

# Przegląd konstrukcji dubletów geotermalnych wykonanych na terenie Polski

Overview of the construction of geothermal doublets in Poland

BOGDAN NOGA

DOI 10.36119/15.2023.12.1

W artykule przedstawiono rodzaje konstrukcji dubletów geotermalnych wykonanych na terenie Polski. Analizie poddano dublet geotermalny składający się z dwóch otworów pionowych, otworu pionowego i otworu kierunkowego o trajektorii typu „J” oraz otworu pionowego i otworu kierunkowego o trajektorii typu „S”. Określono odsunięcie wlotu wody termalnej otworu kierunkowego od wylotu z otworu pionowego. Odległość ta jest uzależniona głównie od głębokości otworów w dublecie geotermalnym – im głębokość otworów jest większa tym odległość pomiędzy spodami obu otworów jest większa. Na terenie Polski obecnie wykonanych jest 12 dubletów geotermalnych (otwór wydobywczy i otwór chłonny) lub ich wielokrotności, w skład których wchodzi 34 otwory geotermalne, w tym: 25 otworów pionowych, 6 otworów kierunkowych o trajektorii typu „S”, oraz 3 otwory kierunkowe o trajektorii typu „J”.  
*Słowa kluczowe: geotermia, instalacja geotermalna, otwór geotermalny, otwór wydobywczy, otwór chłonny, otwór kierunkowy typu „J”, otwór kierunkowy typu „S”*

This paper presents the types of geothermal doublet construction performed in Poland. An analysis was made of a geothermal doublet consisting of two vertical wells, a vertical well and a directional well with a „J” type trajectory and a vertical well and a directional well with an „S” type trajectory. The offset of the thermal water inlet of the directional well from the outlet of the vertical well was determined. This distance depends mainly on the depth of the wells in the geothermal doublet – the deeper the wells, the greater the distance between the bottoms of the two wells. In Poland, there are currently 12 geothermal doublets (extractor well and absorption well) or multiples thereof comprising 34 geothermal wells, including: 25 vertical wells, 6 directional wells with an „S” type trajectory, and 3 directional wells with a „J” type trajectory.

*Keywords: geothermal, geothermal installation, geothermal well, extraction well, absorption well, directional well type „J”, directional well type „S”*

## Wprowadzenie

Eksploatacja wody termalnej w polskich warunkach wymaga wykonania co najmniej jednego otworu geotermalnego. Do celów energetycznych jeden otwór jest wystarczający w przypadku kiedy wypływa z niego woda słodka, czyli woda której mineralizacja nie przekracza  $0,5 \text{ g/dm}^3$ . W tym przypadku schłodzona na wymiennikach ciepła woda termalna może być przekazywana do wodociągów lub może być zrzucana do cieków powierzchniowych [5]. Te działania będą wymagały uzyskania pozwolenia wodnoprawnego. Rozwiązanie z jednym otworem geotermalnym na dzień dzisiejszy na terenie Polski funkcjonuje w ciepłowniach geotermalnym pracujących w Mszczonowie – Geotermia Mazowiecka i w Poddębicach – Geotermia Poddębice.

Jeśli woda termalna, przeznaczona do celów energetycznych, będzie miała minera-

lizację powyżej  $0,5 \text{ g/dm}^3$  konieczne będzie zastosowanie tzw. dubletu geotermalnego. W tym przypadku woda termalna jest wydobywana za pomocą otworu wydobywczego i po odebraniu od niej ciepła geotermicznego będzie ona ponownie zatłaczana do wnętrza ziemi za pomocą otworu chłonnego [5]. Tak więc dublet geotermalny to nic innego jak połączone ze sobą rurociągami dwa otwory geotermalne z czego jeden jest otworem wydobywczym a drugi jest otworem chłonnym. Takie rozwiązanie funkcjonuje obecnie w ciepłowni geotermalnej w Kleszczowie, Toruniu.

W przypadku wykorzystania wody termalnej do celów energetycznych czasami konieczne jest zastosowanie np. tripletu geotermalnego. Jest to sytuacja, w której na jeden otwór wydobywczy przypadają dwa otwory chłonne. Takie rozwiązanie obecnie funkcjonuje w Geotermii Uniejów gdzie na jeden otwór wydobywczy przypadają dwa otwory chłonne.

Częstym przypadkiem jest również sytuacja gdzie otwory geotermalne są multiplikowane. Obecnie w Geotermii Pyrzyce na jeden otwór wydobywczy przypadają 4 otwory chłonne. Wynika to z faktu, że ciepłownie geotermalne mają problemy z zatłaczaniem za pomocą otworów chłonnych schłodzonych wód termalnych [1, 4].

W gospodarce rynkowej ciepłownie geotermalne konkurują z ciepłowniami opalonymi głównie węglem kamiennym. W cenie GJ ciepła dla klienta końcowego ujęte są oprócz kosztów eksploatacyjnych również nakłady inwestycyjne poniesione na budowę chociażby instalacji geotermalnej. Największym jednak kosztem budowy instalacji geotermalnej jest koszt wykonania otworów geotermalnych. Dlatego też bardzo istotną jest optymalizacja ich konstrukcji, która musi być zaprojektowana w odniesieniu do ilości spodziewanej do ujęcia wody termalnej.

Innym bardzo ważnym aspektem projektowania dubletów geotermalnych jest odległość w warstwie wodonośnej pomiędzy wlotem do otworu wydobywczego i wylotem z otworu chłonnego (rys. 1). Odległość ta musi być na tyle duża aby zatłaczana otworem chłonnym woda termalna miała czas na ponowne ogrzanie się zanim ponownie zostanie ujęta otworem wydobywczym. Odległość ta jest dobierana na podstawie ilości eksploatowanej wody i im jest ona większa tym odległość ta musi być większa. Kolejnym istotnym czynnikiem wpływającym na tę odległość jest przewodność cieplna skał złożowych. Z wieloletniej obserwacji pracy istniejących ciepłowni geotermalnych wynika, że odległość w złożu pomiędzy wlotem do otworu wydobywczego i wylotem z otworu chłonnego powinna wynosić co najmniej 1200 m. Im ta odległość będzie większa tym większa pewność, że woda chłodna wypływająca z otworu chłonnego nie przebieje się do wlotu do otworu wydobywczego.

Wieloletnia eksploatacja otworów geotermalnych zlokalizowanych na terenie Polski pokazuje, że najmniejsze problemy eksploatacyjne sprawiają otwory pionowe [2]. W tym przypadku konieczne jest posiadanie działek, na których otwory te zostaną wykonane odsuniętych od siebie na odległość co najmniej 1200 m. Zazwyczaj są one oddzielone innymi działkami, których właściciele niekoniecznie muszą wyrazić zgodę na wybudowanie rurociągu łączącego otwór wydobywczy z otworem chłonnym. Tak długi rurociąg powoduje również wzrost kosztów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacyjnych związanych chociażby z koniecznością pompowania wody na dużą odległość. Istotne znaczenie ma tutaj też korozja głównie elementów stalowych oraz ryzyko wycieków wody wysokozmineralizowanej do środowiska naturalnego.

W przypadku braku możliwości budowy dubletu geotermalnego, w którym otwór wydobywczy w stosunku do otworu chłonnego miałby zachowaną odległość minimum 1200 m można rozważyć możliwość zastosowania kombinacji otworów kierunkowych. Otwory kierunkowe posiadają głowice geotermalne na tej samej działce, natomiast wlot do otworu wydobywczego i wylot z otworu chłonnego oddalone są od siebie w zależności od ich głębokości. Im głębokość zalegania ujmowanej warstwy wodonośnej jest większa tym odległość pomiędzy dnami otworów będzie większa.

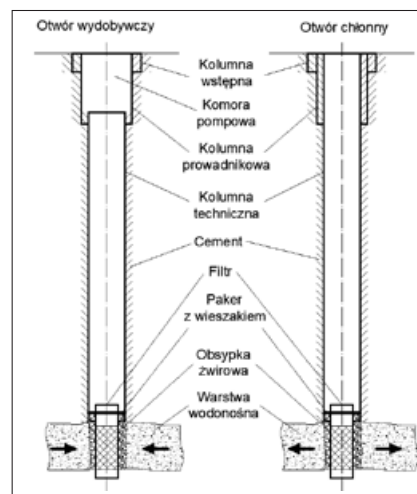
Otwór kierunkowy wiercony jest z powierzchni terenu jako otwór pionowy i od pewnej głębokości jego wiercenie odbywa się pod kątem. W przypadku trajektorii otworu kierunkowego typu „J” otwór ten przechodzi przez warstwę wodonośną pod takim

kątem pod jakim był on wiercony w jego prostoliniowym odcinku.

Innym typem otworu kierunkowego jest typ „S”. Ten otwór wiercony jest jako otwór pionowy i od pewnej głębokości jest on wiercony pod kątem. Następnie od pewnej głębokości otwór ten jest ponownie wiercony jako pionowy. W tym przypadku warstwa wodonośna jest ujmowana w taki sam sposób jak za pomocą otworu pionowego.

### Konstrukcja dubletu geotermalnego z dwoma otworami pionowymi

Dublet geotermalny składa się z otworu wydobywczego i chłonnego, które połączone są rurociągiem tłocznym. Obydwa otwory mają bardzo zbliżoną konstrukcję i zazwyczaj ujmują tą samą warstwę wodonośną. Główna różnica pomiędzy otworem wydobywczym i chłonnym występuje w komorze pompowej (rys. 1), w której zamontowana jest pompa głębinowa. W przypadku otworu chłonnego zazwyczaj nie projektuje się takiej komory. Otwory w dublecie geotermalnym



Rys. 1. Typowa konstrukcja dubletu geotermalnego [3]  
Fig. 1. Typical construction of a geothermal doublet [3]

mogą być budowane jako pionowe lub kierunkowe.

Typowa konstrukcja otworów geotermalnych składa się głównie z następujących elementów (rys. 1):

- Kolumna wstępna – zabezpiecza wylot otworu przed rozmyciem przez płuczkę wiertniczą i zanieczyszczeniem jej ścian w warstwach słabo związanych. Zadaniem tej kolumny jest również zabezpieczenie wód gruntowych przed możliwością ich zanieczyszczenia podczas dalszego wiercenia otworu.
- Kolumna przewodnikowa – jej głównym zadaniem jest odizolowanie od siebie głębiej zalegających poziomów wodonośnych. Kolumna ta w otworach wydo-

bywzych spełnia dodatkowo rolę komory pompowej. W otworach chłonnnych stanowi dodatkowe zabezpieczenie wód podziemnych przed ewentualnym ich zanieczyszczeniem w trakcie eksploatacji. Wody podziemne, głównie wody do picia są osłonięte podwójną kolumną rur.

- Kolumna techniczna – służy do zamykania dopływu do odwiertu dużych ilości wód, do zakrywania stref, w których występują trudności z dalszym wierceniem otworu (zaniki płuczkę, sypanie itp.). Kolumny technicznych może być w otworze kilka. W otworze chłonnym taka kolumna wyprowadzona jest zazwyczaj do powierzchni terenu.
- Kolumna filtrowa – jest zawieszona w rurach kolumny technicznej, a jej zadaniem jest zapobieganie zasypywaniu się otworu oraz uniemożliwienie przedostawania się cząstek stałych ze złoża wodonośnego do ujmowanej wody termalnej. W otworach szczelinowych o charakterze stabilnym otwór eksploatacyjny można pozostawić niezafiltrowany – bosy.
- Cement – wypełnia przestrzeń pomiędzy rurami a ścianą otworu. Jego zadaniem jest uszczelnienie przewierconych poziomów wodonośnych w celu wyeliminowania możliwości połączenia różnych poziomów wodonośnych. Cement powoduje również wzmocnienie stabilności ścianek otworu.
- Obsypka żwirowa – stanowi dodatkowy filtr zapobiegający przedostawaniu się stałych cząstek ze złoża do obiegu wody termalnej.
- Warstwa wodonośna – ujęcie wody termalnej. Na terenie Niżu Polskiego warstwy wodonośne występują w utworach powstałych w okresie kredy dolnej i jury dolnej. W niecce podhalańskiej wody termalne są eksploatowane z utworów triasu. Długości poszczególnych kolumn (rys. 1) wynikają z warunków geologicznych. Przede wszystkim należy określić warstwę wodonośną, z której będzie następowała eksploatacja wody termalnej. Tuż nad tą warstwą należy zamontować kolumnę techniczną a w tej warstwie zaprojektować kolumnę filtrową wraz z obsypką piaskową dobraną do granulacji filtrowanych skał. Głębokość posadowienia kolumny wstępnej jest uzależniona od głębokości zalegania głównie wód gruntowych. Zazwyczaj kolumna ta osłania utwory czwartorzędowe i jej długość odpowiada głębokości zalegania tych utworów geologicznych.
- Głębokość posadowienia rur kolumny przewodnikowej jest w głównej mierze uzależniona od głębokości zawieszenia pompy głębinowej. Zazwyczaj pompa głębinowa w otworach geotermalnych zawieszona jest

na głębokości około 110 m. Należy również uwzględnić fakt, że rury kolumny technicznej montowane są w rurach kolumny przewodnikowej na tak zwaną „zakładkę”. Długość tej zakładki musi być na tyle duża, aby zapewnić pewne i stabilne posadowienie kolumny technicznej – zazwyczaj „zakładka” ta ma długość około 60 m. Przestrzeń na odcinku wspólnym pomiędzy kolumną przewodnikową i kolumną techniczną jest wypełniana zaczynem cementowym [6].

Średnice poszczególnych kolumn powinny być dobrane do ilości spodziewanej do wydobycia wody termalnej. Jest to bardzo ważne z punktu widzenia ekonomiki kosztów inwestycyjnych. Jeśli dla małej ilości spodziewanej wody termalnej zostanie zaprojektowana zbyt szeroka kolumna rur okładzinowych koszt wydobycia 1 m<sup>3</sup> wody termalnej może okazać się zbyt duży w stosunku do jego wartości rynkowej. Im większa średnica montowanych rur okładzinowych, tym większa musi być średnica wierconego otworu, co niewątpliwie przekłada się na koszty wykonania takiego otworu.

Na terenie Polski w otworach geotermalnych stosowane są dwie konstrukcje związane ze średnicami montowanych w nich rur okładzinowych. Dla wydajności wody termalnej w ilości do 75 m<sup>3</sup>/h należy rozważyć zastosowanie mniejszych średnic rur poszczególnych kolumn (tabela 1). W przypadku wydajności wody termalnej w ilości powyżej 75 m<sup>3</sup>/h należy rozważyć zastosowanie poszczególnych kolumn zabudowy otworu geotermalnego o większej średnicy (tabela 1).

**Tabela 1. Średnice poszczególnych kolumn zabudowy typowego otworu geotermalnego**  
**Table 1. Diameters of individual development columns of a typical geothermal well**

Kolumna	Wydajność wody	
	do 75 m <sup>3</sup> /h	powyżej 75 m <sup>3</sup> /h
wstępna	13 3/8"	20"
przewodnikowa	9 5/8"	13 3/8"
techniczna	7"	9 5/8"
filtrkowa	5 1/2"	6 5/8"

Przedstawiona na rysunku 1 konstrukcja dubletu geotermalnego może być zastosowana w przypadku kiedy odległość pomiędzy kolumną filtrową w otworze wydobywczym i kolumną filtrową w otworze chłonnym będzie wynosiła minimum 1200 m. Możliwość zastosowania tej konstrukcji będzie uzależniona głównie od dostępności gruntu do wybudowania rurociągu łączącego oba otwory w dublecie geotermalnym. Należy tutaj przewidzieć konieczność uzyskania zgody na położenie rurociągu wszystkich właścicieli gruntów, przez które ten rurociąg będzie przechodził. Na uwagę należy również mieć fakt, że na etapie eksploatacji konieczne będą

działania wykonywane na tym rurociągu prac konserwatorskich. Nierzadko będą też występowały awarie powodowane szybko postępującą korozją elementów stalowych, z których takie rurociągi są wykonywane.

### Konstrukcja dubletu geotermalnego z otworem typu „S”

Doświadczenia wynikające z długoletniej eksploatacji dubletów geotermalnych wskazują na to, że wymagają one bardzo częstych zabiegów rekonstrukcyjnych. Zabiegi te wykonywane są w otworach chłonnych i polegają na ustawieniu urządzenia wiertniczego oraz wykonywaniu zabiegów czyszczenia kolumny filtrowej. Nie trudno sobie wyobrazić sytuację, że czyszczenie to wykonywane jest z większą łatwością w otworze pionowym niż w otworze skośnym (kierunkowym). Dlatego też otwór kierunkowy jest zazwyczaj otworem wydobywczym, a otwór pionowy jest otworem chłonnym [2].

Zdaniem autora zdecydowanie lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie otworu kierunkowego typu „S” w porównaniu do otworu kierunkowego typu „J”. Główną zaletą tego rozwiązania jest fakt, że otwór w jego końcowej fazie jest otworem pionowym. Kolumna filtrowa w warstwie wodonośnej jest zamontowana pionowo (rys. 2). Dołączył do tego rozwiązania jest to, że kolumna filtrowa jest zamontowana koncentrycznie w stosunku do wierconego otworu. Dzięki takiemu rozwiązaniu kolumna filtrowa będzie z każdej strony obsypana piaskiem (kolumna filtrowa nie leży na ścianie otworu). Dzięki dobremu obsypaniu piaskiem kolumny filtrowej wyeliminowane zostanie niebezpieczeństwo, że w czasie eksploatacji wody termalnej będzie następowało tzw. „piaszczenie otworu”. Zjawisko to polega na wynoszeniu z warstwy wodonośnej drob-

nych części skalnych, które po długotrwałym przepływie przez pompę głębinową mogą doprowadzić do jej zniszczenia.

Zjawisko „piaszczenia otworu” powoduje również zapychanie się filtrów, które znajdują się przed wymiennikiem ciepła. Mówimy tutaj o przepływie wody termalnej w ilościach 100 – 200 m<sup>3</sup>/h. Taka ilość wody wymaga również odpowiedniej liczby filtrów tak, aby nie powodować zbyt dużych oporów przepływu. Piaszczenie otworu może powodować konieczność zbyt częstej wymiany wkładów filtrów w kolumnach filtracyjnych. Np. w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach (przepływ około 130 m<sup>3</sup>/h) zamontowanych jest 6 kolumn filtrowych, w których znajdują się po 3 wkłady filtracyjne. Tak więc konieczność zbyt częstej wymiany wkładów filtracyjnych będzie generowała zdecydowane podwyższenie kosztów eksploatacyjnych.

Projektowanie otworów kierunkowych nie może być jednak dowolne. Obowiązują tutaj określone zasady wynikające z rodzaju przewierczanych skał oraz stosowanych narzędzi wiertniczych. Krzywienie otworu musi nastąpić dopiero po nawierceniu odpowiednich skał – taka głębokość to około 300 m, która wynika również z możliwości wykonania komory pompowej.

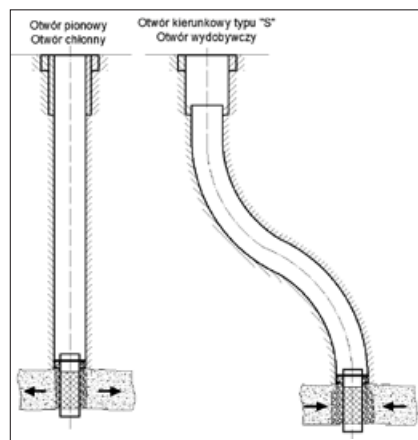
Od około 300 m można rozpocząć krzywienie otworu. Krzywienie to wykonywane jest w kształcie łuku, którego promień wynosi około 500 m. Po nadaniu odpowiedniego kierunku otwór jest wiercony po trajektorii prostoliniowej o odpowiednim kącie nachylenia w stosunku do poziomu. Ta część otworu nie może być pozioma.

Dalej następuje kolejne krzywienie otworu po trajektorii w kształcie łuku. Tym razem promień łuku również musi być w granicach 500 m. Po osiągnięciu kierunku pionowego otwór powinien mieć jeszcze około 100 – 200 m długości. W tym momencie można już zamontować kolumnę techniczną.

Ostatni pionowy odcinek kolumny technicznej pozwala na nadanie kierunku pionowego dla kolumny filtracyjnej.

Dużą trudnością podczas wiercenia otworów kierunkowych jest utrzymanie odpowiednich promieni i założonych kątów wiercenia. To od utrzymania założonych parametrów wiercenia zależy odległość pomiędzy kolumną filtrową otworu wydobywczego i kolumną filtrową otworu chłonnego.

Ograniczeniem w stosunku do zastosowania otworu kierunkowego typu „S” jest głębokość zalegania warstwy wodonośnej, którą otwór ten ma ujmować. Jak przedstawiono w tabeli 2 zastosowanie otworu geotermalnego o konstrukcji typu „S” jest możliwe w przypadku, gdy otwór geotermalny będzie miał głębokość minimum 1500 m. Przy tej głębokości odległość spodów obu otworów będzie



**Rys. 2. Konstrukcja dubletu geotermalnego zbudowanego z otworu pionowego i otworu kierunkowego typu „S”**  
**Fig. 2. Construction of a geothermal doublet consisting of a vertical well and an “S” type directional well**

Tabela 2. Odsunięcie spodów otworów wydobywczego i chłonnego przy dublecie geotermalnym zbudowanym z otworu pionowego i otworu kierunkowego o trajektorii typu „S”

Table 2. *Offsetting the bottoms of extraction and absorption wells at a geothermal doublet constructed from a vertical well and a directional well with an “S” type trajectory*

Głębokość otworu	Odsunięcie wylotów otworów
Y	X
1500	500
1750	940
2000	1370
2250	1780
2500	2220

wynosiła zaledwie 500 m. Odsunięcie wlotu do otworu wydobywczego i wylotu z otworu chłonnego przy tego typu konstrukcji dubletu geotermalnego na poziomie 1370 m można będzie uzyskać przy głębokości otworu wynoszącej około 2000 m (tabela 2).

Można zatem stwierdzić, że dublet geotermalny zbudowany z otworu pionowego i otworu kierunkowego o trajektorii „S” można będzie stosować do eksploatacji wód termalnych zalegających na głębokości około 2000 m. Zaznaczyć należy, że w większości przypadków wody termalne na terenie Polski zalegają na głębokości poniżej 2000 m. Tak więc zastosowanie tej konstrukcji może być ograniczone.

### Konstrukcja dubletu geotermalnego z otworem typu „J”

Otwór geotermalny o trajektorii typu „J” (rys. 3) wykonywany jest w sposób niemalże identyczny z tym o trajektorii typu „S”. Różnica polega na kierunku przewiercenia warstwy wodonośnej. W tym przypadku kolumna filtrująca w warstwie wodonośnej będzie zamontowana pod kątem wynikającym z trajektorii wierzonego otworu (rys. 3). Z jednej strony można powiedzieć, że filtr w złożu będzie miał większą długość w stosunku do przypadku kiedy kolumna filtrująca byłaby w złożu ustawiona pionowo. Z drugiej zaś strony istnieje duże prawdopodobieństwo, że kolumny

filtrującej nie uda się ustawić osiowo z wywierconym otworem mimo zastosowania centrowników. Istnieje również duże prawdopodobieństwo, że kolumna filtrująca będzie ułożona na ściance otworu co uniemożliwi jej właściwe obsypanie piaskiem. Efektem tego może być zwiększone zjawisko „piaszczenia otworu”.

Zaletą konstrukcji otworu geotermalnego o trajektorii typu „J” jest to, że można go stosować do ujmowania warstw wodonośnych zalegających na głębokościach niższych w stosunku do otworów geotermalnych o trajektorii typu „S”. W tym przypadku odsunięcie kolumn filtrujących zamontowanych w otworze wydobywczym i chłonnym będzie wynosiło około 1110 m przy głębokości otworu wynoszącej 1250 m (tabela 3). Przy głębokości dubletu geotermalnego wynoszącej około 1500 m odsunięcie spodów obu otworów będzie wynosiło około 1540 m.

Tabela 3. Odsunięcie spodów otworów wydobywczego i chłonnego przy dublecie geotermalnym zbudowanym z otworu pionowego i otworu kierunkowego o trajektorii typu „J”

Table 3. *Offsetting the bottoms of extraction and absorption wells at a geothermal doublet constructed from a vertical well and a directional well with an “J” type trajectory*

Głębokość otworu	Odsunięcie wylotów otworów
Y	X
1000	680
1250	1110
1500	1540
1750	1960
2000	2390

### Przegląd konstrukcji otworów geotermalnych pracujących w dubletach geotermalnych

Analizie poddano otwory geotermalne zlokalizowane w już działających ciepłowniach geotermalnych lub planowanych do uruchomienia w najbliższym czasie. Warunkiem przeprowadzenia analizy było, aby w danej lokalizacji wykonane były co najmniej dwa otwory, z których jeden jest przeznaczony do wykorzystania jako otwór wydobywczy a drugi jako chłonny. Obecnie na terenie Polski

działa sześć ciepłowni geotermalnych, w których woda termalna po schłodzeniu zatłaczana jest ponownie do górotworu. Ciepłownie te działają w następujących miejscowościach: Pyrzyce, Bańska Niżna, Stargard, Uniejów, Kleszczów i Toruń (tabela 4).

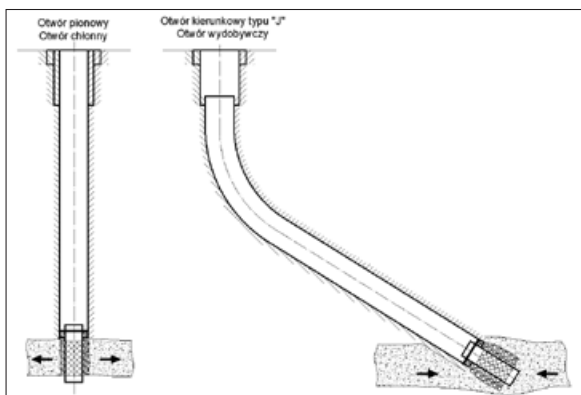
W sześciu kolejnych miejscowościach wykonano już po dwa otwory geotermalne. Jeden z tych otworów w dublecie geotermalnym będzie pełnił rolę otworu wydobywczego, a drugi będzie pełnił rolę otworu chłonnego. W najbliższym czasie planowane jest uruchomienie ciepłowni geotermalnych w następujących miejscowościach: Koło, Konin, Sieradz, Jachranka i Dźwirzyno (tabela 4). W Kole, Koninie i Sieradzu wykonano już ciepłownię geotermalną wraz z instalacją geotermalną. W tych miejscowościach w najbliższym czasie nastąpi uruchomienie procesu odzysku ciepła geotermalnego pochodzącego od eksploatowanej wody termalnej.

Na podstawie danych zebranych w tabeli 4 można stwierdzić, że wszędzie tam, gdzie jest to możliwe, dublet geotermalny zbudowany jest z otworów pionowych. Takie rozwiązania zastosowano w ciepłowniach geotermalnych funkcjonujących w Bańskiej Niżnej, Uniejowie, Kleszczowie, Toruniu, Sieradzu i Kole. W miejscowościach Pyrzyce, Konin i Dźwirzyno zdecydowano się na zastosowanie dubletu geotermalnego wykorzystującego otwór pionowy – będący otworem chłonnym i otwór kierunkowy o trajektorii typu „S” w roli otworu wydobywczego.

Otwory kierunkowe o trajektorii typu „J” wykorzystywane są jedynie w Stargardzie. Ten typ otworu w tej ciepłowni geotermalnej został zastosowany jako pierwszy kierunkowy otwór geotermalny w Polsce. Na początku otwór kierunkowy Stargard Szczeciński GT-2 był otworem chłonnym. To po problemach wynikających z niemożliwością przeprowadzenia w nim zabiegów czyszczenia filtra zmieniono jego rolę na otwór wydobywczy [2]. Od tego momentu otworem chłonnym stał się pionowy otwór Stargard Szczeciński GT-1, w którym z łatwością można było przeprowadzać zabiegi związane z cyklicznym przywracaniem chłonności tego otworu. Było to jednocześnie kolejne doświadczenie pokazujące, że otwór kierunkowy o trajektorii typu „J” nie jest najlepszym rozwiązaniem dla otworów geotermalnych.

W ciepłowni geotermalnej w Stargardzie w latach 2020 – 2021 wykonano kolejne dwa otwory kierunkowe o trajektorii typu „J”. Tym razem od razu zostały one zaprojektowane jako otwory wydobywcze. Natomiast jako otwory chłonne zostały zaprojektowane otwory kierunkowe o trajektorii typu „S”.

Ciepłownia geotermalna w Stargardzie została wykonana w sąsiedztwie Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej i znajduje się



Rys. 3. Konstrukcja dubletu geotermalnego zbudowanego z otworu pionowego i otworu kierunkowego typu „J”  
Fig. 3. *Construction of a geothermal doublet consisting of a vertical well and an “J” type directional well*



Tabela 4. Przegląd otworów geotermalnych pracujących w dubletach geotermalnych  
Table 4. Overview of geothermal wells operating in geothermal doublets

L.p.	Otwór geotermalny			Rola otworu geotermalnego w dublecie
	Nazwa	Głębokość	Typ	
<b>Otwory geotermalne w Pyrzycach – Geotermia Pyrzyce</b>				
1	Pyrzyce GT-1	1637	Pionowy	chlónny
2	Pyrzyce GT-2	1640	Pionowy	chlónny
3	Pyrzyce GT-3	1630	Pionowy	chlónny
4	Pyrzyce GT-4	1620	Pionowy	chlónny
5	Pyrzyce GT-1 BIS	1645	Kierunkowy „S”	wydobywczy
<b>Otwory geotermalne w Bańskiej Niższej – Geotermia Podhalańska</b>				
1	Bańska PGP-1	3242	Pionowy	wydobywczy
2	Biały Dunajec PAN – 1	2593	Pionowy	chlónny
3	Biały Dunajec PGP-2	2450	Pionowy	chlónny
4	Bańska PGP-3	3400	Pionowy	wydobywczy
5	Biały Dunajec PGP-5	3564	Pionowy	chlónny
<b>Otwory geotermalne w Uniejowie – Geotermia Uniejów</b>				
1	Uniejów PIG/AGH-2	2031	Pionowy	wydobywczy
2	Uniejów PIG/AGH-1	2065	Pionowy	chlónny
3	Uniejów IGH-1	2254	Pionowy	chlónny
<b>Otwory geotermalne w Stargardzie – G-Term Energy</b>				
1	Stargard Szczeciński GT-1	2670	Pionowy	chlónny
2	Stargard Szczeciński GT-2	3080	Kierunkowy „J”	wydobywczy
3	Stargard GT-3	2665	Pionowy	chlónny
4	Stargard GT-4	2659	Kierunkowy „J”	wydobywczy
5	Stargard GT-5	2640	Kierunkowy „J”	wydobywczy
6	Stargard GT-6	2699	Kierunkowy „S”	chlónny
7	Stargard GT-7	2691	Kierunkowy „S”	chlónny
<b>Otwory geotermalne w Kleszczowie</b>				
1	Kleszczów GT-1	1620	Pionowy	wydobywczy
2	Kleszczów GT-1	1725	Pionowy	chlónny
<b>Otwory geotermalne w Toruniu – Geotermia Toruń</b>				
1	Toruń TG-1	2329	Pionowy	wydobywczy
2	Toruń TG-2	2362	Pionowy	chlónny
<b>Otwory geotermalne w Jachrance</b>				
1	Jachranka GT-1	1780	Pionowy	chlónny
2	Jachranka GT-2K	1800	Kierunkowy „S”	wydobywczy
<b>Otwory geotermalne w Koninie</b>				
1	Konin GT-1	2660	Pionowy	chlónny
2	Konin GT-3	2660	Kierunkowy „S”	wydobywczy
<b>Otwory geotermalne w Sieradzu</b>				
1	Sieradz GT-1	1505	Pionowy	wydobywczy
2	Sieradz GT-2	1500	Pionowy	chlónny
<b>Otwory geotermalne w Kole</b>				
1	Koło GT-1	2815	Pionowy	wydobywczy
2	Koło GT-2	2980	Pionowy	chlónny
<b>Otwory geotermalne w Dźwirzynie</b>				
1	Dźwirzyno HASTON GT-1	1979	Pionowy	chlónny
2	Dźwirzyno HASTON GT-2K	2130	Kierunkowy „S”	wydobywczy

na terenie zurbanizowanym. Nie dysponuje działkami, na których można byłoby wykonać otwory pionowe z zachowaniem odpowiednich odległości pomiędzy spodami wszystkich otworów. Wszystkie siedem otworów zostało wykonanych niemalże z jednej działki co wymusiło konieczność wykonania otworów kierunkowych.

Wykonanie otworów kierunkowych o trajektorii typu „J” było podyktowane koniecznością jak najdalszego odsunięcia wlotów do otworów wydobywczych od wylotów z otworów chlónnych. Jak wykazano w tabelach 2 i 3 zdecydowanie większą odległość można uzyskać stosując otwór kierunkowy o trajektorii typu „J”. Tak więc zastosowanie tego typu otworu kierunkowego wynika z konieczności technicznych. Wykorzystano jednak dotych-

czasowe doświadczenie z otworem chlónnym Stargard Szczeciński GT-2 i nowe otwory kierunkowe o trajektorii typu „J” od razu przewidziano jako otwory wydobywcze, w których nie ma potrzeby wykonywania jakichkolwiek zabiegów rekonstrukcyjnych. Z wieloletniego doświadczenia eksploatacji otworów geotermalnych wynika, że otwory wydobywcze nie sprawiają żadnych problemów. Problemy wynikające z eksploatacji wody termalnej sprawiają tylko i wyłącznie otwory chlónne.

### Podsumowanie

Eksploatacja wody termalnej do celów ciepłowniczych w warunkach Polskich wymaga wykonania dubletu geotermalnego składającego się z geotermalnego otworu

wydobywczego i geotermalnego otworu chlónnego. Otwory geotermalne mogą być pionowe lub kierunkowe o trajektorii typu „J” lub „S”. Wybór odpowiedniego rodzaju otworu geotermalnego jest uzależniony głównie od dostępności terenu przeznaczanego do budowy instalacji geotermalnej. Odległość pomiędzy spodami otworu wydobywczego i otworu chlónnego powinna wynosić co najmniej 1200 m.

W przypadku braku możliwości odsunięcia otworów na odpowiednią odległość na powierzchni terenu można zastosować otwory kierunkowe, które pozwalają na odsunięcie otworów od siebie na ich spodzie. Otwory te wykonuje się na powierzchni w bezpośrednim sąsiedztwie, natomiast na ich spodzie uzyskuje się wymaganą odległość odsunięcia. Wielkość tego odsunięcia jest uzależniona od głębokości otworu.

Po przeanalizowaniu konstrukcji wykonanych dotychczas konstrukcji dubletów geotermalnych można zauważyć, że najbardziej preferowane jest użycie dwóch otworów pionowych. Mniej popularne jest zastosowanie otworów kierunkowych o trajektorii typu „S”. Na terenie Polski obecnie wykonano sześć takich konstrukcji. Zdecydowanie mniejszym powodzeniem cieszy się wykonywanie konstrukcji otworów kierunkowych o trajektorii typu „J”. Do dnia dzisiejszego wykonano jedynie trzy takie otwory z tym, że wszystkie są wykonane w ciepłowni geotermalnej w Stargardzie.

### WYKAZ LITERATURY

- [1] Biernat H., Kulik S., Noga B.: *Problemy związane z eksploatacją ciepłowni geotermalnych wykorzystujących wody termalne z kolektorów porowych*. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównowazony Rozwój, nr 1-2/2010
- [2] Biernat H., Noga B., Kosma Z.: *Eksploatacja wody termalnej przed i po zamianie roli otworu chlónnego na otwór eksploatacyjny na przykładzie Geotermii Stargard Szczeciński*. Modelowanie Inżynierskie, T 13, nr 44/2012
- [3] Kapuściński J., Nagy S., Długosz P., Biernat H., Bentkowski A., Zawisza L., Macuda J., Bujakowska K.: *Zasady i metodyka dokumentowania zasobów wód termalnych i energii geotermalnej oraz sposoby odprowadzania wód zużytych – poradnik metodyczny*. Departament Geologii Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa 1997.
- [4] Marjanowski J., Biernat H., Kulik S., Nalikowski A., Noga B., Zieliński B.: *Problemy kolmatacji w otworach chlónnych w Geotermii Pyrzyce oraz możliwości ich zapobiegania w wyniku zastosowania metody super miękkiego kwasowania*. Instal 9/2013
- [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.: *Analiza wpływu wiercenia otworów geotermalnych na wody podziemne na przykładzie rejonu Łodzi*. Instal 9/2023 DOI: 10.36119/15.2023.9.4

