associated with the production and distribution of energy into account. These prices were compared with prices of energy from conventional energy carriers. The range of the total energy prices derived from conventional energy was estimated as from 42 to 93 PLN/GJ (1 PLN = 0.26 USD or 0.23 EUR). The range of price for energy based on geothermal equals from 47 to 87 PLN/GJ. It might be said that geothermal energy it is not more expensive than energy based on conventional energy sources. The article is a continuation of the cycle conducted by the authors from 2007. Analysis is comparing the price of energy from geothermal and conventional energy carriers. During this time period the ratio of the price of geothermal energy versus conventional energy sources are not significantly affected.

KEYWORDS

Geothermal energy, installed capacity, energy production, tariffs settlement, the price of energy

