

# Analiza możliwości zagospodarowania do celów energetycznych wody termalnej możliwej do pozyskania na terenie miasta Łodzi

Analysis of the possibility of using the thermal water available in the city of Łódź for energy purposes

BOGDAN NOGA

DOI 10.36119/15.2023.11.2

W artykule przedstawiono analizę możliwości pozyskiwania wody termalnej na terenie miasta Łodzi. Oszacowano możliwą do pozyskania jej temperaturę i wydajność w zależności od głębokości zalegania warstwy wodonośnej. Następnie przeanalizowano możliwości jej wykorzystania do celów produkcji energii elektrycznej i ciepła. Analizie poddano również możliwości zasilania ciepłem geotermalnym miejskiej sieci ciepłowniczej zarówno w wariantcie elektrociepłowni jak i ciepłowni. Na zakończenie przeanalizowano możliwość zasilania ciepłem geotermalnym obiektu rekreacyjnego posiadającego baseny funkcjonujące przez cały rok.

*Słowa kluczowe: geotermia, instalacja geotermalna, otwór geotermalny, ciepło geotermalne*

The article presents an analysis of the possibilities of obtaining thermal water water in the city of Łódź. The temperature and yield of thermal water, depending on the depth of the aquifer, were estimated. Efficiency depending on the depth of the aquifer. Then the article presents an analysis of the possibilities of using thermal water in the production of electricity and heat. energy production and heat production. The possibilities of feeding geothermal heat into the municipal heat network were also analysed. geothermal heat was also analysed for the municipal district heating network in both the CHP plant and heat plant variants. CHP plant and district heating plant. Finally, the possibility of supplying geothermal heat to a recreational facility geothermal heat to a recreational facility with year-round swimming pools. all year round.

*Keywords: geothermal, geothermal installation, geothermal borehole, geothermal heat*

## Wprowadzenie

Łódź to miasto leżące w niecce szczecińsko-mogileńsko-łódzkiej, która uchodzi za miejsce najbardziej zasobne w wodę termalną [7, 8]. Można tutaj spodziewać się temperatury wody termalnej w przedziale od 26°C w utworach kredy dolnej do około 85°C w utworach jury dolnej [4, 9]. Aby mówić o energetycznym wykorzystaniu wody termalnej w pierwszej kolejności konieczna jest wysoka jej temperatura, która wynika z głębokości zalegania warstwy wodonośnej. W rejonie Łodzi twory jury dolnej mogą zalegać na głębokości nawet do ponad 3000 m. Na dzień dzisiejszy w rejonie Łodzi nie ma otworu, który potwierdziłby głębokości zalegania poszczególnych warstw wodonośnych, których niewątpliwie można spodziewać się w utworach geologicznych jury górnej, jury środkowej i jury dolnej.

Oprócz wysokiej temperatury bardzo pożądana jest również duża ilość wydobywanej wody termalnej w konkretnej jednost-

ce czasu (np. m<sup>3</sup>/h). Teoretycznie wydajność wody termalnej w rejonie Łodzi z otworów jury dolnej powinna przekraczać 200 m<sup>3</sup>/h. Jest to ilość oszacowana na podstawie doświadczenia autora w wykonywaniu otworów geotermalnych w podobnych strukturach geologicznych.

Potwierdzenie zakładanych parametrów mogłoby nastąpić w wyniku wykonania otworu badawczego zrealizowanego ze środków finansowych, którymi dysponuje Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Od kilku lat finansowane jest wykonywanie geotermalnych otworów badawczych na terenie Polski gdzie dofinansowanie sięga 100% wartości kosztów kwalifikowanych. Rejon miasta Łodzi jest jednym z rejonów gdzie taki otwór powinien być wykonany w celu rozpoznania możliwości udostępnienia wód termalnych z otworów jury górnej, dolnej i środkowej.

Planowanie budowy ciepłowni geotermalnej z jednej strony warunkowane jest parametrami wydobywanej wody termalnej (tempera-

tura, wydajność i mineralizacja) a z drugiej możliwościami jej schłodzenia w wyniku odbioru ciepła geotermalnego. Zazwyczaj schłodzenie wody termalnej następuje za pomocą wymiennika ciepła od schłodzonej wody powracającej z systemu ciepłowniczego. Istotne znaczenie mają tutaj temperatury zasilania sieci ciepłowniczej oraz temperatura powrotu schłodzonej wody z tejże sieci. Przeważnie (szczególnie w dużych miastach) temperatura zasilania sieci jest na poziomie 130°C, a temperatura powrotu jest na poziomie 90°C. Oczywiście są to parametry szczytowe, które są osiągnięte przy temperaturze zewnętrznej obniżonej do temperatury poniżej minus 20°C. Przez większą część roku temperatura zasilania sieci ciepłowniczej jest na poziomie 70°C przy temperaturze schłodzonej wody powracającej z systemu ciepłowniczego na poziomie około 47°C. Temperatura zasilania sieci ciepłowniczej i temperatura schłodzonej wody powracającej z sieci ciepłowniczej bardzo mocno zależą od temperatury zewnętrznej. Im temperatura panująca na zewnątrz jest

niższa tym wyższa jest temperatura wody zasilającej sieć oraz temperatura schłodzonej wody z sieci powracającej.

Technologia odbioru ciepła geotermalnego jest uzależniona od źródła zasilania sieci ciepłowniczej. Jeśli źródłem ciepła jest elektrociepłownia jedyną możliwością wpięcia geotermalnego źródła ciepła jest rurociąg zasilający sieć ciepłowniczą. Chodzi o to, że woda powracająca z systemu ciepłowniczego musi być jak najzimniejsza ponieważ jest ona wykorzystywana do chłodzenia skraplacza niezbędnego w procesie produkcji energii elektrycznej. Im zimniejsza woda powraca z systemu ciepłowniczego tym większą uzyskujemy sprawność w produkcji energii elektrycznej.

W przypadku, kiedy mówimy o ciepłowni, zagospodarowanie geotermalnego źródła ciepła jest zdecydowanie prostsze a jego sprawność jest dużo wyższa. Wtedy źródło geotermalne może być podłączone do sieci ciepłowniczej poprzez wymiennik ciepła zamontowany na rurociągu wody powracającej z sieci ciepłowniczej. Po wstępnym podgrzaniu ciepłem geotermalnym woda sieciowa trafia bezpośrednio do systemu ciepłowniczego lub jest dalej dogrzewana w kotłach do temperatury wymaganej krzywą grzania.

Dobrym rozwiązaniem może być wyszukanie kompleksu obiektów, które mogłyby być zasilane bezpośrednio ze źródła geotermalnego. Takim obiektem na terenie miasta Łodzi mógłby być kompleks wypoczynkowo-rekreacyjny posiadający baseny, które muszą być zasilane ciepło przez cały rok. Obiekt taki niewątpliwie będzie zasilany temperaturą niższą niż ta wymagana w sieci ciepłowniczej i przeważnie sieć wewnętrzna jest dostosowana do parametrów 80/60°C. Sieć o obniżonej temperaturze zasilania i powrotu otwiera duże możliwości zagospodarowania energii, którą niesie ze sobą wydobywana z wnętrza ziemi woda termalna.

## Warunki hydrogeologiczne rejonu łodzi

Woda termalna to woda podziemna, która na wypływie z otworu wiertniczego ma temperaturę nie mniejszą niż 20°C. Na terenie Łodzi wody spełniające ten warunek znajdują się w utworach geologicznych kredy dolnej, jury górnej, jury środkowej i jury dolnej [1, 2, 3]. W zależności od głębokości zalegania ujętego poziomu wodonośnego temperatura w złożu będzie zmieniać się w zakresie od 26 do 85°C (tabela 1). Warstwa wodonośna znajdująca się w utworach kredy dolnej zalega na głębokości około 790 m p.p.t. Temperatura tej wody wynosi około 26°C i można ją wydobywać w ilości około 120 m<sup>3</sup>/h. Istotnym parametrem jest tutaj jej bardzo niska mineralizacja – nie przekraczająca 0,5 g/dm<sup>3</sup>. Oznacza to, że jest to woda słodka i można ją wykorzystywać do celów spożywczych. Jedno-

cznie zdecydowanie upraszcza to instalację geotermalną do tylko jednego otworu, czyli otworu wydobywczego [5]. Nie ma potrzeby wykonywania otworu chłonnego, za pomocą którego woda termalna po schłodzeniu byłaby zatłaczana z powrotem do warstwy wodonośnej. W tym przypadku woda po odebraniu ciepła geotermalnego mogłaby być, po wcześniejszym uzdatnieniu, przepompowywana do wodociągu i służyć jako woda do picia. Podobne rozwiązanie funkcjonuje obecnie na terenie Mszczonowa (Geotermia Mazowiecka).

**Tabela 1. Parametry wody termalnej możliwej do pozyskania na terenie Łodzi**  
*Table 1. Thermal water parameters obtainable in the area of Łódź*

Wiek skał	Głębokość	Temperatura	Wydajność
	m p.p.t.	°C	m <sup>3</sup> /h
Kreda dolna	790	26	120
Jura górna	1 500	60	70
Jura środkowa	2 100	70	100
Jura dolna	2 800	85	200

Kolejny poziom wodonośny może znajdować się w utworach jury górnej, które na terenie miasta Łodzi są spodziewane na głębokości około 1 500 m p.p.t. Z racji większej głębokości zalegania, można się tutaj spodziewać temperatury wody termalnej na poziomie około 60°C (tabela 1). Wodę tę można będzie wydobywać w ilości około 70 m<sup>3</sup>/h. Bez wątplenia będzie to woda o dużej mineralizacji, na którą w przeważającej części będzie składała się sól. W przypadku podjęcia decyzji o eksploatacji tego poziomu wodonośnego, w celu pozyskiwania energii geotermalnej, konieczne będzie wykonanie otworu chłonnego, za pomocą którego woda termalna po jej schłodzeniu będzie ponownie zatłaczana do warstwy wodonośnej [5]. Takie rozwiązania funkcjonują np. na terenie miasta Pyrzyce (Geotermia Pyrzyce) oraz na terenie miasta Stargard (G-Term Energy). Woda ujmowana z utworów jury górnej będzie wodą zasoloną i w związku z tym nie nadająca się do wykorzystania do celów spożywczych. Ze względu na dużą jej ilość nie ma możliwości zrzutu jej do cieków powierzchniowych ze względu na ochronę środowiska.

Jeszcze wyższą temperaturę bo o wartości około 70°C można będzie pozyskać z utworów jury środkowej, które w rejonie miasta Łodzi mogą zalegać na głębokości około 2 100 m p.p.t. Wodę tę można będzie wydobywać w ilości około 100 m<sup>3</sup>/h (tabela 1). Podobnie jak w przypadku ujęcia wody termalnej pochodzącej z utworów jury górnej tak samo i w przypadku wody pochodzącej z utworów jury środkowej konieczne będzie wykonanie otworu chłonnego [5]. Woda ta będzie miała jeszcze większą mineralizację w stosunku do wody pochodzącej z utworów jury górnej.

Na Niżu Polskim, którego częścią jest niekiedy łódzka, najbardziej perspektywiczne

do ujęcia są warstwy wodonośne zalegające w utworach jury dolnej. Tutaj na głębokości około 2 800 m p.p.t. można spodziewać się temperatury wody termalnej na poziomie nawet powyżej 85°C (tabela 1). Piaskowce jury dolnej pozwalają na eksploatację wody termalnej w ilości około 200 m<sup>3</sup>/h. Podobnie jak w przypadku dwóch powyższych poziomów wodonośnych (jura górna i jura środkowa) w przypadku eksploatacji wody z utworów jury dolnej z przeznaczeniem do celów energetycznych konieczne będzie wykonanie drugiego otworu – otworu chłonnego [5]. Mineralizacja tej wody może przekroczyć nawet 120 g/dm<sup>3</sup>. Tak więc jedyną znaną na dzień dzisiejszy możliwością utylizacji schłodzonej wody termalnej będzie jej ponowne zatłoczenie do tej samej warstwy wodonośnej, z której została wydobyta. Ten proces będzie możliwy do realizacji za pomocą otworu lub otworów chłonnych.

Parametry wody termalnej na terenie Łodzi są potwierdzone tylko dla kredy dolnej (tabela 1). Wszystkie otwory hydrogeologiczne wywiercone na terenie Łodzi są zakończone w utworach kredy dolnej, dla której zostały wykonane pompowania pomiarowe, a niektóre z nich są eksploatowane do dnia dzisiejszego. W utworach kredy dolnej znajduje się woda słodka, która jest eksploatowana do celów spożywczych.

Budując ciepłownię geotermalną wykorzystującą wody termalne z utworów kredy dolnej można wykonać tylko jeden otwór geotermalny [5]. Tutaj spodziewamy się wody słodkiej, która po jej schłodzeniu może być przetłaczana do wodociągu miejskiego z przeznaczeniem do celów spożywczych.

Eksploatacja wody z utworów jurajskich do celów energetycznych wymaga geotermalnych [5]. Jednym otworem woda będzie wydobywana i po jej schłodzeniu będzie następnie zatłaczana do warstwy wodonośnej za pomocą otworu drugiego – nazywanego otworem chłonnym. Takie rozwiązanie jest konieczne ze względu na mineralizację spodziewanej wody, która będzie powyżej 0,5 g/dm<sup>3</sup> – jest to granica dla wody słodkiej nadającej się do spożycia.

## Możliwości produkcji energii elektrycznej

Najbardziej pożądanym zastosowaniem dla wody termalnej byłaby produkcja energii elektrycznej. Obecnie dostępne są technologie, które pozwalają na produkcję energii elektrycznej z wody o temperaturze około 100°C [6]. W tabeli 2 zestawiono parametry elektrowni geotermalnych z najniższymi temperaturami zasilania wodą termalną – zbliżonymi do temperatury wody termalnej możliwej do pozyskania na terenie miasta Łodzi. Na terenie Polski na dzień dzisiejszy nie ma ani jednej

**Tabela 2. Parametry wody termalnej wykorzystywanej w działających elektrowniach geotermalnych**

**Table 2. Parameters of thermal water used in operating geothermal power plants**

Nazwa elektrowni geotermalnej	Temperatura °C	Wydajność m <sup>3</sup> /h
Chena Hot Springs	74	115
Neustadt-Glewe	98	110
Altheim	106	100
Bad Blumau	110	80
Unterhaching	115	150
Husavik	121	90

elektrowni geotermalnej ze względu na zbyt niskie temperatury udostępnionej wody termalnej.

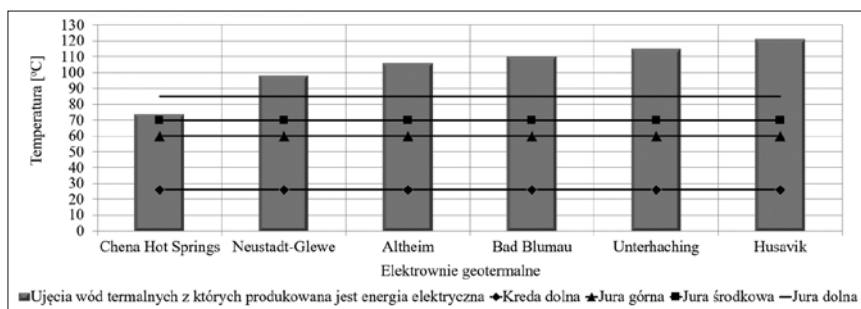
Ciepłownie geotermalne funkcjonujące w świecie pracują głównie w systemie ORC (Organic Rankine Cycle). Obiegiem pośredniczącym jest tutaj czynnik niskowrzący, który ogrzewany jest wodą termalną. Jego para napędza turbinę sprzężoną z generatorem prądu. Jak przedstawiono w tabeli 2 produkcja energii elektrycznej na świecie jest realizowana przy wykorzystaniu wody termalnej o temperaturze 74°C.

Aby określić praktyczne możliwości produkcji energii elektrycznej z wody możliwej do pozyskania na terenie miasta Łodzi (tabela 1) porównano jej temperaturę z temperaturą wody wykorzystywanej w działających elektrowniach geotermalnych. Jak zaprezentowano na rysunku 1 maksymalna temperatura wody termalnej możliwej do pozyskania na terenie Łodzi jest zdecydowanie niższa od tej

powinniśmy jednak porównywać się z pozostałymi elektrowniami geotermalnymi wyszczególnionymi w tabeli 2.

Na dzień dzisiejszy żadna z dostępnych technologii produkcji energii elektrycznej nie będzie mogła być efektywnie wdrożona dla wód możliwych do pozyskania na terenie miasta Łodzi. Szansą na to są wody, które można byłoby pozyskiwać z utworów triasu, które są głębiej położone w stosunku do utworów jurajskich. Tutaj można spodziewać się temperatury nawet powyżej 100°C. Brak jest jednak jakichkolwiek przesłanek do prognozowania ilości wody możliwej do pozyskania z utworów triasowych. Należy również zaznaczyć, że ilość wody, która jest wymagana do produkcji energii elektrycznej powinna przekraczać 100 m<sup>3</sup>/h. Z utworów triasu w rejonie Łodzi raczej trudno będzie uzyskać tak duże wydajności zwłaszcza, że mówimy tutaj o ilości wody możliwej do zatłoczenia. Z doświadczenia wynika, że ilość wody możliwej do zatłoczenia za pomocą otworu chłonnego jest o około 30% niższa od tej możliwej do wydobywania.

W świetle powyższego należy stwierdzić, że na dzień dzisiejszy w rejonie Łodzi nie jest możliwe prowadzenie efektywnego procesu produkcji energii elektrycznej. Być może w niedalekiej przyszłości zostaną opracowane technologie pozwalające na produkcję energii elektrycznej przy odbiorze ciepła geotermalnego od wody, której temperatura na wypływie z otworu geotermalnego może wynosić około 82°C.



**Rys. 1.**

**Porównanie temperatury wody w działających elektrowniach geotermalnych z temperaturą wody termalnej możliwej do pozyskania w rejonie Łodzi**

**Fig. 1. Comparison of water temperature in operating geothermal power plants with the temperature of thermal water obtainable in the Łódź area**

wykorzystywanej w istniejących elektrowniach geotermalnych. Analizując dane zaprezentowane na rysunku 1 można zauważyć, że temperatura wody możliwej do pozyskania z jury dolnej jest wyższa od tej wykorzystywanej w Chena Hot Springs (tabela 2). Należy jednak zauważyć, że elektrownia ta jest zlokalizowana na Alasce, gdzie do chłodzenia skraplacza wykorzystywana jest woda płynąca w pobliskim potoku, której temperatura wynosi 3°C.

Niestety w warunkach polskich nie ma ekonomicznie uzasadnionych technologii pozwalających na tak niskie obniżenie temperatury skraplacza. W polskich warunkach

### Możliwości produkcji ciepła

Bez cienia wątpliwości można stwierdzić, że spodziewane parametry wody termalnej możliwej do pozyskania na terenie miasta Łodzi będą się kwalifikowały do wykorzystania ciepłowniczego. Aby się o tym przekonać można spodziewane parametry wody porównać z tymi wykorzystywanymi w działających na terenie Polski ciepłowniami geotermalnymi. Do dnia dzisiejszego na terenie Polski z powodzeniem funkcjonuje siedem ciepłowni geotermalnych. Temperaturę i wydajność wody termalnej stanowiącej źródło

**Tabela 3. Parametry wody termalnej w ciepłowniach geotermalnych działających na terenie Polski**  
**Table 3. Thermal water parameters of geothermal heat plants operating in Poland**

Nazwa ciepłowni geotermalnej	Temperatura °C	Wydajność m <sup>3</sup> /h
Geotermia Pyrzyce	64	340
Geotermia Podhalańska	86	650
Geotermia Mazowiecka	42	60
Geotermia Uniejów	68	120
G-Term Energy	87	200
Geotermia Poddebice	72	115
Geotermia Toruń	61	320

ciepła w tych ciepłowniach zestawiono w tabeli 3.

Na terenie Polski woda termalna wykorzystywana do celów ciepłowniczych ma temperaturę od 42°C (Geotermia Mazowiecka – Mszczonów) do 87°C (G-Term Energy – Stargard). Istotnym parametrem wpływającym na efektywność wykorzystania energii geotermalnej jest ilość możliwej do eksploatacji wody termalnej. W ciepłowniach geotermalnych działających na terenie Polski ilość wydobywanej wody jest różna i zmienia się od 60 (Geotermia Mazowiecka) do ponad 650 m<sup>3</sup>/h (Geotermia Podhalańska).

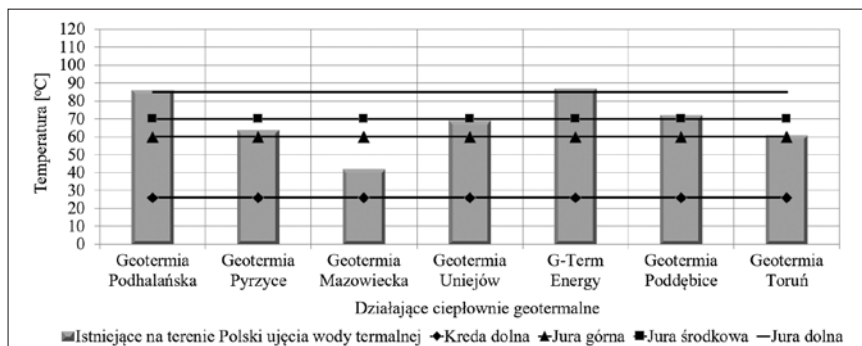
Analizując dane przedstawione na rysunku 2 można stwierdzić, że woda termalna pozyskiwana z utworów kredy dolnej będzie miała temperaturę niższą niż wykorzystywana w ciepłowniach geotermalnych działających obecnie na terenie Polski. W związku z tym w dalszych analizach poziom wodonośny możliwy do ujęcia w utworach kredy dolnej zostanie pominięty. Dalsze analizy zostaną przeprowadzone dla wody termalnej możliwej do pozyskania z utworów jury górnej, jury środkowej i jury dolnej.

Temperatura wody możliwa do pozyskania z utworów jury górnej jest zdecydowanie wyższa od tej wykorzystywanej w Geotermii Mazowieckiej zlokalizowanej w Mszczonowie (rys. 2). Temperatura tej wody jest zbliżona do temperatury wody wykorzystywanej w ciepłowni w Pyrzycach i w Toruniu.

Gdyby inwestor zdecydował się na udostępnienie wody termalnej zalegającej w utworach jury środkowej mógłby liczyć na wodę o temperaturze zbliżonej do tej wykorzystywanej w ciepłowniach w Uniejowie i Poddebicach (rys. 2).

Najwyższą temperaturę wody termalnej można będzie uzyskać poprzez udostępnienie do eksploatacji utworów jury dolnej. W tym przypadku będzie to niemalże najwyższa temperatura spośród wszystkich działających na terenie Polski ciepłowni geotermalnych (rys. 2). Ciepłownia geotermalna w Łodzi pod względem temperatury wody termalnej będzie podobna do tych działających w Stargardzie i Bańskiej Niżnej.

Podczas projektowania ciepłowni geotermalnej oprócz analizy temperatury wody



Rys. 2.

Porównanie temperatury wody w działających na terenie Polski ciepłowniach geotermalnych z temperaturą wody termalnej możliwej do pozyskania w rejonie Łodzi

Fig. 2. Comparison of the water temperature in the geothermal heat plants operating in Poland with the temperature of the thermal water obtainable in the Łódź area

termalnej należy również przeprowadzić analizę ilości możliwej do pozyskania wody. Oczywiście przepływ wody termalnej musi być jak największy, przy czym minimalny przepływ nie powinien być niższy niż 100 m<sup>3</sup>/h. To wynika z analizy ekonomicznej warunkowanej ilością wody możliwej do zatłoczenia. Z doświadczenia autora wynika, że jeśli można wydobyć 100 m<sup>3</sup>/h, możliwe będzie zatłoczenie co najwyżej 70 m<sup>3</sup>/h. Oczywiście istotne znaczenie przy oszacowaniu możliwości chłonnych otworu ma głębokość na jakiej stabilizuje się zwierciadło wody oraz depresja jaka wytwarza się przy pompowaniu wody.

Analizując dane przedstawione na rysunku 3 można stwierdzić, że ilość wody możliwej do pozyskania z otworów jury dolnej jest wyższa od tej wydobywanej w ciepłowniach w Mszczonowie, Uniejowie i Poddębicach. Ilość ta jest identyczna z tą możliwą do pozyskania w Stargardzie (G-Term Energy). Należy również zwrócić uwagę na fakt, że w Pyrzycach zasoby są zatwierdzone do eksploatacji prowadzonej dwoma otworami wydobywczymi. Wydobycie za pomocą jednego otworu wynosi 170 m<sup>3</sup>/h czyli jest to wydajność niższa od tej prognozowanej na terenie Łodzi. W geotermii Podhalańskiej woda termalna eksploatowana jest z wydajnością 650 m<sup>3</sup>/h z jednego otworu gdzie woda termalna na powierzchnię wypływa sa-

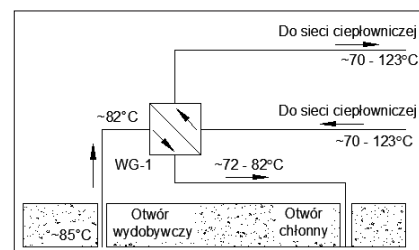
moczynnie i do jej eksploatacji nie ma konieczności używania pompy głębinowej.

Z powyższej przeprowadzonych analiz wynika, że ujęcie wody termalnej z utworów kredy dolnej można pominąć ze względu na jej zbyt niską temperaturę. To absolutnie nie oznacza, że przy innych założeniach np. użycie sprężarkowych pomp ciepła to rozwiązanie nie będzie ekonomicznie uzasadnione. Każdy tego typu przypadek należy rozpatrywać indywidualnie zarówno od strony geologicznej, technicznej, jak też ekonomicznej. W tym przypadku analizowana jest możliwość zasilania ciepłem geotermalnym miejskiej sieci ciepłowniczej.

### Możliwości zasilania miejskiej sieci ciepłowniczej współpracującej z elektrociepłownią

Analiza zasilania ciepłem geotermalnym miejskiej sieci ciepłowniczej zostanie przeprowadzona dla wody termalnej możliwej do pozyskania z utworów jury górnej, jury środkowej i jury dolnej. Istotną informacją jest fakt, że sieć ciepłownicza zlokalizowana na terenie miasta Łodzi jest zasilana przez elektrociepłownię. W tym przypadku skraplacz odpowiedzialny za sprawność produkcji energii elektrycznej jest chłodzony wodą powracającą z sieci ciepłowniczej, przy czym im ta

woda jest chłodniejsza tym sprawność produkcji energii elektrycznej będzie wyższa. Tak więc odbiór ciepła geotermalnego przez schłodzoną wodę powracającą z sieci ciepłowniczej nie jest możliwy. W tym przypadku odbiór ciepła geotermalnego od wody termalnej może nastąpić jedynie poprzez zainstalowanie wymiennika ciepła na rurociągu zasilającym sieć ciepłowniczą (rys. 4).



Rys. 4.

Schemat włączenia źródła geotermalnego do sieci ciepłowniczej zasilanej przez elektrociepłownię

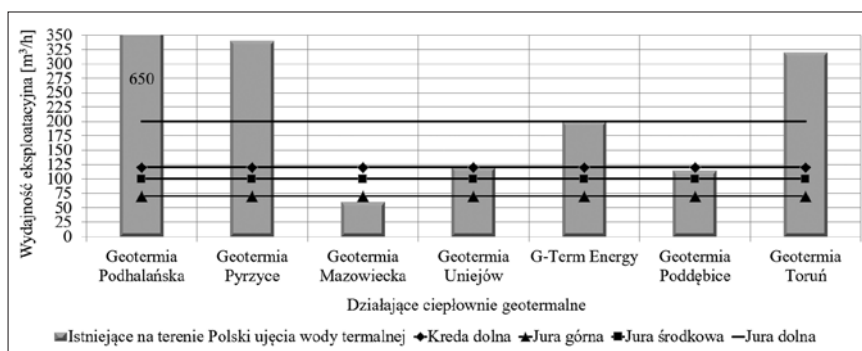
Fig. 4. Diagram of the integration of a geothermal source into a district heating network fed by a CHP plant

Zgodnie z krzywą grzania temperatura zasilania sieci ciepłowniczej jest uzależniona od temperatury zewnętrznej (tabela 4). W przypadku kiedy temperatura zewnętrzna spadnie do -20°C temperatura zasilania sieci ciepłowniczej będzie wynosić 123°C. Jeśli temperatura zewnętrzna wzrośnie do 12°C to temperatura zasilania sieci ciepłowniczej będzie wynosić 70°C.

Analizując temperaturę zasilania sieci ciepłowniczej nie sposób zauważyć, że jej najniższa wartość wynosi 70°C przy temperaturze zewnętrznej na poziomie co najmniej 12°C (tabela 4). Ten parametr determinuje wykorzystanie możliwej do pozyskania wody termalnej. Analizując dane zawarte w tabeli 1 można zauważyć, że temperatura możliwej do pozyskania wody termalnej z utworów jury górnej i jury środkowej jest zbyt niska – poniżej 70°C. Tak więc w tym przypadku nie będzie możliwości wykorzystania wód termalnych wydobywanych z utworów jury górnej i jury środkowej. Temperatury wody powyżej 70°C możemy się natomiast spodziewać w utworach geologicznych jury dolnej.

Woda termalna z utworów jury dolnej będzie miała temperaturę mierzoną w złożu na poziomie 85°C (rys. 4). Następnie woda ta za pomocą pompy głębinowej będzie pompowana w kierunku geotermalnego wymiennika ciepła (WG-1) w ilości około 200 m<sup>3</sup>/h. W wyniku strat ciepła jej temperatura obniży się do temperatury 82°C i z taką temperaturą będzie ona wpływała do wymiennika WG-1.

Z drugiej strony do wymiennika będzie wpływała woda kierowana do zasilania sieci ciepłowniczej (rys. 4). Temperatura tej wody będzie uzależniona od temperatury zewnętrznej i będzie ona się zmieniać w zakresie od 70 do 123°C. Przy takich założeniach



Rys. 3.

Porównanie wydajności wody w działających na terenie Polski ciepłowniach geotermalnych z wydajnością wody termalnej możliwej do pozyskania w rejonie Łodzi

Fig. 3. Comparison of the water yields of geothermal heat plants operating in Poland with the thermal water yields available in the Łódź area

**Tabela 4. Zależność temperatury zasilania sieci ciepłowniczej od temperatury zewnętrznej i jej wpływ na możliwości pozyskiwania strumienia ciepła geotermalnego**  
**Table 4. Temperature dependence of the district heating network feed temperature on the outside temperature and its impact on the potential for geothermal heat flux extraction**

Temperatura		Możliwość pozyskania strumienia ciepła geotermalnego pochodzącego z jury:		
zewnętrzna	zasilania sieci ciepłowniczej	górnjej	środkowej	dolnej
°C	°C	MW	MW	MW
12	70	0,00	0,00	2,09
10	73	0,00	0,00	1,32
8	77	0,00	0,00	0,56
6	80	0,00	0,00	0,00
4	83	0,00	0,00	0,00
2	87	0,00	0,00	0,00
0	90	0,00	0,00	0,00
-2	93	0,00	0,00	0,00
-4	96	0,00	0,00	0,00
-6	100	0,00	0,00	0,00
-8	103	0,00	0,00	0,00
-10	106	0,00	0,00	0,00
-12	110	0,00	0,00	0,00
-14	113	0,00	0,00	0,00
-16	116	0,00	0,00	0,00
-18	120	0,00	0,00	0,00
-20	123	0,00	0,00	0,00

woda termalna zostanie schłodzona maksymalnie do temperatury 72°C ze względu na sprawność wymiennika. Po przepływie przez wymiennik ciepła woda termalna będzie ponownie zatłaczana pod ziemię za pomocą otworu chłonnego, a jej temperatura będzie zmieniać się od 72 do 82°C w zależności od temperatury zewnętrznej.

W przypadku elektrociepłowni pozyskiwanie ciepła geotermalnego możliwe będzie tylko do temperatury zewnętrznej 8°C, przy której konieczne będzie wyłączenie układu geotermalnego. Poniżej tej temperatury nie możliwe będzie pozyskiwanie strumienia ciepła geotermalnego (tabela 4). W przypadku kiedy temperatura zewnętrzna będzie na poziomie co najmniej 12°C można będzie uzyskać około 2,09 MW mocy cieplnej. Przy temperaturze zewnętrznej na poziomie 8°C można będzie pozyskać jedynie około 0,56 MW mocy cieplnej.

### Możliwości zasilania miejskiej sieci ciepłowniczej współpracującej z ciepłownią

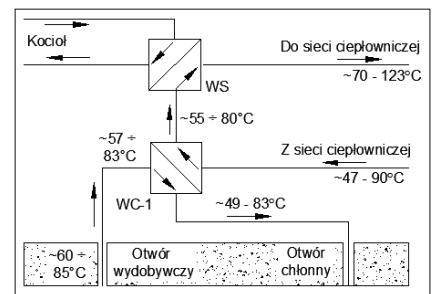
Możliwości wykorzystania ciepła geotermalnego zdecydowanie się zwiększają jeśli sieć ciepłownicza jest zasilana przez ciepłownię. Rozwiązanie to sprawia, że można będzie wykorzystywać wodę termalną pozyskiwaną zarówno z utworów jury dolnej jak i jury środkowej i jury górnej.

W tym przypadku przez wymiennik ciepła WG-1 przepompowywana będzie schłodzona woda sieciowa powracająca z sieci ciepłowniczej (rys. 5). W tym przypadku możliwa będzie eksploatacja wody termalnej z utworów jury górnej, jury środkowej oraz jury dolnej. Woda termalna będzie pobierana za pomocą pompy głębinowej z otworu wydobywczego z parametrami określonymi dla poszczególnych warstw wodonośnych

(tabela 1). Ze względu na straty ciepła przepływającej wody założono, że do wymiennika ciepła zostanie ona włączona z temperaturą niższą o 3K w stosunku do prognozowanej temperatury złożowej. Z drugiej strony wymiennika geotermalnego WG-1 będzie wpływała schłodzona woda powracająca z systemu ciepłowniczego (rys. 5). Temperatura schłodzenia tej wody jest uzależniona od temperatury zewnętrznej i zmienia się od 47 do 90°C w zależności od pory roku. Woda sieciowa po przepłynięciu przez wymiennik ciepła WG-1 zostanie ogrzana maksymalnie do temperatury około 55°C w przypadku ujęcia wody z jury górnej. Ogrzanie do około 65°C nastąpi w przypadku eksploatacji wody termalnej z utworów jury środkowej. Woda

**Tabela 5. Możliwości pozyskiwania strumienia ciepła geotermalnego w zależności od temperatury schłodzonej wody powracającej z miejskiej sieci ciepłowniczej**  
**Table 5. Possible geothermal heat fluxes depending on the temperature of the chilled water returning from the district heating network**

Temperatura			Możliwość pozyskania strumienia ciepła geotermalnego pochodzącego z jury		
zewnętrzna	zasilania sieci ciepłowniczej	powrotu z sieci ciepłowniczej	górnjej	środkowej	dolnej
°C	°C	°C	MW	MW	MW
12	70	47	0,57	1,97	7,43
10	73	50	0,35	1,67	6,81
8	77	52	0,14	1,36	6,20
6	80	55	0,00	1,05	5,58
4	83	58	0,00	0,74	4,96
2	87	60	0,00	0,43	4,34
0	90	63	0,00	0,12	3,72
-2	93	66	0,00	0,00	3,11
-4	96	68	0,00	0,00	2,49
-6	100	71	0,00	0,00	1,87
-8	103	74	0,00	0,00	1,25
-10	106	76	0,00	0,00	0,64
-12	110	79	0,00	0,00	0,02
-14	113	82	0,00	0,00	0,00
-16	116	84	0,00	0,00	0,00
-18	120	87	0,00	0,00	0,00
-20	123	90	0,00	0,00	0,00



**Rys. 5. Schemat włączenia źródła geotermalnego do sieci ciepłowniczej zasilanej przez ciepłownię**  
**Fig. 5. Diagram of the integration of a geothermal source into a district heating network fed by a district heating plant**

sieciowa przepływająca przez wymiennik WG-1 ogrzeje się do około 80°C w przypadku eksploatacji wody termalnej z utworów jury dolnej. Jeśli konieczne będzie podawanie do sieci wody o temperaturze wyższej niż to wynika z temperatury wody termalnej konieczne będzie uruchomienie wymiennika szczytowego WS, w którym woda zostanie dogrzana, za pomocą kotła, do temperatury określonej przez krzywą grzania.

W tym rozwiązaniu ilość pozyskiwanej energii geotermalnej jest ściśle uzależniona od temperatury wody powracającej z systemu ciepłowniczego. Im woda sieciowa jest chłodniejsza tym więcej energii odbiera od wody termalnej. W tabeli 5 zestawiono wyniki analiz, z których wynika, że dla wody termalnej pochodzącej z utworów jury górnej za pomocą układu przedstawionego na rysunku 5 możliwe będzie maksymalne pozyskanie około 0,57 MW mocy cieplnej. W tym przypadku brak możliwości dalszego pozyskiwania strumienia ciepła geotermalnego nastąpi przy temperaturze zasilania sieci ciepłowniczej na poziomie 52°C, co nastąpi przy temperaturze zewnętrznej wynoszącej 8°C.

Poniżej tej temperatury niemożliwe będzie pozyskiwanie mocy cieplnej pochodzącej od wody termalnej ujmowanej z utworów jury górnej.

Większe możliwości pozyskiwania strumienia ciepła geotermalnego daje ujęcie wody termalnej z utworów jury środkowej. Tutaj możemy się spodziewać zarówno wyższej temperatury wody jak i większej ilości do pozyskiwania w stosunku do utworów jury górnej (tabela 1). Eksploatując wodę termalną z utworów jury środkowej za pomocą układu przedstawionego na rysunku 5 można będzie maksymalnie wykorzystać około 1,97 MW mocy cieplnej przy temperaturze wynoszącej 12°C. Odbiór ciepła geotermalnego w przypadku eksploatacji tego poziomu wodonośnego będzie mógł następować do obniżenia się temperatury zewnętrznej do poziomu około 0°C. Przy tej temperaturze woda powracająca z systemu ciepłowniczego będzie mieć wyższą temperaturę niż wydobywana woda termalna.

Największe możliwości pozyskiwania energii geotermalnej niesie eksploatacja poziomu wodonośnego jury dolnej. W tym przypadku w okresie kiedy woda powracająca z systemu ciepłowniczego będzie miała temperaturę maksymalnie 47°C można będzie pozyskać około 7,43 MW mocy cieplnej. W przypadku tego rozwiązania ciepło geotermalne można będzie pozyskiwać aż do momentu obniżenia się temperatury zewnętrznej do około minus 12°C (tabela 5).

### Możliwości zwiększenia efektywności wykorzystania ciepła geotermalnego w sieci ciepłowniczej zasilanej przez ciepłownię

Podwyższenie efektywności wykorzystania wody termalnej może nastąpić poprzez jej dalsze schłodzenie w stosunku do możliwości jej chłodzenia bezpośrednio przez wodę powracającą z systemu ciepłowniczego. Dalsze schładzanie wody termalnej będzie możliwe w wyniku zainstalowania np. absorpcyjnej pompy ciepła. Takie urządzenia z powodzeniem sprawdzają się np. w Geotermii Mazowieckiej czy Geotermii Piryzyce.

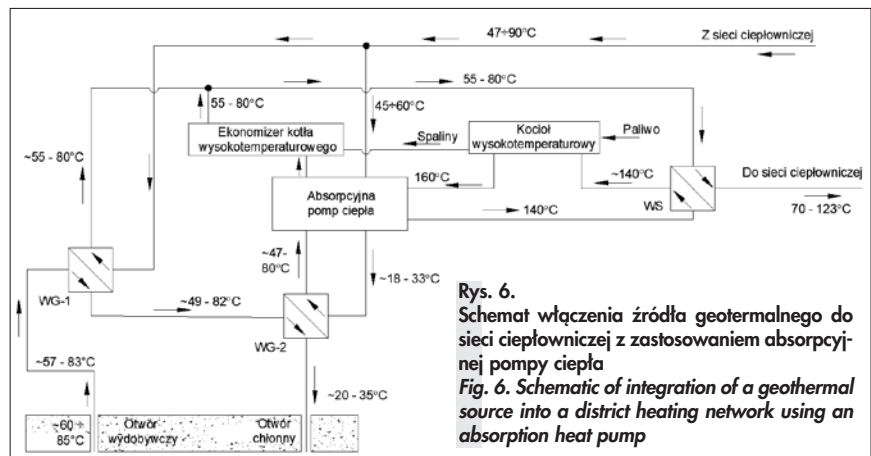
Schemat technologiczny z wykorzystaniem absorpcyjnej pompy ciepła został przedstawiony na rysunku 6. W tym przypadku woda termalna z utworów jury górnej lub jury środkowej lub jury dolnej będzie wydobywana za pomocą pompy głębinowej zainstalowanej w otworze wydobywczym. Wyboru poziomu wodonośnego przeznaczonego do eksploatacji dokonuje inwestor po uprzednio sporządzonym studium wykonalności inwestycji geotermalnej. Woda termalna z określonej głębokości podczas przepływu otworem i potem rurociągiem będzie podlegała wychładzaniu. Założono, że straty ciepła będą na poziomie 3°C w stosunku

do temperatury wody termalnej mierzonej w złożu (tabela 1).

Następnie wydobyta woda termalna będzie przepompowywana przez geotermalny wymiennik ciepła WG-1 (rys. 6). Tutaj nastąpi jej wstępne schłodzenie za pomocą wody sieciowej powracającej z miejskiej sieci ciepłowniczej. W wymienniku WG-1 woda termalna zostanie schłodzona do temperatury około 49 – 82°C w zależności głównie od temperatury wody sieciowej powracającej z systemu ciepłowniczego. Temperatura ta będzie się zmieniała w zakresie od 47 – 90°C i będzie uzależniona od temperatury zewnętrznej.

W dalszej kolejności schłodzona wstępnie w wymienniku ciepła WG-1 woda termalna będzie przepompowywana przez wymiennik ciepła WG-2 (rys. 6). Ten wymiennik stanowi dolne źródło ciepła dla absorpcyjnej pompy ciepła. Za pomocą tego urządzenia z jednej strony woda termalna zostanie schłodzona do temperatury około 20 – 35°C, a z drugiej następuje podwyższenie wody

sieciowej do temperatury około 80°C [5]. Absorpcyjna pompa ciepła jest napędzana gorącą wodą o temperaturze 160°C, która jest podgrzewana w kotłowni wysokotemperaturowym. Kocioł ten jest wyposażony w ekonomizer, gdzie woda sieciowa wypyływająca z górnego źródła ciepła absorpcyjnej pompy ciepła będzie dodatkowo dogrzewana od gorących spalin (rys. 6). Podgrzana za pomocą absorpcyjnej pompy ciepła i ekonomizera woda sieciowa o temperaturze 55 – 80°C, w zależności od temperatury wody termalnej wypyływającej z wymiennika WG-1, będzie przepompowywana przez szczytowy wymiennik ciepła WS (rys. 6). Szczytowy wymiennik ciepła WS będzie zasilany z kotłów wysokotemperaturowych i będzie uruchamiany kiedy konieczne będzie pompowanie do sieci ciepłowniczej wody o temperaturze poniżej tej wymaganej krzywą grzania. Zakres temperatury wody koniecznej do zasilania sieci ciepłowniczej jest uzależniony od temperatury zewnętrznej i zmienia się w zakresie od 70 do 123°C (rys. 6).



Rys. 6. Schemat włączenia źródła geotermalnego do sieci ciepłowniczej z zastosowaniem absorpcyjnej pompy ciepła  
Fig. 6. Schematic of integration of a geothermal source into a district heating network using an absorption heat pump

Tabela 6. Możliwości pozyskiwania strumienia ciepła geotermalnego z zastosowaniem absorpcyjnej pompy ciepła

Table 6. Possibilities for geothermal heat flux extraction using an absorption heat pump

Temperatura			Możliwość pozyskania strumienia ciepła geotermalnego pochodzącego z jury		
zewnętrzna	zasilania sieci ciepłowniczej	powrotu z sieci ciepłowniczej	górną	środkową	dolną
°C	°C	°C	MW	MW	MW
12	70	47	2,19	4,30	12,08
10	73	50	1,98	3,99	11,46
8	77	52	1,76	3,68	10,84
6	80	55	1,55	3,37	10,22
4	83	58	1,33	3,06	9,60
2	87	60	1,11	2,75	8,99
0	90	63	0,90	2,44	8,37
-2	93	66	0,68	2,13	7,75
-4	96	68	0,46	1,83	7,13
-6	100	71	0,25	1,52	6,52
-8	103	74	0,03	1,21	5,90
-10	106	76	0,00	0,90	5,28
-12	110	79	0,00	0,59	4,66
-14	113	82	0,00	0,28	4,05
-16	116	84	0,00	0,00	3,43
-18	120	87	0,00	0,00	0,00
-20	123	90	0,00	0,00	0,00

Woda termalna po jej schłodzeniu w wymienniku ciepła WG-2, będzie następnie kierowana do otworu chłonnego celem jej ponownego zatłoczenia do warstwy wodonośnej, z której została ona wydobyta. Zatłoczona schłodzona woda termalna będzie miała temperaturę w zakresie od 20 – 35°C. Po wykonaniu dalszych analiz ekonomicznych zasadnym może się okazać zainstalowanie kolejnej pompy ciepła (np. sprężarkowej pompy ciepła) celem dalszego schładzania wody termalnej przeznaczonej do zatłoczenia. Sprężarkowa pompa ciepła w kaskadzie z absorpcyjną pompą ciepła z powodzeniem współdziała w Geotermii Mazowieckiej.

Zastosowanie pompy ciepła powoduje, że zwiększa się liczba możliwości pozyskania energii geotermalnej (tabela 6). Zwiększa się również możliwość pozyskiwania energii geotermalnej od wody, której temperatura jest niższa od temperatury wody sieciowej powracającej z sieci ciepłowniczej.

Zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła spowoduje, że w przypadku ujęcia wody termalnej z utworów jury górnej nastąpi zwiększenie możliwości uzyskania mocy do około 2,19 MW. Jednocześnie wydłuży się okres wykorzystywania instalacji geotermalnej do momentu kiedy temperatura zewnętrzna osiągnie wartość minus 8°C (tabela 6).

Zdecydowanie efektywniejsze będzie ujęcie wód termalnych z utworów jury środkowej, gdzie przy temperaturze wody sieciowej powracającej z systemu ciepłowniczego na poziomie 47°C można będzie uzyskać około 4,30 MW mocy cieplnej. W tym przypadku zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła spowoduje, że ze strumienia ciepła geotermalnego można będzie korzystać do momentu, kiedy temperatura zewnętrzna obniży się do około minus 14°C (tabela 6).

Najbardziej efektywne z punktu widzenia energetyki będzie ujęcie wody termalnej pochodzącej z utworów jury dolnej. W tym przypadku w wyniku zastosowania absorpcyjnej pompy ciepła można będzie uzyskać około 12,8 MW mocy (tabela 6). Najbardziej efektywne będzie pozyskiwanie energii geotermalnej w okresie wiosenno-letnim, kiedy to temperatura zewnętrzna będzie wzrastać do poziomu co najmniej 12°C. Wykorzystanie dolnojurskiej wody termalnej będzie możliwe do temperatury zewnętrznej obniżającej się do około minus 16°C.

Dalsze możliwości zwiększenia efektywności wykorzystania ciepła geotermalnego nastąpią w wyniku obniżenia temperatury zasilania sieci ciepłowniczej.

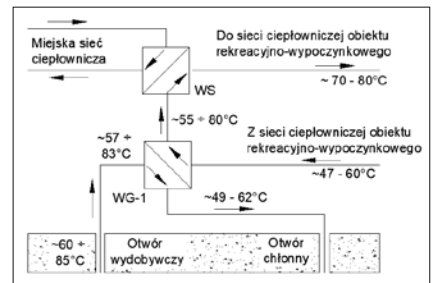
### Możliwości wykorzystania ciepła geotermalnego w obiekcie rekreacyjno-wypoczynkowym

Jak widać z przeprowadzonej powyżej analizy im niższa temperatura zasilania sieci

ciepłowniczej tym większy strumień ciepła geotermalnego można pozyskiwać. Im niższa temperatura sieci ciepłowniczej tym niższa może być temperatura wody termalnej wykorzystywanej do jej zasilania. Niższa temperatura zasilania sieci ciepłowniczej powoduje również wydłużenie okresu, w którym może być wykorzystywana woda termalna jako źródło energii geotermalnej.

Na terenie miasta łodzi funkcjonują odbiorcy, którzy posiadają własne wewnętrzne sieci ciepłownicze. Są to sieci średniotemperaturowe pracujące w zakresie temperatur 80/60°C. Dodatkowo obiekty te charakteryzują się niemalże równomiernym zapotrzebowaniem na ciepło, zarówno w okresie lata jak i zimy. Są to obiekty, które posiadają własne baseny, które wymagają energii zarówno do ogrzewania wody basenowej jak też klimatyzacji obiektu.

Obecnie dla jednego z takich obiektów został złożony wniosek do Narodowego Funduszu Gospodarki Wodnej i Ochrony Środowiska o dofinansowanie instalacji geotermalnej w ramach programu priorytetowego *Geotermia Polska Plus*. Wniosek o dofinansowanie dotyczy wykonania badawczego otworu geotermalnego, za pomocą którego można będzie wykonać badania co do możliwości pozyskiwania wody termalnej, głównie z utworów jury dolnej. Za pomocą otworu badawczego zostaną potwierdzone lub skorygowane zakładane do niniejszej analizy parametry tj. głębokość otworu geotermalnego, temperatura i wydajność wody termalnej oraz jej mineralizacja. Jeśli za pomocą otworu badawczego potwierdzone zostaną zakładane parametry wody termalnej w ramach dalszego dofinansowania z programu *Geotermia Polska Plus*



**Rys. 7.** Schemat włączenia źródła geotermalnego do wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego  
**Fig. 7.** Schematic of the integration of the geothermal source into the internal heat network of the leisure facility

zostanie wykonany otwór chłonny oraz cała infrastruktura niezbędna do pozyskiwania ciepła geotermalnego.

W bezpośrednim sąsiedztwie obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego zostanie wykonany otwór wydobywczy, z którego może być eksploatowana woda o temperaturze w zakresie od 60 do 85°C w zależności od ujętego poziomu wodonośnego (rys. 7). Następnie woda termalna będzie przepompowywana do geotermalnego wymiennika ciepła WG-1, który będzie zainstalowany w budynku kompleksu rekreacyjno-wypoczynkowego. Woda wpływająca do wymiennika WG-1 będzie miała temperaturę w zakresie od 57 do 83°C i będzie ona uzależniona od ilości wydobywanej wody. Im mniejsza ilość wody będzie wydobywana tym większe straty temperatury będą notowane. Tzn., że jeśli eksploatacja wody termalnej będzie realizowana z wydajnością 200 m<sup>3</sup>/h przez 24 h/dobę wtedy straty temperatury będą mogły być na poziomie około 1K. Przy założeniu, że woda termalna będzie

**Tabela 7.** Możliwości pozyskiwania strumienia ciepła geotermalnego za pomocą wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego  
**Table 7.** Possibilities for geothermal heat generation via an internal district heating network of a leisure and recreation facility

Temperatura			Możliwość pozyskania strumienia ciepła geotermalnego pochodzącego z jury		
zewnętrzna	zasilania sieci ciepłowniczej	powrotu z sieci ciepłowniczej	górnjej	środkowej	dolnej
°C	°C	°C	MW	MW	MW
12	70	47	1,63	3,95	7,43
10	71	48	1,44	3,76	7,25
8	71	49	1,26	3,58	7,06
6	72	49	1,08	3,40	6,88
4	73	50	0,89	3,21	6,70
2	73	51	0,71	3,03	6,51
0	74	52	0,52	2,85	6,33
-2	74	53	0,34	2,66	6,15
-4	75	53	0,16	2,48	5,96
-6	76	54	0,00	2,30	5,78
-8	76	55	0,00	2,11	5,60
-10	77	56	0,00	1,93	5,41
-12	78	56	0,00	1,75	5,23
-14	78	57	0,00	1,56	5,05
-16	79	58	0,00	1,38	4,86
-18	80	59	0,00	1,20	4,68
-20	80	60	0,00	1,01	4,50

pompowana w sposób ciągły z wydajnością około 150 m<sup>3</sup>/h to wtedy straty temperatury mogą wynosić około 2K. Natomiast w przypadku eksploatacji wody termalnej w ilości np. 20 m<sup>3</sup>/h jej wychłodzenie może zwiększyć się nawet o 10K.

Woda termalna w wymienniku WG-1 będzie schładzana za pomocą wody powracającej z wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego. Temperatura tej wody będzie uzależniona od temperatury zewnętrznej i będzie wahała się w zakresie od 47 do 60°C (rys. 7). W wymienniku WG-1 nastąpi wymiana ciepła i woda powracająca z systemu ciepłowniczego zostanie ogrzana do temperatury 55 – 80°C w zależności od eksploatowanego poziomu wodonośnego – jura górna, jura środkowa, jura dolna. Woda termalna po przepłynięciu przez wymiennik WG-1 zostanie następnie schłodzona do temperatury 49 – 62°C w zależności od temperatury wody powracającej z wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego.

W systemie uwzględniono szczytowy wymiennik ciepła WS, który będzie pełnił również rolę awaryjnego źródła ciepła. Będzie on zasilany bezpośrednio z miejskiej sieci ciepłowniczej. Będzie on również dogrzewał wodę zasilającą wewnętrzną sieć ciepłowniczą w momencie, kiedy woda ją zasilająca będzie miała temperaturę zbyt niską w stosunku do tej wymaganej przez krzywą grzania.

Wykorzystując wodę termalną pozyskiwaną z utworów jury górnej do zasilania wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego można będzie pozyskać około 1,63 MW mocy cieplnej (tabela 7). Od wody pochodzącej z utworów jury górnej można będzie pozyskiwać energię geotermalną do temperatury zewnętrznej na poziomie minus 4°C. Po przekroczeniu tej temperatury woda powracająca z wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego będzie miała temperaturę wyższą niż temperatura przepływającej przez wymiennik WG-1 górnourajskiej wody termalnej. W tej sytuacji konieczne będzie korzystanie z ciepła pochodzącego z miejskiej sieci ciepłowniczej (rys. 7).

W przypadku podjęcia decyzji o eksploatacji wody termalnej z utworów jury środkowej za pomocą wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego można będzie pozyskać około 3,95 MW mocy (tabela 7). Jest to moc cieplna, którą można będzie pozyskać w przypadku, kiedy temperatura zewnętrzna będzie wynosiła co najmniej 12°C. Im niższa będzie temperatura zewnętrzna tym mniejsze ilości energii geotermalnej można będzie pozyskiwać. Przy temperaturze zewnętrznej na poziomie minus 20°C można będzie pozyskać jedynie 1,01 MW. Zmniejszoną ilość możliwej do uzyskania mocy cieplnej trzeba będzie równoważyć poprzez pozyskiwanie jej z miejskiej sieci ciepłowniczej za pomocą wymiennika szczytowego WS (rys. 7).

Podobnie jak w przypadku zasilania sieci ciepłowniczej zarówno przez elektrociepłownię jak i ciepłownię, tak i w przypadku wykorzystania wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego najbardziej efektywne będzie wykorzystanie wody termalnej ujmowanej z utworów geologicznych jury dolnej. W tym przypadku dla temperatury zewnętrznej utrzymującej się na poziomie co najmniej 12°C można będzie pozyskać około 7,43 MW mocy cieplnej (tabela 7). Przy temperaturze zewnętrznej na poziomie minus 20°C można będzie pozyskać około 4,50 MW mocy cieplnej.

### Możliwości wykorzystania ciepła geotermalnego w obiekcie rekreacyjno-wypoczynkowym z wykorzystaniem absorpcyjnej pompy ciepła

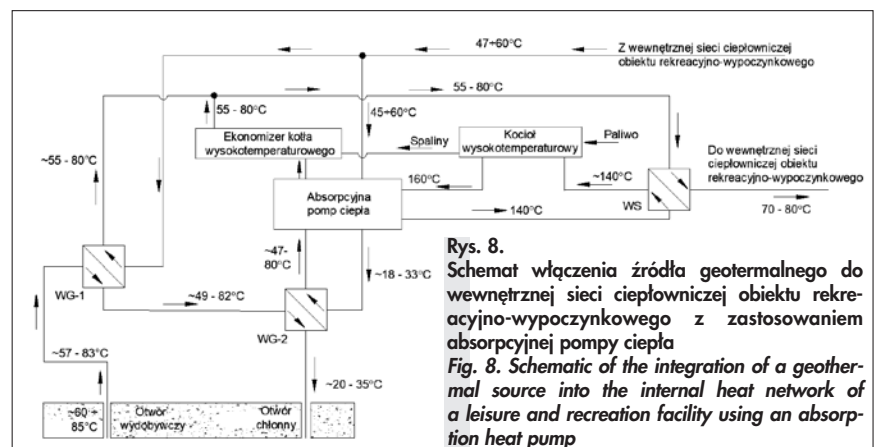
Zwiększenie ilości pozyskiwanej energii geotermalnej za pomocą wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego będzie możliwe w wyniku zastosowania absorpcyjnej pompy ciepła (rys. 8). Rozwiązanie to będzie funkcjonowało jako kaskadowe schładzanie wody termalnej. Podobnie jak we wszystkich analizowanych przypadkach woda termalna będzie wydobywana za pomocą otworu wydobywczego, tym razem wykonanego w pobliżu obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego. W otworze wydobywczym zostanie zainstalowana pompa głębinowej o mocy pozwalającej na przepompowanie wody termalnej przez kolumny filtracyjne, wymienniki ciepła i zatłoczenie schodzonej wody do otworu chłonnego. To inwestor podejmie decyzję o poziomie wodonośnym, który będzie chciał ujmować (tabela 1). Od tej decyzji będzie zależała głębokość otworu oraz temperatura i wydajność eksploatowanej wody termalnej.

Woda termalna wstępnie zostanie schłodzona za pomocą geotermalnego wymiennika ciepła WG-1 (rys. 8). Schłodzenie wody termalnej będzie następowało za pomocą wody sieciowej powracającej z wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego. Temperatura do jakiej zostanie schłodzona woda termalna zależy głównie od temperatury zewnętrznej.

W dalszej kolejności schłodzona wstępnie w wymienniku ciepła WG-1 woda termalna zostanie przetłoczona do wymiennika WG-2, który będzie dolnym źródłem ciepła dla absorpcyjnej pompy ciepła (rys. 8). W tym wymienniku woda termalna zostanie schłodzona do temperatury około 20 – 35°C i następnie zostanie zatłoczona do górotworu za pomocą otworu chłonnego. Schłodzenie wody termalnej do temperatury niższej od temperatury wody powrotnej z sieci ciepłowniczej jest możliwe przy zastosowaniu absorpcyjnej pompy ciepła. Pompa ciepła z jednej strony będzie obniżać temperaturę wody termalnej a z drugiej będzie podnosić temperaturę wody sieciowej krążącej w systemie ciepłowniczym. Taki proces będzie możliwy w wyniku dostarczenia energii zewnętrznej w postaci np. gorącej wody lub w wyniku bezpośredniego spalania np. gazu. Aby mogły zachodzić odpowiednie procesy termodynamiczne konieczne jest dostarczenie wody o temperaturze na poziomie około 160°C.

Po wstępnym ogrzaniu wody sieciowej za pomocą absorpcyjnej pompy ciepła jest ona następnie kierowana do ekonomizera kotła wysokotemperaturowego, który będzie wykorzystywany do przygotowania gorącej wody niezbędnej do zasilania absorpcyjnej pompy ciepła. Ekonomizer to nic innego jak wymiennik ciepła, przez który z jednej strony przepływa woda sieciowa kierowana do systemu ciepłowniczego, a z drugiej strony przepływają spaliny powstające w wyniku spalania np. gazu. W przypadku konieczności dalszego dogrzewania wody sieciowej będzie ona kierowana na szczytowy wymiennik ciepła WS, który będzie zasilany energią pochodzącą z kotła wysokotemperaturowego. Dodatkowo awaryjnym źródłem ciepła będzie energia pochodząca z miejskiej sieci ciepłowniczej dostarczana poprzez istniejący już wymiennik ciepła. Analizowany obiekt rekreacyjno-wypoczynkowy zasilany jest ciepłem pochodzącym z miejskiej sieci ciepłowniczej.

Jeśli inwestor podejmie decyzję o eksploatacji poziomu wodonośnego jury górnej będzie mógł pozyskać około 2,19 MW mocy cieplnej (tabela 8). Przy zastosowaniu absorpcyjnej pompy ciepła współpracującej z wewnętrzną siecią ciepłowniczą obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego eksploatacja



Rys. 8. Schemat włączenia źródła geotermalnego do wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego z zastosowaniem absorpcyjnej pompy ciepła  
Fig. 8. Schematic of the integration of a geothermal source into the internal heat network of a leisure and recreation facility using an absorption heat pump



**Tabela 8. Możliwości pozyskiwania mocy cieplnej za pomocą wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno – wypoczynkowego z zastosowaniem absorpcyjnej pompy ciepła**  
**Table 8. Possibilities of obtaining geothermal heat flow via an internal district heating network of a leisure and recreation facility using an absorption heat pump**

Temperatura			Możliwość pozyskania mocy cieplnej pochodzącej z jury		
zewnątrzna	zasilania sieci ciepłowniczej	powrotu z sieci ciepłowniczej	górnjej	środkowej	dolnej
°C	°C	°C	MW	MW	MW
12	70	47	2,19	4,30	12,08
10	71	48	2,13	4,20	11,89
8	71	49	2,07	4,11	11,71
6	72	49	2,00	4,02	11,53
4	73	50	1,94	3,93	11,34
2	73	51	1,87	3,84	11,16
0	74	52	1,81	3,75	10,97
-2	74	53	1,75	3,65	10,72
-4	75	53	1,68	3,56	10,61
-6	76	54	1,62	3,47	10,42
-8	76	55	1,55	3,38	10,24
-10	77	56	1,49	3,29	10,06
-12	78	56	1,42	3,20	9,87
-14	78	57	1,36	3,10	9,69
-16	79	58	1,30	3,01	9,51
-18	80	59	1,23	2,92	9,32
-20	80	60	1,17	2,83	9,14

poziomu wodonośnego jury dolnej może odbywać się przez cały rok.

Wykorzystanie wody z utworów jury środkowej umożliwi uzyskanie około 4,30 MW mocy cieplnej przy temperaturze zewnętrznej na poziomie powyżej 12°C (tabela 8). W miarę obniżania się temperatury zewnętrznej można będzie pozyskiwać coraz mniej energii geotermalnej. Przy temperaturze zewnętrznej na poziomie minus 20°C można będzie pozyskać około 2,83 MW mocy cieplnej.

Przy eksploatacji wody termalnej z utworów jury dolnej można będzie pozyskać około 12,08 MW mocy cieplnej (tabela 8). W tym przypadku energię geotermalną można będzie pozyskiwać przez cały rok. Dzięki wysokiej temperaturze wody termalnej eksploatacja dolnojurańskiej wody termalnej będzie najbardziej efektywna ze wszystkich rozważanych poziomów wodonośnych. W tym przypadku duża ilość pozyskiwanej energii geotermalnej będzie wymagała odpowiednio dużego odbiorcy ciepła. Takim odbiorcą niewątpliwie będzie obiekt rekreacyjno-wypoczynkowy. Dodatkowo obiekt ten jest położony w bezpośrednim sąsiedztwie łódzkiego ogrodu zoologicznego, który również posiada wewnętrzną sieć ciepłowniczą, która również może być zasilana energią geotermalną.

### Podsumowanie

W rejonie Łodzi woda termalna występuje w utworach kredy dolnej, jury górnej, jury środkowej i jury dolnej. Woda dolnokredowa jest wodą słodką i na ternie Łodzi jest wykorzystywana jako ujęcie wody do picia dla miasta.

Woda jurańska jest wodą zmineralizowaną i do jej eksploatacji potrzebny będzie dublet geotermalny – czyli otwór wydobywczy i otwór chłonny. Temperatura wody termalnej

zależy od głębokości z jakiej będzie pobierana. Woda ujęta z utworów jury górnej może mieć temperaturę około 60°C i wydajność około 70 m<sup>3</sup>/h. Zdecydowanie lepsze parametry wody pod kątem jej energetycznego wykorzystania będzie miała woda wydobywana z jury środkowej, gdzie spodziewamy się temperatury około 70°C przy wydajności około 100 m<sup>3</sup>/h. Najkorzystniejsze, z punktu widzenia energetycznego wykorzystania, wydaje się ujęcie wody termalnej zalegającej w utworach jury dolnej przy temperaturze około 85°C i możliwościach wydobywania jej w ilości około 200 m<sup>3</sup>/h.

Woda termalna może służyć do pozyskiwania energii geotermalnej w celu zasilania sieci ciepłowniczej. Projektując instalację geotermalną należy zwrócić uwagę na rodzaj źródła ciepła z jakim współpracuje sieć ciepłownicza. Sieć może współpracować z elektrociepłownią gdzie głównym zadaniem sieci ciepłowniczej jest chłodzenie wody wykorzystywanej w procesie produkcji energii elektrycznej. W tej sytuacji źródło geotermalne musi być zainstalowane na zasilaniu sieci ciepłowniczej. Tutaj można będzie pozyskać około 3,25 MW mocy cieplnej w przypadku eksploatacji wody pochodzącej z jury dolnej. Niestety ten wariant pozwala na wykorzystanie energii wody termalnej jedynie przy temperaturze zewnętrznej powyżej 4°C.

Efektywniejsze wykorzystanie wody termalnej zapewnia współpraca sieci ciepłowniczej z ciepłownią. Przy tym rozwiązaniu woda termalna może być schładzana przez wodę powracającą z systemu ciepłowniczego. Takie rozwiązanie pozwala na wykorzystanie wody z jury dolnej do temperatury zewnętrznej powyżej – 15°C. Możliwe jest też uzyskanie około 8,59 MW mocy cieplnej.

Zwiększenie stopnia wykorzystania ciepła geotermalnego możliwe jest poprzez zastoso-

wanie absorpcyjnej pompy ciepła. Takie rozwiązanie może spowodować, że ilość możliwej do pozyskania mocy cieplnej zwiększy się do około 12,31 MW. Do napędu pompy ciepła konieczne będzie dostarczenie dodatkowej energii, która następnie w całości przejdzie do wody sieciowej.

Dalsza poprawa efektywności wykorzystania energii geotermalnej będzie możliwa w wyniku obniżenia temperatury zasilania sieci ciepłowniczej przy jednoczesnym zmniejszeniu temperatury wody powracającej z tejże sieci. Takie rozwiązanie jest możliwe w wyniku wydzielenia wewnętrznej sieci ciepłowniczej. Dobrym przykładem może tutaj być obiekt rekreacyjno-wypoczynkowy, którego sieć wewnętrzna jest zaprojektowana dla temperatury zasilania na poziomie 80°C i temperatury powrotu na poziomie 60°C. W tym przypadku warto zauważyć, że temperatura wody termalnej możliwej do wydobycia z utworów jury dolnej może mieć temperaturę w złożu na poziomie około 85°C. W takim przypadku wewnętrzna sieć ciepłownicza obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego może być zasilana bezpośrednio energią geotermalną pochodzącą od wody termalnej.

Zwiększenie efektywności wykorzystania energii geotermalnej nastąpi poprzez zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła. Przy zastosowaniu tego urządzenia do zasilania energią geotermalną wewnętrznej sieci ciepłowniczej obiektu rekreacyjno-wypoczynkowego można będzie wykorzystywać wodę termalną pochodzącą zarówno z utworów jury górnej jak i jury środkowej oraz jury dolnej.

### WYKAZ LITERATURY

- [1] Dayczak-Calikowska K.: *Stratygrafia, litologia, paleogeografia. Jura środkowa*. W: *Budowa geologiczna niecki szczecińskiej i bloku Gorzowa*, Prace IG 1979, XCVI, 57–62.
- [2] Górecki W. (red.): *Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim – formacje mezozoiku*. Wyd. AGH, Kraków 2006.
- [3] Marek S.: *Budowa geologiczna wschodniej części niecki mogileńsko – łódzkiej*, Prace Inst. Geol. T 80, 1977.
- [4] Noga B.: *Analiza wpływu wiercenia otworów geotermalnych na wody podziemne na przykładzie rejonu Łodzi*, Instal 9/2023 DOI 10.36119/15.2023.9.4.
- [5] Noga B.: *Aspekty techniczne, geologiczne i formalno-prawne pozyskiwania wód termalnych*, Instal 2/2023 DOI 10.36119/15.2023.2.3.
- [6] Noga B., Biernat H., Kapuściński J., Martyka P.: *Analiza parametrów otworów geotermalnych wykonanych na Niżu Polskim pod kątem możliwości budowy siłowni binarnych wykorzystujących ciepło wnętrza ziemi*, Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 2/2013.
- [7] Pożaryski W.: *Tektonika elewacji radomskiej*, tom XXI, z. 1, Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Warszawa 1971.
- [8] Stupnicka E.: *Geologia regionalna Polski*, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2013.
- [9] Wiktorowicz B.: *Możliwości wykorzystania wód termalnych w Niece Łódzkiej*, Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1–2/2011.