

Leszek PAJĄK<sup>1</sup>, Antoni P. BARBACKI<sup>1</sup>, Marta DENDYS<sup>1</sup>, Sławomir JANKOWSKI<sup>1</sup>

## WIELOWARIANTOWA ANALIZA GEOTERMALNEGO SYSTEMU CIEPŁOWNICZEGO W KONSTANTYNOWIE ŁÓDZKIM

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono informacje geologiczne i hydrogeologiczne o poziomach wód geotermalnych w rejonie miasta Konstantynów Łódzki, w aspekcie wykorzystania ich dla celów ciepłowniczych. Jako najbardziej przydatny do tych celów wytypowano zbiornik jury dolnej. Opracowany wielowariantowy model źródła energii zawierał następujące elementy: bezpośredni wymiennik ciepła geotermalnego, pompy ciepła absorpcyjne albo sprężarkowe (alternatywnie) oraz przyłącze do istniejącej sieci ciepłowniczej. Najlepszym wariantem energetycznym był wariant zakładający włączenie do systemu części odbiorców systemu ciepłowniczego miasta Łodzi. W aspekcie ekonomicznym najlepszy okazał się wariant zakładający wykorzystanie energii geotermalnej przy wspomaganie pomp ciepła przez Konstantynów Łódzki i przejęcie części odbiorców zasilanych z miejskiej sieci ciepłowniczej poza sezonem grzewczym. Wszystkie analizowane warianty wykorzystania energii geotermalnej dla Konstantynowa Łódzkiego zakładające wykorzystanie energii geotermalnej uzyskały pozytywny efekt ekologiczny w postaci redukcji emisji zanieczyszczeń.

### SŁOWA KLUCZOWE

Konstantynów Łódzki, wody geotermalne, ciepłownictwo, systemy hybrydowe, redukcja emisji

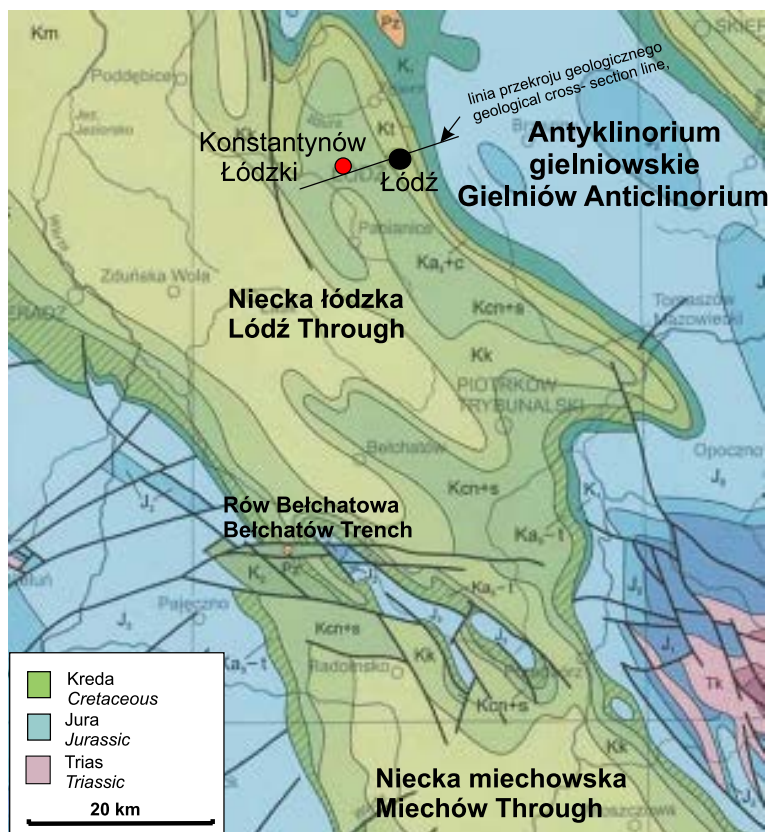
\* \* \*

---

<sup>1</sup> Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Pracownia Odnawialnych Źródeł Energii, ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków.

## 1. WARUNKI HYDROGEOTERMALNE W REJONIE KONSTANTYNOWA ŁÓDZKIEGO

Omawiany obszar znajduje się w centralnej części synklinorium łódzkiego (niecka łódzka), które od wschodu graniczy z antyklinorium gielniowskim i od południa z niecką miechowską (rys. 1).

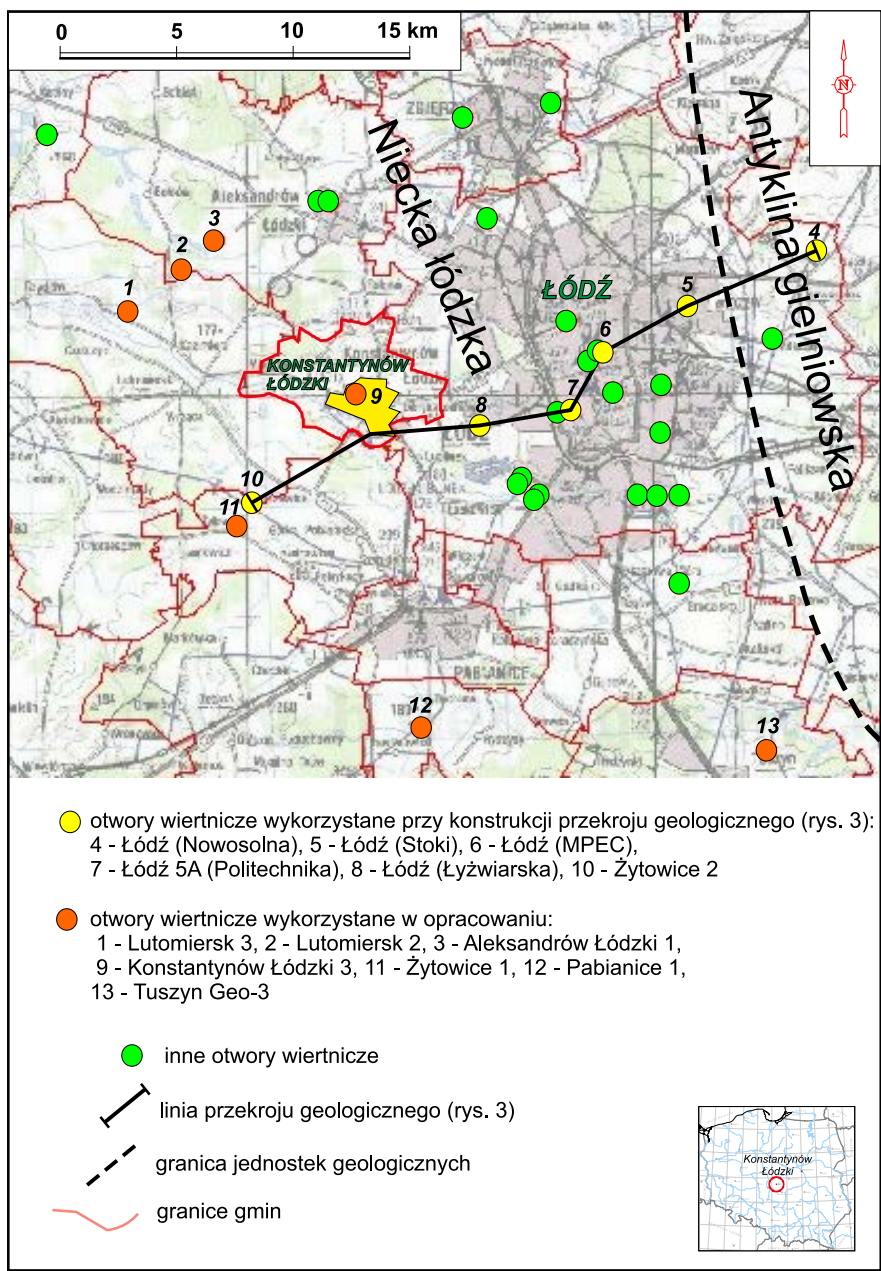


Rys. 1. Sytuacja geologiczna analizowanego obszaru na tle „Mapy geologicznej Polski bez utworów kenozoiku” (wg Dadlez i in. 2000)

Fig. 1. Geological situation of the study area against the background of the “Geological map of Poland without Cenozoic formations” (after Dadlez et al. 2000)

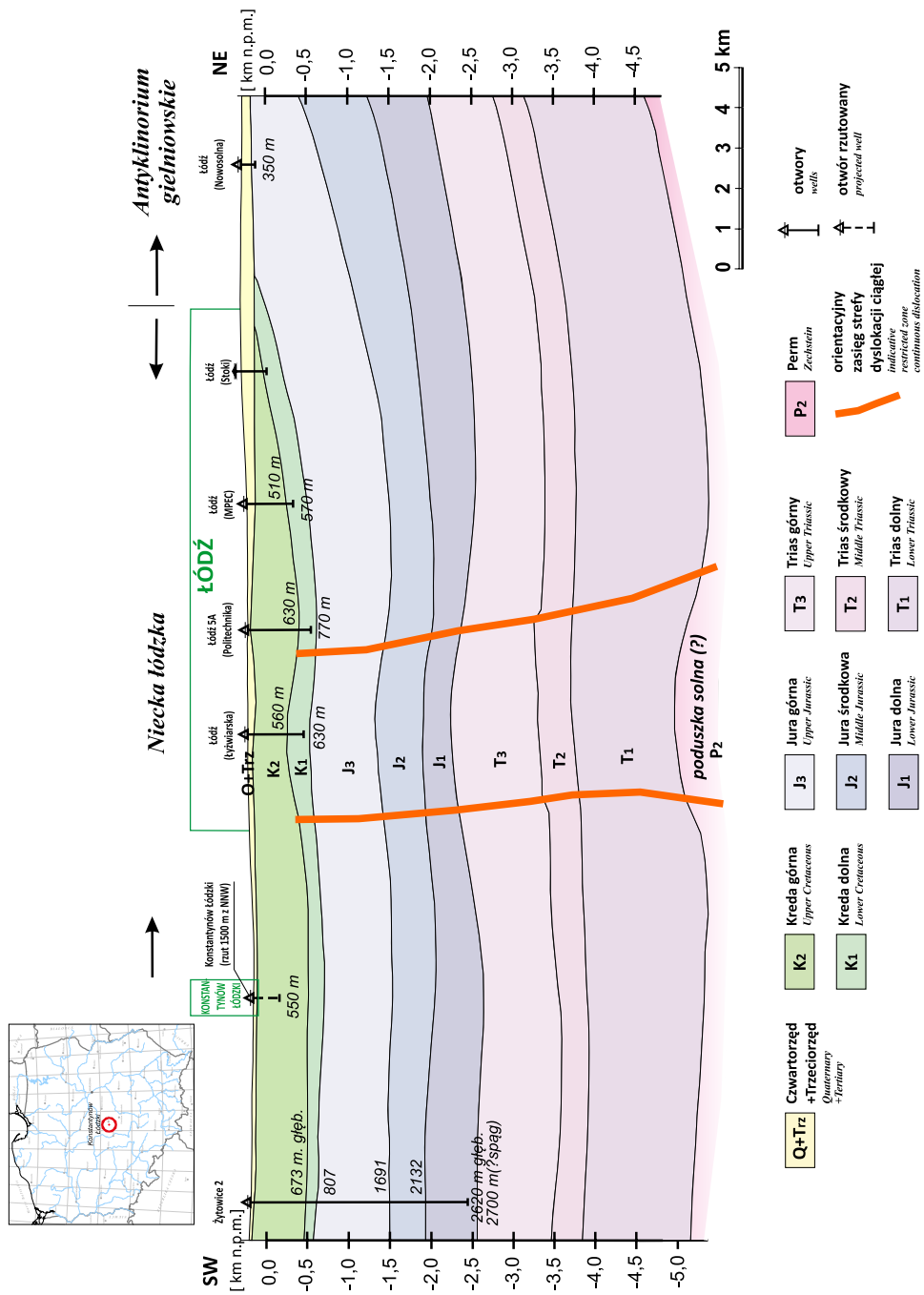
Niecka łódzka, a w tym rejon Konstantynowa Łódzkiego, zbudowane są z osadów permsko-mezozoicznych. Schematyczny przekrój geologiczny (lokalizacja przekroju na rys. 2) przez omawiany obszar przedstawiono na rysunku 3. Ze względu na cel i zakres analiz ograniczono się do omówienia charakterystyki kompleksu mezozoicznego.

Utwory triasu dolnego wykształcone są jako czerwone iły, piaskowce wiśniowe, margle, wapienie i dolomity. Według *Atlasu zasobów geotermalnych na Niżu Polskim* (Górec-



Rys. 2. Lokalizacja głębokich otworów wiertniczych i przebieg przekroju geologicznego z rys. 3 (mapa podkładowa: CBDG PIG-PIB Warszawa – online, wrzesień 2016)

Fig. 2. Location of the wells analysed and the line of geological cross-section from Fig. 3 (base map after CBDG PIG-PIB Warszawa – online, September 2016)



Rys. 3. Przekrój geologiczny przez rejon Żytoń-Lódź (Nowosolna) wg danych otworowych CBDG PIG-PIB Warszawa – online, wrzesień 2016  
 Fig. 3. Geological cross-section through Żytoń-Lódź (Nowosolna) according to the CBDG PIG-PIB Warszawa – online, September 2016

ki i in. 2006), na tym obszarze jest możliwe uzyskanie wydajności do 80 m<sup>3</sup>/h i temperatur rzędu 100°C z głębokości 3500 m, przy wysokiej mineralizacji wód, do około 200 g/l.

Utwory triasu środkowego wykształcone są w postaci wapieni, margli, iłowców, dolomitów, wapieni z wkładkami anhydrytów i wapieni falistych. W analizowanej strefie kompleks ten występuje na głębokościach 3300–3500 m, więc wody stropowe miałyby temperaturę złożową rzędu 95°C. Ich wydajność jest jednak trudna do oceny i jedynie lokalnie można ją oszacować na około 20–30 m<sup>3</sup>/h.

Utwory triasu górnego to głównie utwory ilaste z wkładkami piaskowców oraz gipsu i anhydrytu. Na omawianym obszarze retyk reprezentują iłowce popielato-szare, iłowce pstre, mułowce dolomityczne, piaskowce i zlepieńce. Za główny poziom wodonośny uznaje się poziom piaskowca trzciniowego kajpru górnego. Wydajność tych wód nie była badana; wspomniane opracowanie (Górecki i in. 2006) podaje maksymalne wartości rzędu 100 m<sup>3</sup>/h, lecz wartości te są orientacyjne. W analizowanym obszarze strop triasu górnego występuje na średniej głębokości około 2600 m, stąd temperatury złożowe występujących tu wód mogą znajdować się w przedziale wartości 70–75°C.

Jura dolna reprezentowana jest przez naprzemianległe osady ilasto-mułowcowo-piaszczyste. Kompleks jury dolnej traktowany jest jako najważniejszy zbiornik wód geotermalnych Niżu Polskiego. Średnia przepuszczalność utworów to 1,1 D, natomiast średnia porowatość efektywna około 20% (Górecki 1995). Mineralizacja wód zbiornika dolnojurajskiego oceniana jest w tym rejonie na około 50 g/l w poziomach stropowych z gradientem hydrogeochemicznym 3,0 g/l/100 m. Są to solanki, głównie typu Cl-Na.

Realnie można przyjąć, że wydajność pojedynczego otworu w tej strefie będzie wynosić 100–150 m<sup>3</sup>/h, a zwierciadło swobodne będzie występować na głębokości około 50 m poniżej powierzchni terenu. Ocenia się, że w analizowanym obszarze, gdzie strop zalega na głębokości około 2100 m temperatura stropowych utworów i wód dolnej jury może wynosić około 65°C, natomiast partii spągowych zgodnie z gradientem geotermicznym szacowanym tu na 3,0°C/100 m i przy miąższości jury 500 m temperatura na głębokości 2800 m wyniosłaby około 75°C.

Utwory jury środkowej na analizowanym obszarze to utwory głównie piaskowcowe, drobnoziarniste i porowate oraz łupki, mułowce, iłowce, a w części stropowej (kelowej) – wapień. Wydajności wód poziomu środkowo-jurajskiego dla pojedynczego otworu można ocenić na około 50 m<sup>3</sup>/h. W obszarze analiz strop zalega na głębokości około 1700 m, temperatura stropowych utworów i wód środkowej jury może wynosić około 55°C.

Utwory jury górnej to głównie wapień, często margliste lub piaszczyste, margle z wkładkami gipsów i anhydrytów. Wody tego zbiornika w partiach stropowych mogą osiągać temperatury rzędu 25°C, a w partiach spągowych około 55°C.

Kredę dolną reprezentuje seria iłowców i mułowców z wkładkami syderytów. Strop zbiornika w omawianej strefie zalega na głębokości około 650–700 m (rys. 3), natomiast miąższość całego kompleksu oceniana jest tutaj na około 200, maksymalnie do 300 m. Mineralizacja wód zbiornika dolnokredowego oceniana jest w tym rejonie na około 0,3 g/l. Są to wody słodkie. Wydajności wód z poziomu dolnokredowego dla pojedynczego otworu można ocenić na 100–250 m<sup>3</sup>/h. Wobec głębokości stropu 500–700 m temperatury wód będą rzędu 20°C.

W analizowanej strefie szacowane parametry wód termalnych w obrębie występujących tu zbiorników przedstawiają się następująco:

- jura dolna: temperatura 60–75°C, wydajność 100–160 m<sup>3</sup>/h, interwał głębokościowy 2100–2700 m, mineralizacja 40–120 g/l,
- jura środkowa: temperatura 50–60°C, wydajność 60–80 m<sup>3</sup>/h, interwał głębokościowy 1700–2100 m, mineralizacja 35–40 g/l
- trias górny: temperatura 75–120°C, wydajność 20–40 m<sup>3</sup>/h, interwał głębokościowy 2700–3700 m, mineralizacja 120–169 g/l,
- jura górna: temperatura 25–50°C, wydajność 20–40 m<sup>3</sup>/h, interwał głębokościowy 800–1700 m, mineralizacja 15–35 g/l,
- kreda dolna: temperatura 22–25°C, wydajność 40–100 m<sup>3</sup>/h, interwał głębokościowy 700–800 m, mineralizacja < 1 g/l.

Reasumując, analizy parametrów hydrogeotermalnych uzyskanych z otworów odwierconych na obszarze badań (oraz w jego sąsiedztwie) wskazują, że dla geotermalnego wykorzystania najbardziej predystynowany jest głównie zbiornik jury dolnej.

## **2. WARIANTOWA ANALIZA GEOTERMALNEGO SYSTEMU CIEPŁOWNICZEGO W KONSTANTYNOWIE ŁÓDZKIM**

### **2.1. Dostępne zasoby geotermalne**

Według przedstawionych analiz prognozowane parametry eksploatacyjne otworu geotermalnego Konstancynów Łódzki GT-1 są następujące:

- planowany do ujęcia horyzont geotermalny: jura dolna,
- planowany do ujęcia interwał głębokości 2200–2700 m p.p.t.,
- prognozowana temperatura głowicowa wód termalnych 60–75°C (do obliczeń przyjęto wartość 70°C). Temperaturę złożową przewiduje się na poziomie 71°C,
- prognozowana wydajność ujęcia 100–160 m<sup>3</sup>/h (do obliczeń przyjęto wartość średnią 130 m<sup>3</sup>/h),
- prognozowana mineralizacja całkowita 40–120 g/litr (zależnie od pochodzenia głównego dopływu wód: spąg/strop jury dolnej),
- poziom zwierciadła statycznego 50 m p.p.t., dynamicznego 180 m p.p.t. (depresja jednostkowa 1 m/m<sup>3</sup>/h).

### **2.2. Opis istniejącej infrastruktury ciepłowniczej**

Planuje się, że energia pozyskana z ujęcia geotermalnego wykorzystującego projektowany otwór geotermalny Konstancynów Łódzki GT-1, zostanie wykorzystana do zaspokojenia potrzeb ciepłych zasobów mieszkaniowych ogrzewanych dotychczas ciepłem sieciowym

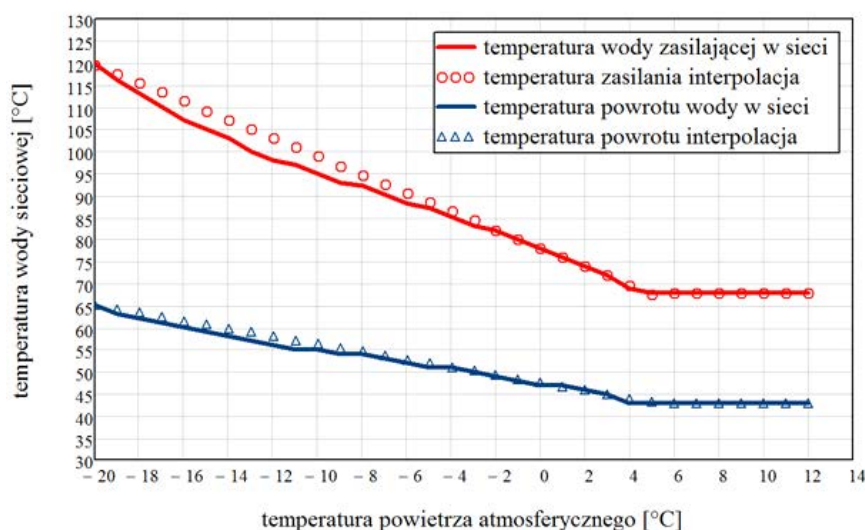
pochodzącym z sieci ciepłowniczej miasta Łodzi. Operatorem sieci ciepłowniczej jest Veolia Energia Łódź, która włączyła odbiorców Konstantynowa Łódzkiego do swojego systemu ciepłowniczego w sezonie grzewczym 2016/2017. Wcześniej potrzeby ciepłe w Konstantynowie Łódzkim zaspokajała istniejąca, lecz obecnie nieeksploatowana, ciepłownia miejska o mocy zainstalowanej 10 MW. Wytwarzała ona rocznie około 51,8 TJ energii cieplnej i zużywała około 1,5 mln m<sup>3</sup> gazu wysokometanowego rocznie. Ciepłownia ta jest oddalona ok. 20 m od miejsca lokalizacji projektowanego otworu Konstantynów Łódzki GT-1. Stanowi ona dobre miejsce włączenia otworu do systemu energetycznego. Sterowanie mocą dostarczoną odbywało się przez wykorzystanie tzw. tabeli regulacji oraz przez korektę strumienia wody sieciowej. Strumień wody sieciowej zmieniał się od 90 do 130 m<sup>3</sup>/h w zimie i od 15 do 30 m<sup>3</sup>/h w lecie (przygotowanie ciepłej wody użytkowej). Obecnie ciepłownia zastąpiona została ciepłem sieciowym pochodzącym z: węgla kamiennego w 86,55% i biomasy 12,26%, a inne paliwa stanowią dopełnienie do 100%. Całkowita długość lokalnej sieci ciepłowniczej wynosi w Konstantynowie 6,5 km, z tego około 93% to sieć preizolowana. Moc zamówiona przez odbiorców wynosi 7873 kW, a sprzedaż ciepła szacowana jest na 45 234 GJ/rok (źródło powyższych informacji: Konstantynowskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o.). Moc przyłączonych odbiorców wykorzystujących ciepło sieciowe do przygotowania ciepłej wody oszacowano na około 800 kW. Konstantynowskie Przedsiębiorstwo Komunalne kupuje natomiast ciepło w Veolia Energia Łódź SA (moc zamówiona: 6,5 MW).

Aktualnie wykorzystywany jest sposób sterowania mocą dostarczoną, na podstawie parametrów obowiązujących w sieci ciepłowniczej Veolia Energia Łódź. Rysunek 4 przedstawia temperaturowe krzywe sterowania mocą dostarczoną. Wskaźniki emisji zanieczyszczeń cechujące źródła energii wykorzystywane przez przedsiębiorstwo Veolia Energia Łódź SA podano poniżej, jest to emisja odniesiona do energii zużytej przez odbiorcę, przy uwzględnieniu strat ciepła na przesyle (źródło: Veolia Energia Łódź):

- 107,524 kg/GJ dla CO<sub>2</sub>,
- 0,338 kg/GJ dla SO<sub>2</sub>,
- 0,191 kg/GJ dla NO<sub>x</sub>,
- 8,4 g/GJ dla pyłu całkowitego.

Dane dotyczące rocznego zapotrzebowania na energię są danymi średnimi za ostatnie trzy lata (obejmują okres 2012/2013, 2013/2014 i 2014/2015). Okres ten charakteryzował się dość wysokimi temperaturami średnimi rocznymi – zapotrzebowanie na energię nie było zatem duże. Dodatkowo w Konstantynowie Łódzkim udział odbiorców korzystających z ciepła sieciowego w celu przygotowania ciepłej wody użytkowej nie jest znaczący. Wartość typowa średniorocznego współczynnika wykorzystania mocy zamówionej przez odbiorców (definiowanego jako stosunek energii realnie zużytej przez odbiorcę do energii, którą mógłby on zużyć, gdyby przez cały rok zużywał moc maksymalną zamówioną) wynosi około 0,22–0,25. W analizowanym przypadku, za ostatnie trzy lata, wynosi ona około 0,18 – czyli jest znacząco niższa od wartości typowych. Obok relatywnie ciepłych lat opisana sytuacja może świadczyć o znaczącym przewymiarowaniu mocy zamówionej przez odbiorców w stosunku do ich rzeczywistych potrzeb. W obliczeniach zapotrzebowanie na

moc i konsumpcję energii, oszacowano na podstawie *Typowych lat meteorologicznych i danych klimatycznych dla obliczeń energetycznych budynków* (Ministerstwo... 2017), dla stacji meteorologicznej Łódź Lublinek.



Rys. 4. Krzywa sterowania mocą dostarczoną sieci ciepłowniczej, dane rzeczywiste (linie ciągłe) i interpolowane (punkty na wykresie – wykorzystywane w dalszych obliczeniach), na podstawie danych Veolia Energia Łódź SA

Fig. 4. Supplied capacity control graphs, actual data (solid lines) and interpolated data (points used in further calculations), Veolia Energia Łódź SA

### 2.3. Wariantowy sposób wykorzystania energii geotermalnej

Bazując na przeprowadzonym rozpoznaniu warunków geotermalnych i lokalnej infrastruktury ciepłowniczej, a także konsultacjach z operatorem miejskiej sieci ciepłowniczej (Veolia Energia Łódź), przewidziano następujące warianty eksploatacji ujęcia geotermalnego:

- wariant bazowy **dhA** (*dh* – district heating, *A* – actual energy user). Wariant ten pokazuje poziom odniesienia, czyli opisuje warunki panujące obecnie. Założono, że odbiorca potrzebuje aktualnie mocy całkowitej około 8,1 MW, z tego 7,4 MW na centralne ogrzewanie i 700 kW na przygotowanie ciepłej wody. Odbiorca włączony jest do sieci ciepłowniczej Veolia Energia Łódź;
- wariant **dhGeoA** (*dh* – district heating, *Geo* – geothermal, *A* – actual energy user). Wariant zakłada wykorzystanie ujęcia wód geotermalnych wspomaganego energią z miejskiej sieci ciepłowniczej. Wariant ten opisuje sytuację jaka by zaistniała gdy-

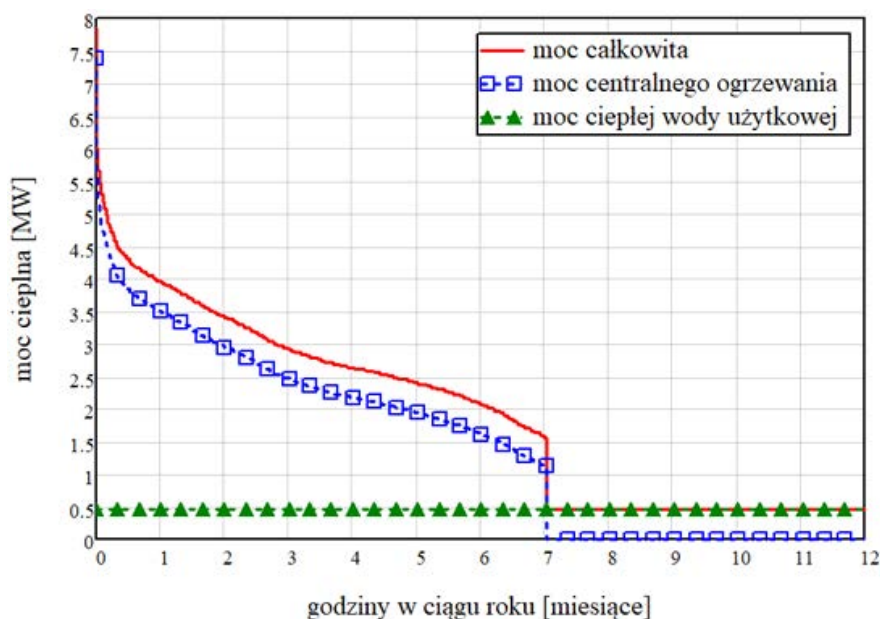


by wykonano ujęcie wód geotermalnych w Konstancynie i korzystano w okresach szczytowego zapotrzebowania na moc z sieci ciepłowniczej jako źródła szczytowego. Dotyczy on zatem aktualnie podłączonych do węzła cieplnego w Konstancynie Łódzkim odbiorców. Założono, że wymagane parametry zasilania odbiorcy wynoszą 90/70/20/-20°C. Parametry pracy źródła dopasowane są do parametrów odbiorcy, a nie sieci miejskiej – ponieważ źródło dostarcza energię tylko lokalnie, na terenie Konstancyna Łódzkiego;

- wariant **ahpEhw** (*ahp* – absorption heat pumps, *E* – extended energy user, *hw* – hot tap water). Wariant zakłada poszerzenie grona odbiorców współpracujących z ujęciem geotermalnym (odbiorcy aktualnie podłączeni do węzła w Konstancynie) o odbiorców korzystających obecnie z miejskiej sieci ciepłowniczej w zakresie przygotowania ciepłej wody użytkowej w okresie letnim (poza sezonem grzewczym). W okresie letnim straty mocy związane z dystrybucją w miejskim systemie ciepłowniczym są procentowo znaczące. Dlatego włączenie odbiorców znajdujących się daleko od źródeł energii (elektrociepłowni), np. w rejonie Konstancyna Łódzkiego oznacza ograniczenie strat ciepła. Moc dodatkowych odbiorców w zakresie przygotowania ciepłej wody użytkowej wynosiła 890 kW, przy zapotrzebowaniu na energię poza sezonem grzewczym na poziomie 12 TJ/rok. Źródło energii ma parametry robocze dopasowane do sieci ciepłowniczej, ale jedynie w okresie lata (cwu-68/43°C) – w zasadzie nie stanowi to ograniczenia w jego stosowaniu;
- wariant **chpEhw** (*chp* – compressor heat pumps, *E* – extended energy user, *hw* – hot tap water). Jest to wariant identyczny do ahpEhw, z tą różnicą, że przewidziano w nim zastosowanie sprężarkowych pomp ciepła;
- wariant **ahpEhwCh** (*ahp* – absorption heat pumps, *E* – extended energy user, *hwCh* – hot tap water and central heating). Wariant zakłada, obok odbiorców aktualnie włączonych do węzła cieplnego w Konstancynie, przejęcie części odbiorców systemu ciepłowniczego miasta Łodzi i włączenie ich do ciepłowni geotermalnej wykorzystującej absorpcyjne pompy ciepła. Potrzeby odbiorców zaspokajane są w zakresie centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Moc całkowita dodatkowo przyłączonych odbiorców to około 7800 kW, z czego 7200 kW przypada na centralne ogrzewanie a 600 kW na przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Źródło musi współpracować z siecią ciepłowniczą przez cały rok, zatem temperaturowe parametry robocze wynoszą w okresie grzewczym co-120/65/20/-20°C, a poza nim cwu-68/43°C;
- wariant **chpEhCh** (*chp* – compressor heat pumps, *E* – extended energy user, *hwCh* – hot tap water and central heating). Wariant analogiczny do wariantu ahpEhwCh, z tą różnicą, że zastosowano sprężarkowe pompy ciepła.

Charakterystyka odbiorcy uzależniona jest od rodzaju instalacji grzewczej – jej parametrów projektowych oraz lokalnych warunków klimatycznych. Te z kolei zostały opisane przy wykorzystaniu typowych lat meteorologicznych zalecanych przez Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa do sporządzania obliczeń energetycznych.

Poniżej na rysunkach 5 i 6 przedstawiono charakterystykę cieplną odbiorcy aktualnie włączonego do węzła w Konstancynie Łódzkim – odbiorca dla wariantu dhA i dhGeoA. Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono obiorcę aktualnie włączonego do węzła w Konstancynie uzupełnionego o odbiorców dodatkowych w okresie lata, dla których ciepłownia geotermalna będzie dostarczała energię w celu przygotowania ciepłej wody – odbiorca dla wariantów: ahpEhw i chpEhw. Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono charakterystykę odbiorcy dla wariantu zakładającego przejście przez ciepłownię geotermalną dodatkowych odbiorców w zakresie ogrzewania i przygotowania ciepłej wody – warianty ahpEhwCh i chpEchCh.

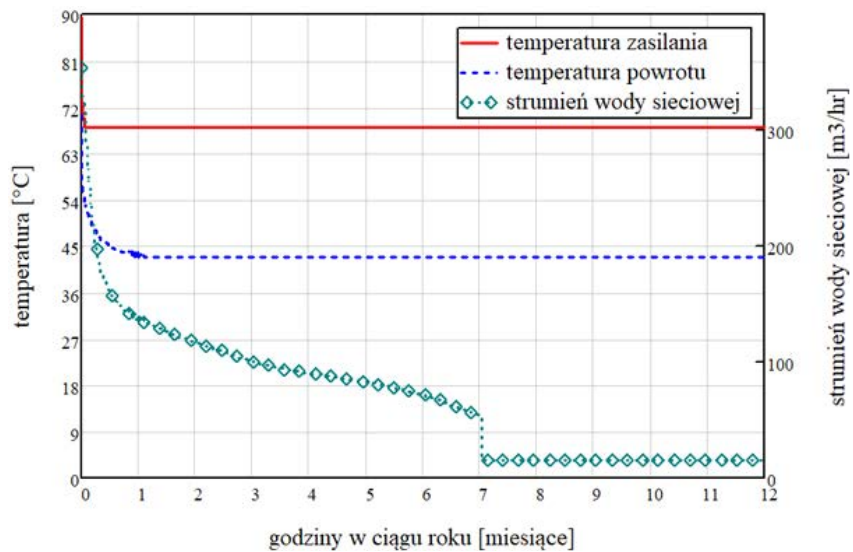


Rys. 5. Charakterystyka chwilowego zapotrzebowania na moc dla odbiorcy aktualnie obsługiwanego w funkcji czasu (odbiorca dla wariantów dhA i dhGeoA). Krzywa uporządkowana ze względu na moc całkowitą

Fig. 5. The characteristics of the thermal power demand for the recipient currently served vs. time (heat users in Options dhA and dhGeoA). Curve: ordered vs. total power

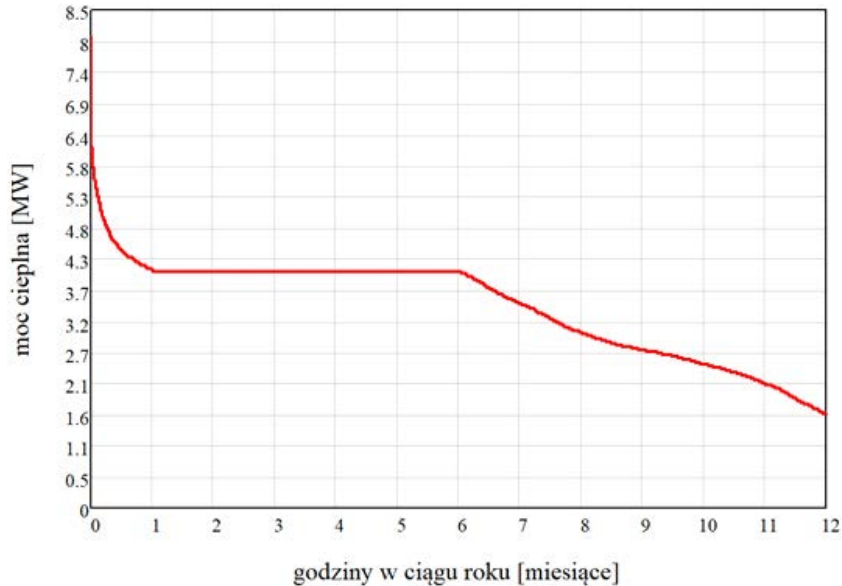
#### 2.4. Wielowariantowy model źródła energii cieplnej

Obliczenia energetyczne, ekonomiczne oraz szacunki związane z określeniem efektu ekologicznego wykonano przy wykorzystaniu modelu matematycznego źródła energii współpracującego ze zdefiniowanym wcześniej odbiorcą. Źródło energii dawało możliwość analizowania efektów pracy wielu źródeł współpracujących razem w systemie hybrydowym. Schemat ogólny źródła przedstawiono na rysunku 11. Model zawierał następujące elementy: bezpośredni wymiennik ciepła geotermalnego, pompy ciepła absorpcyjne albo sprężarkowe (alternatywnie – zależnie od przyjętego wariantu obliczeń) oraz przyłącze (węzeł ciepłowni-



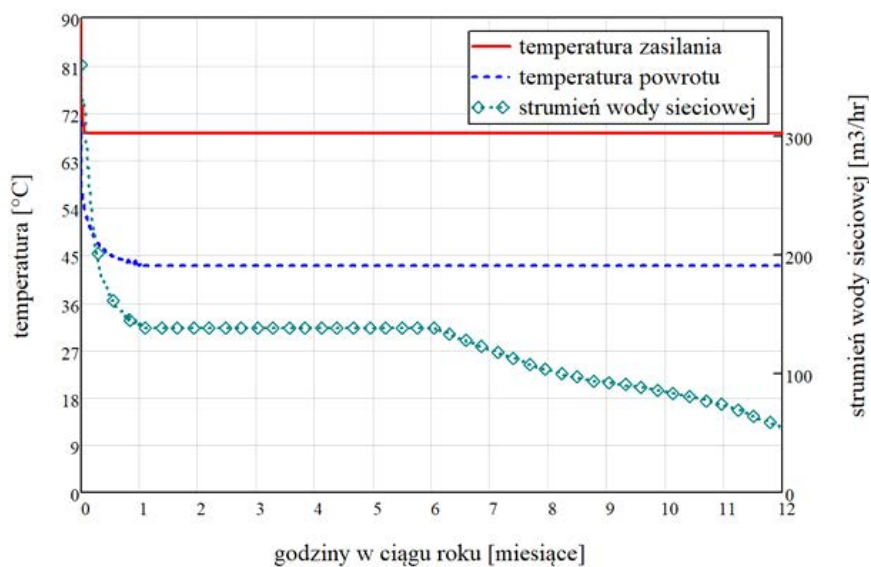
Rys. 6. Charakterystyka chwilowego zapotrzebowania na moc dla odbiorcy aktualnie obsługiwanego w funkcji czasu (odbiorca dla wariantu dhA)

Fig. 6. The characteristics of instantaneous power demand for the recipient currently served as a function of time (heat user in Option dhA)



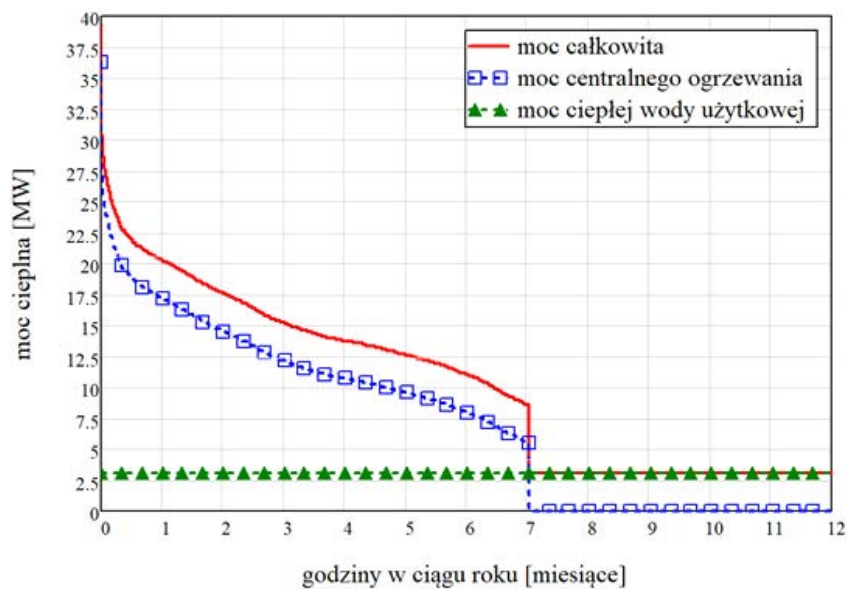
Rys. 7. Charakterystyka chwilowego zapotrzebowania na moc dla odbiorcy aktualnie obsługiwanego w funkcji czasu (odbiorca dla wariantu: ahpEhw i chpEhw). Krzywa uporządkowana ze względu na moc całkowitą

Fig. 7. The characteristics of the thermal power demand for the recipient currently served vs. time (heat user in Options ahpEhw and chpEhw). Curve: ordered vs. total power



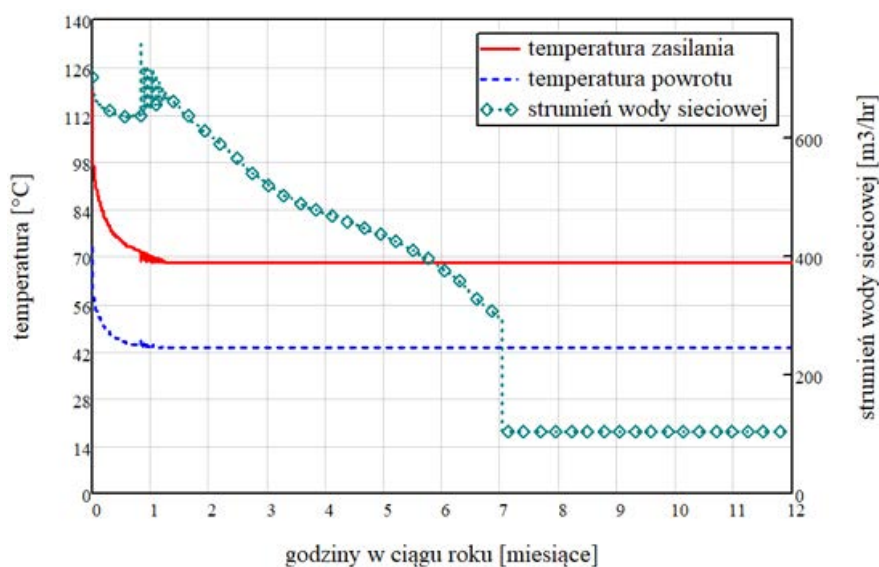
Rys. 8. Charakterystyka chwilowego zapotrzebowania na moc dla odbiorcy aktualnie obsługiwanego w funkcji czasu (odbiorca dla wariantów ahpEhw i chpEhw)

Fig. 8. The characteristics of the thermal power demand for the recipient currently served vs. time (heat user in Options ahpEhw and chpEhw)



Rys. 9. Charakterystyka chwilowego zapotrzebowania na moc dla odbiorcy znacząco poszerzonego w funkcji czasu (odbiorca dla wariantów ahpEhwCh i chpEhwCh). Krzywa uporządkowana ze względu na moc całkowitą

Fig. 9. The characteristics of the thermal power demand for the recipient currently served vs. time (heat user in Options ahpEhw and chpEhw). Curve: ordered vs. total power



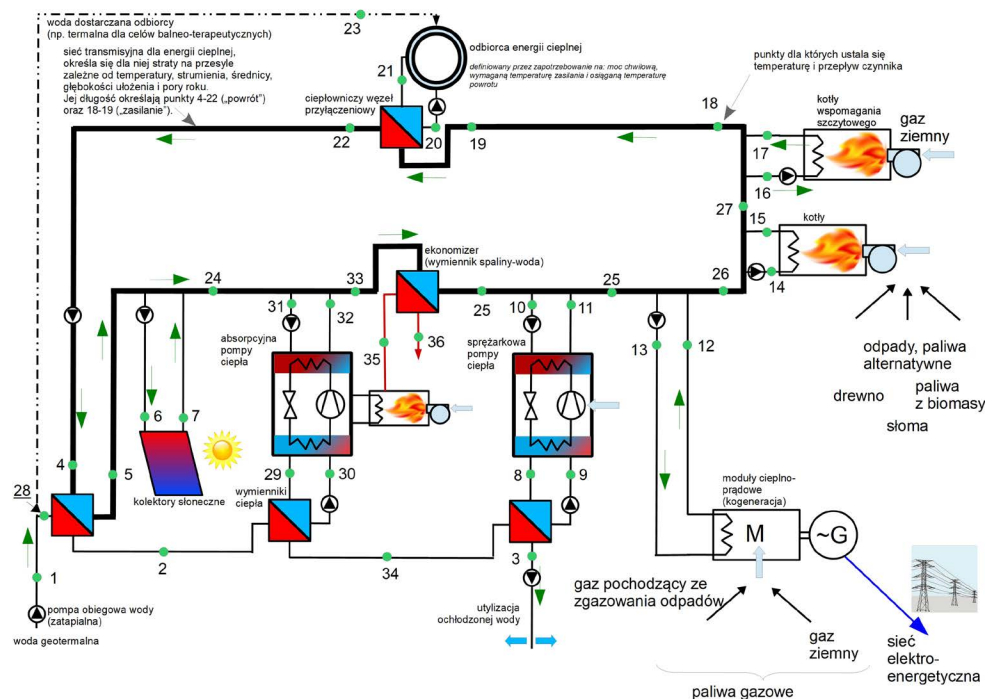
Rys. 10. Charakterystyka chwilowego zapotrzebowania na moc dla odbiorcy znacząco powiększonego w funkcji czasu – skala logarytmiczna (odbiorca dla wariantów ahpEhwCh i chpEhwCh)

Fig. 10. The characteristics of instantaneous power demand for the recipient currently served as a function of time; logarithmic scale (heat user in Options ahpEhwCh and chpEhwCh)

czy) do sieci ciepłowniczej Veolia Energia Łódź. Z analiz wykluczono: kolektory słoneczne, moduły ciepłno-prądowe i kotły na paliwo alternatywne. W przypadku sprężarkowych pomp ciepła założono zastosowanie pomp, które pozwalają osiągnąć temperatury na wyjściu ze skraplacza wyższe od rozwiązań standardowych (pompy małej mocy). Wymaga to stosowania wysokich ciśnień skraplania czynnika roboczego i specjalnych, ale dostępnych na rynku rozwiązań.

Ceny konwencjonalnych nośników energii przyjęto zgodnie z warunkami dla systemu ciepłowniczego Veolia Energia Łódź. Założono cenę netto zakupu ciepła sieciowej zgodnie z obowiązującą taryfą rozliczeniową dla grupy taryfowej WPo (Veolia Energia Łódź SA, Taryfa dla ciepła. Łódź 2016). Uwzględniając opłaty stałe i zmienne, przy uwzględnieniu zarówno wytwarzania energii, jak i jej dostawy i dystrybucji cena ciepła sieciowego dla grupy taryfowej WPo może zostać oszacowana na około 48,38 zł/GJ netto. Cenę netto zakupu sieciowej energii elektrycznej założono na poziomie 350 PLN/MWh.

Kwestią dyskusyjną i niemożliwą do jednoznacznego rozstrzygnięcia jest poziom wymaganych nakładów inwestycyjnych. Proponowane do zastosowania urządzenia, głównie o pompy ciepła, nie są urządzeniami seryjnie produkowanymi i sprzedawanymi. Cena ich zakupu uzależniona jest od przebiegu procesu negocjacyjnego. Zaproponowane ceny, zgodnie z doświadczeniem wykonawców niniejszego opracowania, można uznać za realne. Jeżeli chodzi o absorpcyjne pompy ciepła, to ujmują one również nakłady ponoszone na zakup wysokotemperaturowego kotła napędzającego i ekonomizera.



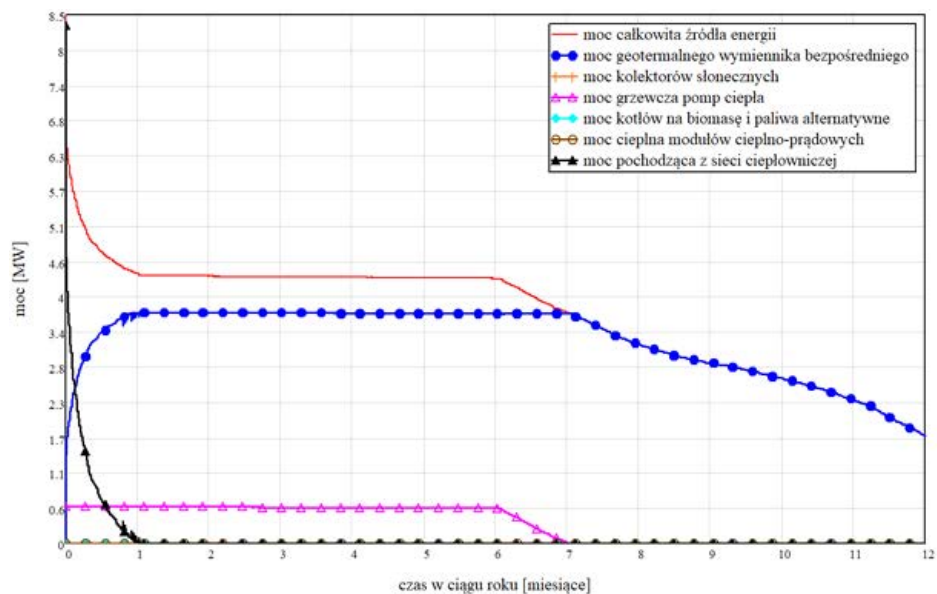
Rys. 11. Schemat hybrydowego źródła energii, którego efekty pracy określano wykorzystując model matematyczny  
 Fig. 11. The diagram of the energy source which was used in the mathematical model calculations

Bazując na modelu matematycznym instalacji oraz charakterystyce odbiorcy oceniono warunki i efekty pracy źródła energii dla poszczególnych wariantów. Schemat pokrycia zapotrzebowania na moc dla najbardziej korzystnych wariantów w aspekcie ekonomicznym przedstawia rysunek 12, a w aspekcie energetycznym rysunki 13 i 14.

Tabela 1 zawiera zestawienie głównych parametrów technicznych, ekonomicznych i energetycznych analizowanych wariantów. Szacowany efekt ekologiczny podano w dwóch wariantach:

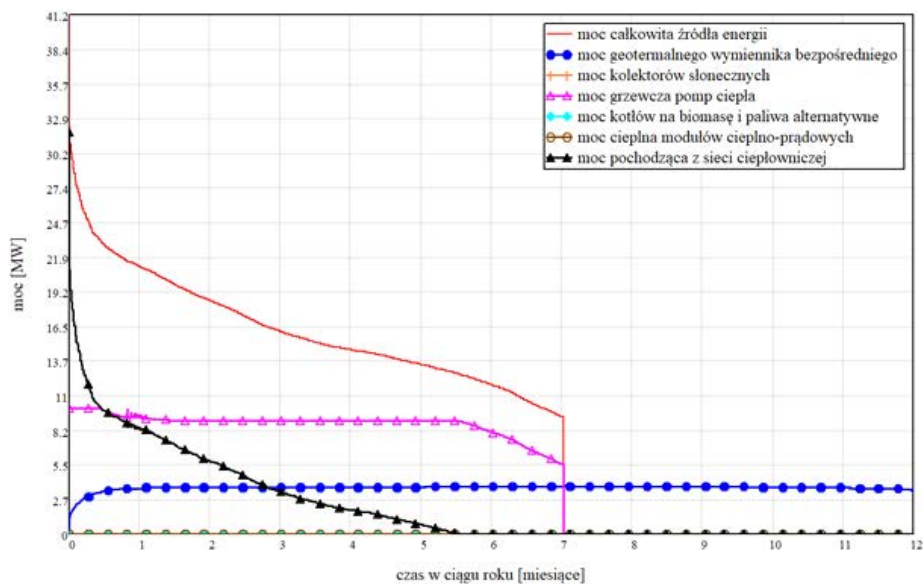
- efekt lokalny – odnosi się do prognozowanej emisji wybranych dziewięciu substancji zanieczyszczających atmosferę. Nie uwzględnia on emisji generowanej w trakcie wytwarzania energii eklektycznej używanej przez pompy ciepła i pompy obiegowe,
- efekt globalny (w skali globalnej) – uwzględnia emisję zanieczyszczeń generowaną przez elektrownie w trakcie wytwarzania używanej energii elektrycznej, przez instalację analizowanego źródła energii.

Ocenie poddano emisję wybranych zanieczyszczeń, podawanych do wiadomości przez Veolia Energia Łódź (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i pył całkowity). Wszystkie zestawione w tabeli 1 wartości odnoszące się do cen i kosztów są wartościami netto.



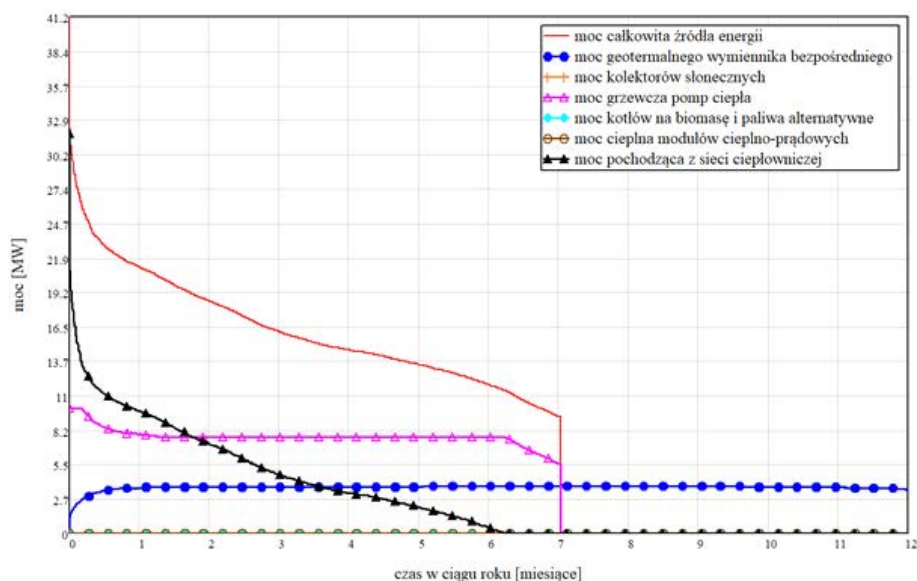
Rys. 12. Schemat pracy źródła energii w wariantach ahpEhw i chpEhw

Fig. 12. Diagram of the source of energy operation in Option ahpEhw and chpEhw



Rys. 13. Schemat pracy źródła energii w wariantcie ahpEhwCh

Fig. 13. Diagram of the source of energy operation in Option ahpEhwCh



Rys. 14. Schemat pracy źródła energii w wariantcie chpEhwCh

Fig. 14. Diagram of the source of energy operation in Option chpEhwCh

## PODSUMOWANIE

Spośród analizowanych wariantów wykorzystania energii geotermalnej dla lokalizacji Konstantynów Łódzki wszystkie warianty zakładające wykorzystanie energii geotermalnej uzyskały pozytywny efekt ekologiczny (w postaci redukcji emisji zanieczyszczeń) i to zarówno w skali lokalnej, jak i globalnej. Znaczącej redukcji ulega emisja CO<sub>2</sub>. Najgorszy pod tym względem wariant zakładający wykorzystanie energii geotermalnej (ahpEhwCh) redukuje lokalną jednostkową emisję tego polutanta o ponad 60%, w przypadku najlepszego (ahpE) redukcja emisji jednostkowej CO<sub>2</sub> szacowana jest na około 94%. W skali globalnej największa redukcja emisji CO<sub>2</sub> szacowana jest na ok. 80% (wariant ahpEhwCh), a najmniejsza na około 28% (chpEhwCh).

Miernikiem efektu energetycznego i zarazem efektu redukcji konsumpcji konwencjonalnych nośników energii może być ilość energii cieplnej wytworzonej w poszczególnych wariantach przez bezpośredni wymiennik geotermalny (zaznaczony na rys. 11 – między punktami 1–2 od strony wody geotermalnej i 4–5 od strony wody sieciowej). Oszczędność pierwotnych nośników energii konwencjonalnej szacowana jest na od 56,7 do 115,4 TJ/rok. Najlepszych efektów pod tym względem należy spodziewać się tam, gdzie znacząco różnie moc przyłączonych odbiorców i ilość energii zużywanej przez nich – czyli dla wariantów: ahpEhwCh i chpEhwCh (rys. 13 i 14). Zakładają one przejęcie części odbiorców włączono-



Tabela 1

Zestawienie głównych parametrów technicznych i ekonomicznych cechujących analizowane warianty dla miasta Konstanczynów Łódzki

Table 1

Summary of the main technical and economic parameters characterizing the analysed options for Konstanczynów Łódzki

	Wartość	Wartość	Wartość	Wartość	Wartość	Wartość	Wartość	Wartość	Wartość
Nazwa wariantu	dhA	dhGeoA	ahpEhw	chpEw	ahpEhwCh	chpEwhCh	Wartość	Wartość	Wartość
Moc maksymalna odbiorcy energii [kW]	7 844	7 844	8 035	8 035	39 308	39 308	39 308	39 308	39 308
Konsumpcja energii przez odbiorcę [GJ/rok]	60 565	60 565	108 571	10 8571	322 794	322 794	322 794	322 794	322 794
Określone obliczeniowo straty maksymalne mocy na przesyśle [kW]	0	0	511	511	1 844	1 844	1 844	1 844	1 844
Określone obliczeniowo straty energii na przesyśle [GJ/rok]	0	0	7 823	7 823	24 289	24 289	24 289	24 289	24 289
Prognozowane nakłady inwestycyjne na wytworzenie źródła energii cieplnej [tys zł]	0	48 221	49 419	49 419	68 710	68 710	68 710	68 710	68 710
Koszty całkowite eksploatacji rocznej [tys zł/rok]	2 930	3 832	4 145	4 025	13 010	13 778	13 778	13 778	13 778
Cena sprzedazy energii cieplnej odbiorcy finalnemu (wliczając straty na przesyśle) [zł/GJ]	48	63	38	37	40	43	43	43	43
Emisja zanieczyszczeń odniesiona do jednostki wytworzonej energii cieplnej [kg/GJ]									
– pył całkowity lokalnie	8,4	0,541	0,223	0,223	1,828	2,336	2,336	2,336	2,336
– CO <sub>2</sub> (dłtlenek węgla) lokalnie	107,524	6,922	6,129	2,859	41,355	29,906	29,906	29,906	29,906
– NO <sub>x</sub> przeliczone na diltlenek azotu (NO <sub>2</sub> ) lokalnie	0,191	0,012	0,007	0,005	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053
– SO <sub>2</sub> (dłtlenek siarki) lokalnie	0,338	0,022	0,009	0,009	0,074	0,094	0,094	0,094	0,094
– pył całkowity globalnie	8,4	0,55	0,228	0,23	1,83	2,353	2,353	2,353	2,353
– CO <sub>2</sub> (dłtlenek węgla) globalnie	107,524	32,059	20,152	21,417	46,071	75,947	75,947	75,947	75,947
– NO <sub>x</sub> przeliczone na diltlenek azotu (NO <sub>2</sub> ) globalnie	0,191	0,058	0,033	0,039	0,062	0,137	0,137	0,137	0,137
– SO <sub>2</sub> (dłtlenek siarki) globalnie	0,338	0,177	0,096	0,124	0,103	0,379	0,379	0,379	0,379

nych do systemu ciepłowniczego miasta Łodzi (moc dodatkowych „przejętych” odbiorców to ok. 31 MW – wynika ona z różnicy między mocą całkowitą rozwiązania a mocą aktualnie wykorzystywaną w Konstancynowie).

Jeżeli przyjąć za miarę osiągniętych efektów ekonomicznych pracy źródła energii cenę ostateczną (zawierającą opłaty za pozyskanie energii i jej dystrybucję) obowiązującą odbiorcę końcowego, to najlepsze efekty osiągnięto w przypadku wariantów: ahpEhw i chpEhw (tab. 1). Zakładają one wykorzystanie energii geotermalnej, przy wspomaganie pomp ciepła o umiarkowanej mocy (600 kW), przez Konstancynów Łódzki i przejęcie części odbiorców zasilanych z miejskiej sieci ciepłowniczej, ale jedynie poza sezonem grzewczym – w celu przygotowania ciepłej wody użytkowej. Pracę źródła energii w tych wariantach przedstawia rysunek 12. Dominująca jest tu ilość energii pochodzącej z wymiennika bezpośredniego wykorzystującego energię geotermalną, przy nieznacznej ilości energii pochodzącej z pomp ciepła. Szczególnie istotne w tym przypadku jest bardzo równomierne zapotrzebowanie na moc.

Podsumowując, można stwierdzić, że wykorzystanie energii w Konstancynowie Łódzkim jest bardzo dobrym przykładem szans, jakie niesie ze sobą możliwość współpracy źródła geotermalnego z odbiorcą będącym w stanie zagospodarować optymalnie potencjał źródła energii. Sam Konstancynów (wariant dhGeoA) nie jest w stanie równomiernie i efektywnie wykorzystać energii dostępnej ze źródła geotermalnego. Całkowita moc możliwa do ujęcia bezpośrednim wymiennikiem geotermalnym wynosi około 3,7 MW, z czego moc ponad 3 MW może być eksploatowana jedynie przez około 2 miesiące. Najlepsze, z ekonomicznego punktu widzenia, warianty (ahpEhw i chpEhw) pozwalają pozyskiwać moc geotermalną ponad 3 MW przez prawie 8 miesięcy (rys. 12). Ujęcie geotermalne ulokowane w Konstancynowie może być atrakcyjnym źródłem energii dla łódzkiego systemu ciepłowniczego – dostarczając czystą i taną (przynajmniej mając na uwadze koszty zmienne) energię cieplną.

Niezmiernie ważnym dla poprawy efektywności pracy całego systemu ciepłowniczego jest optymalizacja temperatury powrotu. W tym celu należy rozważyć wyposażenie węzłów ciepłowniczych w regulatory elektroniczne kontrolujące temperaturę powrotu w celu jak największego schłodzenia wody na wymienniku. Celowe w takim przypadku jest również zainstalowanie układów telemetrycznych w węzłach cieplnych tak, aby mieć bieżącą kontrolę tego parametru oraz możliwość zdalnego sterowania węzłem ciepłowniczym. Powinno to umożliwić lepsze wykorzystanie akumulacyjności budynku szczególnie w okresach przejściowych wiosny i lata.

Wskazana jest również zmiana miejscowego planu zaopatrzenia w ciepło w celu wprowadzenia nowych wymagań dla instalacji wewnętrznych budynków, jako niskoparametrycznych umożliwiających współpracę z pompami ciepła lub instalacjami geotermalnymi.

Kolejną rekomendacją jest wykorzystanie ciepła z rurociągów powrotnych dla zasilania niskotemperaturowych sieci ciepłowniczych, które same mogą być dolnym źródłem dla pomp ciepła pracujących w budynkach na nowych osiedlach wyposażonych w niskotemperaturową instalację wewnętrzną. Kaskada takich rozwiązań systemowych powinna zdecydowanie poprawić efektywność wykorzystania ciepła geotermalnego i obniżyć cenę ciepła dla jego odbiorców.

Współpraca podmiotów obsługujących źródło geotermalne (Przedsiębiorstwo Komunalne Gminy Konstantynów Łódzki Sp. z o.o.) i łódzki system ciepłowniczy (Veolia Energia Łódź SA) jest zatem korzystna dla obu partnerów, zarówno z ekonomicznego jak i ekologicznego punktu widzenia.

Artykuł wykonano w ramach Projektu „Energia geotermalna – podstawa niskoemisyjnego ciepłownictwa, poprawy warunków życia i zrównoważonego rozwoju – wstępne studia dla wybranych obszarów w Polsce” dofinansowanego ze środków Mechanizmu Finansowego EOG 2009-2014 w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej na poziomie Programu PL04 „Oszczędzanie energii i promowanie odnawialnych źródeł energii”.

Projekt realizowało Konsorcjum Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN (beneficjent), Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie i Politechniki Wrocławskiej we współpracy z partnerami z krajów Darczyńców: National Energy Authority (Islandia) oraz Christian Michelsen AS (Norwegia).



Artykuł opracowano i opublikowano w ramach Projektu EOG „Energia geotermalna – podstawa niskoemisyjnego ciepłownictwa, poprawy warunków życia i zrównoważonego rozwoju – wstępne studia dla wybranych obszarów w Polsce” dofinansowanego ze środków Mechanizmu Finansowego EOG 2009–2014 w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej na poziomie Programu PL04 „Oszczędzanie energii i promowanie odnawialnych źródeł energii” (Umowa nr 173/2017/Wn50/OA-XN-05/D). Realizatorzy Projektu: Konsorcjum Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN (beneficjent), AGH Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie i Politechniki Wrocławskiej we współpracy z partnerami z krajów Darczyńców: National Energy Authority (Islandia) oraz Christian Michelsen Research AS (Norwegia), a także z zespołem Europejskiej Rady Energii Geotermalnej, ekspertami i przedstawicielami wybranych miast: Konstantynowa Łódzkiego, Poddębic, Sochaczewa, Łądko-Zdroju.

## LITERATURA

- Dadlez i in. 2000 – Dadlez, R., Marek, S. i Pokorski, J. 2000. *Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku*. Warszawa: PIG.
- Górecki, W. i Hajto, M. 2006. *Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim*. Zakład Surowców Energetycznych, Kraków: AGH – WGGiOŚ.
- Górecki i in. 1995 – Górecki, W. red., Reicher, B. i Jarosz, Z. 1995. *Katalog otworów wiertniczych i studni głębinowych w utworach kredy dolnej i jury dolnej na Niżu Polskim*. Kraków: Instytut Surowców Energetycznych AGH.
- Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa 2017 – [Online] Dostępne w: [http://mib.gov.pl/2-Wskazniki\\_emisji\\_wartosci\\_opalowe\\_paliwa.htm](http://mib.gov.pl/2-Wskazniki_emisji_wartosci_opalowe_paliwa.htm)),%20dla%20stacji%20meteorologicznej%20%C5%81%C3%B3d%C5%BA%20Lublinek [Dostęp: 30.11.2017].

# MULTI-VARIANT ANALYSIS OF THE GEOTHERMAL HEATING SYSTEM IN KONSTANTYNÓW ŁÓDZKI

## ABSTRACT

The article presents geological and hydrogeological information on geothermal waters in the area of the city of Konstanyń Łódzki, in terms of their use for heating purposes. The Lower Jurassic aquifer was selected for this purpose. The developed multi-variant power source model included the following: a direct geothermal heat exchanger, an absorption or compressor heat pump (alternatively) and a connection to an existing district heating network. The best was the option of incorporating into the system some of the recipients of the heating system of the city of Lodz into the system. In the economic aspect, the best option was the use of geothermal energy supported by heat pumps – by Konstanyń Łódzki and the takeover of part of the customers supplied from the district heating network outside the heating season. All the analyzed variants of geothermal energy used for Konstanyń Łódzki assuming the use of geothermal energy have gained a positive ecological effect in the form of the reduction of pollutant emissions.

## KEYWORDS

Konstanyń Łódzki, geothermal water, heating, hybrid systems, emission reduction



The paper was prepared and published as part of the EEA Project on “Geothermal energy – a basis for low-emission heating, improving living conditions and sustainable development – preliminary studies for selected areas in Poland,” co-funded by the Financial Mechanism of the European Economic Area (EEA) 2009–2014, as part of the Bilateral Co-operation Fund, at the Level of PL04 Programme “Energy Saving and the Promotion of Renewable Energy Sources” (Agreement No. 173/2017/Wn50/OA-XN-05/D). Project performers: The Consortium of The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences (Beneficiary), The AGH University of Science and Technology in Kraków, and The Wrocław University of Science and Technology, in co-operation with the Partners from the Donor countries: The National Energy Authority (Iceland) and the Christian Michelsen Research AS (Norway). The Project performers were also European Geothermal Energy Council, experts and representatives of selected towns: Konstanyń Łódzki, Poddębice, Sochaczew, Łądek-Zdrój.