

STUDIA, ROZPRAWY, MONOGRAFIE **206**

Wiesław Bujakowski, Marek Balcer, Antoni P. Barbacki,
Bogusław Bielec, Barbara Tomaszewska, Leszek Pająk,
Robert Skrzypczak, Marta Dendys,
Aleksandra Kasztelewicz, Barbara Dajek

OTWÓR GEOTERMALNY MSZCZONÓW IG-1 –
REKONSTRUKCJA I WIELOLETNIA EKSPLOATACJA

WYDAWNICTWO INSTYTUTU GOSPODARKI SUROWCAMI MINERALNYMI
I ENERGIA PAN • KRAKÓW • 2017

KOMITET REDAKCYJNY

prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki (redaktor naczelny serii)
dr hab. inż. Lidia Gawlik (sekretarz redakcji), prof. IGSMiE PAN
dr hab. inż. Krzysztof Galos, prof. IGSMiE PAN
dr hab. inż. Beata Kępińska, prof. IGSMiE PAN
dr hab. inż. Zenon Pilecki, prof. IGSMiE PAN

RECENZENCI

dr inż. Michał Kaczmarczyk
dr inż. Renata Włodarczyk

dr hab. inż. Wiesław Bujakowski, dr hab. inż. Antoni P. Barbacki, dr inż. Bogusław Bielec,
dr hab. inż. Barbara Tomaszewska, dr hab. inż. Leszek Pająk, dr Robert Skrzypczak, mgr inż. Marta Dendys,
mgr Aleksandra Kasztelewicz – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
mgr inż. Marek Balcer, Barbara Dajek – Geotermia Mazowiecka S.A.

*Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych
Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*

ADRES REDAKCJI

31-261 Kraków, ul. Józefa Wybickiego 7A
tel. 12-632-33-00, fax 12-632-35-24

Redaktor Wydawnictwa: mgr Danuta Nikiel-Wroczyńska
Redaktor techniczny: Barbara Sudoł

© *Copyright by Autorzy*
© *Copyright by Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN – Wydawnictwo*

Printed in Poland
Kraków 2017
ISSN 1895-6823
ISBN 978-83-62922-86-4

Spis treści

Wprowadzenie	5
1. Geotermia Mazowiecka S.A. – podstawowe informacje	7
2. Charakterystyka rejonu Mszczonowa	11
2.1. Lokalizacja	11
2.2. Warunki geologiczne	12
2.3. Warunki hydrogeotermalne	15
3. Otwór Mszczonów IG-1	17
4. Rekonstrukcja otworu Mszczonów IG-1	21
4.1. Historia	21
4.2. Prace wiertnicze	25
4.3. Badania i testy hydrogeologiczne	27
4.3.1. Pompowanie oczyszczające – 1997 r.	27
4.3.2. Pompowania pomiarowe – 1997 r.	30
4.3.3. Pompowanie przedeksploatacyjne – 1999 r.	34
4.4. Badania geofizyczne strefy złożowej	37
4.4.1. I cykl pomiarów geofizycznych – marzec 1997 r.	37
4.4.2. II cykl pomiarów geofizycznych – maj 1997 r.	38
4.4.3. III cykl pomiarów geofizycznych – lipiec 1999 r.	40
4.5. Badania wyniesionego materiału piaszczystego	43
4.6. Właściwości fizykochemiczne wód geotermalnych	46
5. Badania stanu technicznego otworu w 2003 i 2012 roku	49
5.1. Strefa złożowa	49
5.2. Stan techniczny otworu	50
5.3. Strefa perforowana	57
6. Zakład Geotermalny	62
6.1. Ujęcie geotermalne	62
6.2. System kontrolno-pomiarowy	66
6.3. Ciepłownia	67
7. Zagospodarowanie wód geotermalnych w Mszczonowie	74
7.1. Ciepłownictwo	74
7.2. Woda pitna	78
7.3. Termy Mszczonowskie	79

8. Efekty gospodarcze, społeczne i środowiskowe funkcjonowania	
Zakładu Geotermalnego w Mszczonowie	83
8.1. Wpływ na gospodarkę i społeczeństwo	83
8.2. Efekt ekologiczny	84
8.3. Określenie efektu ekologicznego związanego z eksploatacją energii geotermalnej w ciepłowni w Mszczonowie	85
9. Działalność inwestycyjna i badawczo-rozwojowa	
Geotermii Mazowieckiej S.A. w Mszczonowie	89
9.1. Projekt GEOCOM	89
9.2. Projekt monitorownia korozji mikrobiologicznej	90
9.3. Projekt pozyskiwania wód pitnych oraz cieczy i substancji balneologicznych	91
9.4. Projekt Europejskiego Obszaru Gospodarczego	94
9.5. Projekt magazynowania wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych	94
Podsumowanie	96
Literatura	98
Otwór geotermalny Mszczonów IG-1 – rekonstrukcja i wieloletnia eksploatacja – Streszczenie .	100
Mszczonów IG-1 geothermal well – reconstruction and long time exploitation – Abstract	101

Wprowadzenie

Otwór Mszczonów IG-1 został wykonany w latach 1976–1977 w ramach realizacji badań geologicznych w synklinorium warszawskim jako odwiert badawczy, parametryczno-strukturalny. Jednym z celów badań było także poszukiwanie złóż ropy i gazu. Otworem przewiercono utwory kenozoiku, mezozoiku, permu oraz karbonu, do głębokości 4119,0 m i osiągnięto cel geologiczny, nie stwierdzając jednocześnie obecności węglowodorów. Następnie otwór Mszczonów IG-1 został całkowicie zlikwidowany, a teren wiertni zrehabilitowany (Bujakowski 2015).

Z inicjatywy ówczesnych władz samorządu terytorialnego, które do dnia dzisiejszego reprezentowane są przez Burmistrza Józefa Grzegorza Kurka, opracowany został „Projekt rekonstrukcji otworu i badań hydrogeologicznych wód geotermalnych z horyzontu kredowego w otworze Mszczonów IG-1” (Polgeol 1991). Projekt był podstawą rozpoczęcia dyskusji nad możliwościami wykorzystania otworu do celów eksploatacji wód geotermalnych, a w dalszej perspektywie – stworzenia geotermalnego systemu ciepłowniczego w mieście. W efekcie podjęto działania zmierzające do wykorzystania otworu Mszczonów IG-1 (Balcer 2015; Kurek 2015). Dla realizacji tego celu w 1994 r. powstała spółka Geotermia Żyrardowska S.A., przekształcona później w Geotermię Mazowiecką S.A. W 1996 r., na podstawie wniosku opracowanego przez Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, gmina Mszczonów uzyskała dofinansowanie ze środków Komitetu Badań Naukowych na realizację projektu prac badawczych związanych z rekonstrukcją otworu Mszczonów IG-1. Prace rekonstrukcyjne podjęto w 1997 r. Ich celem było przywrócenie otworu do stanu technicznego, gwarantującego bezpieczną i stabilną eksploatację wód geotermalnych z piaszczystych utworów kredy dolnej.

Woda geotermalna, ujmowana otworem Mszczonów IG-1 z głębokości około 1600–1700 m, posiada temperaturę około 42,0°C i mineralizację 0,5–0,6 g/dm³ (Tomaszewska 2015). Głównym sposobem zagospodarowania wód złożowych od momentu otwarcia Zakładu Geotermalnego (2000 r.) do dziś (2017 r.) jest wykorzystanie w ciepłownictwie. Dodatkowo po schłodzeniu i uzdatnieniu przesyłana jest do miejskiej sieci wodociągowej i wykorzystywana jest do celów pitnych, a od 2008 r. zasila obiekt rekreacyjny Termy Mszczonowskie.

W 2017 r. minęło 40 lat od momentu odwiercenia otworu Mszczonów IG-1 oraz 20 lat od jego rekonstrukcji. To wystarczający okres, aby z perspektywy czasu spojrzeć na historię

funkcjonowania otworu. Najistotniejsze jest zestawienie aspektów związanych z rekonstrukcją otworu, która była pierwszą w Polsce kompletną rekonstrukcją dla celów geotermalnych starego, zlikwidowanego odwiertu poszukiwawczego oraz wieloaspektowe badania i pomiary uzyskane z ponad 20-letniej eksploatacji (Barbacki i in. 2000; Bujakowski 2015). Rekonstrukcja otworu geotermalnego Mszczonów IG-1 i jego wieloletnia eksploatacja przyczyniły się do rozwoju gminy i miasta Mszczonów.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie historii funkcjonowania Zakładu Geotermalnego od rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1, szczególnie jej aspektów technicznych, po analizę wieloletniej eksploatacji wód geotermalnych. Przyniosła ona gminie Mszczonów konkretne skutki ekologiczne oraz gospodarczo-społeczne i nadal jest przyczynkiem do rozwoju gminy, poprawy jakości życia jego mieszkańców oraz kreowania pozycji Mszczonowa jako gminy–lidera w zakresie innowacyjnych rozwiązań w geotermii.

Pracę skomponowano w dziewięciu rozdziałach. Wprowadzenie i pierwszy rozdział stanowią podstawowe informacje na temat historii Geotermii Mazowieckiej S.A. oraz aspektów organizacyjnych jej funkcjonowania. W rozdziale drugim scharakteryzowano rejon Mszczonowa, z uwzględnieniem warunków geologicznych i hydrogeologicznych. W rozdziale trzecim bardziej szczegółowo opisane zostały historia oraz warunki środowiskowe i techniczne otworu Mszczonów IG-1. Rozdział czwarty poświęcony został rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1 oraz przedstawieniu wyników badań otworu, poziomu złożowego oraz wód geotermalnych, prowadzonych w czasie rekonstrukcji. W rozdziale piątym zawarto informacje na temat badań stanu technicznego otworu wykonane w roku 2003 oraz 2012. Kolejne rozdziały poświęcone zostały charakterystyce Zakładu Geotermalnego oraz technicznym aspektom jego funkcjonowania, a następnie opisano wykorzystanie wód geotermalnych na cele ciepłownicze, komunalne oraz rekreacyjne. Rozdział ósmy zawiera opis i ocenę efektów gospodarczych, społecznych i ekologicznych eksploatacji wód geotermalnych i funkcjonowania Zakładu Geotermalnego w Mszczonowie. W rozdziale dziewiątym opisano działalność inwestycyjną i badawczo-rozwojową, prowadzoną przez Geotermię Mazowiecką S.A. na bazie wód geotermalnych eksploatowanych otworem Mszczonów IG-1. Pracę zakończono podsumowaniem.

W pracy używany jest zwrot „wody geotermalne”, który jest odpowiednikiem terminu „wody termalne” w ujęciu ustawy Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2017 poz. 2126).

1. Geotermia Mazowiecka S.A. – podstawowe informacje

Mszczonowski odwiert geotermalny Mszczonów IG-1 wykonano w latach siedemdziesiątych XX wieku (1976–1977) w celu m.in. poszukiwań złóż ropy i gazu. Z uwagi na brak zasobów odwiert zlikwidowano poprzez zamknięcie wytypowanych horyzontów zbiornikowych korkami cementowymi. Po zakończeniu prac wiertniczych przeprowadzono pełną rekultywację terenu wiertni z utworzeniem placu handlowego w miejscu otworu (Bujakowski 2015).

W 1992 r. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie przedstawił ówczesnym władzom samorządowym Żyrardowa inicjatywę wykorzystania ciepła stwierdzonych tu wód geotermalnych. W tym samym czasie (listopad 1991 r.) przez Przedsiębiorstwo Geologiczne Polgeol opracowany został „Projekt rekonstrukcji i badań hydrogeologicznych wód geotermalnych z horyzontu kredowego w otworze Mszczonów IG-1”.

W dniu 16 czerwca 1994 r. nastąpiło formalne rozpoczęcie funkcjonowania Geotermii Żyrardowskiej S.A. Był to dzień zawarcia umowy powołującej Spółkę przez akcjonariuszy, co miało miejsce w Miejskim Domu Kultury w Żyrardowie.

W 1995 r. Spółka zmieniła nazwę na „Geotermia Mazowiecka S.A.” oraz rozszerzyła akcjonariat podczas Nadzwyczajnego Walnego Zgromadzenia Akcjonariuszy.

Po powołaniu spółki Geotermia Mazowiecka S.A. przygotowany został projekt wykorzystania złoża wody geotermalnej do celów grzewczych. Analiza geologiczna danych archiwalnych oraz analiza potencjału rynku ciepłowniczego miasta Mszczonowa wykazały, iż najbardziej perspektywnym poziomem jest poziom dolnej kredy, w przedziale głębokościowym 1600,0–1700,0 m p.p.t. o temperaturze wód 42,0°C (Balcer 2015). Dodatkowym atutem udostępnienia tego poziomu wodonośnego był fakt, iż wody geotermalne nie są tu zmineralizowane, co otwierało także inne perspektywy dla wykorzystania tych wód, m.in. do celów pitnych, czy rekreacyjnych.

W 1996 r. rozpoczęto prace rekonstrukcyjne w otworze Mszczonów IG-1 oraz podjęto budowę Zakładu Geotermalnego, zlokalizowanego w Mszczonowie przy ul. Sienkiewicza 58.

W 1997 r. Zakład Geotermalny w Mszczonowie rozpoczął produkcję energii cieplnej, a w dniu 25 maja 2000 r. nastąpiło jego uroczyste otwarcie.

Zakład Geotermalny w Mszczonowie powstał jako trzeci w Polsce, a koszt inwestycji wyniósł blisko dziesięć milionów złotych (Kurek 2015). Woda geotermalna została zagos-

podarowana przede wszystkim do celów ciepłowniczych, ale także od 2008 r. do zasilania obiektu rekreacyjnego Termy Mszczonowskie. Woda geotermalna, po oddaniu ciepła, jest także wykorzystywana do celów pitnych, co jest rzadkością w skali europejskiej. Podobne instalacje działają w Erding, mieście zlokalizowanym w rejonie Monachium w Niemczech oraz od 2012 roku w Poddębicach. Wody geotermalne w strefie Mszczonowa, o temperaturze 42,0°C, eksploatowane z głębokości około 1700,0 m skutecznie ogrzewają miasto do momentu, gdy temperatura zewnętrzna nie osiąga wartości poniżej -5,0°C. Przy spadku temperatury poniżej -5,0°C jest dodatkowo podgrzewana gazem (Balcer 2015). Schłodzona woda geotermalna, po przejściu przez instalację odżelaziania kierowana jest do miejskiej sieci wodociągowej jako woda pitna o stwierdzonej wysokiej jakości. W 2011 r. Geotermia Mazowiecka zrealizowała kolejną inwestycję w swoim systemie ciepłowniczym, pn. „Budowa instalacji odzysku ciepła II stopnia w Zakładzie Geotermalnym w Mszczonowie”.

Pod nazwą Geotermia Mazowiecka S.A. funkcjonuje nie tylko Zakład Geotermalny w Mszczonowie. W 1998 r. w skład Geotermii Mazowieckiej S.A. wszedł także konwencjonalny system ciepłowniczy, dostarczający ciepło do jednej z dzielnic Sochaczewa – Chodakowa. W 2003 r. do struktury wytwórczej Spółki przystąpiło miasto Błonie, a w 2008/2009 r. ze swoim systemem grzewczym dołączył Ożarów Mazowiecki. W tym samym czasie Spółka zbudowała w Sochaczewie kolejną ciepłownię, tym samym umożliwiając dostarczanie ciepła do około 40% mieszkańców miasta. Ostatnim etapem rozwoju Geotermii Mazowieckiej S.A. było zbudowanie w Żyrardowie ciepłowni gazowej.

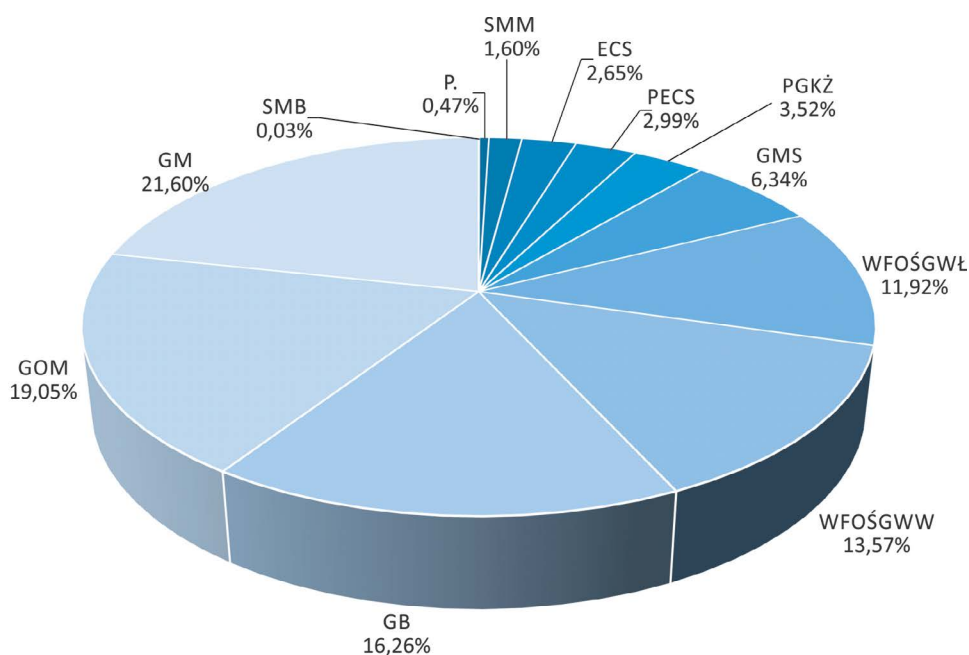
Geotermia Mazowiecka S.A. posiada koncesję na wytwarzanie ciepła od 1998 r. Przedmiot działalności objętej tą koncesją stanowi działalność gospodarcza, polegająca na wytwarzaniu ciepła w sześciu źródłach (URE 2017):

1. Zakład Geotermalny w Mszczonowie, o łącznej mocy zainstalowanej 8,5 MW, wyposażony w trzy kotły wodne oraz dwie absorpcyjne pompy ciepła, wykorzystujące jako paliwo gaz ziemny.
2. Ciepłownia „Chodaków” w Sochaczewie, o łącznej mocy zainstalowanej 6,8 MW, wyposażona w dwa kotły wodne o mocy zainstalowanej 2,9 MW każdy, wykorzystujące jako paliwo miał węglowy oraz dwa kotły wodne, o mocy zainstalowanej 0,5 MW każdy, przystosowane do spalania biomasy.
3. Kotłownia w Błoniu, o łącznej mocy zainstalowanej 9,9 MW, wyposażona w trzy kotły wodne, wykorzystujące jako paliwo gaz ziemny.
4. Kotłownia w Ożarowie Mazowieckim, o łącznej mocy zainstalowanej 14,0 MW, wyposażona w trzy kotły wodne, wykorzystujące jako paliwo gaz ziemny.
5. Kotłownia w Sochaczewie, o łącznej mocy zainstalowanej 3,5 MW, wyposażona w dwa kotły wodne, wykorzystujące jako paliwo miał węglowy.
6. Kotłownia w Żyrardowie, o łącznej mocy zainstalowanej 10,0 MW, wyposażona w jeden kocioł wodny, wykorzystujący jako paliwo gaz ziemny.

Jednocześnie od 1998 r. Geotermia Mazowiecka S.A. posiada także koncesję na przesyłanie i dystrybucję ciepła wytwarzanego we własnych źródłach następującymi sieciami ciepłowniczymi (URE 2017):

1. Na terenie miasta Mszczonów, w której nośnikiem ciepła jest woda o granicznej temperaturze zasilania 80°C i powrotu 60°C.
2. Na terenie miasta Mszczonów, w której nośnikiem ciepła jest woda o granicznej temperaturze zasilania 70°C i powrotu 50°C.
3. Na terenie miasta Sochaczew, w której nośnikiem ciepła jest woda o granicznej temperaturze zasilania 90°C i powrotu 70°C.
4. Na terenie miasta Błonie, w której nośnikiem ciepła jest woda o granicznej temperaturze zasilania 95°C i powrotu 75°C.
5. Na terenie miasta Ożarów Mazowiecki, w której nośnikiem ciepła jest woda o granicznej temperaturze zasilania 90°C i powrotu 70°C.
6. Na terenie miasta Sochaczew, w której nośnikiem ciepła jest woda o granicznej temperaturze zasilania 90°C i powrotu 70°C.

Geotermia Mazowiecka S.A. jest spółką akcyjną, której łącznie ponad 50% praw głosu posiadają organa publiczne – jednostki samorządu terytorialnego, tj. Gmina Mszczonów, Gmina Ożarów Mazowiecki, Gmina Błonie, Gmina Miasto Sochaczew (rys. 1, tab. 1).



Rys. 1. Struktura podziału procentowego akcji spółki Geotermia Mazowiecka S.A. (skrótów nazw akcjonariuszy zgodnie z tabelą 1)

Fig. 1. Structure of the division of shareholders of Geotermia Mazowiecka S.A. (shortcuts of shareholders' names in Table 1)

Tabela 1

Procentowy udział akcjonariuszy w spółce Geotermia Mazowiecka S.A.

Table 1

Percentage division of shareholders in Geotermia Mazowiecka S.A.

Lp.	Nazwa Udziałowca	Udział [%]
1.	Gmina Mszczonów (GM)	21,60
2.	Gmina Ożarów Mazowiecki (GOM)	19,05
3.	Gmina Błonie (GB)	16,26
4.	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie (WFOSGWW)	13,57
5.	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Łodzi (WFOSGWŁ)	11,92
6.	Gmina Miasto Sochaczew (GMS)	6,34
7.	Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Sochaczew Sp. z o.o. (PECS)	2,99
8.	Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Żyrardów Sp. z o.o. (PGKŻ)	3,52
9.	Energetyka Ciepła Sp. z o.o. w Skierniewicach (ECS)	2,65
10.	Spółdzielnia Mieszkaniowa w Mszczonowie (SMM)	1,60
11.	Spółdzielnia Mieszkaniowa w Błoniu (SMB)	0,03
12.	Pozostali (P)	0,47

2. Charakterystyka rejonu Mszczonowa

2.1. Lokalizacja

Mszczonów to miasto położone w województwie mazowieckim, w powiecie żyrardowskim, 46 km na południowy zachód od Warszawy i około 100 km na północny wschód od Łodzi. Miasto jest siedzibą gminy miejsko-wiejskiej Mszczonów, geograficznie zlokalizowanej w Kotlinie Warszawskiej. W okolicach Mszczonowa krzyżują się ważne arterie komunikacyjne, tj. droga ekspresowa S8 z drogą krajową nr 50, a około 18 km od Mszczonowa przebiega autostrada A2. Przez obrzeża miasta przebiega także Centralna Magistrala Kolejowa. W 2016 r. miasto Mszczonów liczyło około 6400 mieszkańców, a gmina Mszczonów – około 11 500 (GUS 2016).



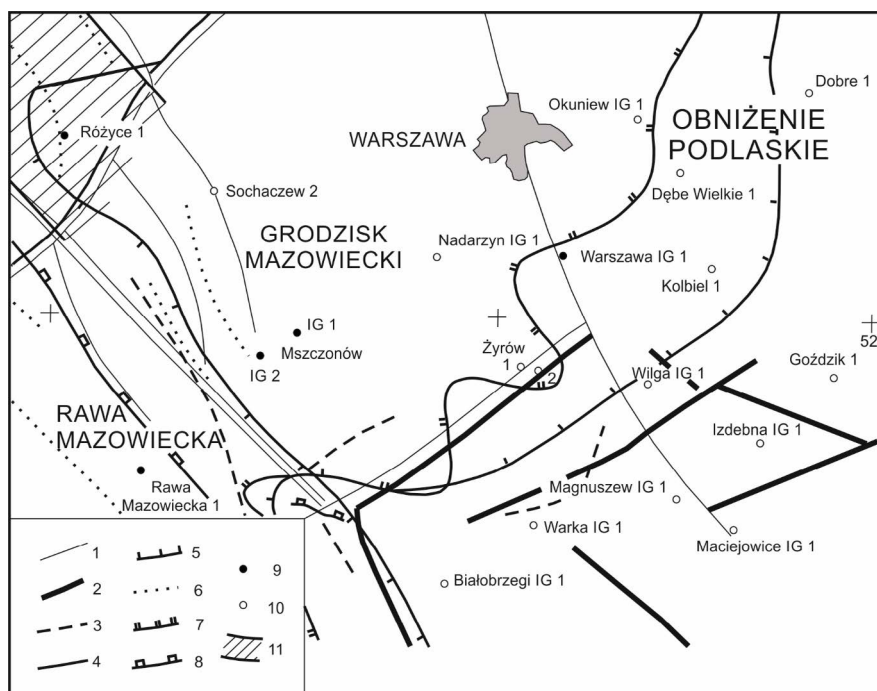
Rys. 2. Lokalizacja Zakładu Geotermalnego oraz ujęcia wód geotermalnych Mszczonów IG-1
(na podstawie: www.geoportal.gov.pl)

Fig. 2. Location of the Geothermal Heating Plant and the Mszczonów IG-1 geothermal water borehole
(based on: www.geoportal.gov.pl)

Zakład Geotermalny oraz ujęcie wód geotermalnych z otworu Mszczonów IG-1 zlokalizowane są na terenie miasta Mszczonów, odpowiednio – Zakład przy ulicy Sienkiewicza, ujęcie – przy ulicy Tarczyńskiej (rys. 2).

2.2. Warunki geologiczne

Mszczonów położony jest w południowej części niecki warszawskiej, w obrębie bloku Grodziska Mazowieckiego (rys. 3). Południowo-wschodnią granicę bloku stanowi strefa



Rys. 3. Mapa jednostek strukturalnych kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego – 1:500 000
(na podstawie Tomaszewska 2015)

1 – granice jednostek, 2 – ważniejsze uskoki i strefy uskokowe, 3 – strefy regionalnych gradientów nachylenia powierzchni strukturalnych, 4 – granice obszarów o różnych typach genetycznych struktur lokalnych bądź różnych kierunkach strukturalnych, 5 – ważniejsze strefy zwiększonych gradientów miąższości w cechszynie (główne piętro Z2) i mezozoiku (głównie jura i dolna kreda), 6 – osie ważniejszych ciągów struktur lokalnych, 7 – zasięg soli cechsztyńskich piętra Z2, 8 – zasięg kredy górnej, 9 – otwory wiertnicze, które przebiły kompleks, 10 – wybrane otwory, które nie przebiły kompleksu, 11 – stopień w podłożu skonsolidowanym

Fig. 3. Map of structural units of the Zechstein-Mesozoic complex – 1:500 000 (after Tomaszewska 2015)

1 – boundaries of units, 2 – major faults and fault zones, 3 – zones of regional gradients of inclination of structural surfaces, 4 – boundaries of areas differing in genetic types of local structures or structural directions, 5 – major zones of increased thickness gradients in Zechstein (primarily Z2 stage) and Mesozoic (primarily Jurassic and Lower Cretaceous), 6 – axes of major series of local structures, 7 – extent of salt of the stage Z2 (Zechstein), 8 – extent of Upper Cretaceous, 9 – boreholes penetrating the complex, 10 – selected boreholes which did not penetrate the complex, 11 – step in consolidated basement

dyslokacyjna Grójec-Żyrów, a północno-zachodnią – jednostka Płońska (Bujakowski i in. 1999; Tomaszewska 2015). Utwory permsko-mezozoiczne jednostki Grodziska są stosunkowo słabo zaburzone. Uskoki i lokalne podniesienia antyklinalne występują jedynie w części zachodniej bloku wzdłuż linii dyslokacyjnej Łowicz–Nowe Miasto. Wszystkie struktury tektoniczne przykryte są utworami młodszymi, głównie górnokredowymi.

W rejonie bloku Grodziska Mazowieckiego odwiercone zostały głębokie otwory (rys. 3 i 4), m.in. Mszczonów IG-1, Mszczonów IG-2, Nadarzyn IG-1, Sochaczew 2, a w strefie odgraniczającej blok Grodziska od Bruzdy Kujawskiej znajdują się takie otwory jak: Raducz IG-1, Skierniewice GT-1 oraz Skierniewice GT-2 (Bujakowski i in. 1999).



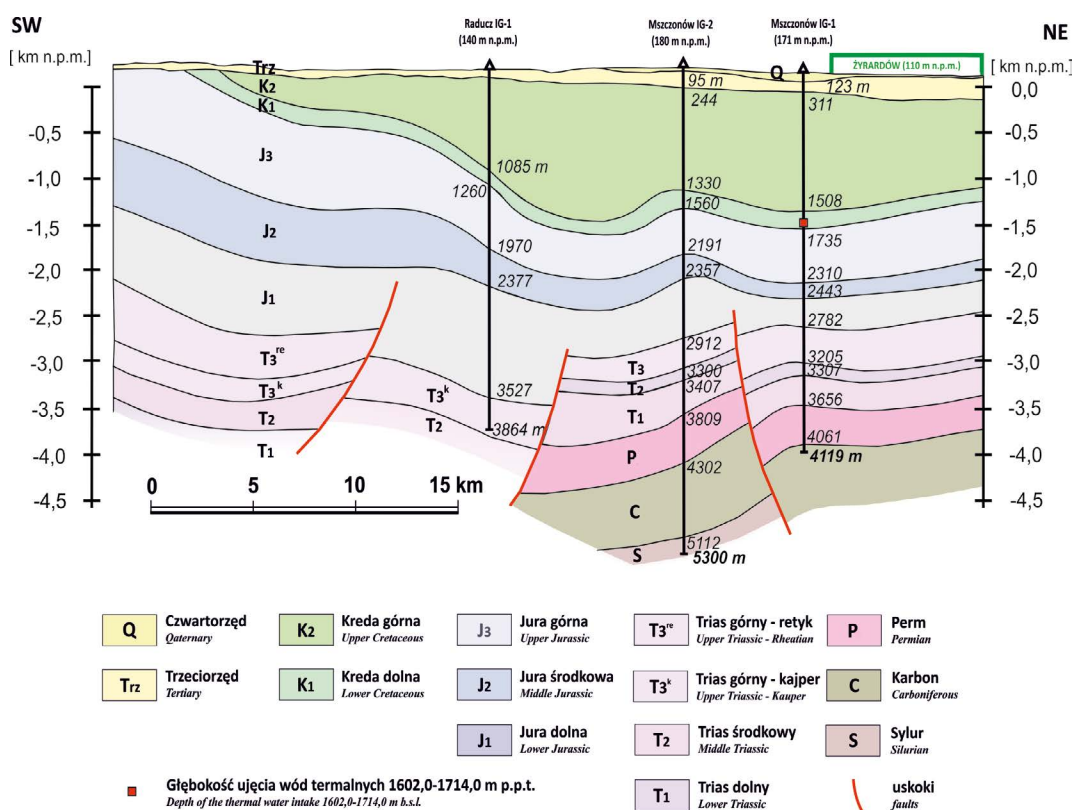
Rys. 4. Lokalizacja wybranych głębokich otworów wiertniczych w rejonie Mszczonowa (Tomaszewska 2015)

Fig. 4. Location of selected deep boreholes in the Mszczonów area (Tomaszewska 2015)

Najstarszymi utworami nawierconymi w rejonie Mszczonowa, w jednostce Grodziska, są osady górnego syluru, znajdujące się na głębokości 3500,0–5110,0 m, wykształcone w formacji fliszu łupkowego jako ciemne iłowce i mułowce z graptolitami (Bujakowski i in. 1999; Tomaszewska 2015). W nadkładzie występują zalegające poziomo utwory karbonu górnego – głównie piaskowce i utwory ilasto-mułowcowe, z wkładkami węgla kamiennego i fauny morskiej. Ich miąższość waha się od 350,0 do 800,0 m. Bezpośrednio na utworach karbonu leżą przewarstwione wzajemnie zlepieńce, piaskowce i mułowce górnego czerwonego spągowca (perm). W rejonie Mszczonowa formacje te osiągają miąższości rzędu kilku metrów (w otworze Mszczonów IG-1 jedynie 0,5 m). W cechszynie (perm górny) w rejonie Mszczonowa zachodziła sedymentacja ewaporatowo-chemiczna, czego pozostałością są

anhidryty, dolomity oraz iłowce. W otworze Mszczonów IG-1 miąższość utworów cechsztynu wynosi 407,5 m, a w pozostałych otworach mieści się w zakresie od 350 do 500 m (Bujakowski i in. 1999; Tomaszewska 2015).

Trias dolny występuje jako formacja środkowego pstrego piaskowca w postaci iłowców i mułowców z wkładkami wapienia. Miąższość formacji wynosi od 280,0 do 400,0 m, a w otworze Mszczonów IG-1 – 385,5 m. Powyżej osadził się cienki kompleks pstrych, wapienistych osadów ilasto-mułowcowych z wkładkami wapieni i piaskowców. Są to utwory retu, którego sedimentacja kontynuowała się w wapieniu muszlowym. Powstały wtedy wapienie, często margliste, niekiedy organodetrytyczne, zawierające wkładki gruzłowych anhydrytów (Bujakowski i in. 1999; Tomaszewska 2015). Utwory te wykazują miąższość około 100,0 m, a w otworze Mszczonów IG-1 – 102,5 m. Pod koniec wapienia muszlowego nastąpiła regresja zbiornika oraz silne ruchy tektoniczne i resedymantacja niższych ogniw triasu. Powstały wówczas grube pakiety czerwonych iłow gruzłowych z okruchami wapieni i dolomitów. Najmłodsze osady triasu (kajper) to głównie iłowce i mułowce z wkładkami piaskowców, osiągające miąższość od 350,0 do 430,0 m.



Rys. 5. Przekrój geologiczny rejonu Mszczonowa (Barbacki i in. 2004)

Fig. 5. Geological cross-section of the Mszczonów area (Barbacki et al. 2004)

W profilu geologicznym powyżej utworów triasu stwierdzono terygeniczne utwory piaszczysto-ilaste, rozpoczynające osady jury dolnej (rys. 5). Miąższość jury dolnej w rejonie Mszczonowa waha się od 200,0 do 500,0 m, a w otworze Mszczonów IG-1 wynosi 339,0 m (Tomaszewska 2015).

Kompleks dolnojurański w rejonie Mszczonowa stanowi poziom o korzystnych właściwościach zbiornikowych. Limniczny zbiornik dolnojurański w aalenie (jura środkowa) przekształcił się w zbiornik morski, gdzie powstawały ciemne iłowce i mułowce, przewarstwione pakietami piaskowców. Leżące na nich dolomity i wapienie z glaukonitem to osady keloweju. Miąższość osadów jury środkowej wynosi w otworze Mszczonów IG-1 133,0 m. Jura górna była okresem największej ekspansji zbiornika. Powstawały wtedy płytkowodne wapienie gruzłowe, skaliste, organodetrytyczne i oolitowo-onkolitowe. Później tworzyły się wapienie i margle z wkładkami łupków marglistych i mułowców. Pod koniec jury górnej osadzały się wapienie z wkładkami oolitowymi, z anhydrytem i gipsem. Miąższość jury górnej w rejonie Mszczonowa wynosi od 500,0 do 600,0 m, a w otworze Mszczonów IG-1 – 575,0 m.

Cykl sedymentacyjny utworów kredy rozpoczyna się w obrębie bloku Grodziska Mazowieckiego w górnym walanżynie (kreda dolna). Osadziły się tam ciemne utwory mułowcowo-ilaste, miejscami piaszczysto-dolomityczno-syderytowe. W kierunku południowo-wschodnim zastępują je wapienie i margle. Na utworach walanżyny leżą piaskowce glaukonitowe i piaski albu dolnego i środkowego, należące do głównego kompleksu zbiornikowego. Miąższość utworów kredy dolnej wynosi 200–300 m, a w otworze Mszczonów IG-1 osiąga 132,5 m. W albie górnym (kreda dolna) rozpoczęła się sedymentacja węglanowa, która trwała przez całą kredę górną. Osadzały się wówczas wapienie, margle, opoki, gezy i kreda pisząca. Miąższość osadów górnej kredy waha się w przedziale od 900 do 1300 m. W otworze Mszczonów IG-1 wynosi 1275,5 m (Dembowska, Marek red. i Bujakowski i in. 1999).

Utwory kenozoiku reprezentowane są przez marglisto-piaszczysty paleocen oraz piaskowcowo-mułowcowe i margliste utwory eocenu i oligocenu. W miocenie i pliocenie występują piaski i iły, miejscami zawierające wkładki węgla brunatnego (Bujakowski i in. 2004; Tomaszewska 2015).

2.3. Warunki hydrogeotermalne

W obrębie bloku Grodziska Mazowieckiego dolnojurański poziom wodonośny tworzą głównie piaskowce z naprzemianległymi mułowcami i iłowcami. Jego porowatość szacowana jest na 13,0% przy przepuszczalności około 500,0 mD. Stwierdzone porowatości utworów wynoszą od 4,33% w otworze Sochaczew 1 do 26,87% w otworze Mszczonów IG-1, natomiast wartości przepuszczalności mieszczą się w zakresie od 0,06 mD w otworze Różyce 1 do 9888 mD w otworze Mszczonów IG-1 (Bujakowski i in. 1999; Tomaszewska 2015).

W rejonie Skierniewic poziom dolnojurański występuje na głębokościach od $-400,0$ m n.p.m. w części południowo-zachodniej do ponad $-2600,0$ m n.p.m. w części północnej (Tomaszewska 2015). Obserwowane w otworach miąższości zbiornika dolnojurańskiego wynoszą od $105,0$ m w otworze Sochaczew 3 do ponad $1000,0$ m w otworach Rawa Mazowiecka 1 oraz Jeżów IG-1. Temperatury wód tego poziomu mogą wahać się od około $20,0$ do blisko $90,0^{\circ}\text{C}$ przy oczekiwanych wydajnościach rzędu $80,0$ – $250,0$ m^3/h . Wody geotermalne poziomu jury dolnej charakteryzuje wysoka mineralizacja, często powyżej $110,0$ g/dm^3 . W odwiercie Sochaczew 1 wody z głębokości $2837,0$ m charakteryzuje mineralizacja rzędu $119,0$ g/dm^3 , a w otworze Skierniewice GT-2 – $113,0$ g/dm^3 z głębokości $2771,0$ – $2886,0$ m (Tomaszewska i Pająk 2012).

Utwory wyżej zalegających zbiorników doggeru i malmu to głównie piaskowce, węglany i iłowce. Utwory doggeru występują na głębokościach przekraczających $-1500,0$ m n.p.m., osiągając nawet $-2200,0$ m n.p.m. Są to głębokości mające bezpośredni wpływ na temperatury płynów występujących w tych warstwach. Porowatości warstw skalnych szacowane są na około $12,0\%$ dla malmu, przy minimalnej wielkości tego parametru $1,4\%$, stwierdzonej w otworze Sochaczew 1 i maksymalnej $25,61\%$, stwierdzonej w otworze Różyce 1 (Bujakowski i in. 1999; Tomaszewska 2015). Dla doggeru szacowana porowatość utworów wynosi około $10,0\%$, przy minimalnej wielkości parametru na poziomie $0,18\%$ w otworze Raducz IG-1 i maksymalnej $25,45\%$ w otworze Różyce 1.

Przepuszczalności zmierzone w utworach malmu osiągały wartości w przedziale od mniej niż $1,0$ mD (w otworze Mszczonów IG-1 – $0,75$ mD) do blisko $1,0$ D (w otworze Różyce 1 – $911,8$ mD). W utworach doggeru wartości przepuszczalności wynosiły od $0,25$ mD w otworze Jeżów IG-1 do $1913,04$ mD w otworze Sochaczew 2 (Bujakowski i in. 1999). Zarówno utwory malmu, jak i doggeru, stanowią warstwy perspektywiczne dla wykorzystania geotermalnego.

Dolnokredowy zbiornik geotermalny występuje na głębokości ponad $-1400,0$ m n.p.m. w strefie od Mszczonowa na południe poprzez Żyrardów po obszar na południowy wschód od Sochaczewa. Miąższość zbiornika dolnej kredy wynosi od około $140,0$ m w otworze Mszczonów IG-2 po blisko $300,0$ m w otworze Łowicz IG-1 (Bujakowski i in. 1999; Bujakowski 2000, 2001; Tomaszewska 2015). Warstwy wodonośne tworzą kompleksy piaskowców i piaskowcowo-węglanowe, przedzielone seriami iłowcowymi i mułowcowymi. Seria wodonośna charakteryzuje się porowatościami rzędu od $7,28$ do $33,09\%$ w otworze Mszczonów IG-1, od $9,9$ do $30,2\%$ w otworze Mszczonów IG-2, od $25,6$ do $28,95\%$ w otworze Sochaczew 3 oraz przepuszczalnościami od kilku do $1580,0$ mD w otworze Korabiewice IG-1 (Tomaszewska 2015). Temperatura wód geotermalnych tego poziomu może osiągać 45°C . Występujące tutaj wody podziemne charakteryzują się zwykle bardzo niską mineralizacją, poniżej $1,0$ g/dm^3 . Sporadycznie mineralizacja osiąga wartości wyższe, jak np. w otworze Raducz IG-1.

3. Otwór Mszczonów IG-1

Otwór Mszczonów IG-1 to odwiert geologiczno-strukturalny, wykonany w latach 1976–1977 m.in. w celach poszukiwania ropy i gazu. Podstawowym jego zadaniem było zbadanie zmienności facjalnej utworów dolomitu głównego na obszarze niecki warszawskiej (Bujakowski i in. 2013a). Do głębokości 4119 m w otworze przewiercono utwory mezozoiku, permu i kilkadziesiąt metrów utworów karbonu (rys. 6).

W okresie wiercenia otworu opróbowane zostały główne poziomy zbiornikowe, o których zebrane informacje przedstawiono w tabeli 2. Testy złożowe zostały przeprowadzone w pięciu wytypowanych interwałach głębokości, odpowiadających położeniu stref zbior-

Tabela 2

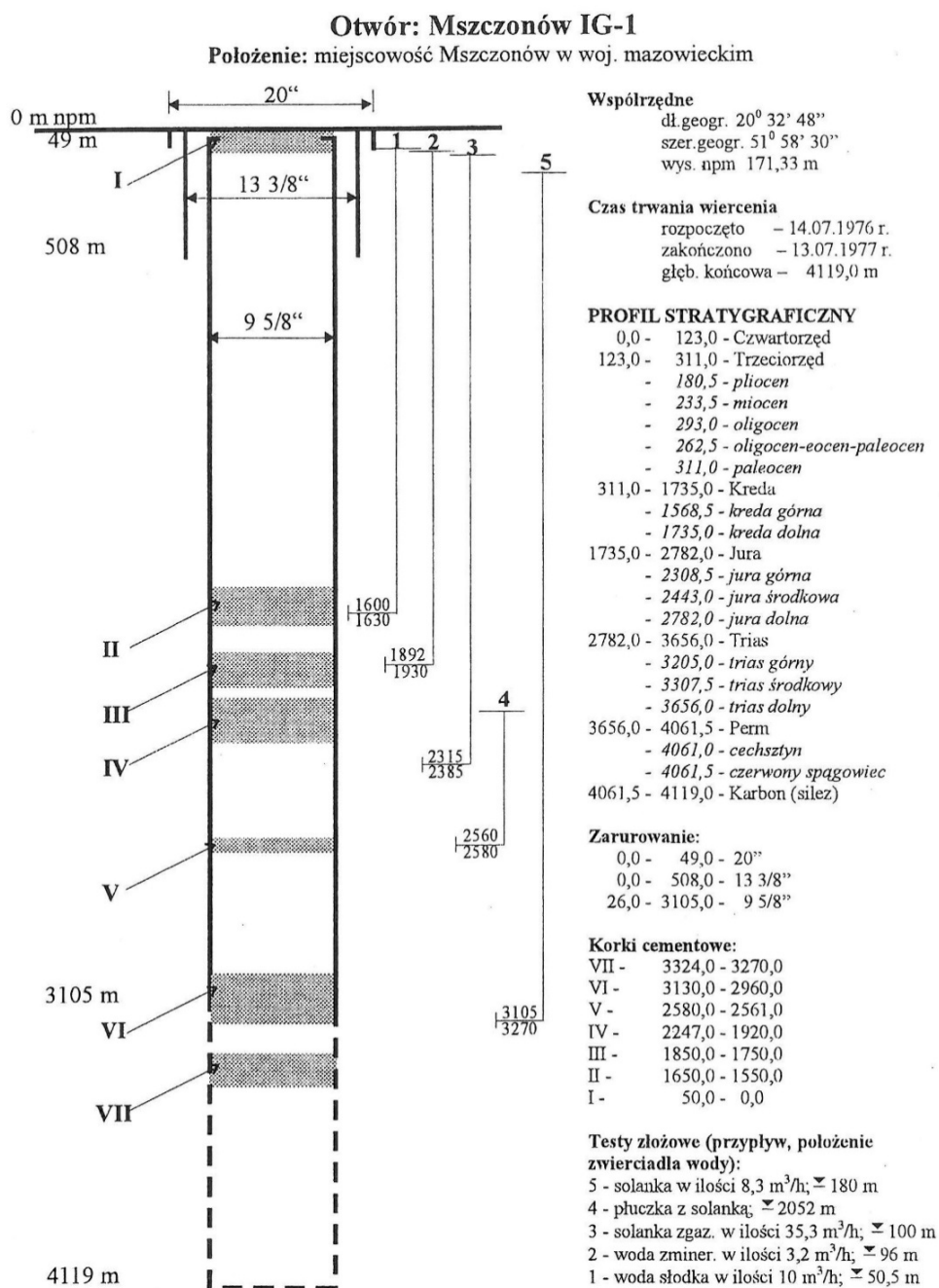
Wyniki opróbowień poziomów perspektywicznych. Opróbowania wykonane w czasie wiercenia otworu Mszczonów IG-1 (Barbacki i in. 2000; Bujakowski 2015)

Table 2

Results of the aquifers testing. Tests has been made during the drilling of the Mszczonów IG-1 borehole (Barbacki i in. 2000; Bujakowski 2015)

Lp.	Wiek poziomu zbiornikowego	Przedział głębokościowy [m p.p.t.]	Zwierciadło wody [m p.p.t.]	Ciśnienie złożowe [MPa]	Wydajność [m ³ /h]	Mine- ralizacja [g/dm ³]	Typ wody	Metoda badania
1.	Kreda dolna	1600,0–1630,0	50,5	–	10,0	1,0	woda słodka	szerpy- wanie łyżką wiertniczą
2.	Jura górna	1892,0–1930,0	96,0	19,2	3,2	29,9	woda zmine- ralizowana	RPZ*
3.	Jura środkowa	2315,0–2385,0	100,0	23,7	–	77,0	solanka zgazowana	RPZ
4.	Jura dolna	2560,0–3270,0	2052,0	26,0	35,3	95,0	(płuczka z solanką)	RPZ
5.	Trias środkowy i górny	3105,0–3270,0	180,0	31,6	8,3	–	solanka	RPZ

* RPZ – rurowy próbnik złoża.



Rys. 6. Odwiert Mszczonów IG-1 – stan w 1977 r. według dokumentacji hydrogeologicznej (Barbacki i in. 2000; Bujakowski 2015)

Fig. 6. The Mszczonów IG-1 borehole – state in 1977 (Barbacki et al. 2000; Bujakowski 2015)

nikowych kredy dolnej, jury górnej, jury środkowej i jury dolnej oraz triasu. W czasie wiercenia opróbowanie zostało wykonane pod kątem oceny warunków hydrogeologicznych (Bujakowski 2015).

Wyniki opróbowania poziomu dolnokredowego wskazały, że jest on najbardziej korzystnym kompleksem zbiornikowym wód geotermalnych w rejonie Mszczonowa (Tomaszewska 2015), co wynikało z położenia zwierciadła wód, mineralizacji oraz niewielkiej głębokości zbiornika. W czasie wiercenia opróbowano osady albu środkowego – barremu, reprezentowane przez utwory piaszczysto-mułowcowe. Rozpoznanie utworów kredy dolnej było jednak niepełne ze względu na mały zakres rdzeniowania otworu. W efekcie stratygrafię tego poziomu ustalono głównie na podstawie fragmentarycznej analizy wyników geofizycznych i rezultatów badań faunistycznych.

Mięszczość utworów dolnej kredy w otworze Mszczonów IG-1 wynosi 132,5 m (Tomaszewska 2015). Profil kredy dolnej reprezentują transgresyjne osady walanżynu górnego. Rozpoczynają go mułowce i ilowce z przewarstwieniami piaskowców. Przewaga piaskowców zaznacza się przeważnie w ogniwach górnych. W otworze Mszczonów IG-1 miąższość osadów walanżynu górnego wynosi 14,5 m. Wyżej zalegają mułowce i ilaste osady hoterywu dolnego z przewarstwieniami piaskowców, o miąższości 6,5 m. Wspomniane zbiornikowe utwory barremu (alb środkowy) zalegają bezpośrednio na osadach hoterywu dolnego i reprezentowane są przez utwory piaszczyste o średniej miąższości około 100,0 m. Miąższość utworów barremu wynosi tutaj 111,5 m. Można w nim wyróżnić trzy serie litologiczne (Bujakowski i in. 1999; Tomaszewska 2015):

- ogniwo najniższe pagórczańskie (miąższość 40,5 m),
- ogniwo goplańskie, o największej ilości wkładek mułowcowo-ilastych (miąższość 18,0 m),
- ogniwo najwyższe kruszwickie (miąższość 43,0 m).

Powyżej piaszczystych osadów albu środkowego (barremu) w ciągłości sedymentacyjnej występują osady albu górnego, a następnie – cenomanu, piętra górnej kredy.

Korelacja międzyotworowa krzywych geofizycznych oraz dane geofizyczne uzyskane z otworu Mszczonów IG-1 wskazują, że w otworze tym piaskowce stanowią około 85,0% ogólnej miąższości utworów kredy dolnej, z czego 84,0% przypada na osady albu środkowego (barremu). W kierunku wschodnim udział piaskowców w profilu kredy dolnej maleje do 75,0%, natomiast na zachód rośnie, osiągając aż 91,0% (Bujakowski i in. 1999; Tomaszewska 2015). Porowatości efektywne utworów barremu są wysokie i wahają się od 22,0 do 29,0% przy przepuszczalności w zakresie od 1,58 do 1,48 D. Są to jednak dane z otworów sąsiednich, tj. Nadarzyn IG-1, Korabiewice IG-1, gdyż w otworze Mszczonów IG-1 badań tych nie wykonywano. O korzystnych warunkach hydrogeologicznych rejonu Mszczonowa decyduje niskie położenie kompleksu dolnokredowego w stosunku do stref sąsiednich, tj. niemal 400,0 m niżej niż w strefach otworów Nadarzyn IG-1 oraz Raducz IG-1 (Tomaszewska 2015).

Na podstawie wyników badań przeprowadzonych w 1977 r. wysunięto wnioski, iż przebadane poziomy: wapienia muszlowego i kajpru, jury dolnej, środkowej i górnej oraz

krede dolnej, wykazują bardzo dobre właściwości zbiornikowe skał (Bujakowski i in. 2013a). Stwierdzono, że utwory te występują w strefie subartezyjskiej, a ciśnienia złożowe zbliżone są do ciśnień hydrostatycznych. Zaobserwowano wzrost mineralizacji wraz z głębokością, a na podstawie badań izotopowych wody geotermalnej stwierdzono, że utwory kredy znajdują się w strefie intensywnej wymiany wód o głębokim zasięgu (Barbacki i in. 2000).

Dalsze badania wykazały, że dolnokredowy poziom wodonośny, alb środkowy–barrem, jest najbardziej korzystnym do wykorzystania w aspekcie geotermalnym (Bujakowski 2015). Utwory dolnokredowe wykształcone są tu w facji terygeniczej, sporadycznie w facji węglanowej. Miąższość ich poziomu określono na 132,5 m, jednak z powodu niewielkiego uzysku rdzenia, tj. około 33,0 m, określenie miąższości kompleksu oraz rozpoznanie jego litologii i stratygrafii oparte zostało głównie na korelacji międzyotworowej z wykorzystaniem krzywych geofizyki wiertniczej z sąsiadujących otworów oraz na analizie rdzeni z tych otworów. Na podstawie rdzeni z otworów sąsiednich, tj. Nadarzyn IG-1 oraz Korabiewice IG-1, określono porowatość efektywną utworów barremu jako wysoką, osiągającą wartości w przedziale 22–29%, przy przepuszczalności 1,48–1,58 D. Złoże wód geotermalnych, ujmowane otworem Mszczonów IG-1 tworzą piaskowce, charakteryzujące się w całej badanej strefie porowatością rzędu 15% z niewielkimi zmianami w stropie osadów albu. Piaskowce w całości nasycone są wodą złożową o niewielkiej mineralizacji. Pomiędzy seriami piaskowców występują wkładki nieprzepuszczalnych i nieporowatych ilów (Barbacki i in. 2000).

Litologia poziomu wodonośnego albu środkowego–barremu, przedstawia się następująco (Barbacki i in. 2000):

- 1602,0 – 1645,0 m – piaskowiec drobnodziarnisty barwy szarej, miejscami przechodzący w mułowiec piaszczysty ciemnoszary z drobnymi wtrąceniami krzemieni, zwięzły, bliżej spągu piaskowiec średniodziarnisty ciemnoszary o spoiwie ilastym;
- 1645,0 – 1651,8 m – mułowce czarne i czarno-szare z bardzo dużą ilością muskowitu, często zapiaszczone; słabo zwięzłe, przechodzące w ilowce słabo zwięzłe;
- 1651,8 – 1714,0 m – piaski zawęglone, okruchy fauny, mułowce czarne z dużą ilością pyłu muskowitowego.

4. Rekonstrukcja otworu Mszczonów IG-1

4.1. Historia

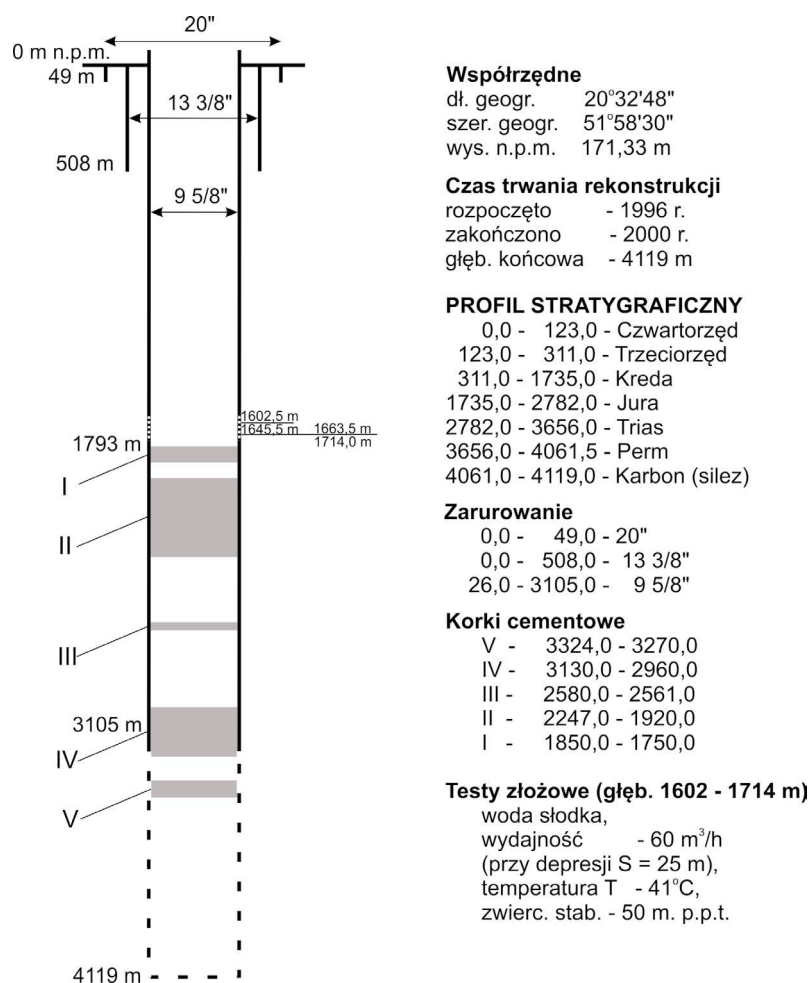
Rekonstrukcja otworu Mszczonów IG-1 była pierwszą w Polsce kompletną rekonstrukcją starego, zlikwidowanego odwiertu poszukiwawczego dla celów geotermalnych (Bujakowski i in. 1999; Barbacki i in. 2000; Bujakowski red. 2000; Bujakowski 2015). W 1996 r. gmina Mszczonów wystosowała wniosek do Komitetu Badań Naukowych, agendy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, o dofinansowanie projektu pn. „Pilotowa stacja eksploatacji ciepła ze zrekonstruowanego otworu Mszczonów IG-1”. W ramach przedsięwzięcia planowano przeprowadzenie etapu prac badawczo-rozwojowych, w czasie którego otwór Mszczonów IG-1 miał zostać dostosowany do potrzeb eksploatacji złoża geotermalnego (projekt badawczo-rozwojowy pt. „Dostosowanie otworu Mszczonów IG-1 dla potrzeb eksploatacji złoża geotermalnego do systemu grzewczego”). Następnym etapem projektu wiodącego miały być działania wdrożeniowe z wykonaniem systemu ciepłowniczego, opartego na energii wód geotermalnych (Bujakowski 2015). Celem rekonstrukcji odwiertu było przywrócenie go do właściwego stanu technicznego, gwarantującego bezpieczny montaż agregatu pompowego w odwiercie oraz stabilne pompowanie wód geotermalnych. Innym ważnym zadaniem rekonstrukcji było określenie bezpiecznej dla środowiska naturalnego wielkości wydobywania wody geotermalnej oraz jej jakości, ponieważ w przypadku jej nieprzydatności do celów konsumpcyjnych, należałoby zatłaczać wody do złoża odwiertem chłonnym, co zasadniczo zmieniłoby ekonomiczny plan całego przedsięwzięcia (Bujakowski 2015).

Na rysunku 7 przedstawiono schemat otworu Mszczonów IG-1 z informacjami dotyczącymi stratygrafii, opróbowania i stanu technicznego po rekonstrukcji. W czasie rekonstrukcji przewidziano maksymalny możliwy zakres prac technicznych z uwagi na fakt, że otwór Mszczonów IG-1 został całkowicie zlikwidowany, a teren wiertni zrehabilitowany.

Prace rekonstrukcyjne wykonane zostały zgodnie z metodyką opracowaną w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Metodyka zakładała realizację prac w dwóch etapach (Barbacki i in. 2000).

W pierwszym etapie planowano wykonanie prac technicznych, obejmujących m.in.:

- prace wiertnicze i zabezpieczające otwór,
- udostępnienie strefy złożowej,
- wprowadzenie instalacji oraz urządzeń eksploatacyjnych.



Rys. 7. Otwór Mszczonów IG-1 stan po rekonstrukcji

Fig. 7. Mszczonów IG-1 borehole after reconstruction

W drugim etapie badań i testów złożowych wykonano, chronologicznie, następujące zadania:

- pompowanie oczyszczające (2 stopnie wydajności),
- I cykl pomiarów geofizycznych zestawem sond PL,
- analizy chemiczne wody,
- analizy wynoszonego piasku,
- badania kamerą video stanu technicznego rur,
- pompowanie pomiarowe (21 dni),
- analizy chemiczne i izotopowe wody,

- testy hydrodynamiczne (3 stopień wydajności),
- analizy chemiczne wody,
- analizy wynoszonego piasku,
- II cykl pomiarów geofizycznych zestawem sond PL,
- pompowanie przedeksplatacyjne (41 dni),
- III cykl pomiarów geofizycznych zestawem sond PL.

Prace przeprowadzone w czasie rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1 umożliwiły nie tylko uzyskanie dobrego stanu technicznego odwiertu, umożliwiającego eksploatację wód geotermalnych, ale również udokumentowanie i zatwierdzenie zasobów eksploatacyjnych. Prace dostarczyły także cennego materiału źródłowego i informacji, wśród których należy wymienić:

- charakterystykę parametrów złożowych poziomu wodonośnego: wydajności i temperatury wód oraz poziomu dynamicznego zwierciadła wód (ponad 60 dni rejestracji);
- charakterystykę parametrów fizykochemicznych wód (15 pełnych analiz i 86 analiz wskaźnikowych);
- charakterystykę materiału piaszczystego, wynoszonego w czasie badań hydrodynamicznych (89 próbek piasku z okresu 41 dni pompowań oraz 37 próbek dobowego wynoszenia piasku);
- informacje dotyczące chłonności poziomu wodonośnego (trzy cykle profilowań geofizycznych sondami Production Log po przeprowadzonych pompowaniach);
- informacje o wieku wód dolnokredowego poziomu wodonośnego (analiza składu izotopowego dotycząca koncentracji trytu i radiowęglu);
- eksperymentalne zastosowania sond geofizycznych, mających na celu próbę badania złoża w otworze zarurowanym (zestaw sond COMBO oraz jednoelektrodowa sonda gęstościowa gamma-gamma);
- przeprowadzone badania stanu technicznego otworu metodami geofizycznymi i kamerą telewizyjną.

W ramach realizacji projektu rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1 Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN współpracował m.in. z następującymi jednostkami: Laboratorium Hydromineralogiczne IGSMiE PAN z Krakowa, Przedsiębiorstwo Geologiczne Polgeol z Warszawy, Przedsiębiorstwo Robót Wiertniczych i Górniczych z Warszawy, PGNiG S.A. Oddział Geofizyka Toruń, Oddział Geofizyka Kraków, Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie oraz BSP Electronic s.c. z Bielska-Białej. W projekcie brali także udział specjaliści z Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, PGNiG Geonafci z Krakowa, Hydro-Vacuum Grudziądz oraz IGNiG Krosno.

We współpracę zaangażowani byli także pracownicy Komitetu Badań Naukowych, władze Gminy Mszczonów, tj. Burmistrz – Józef Grzegorz Kurek, jego Zastępca – Marian Jackowski oraz Prezes Geotermii Mazowieckiej S.A. – Marek Balcer, reprezentant Gminy w trakcie realizacji projektu.

Tabela 3

Opracowania, oceny i opinie wykonane w czasie realizacji projektu rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1
(na podstawie Barbacki i in. 2000)

Table 3

Studies, assessments and documents made during for the Mszczonów IG-1 borehole reconstruction project
(based on Barbacki i in. 2000)

Lp.	Nazwa opracowania
1.	Analiza dostępnych danych i projektu rekonstrukcji dla opracowania założeń metodyki prac objętych projektem
2.	Metodologia rekonstrukcji i opróbowania dolnokredowego zbiornika wodonośnego w otworze Mszczonów IG-1
3.	Plan Ruchu Zakładu Górniczego
4.	Opinia dotycząca wyboru metodyki perforacji rur okładzinowych w otworze Mszczonów IG-1
5.	Ocena wpływu zabiegu kwasowania na kredowy kolektor w otworze Mszczonów IG-1
6.	Opinia dotycząca sposobów zapobiegania procesowi piaszczenia w odwiercie Mszczonów IG-1
7.	Opinia o zarurowaniu rurami 9 5/8" i z przeglądu kamerą telewizyjną otworu Mszczonów IG-1
8.	Opinia dotycząca stanu technicznego otworu Mszczonów IG-1
9.	Program pomiarów geofizycznych oraz testowania hydrodynamicznego w odwiercie Mszczonów IG-1
10.	Projekt systemu pomiarowo-rejestrującego parametry wody geotermalnej w odwiercie Mszczonów IG-1
11.	Projekt zagospodarowania terenu przy otworze Mszczonów IG-1
12.	Projekt budynku sterowni
13.	Wstępne założenia techniczno-ekonomiczne projektu pn.: Zagospodarowanie dla potrzeb gospodarczych otworu Mszczonów IG-1
14.	Operat wodnoprawny na pobór wód podziemnych i wykonanie obudowy studni głębinowej dla potrzeb zakładu geotermalnego w Mszczonowie
15.	Wyniki analiz składu izotopowego, koncentracji trytu i radiowęgla w próbie wody z odwiertu Mszczonów IG-1
16.	Opracowanie wyników testów i badań złożowych wykonanych w otworze Mszczonów IG-1
17.	Pompowanie oczyszczające w otworze Mszczonów IG-1
18.	Wyniki badań mineralogiczno-petrograficznych materiału skalnego wynoszonego przez wody geotermalne z otworu Mszczonów IG-1
19.	Profilowania geofizyczne: luty, maj 1997 oraz lipiec 1999
20.	Ocena właściwości zbiornikowych piaskowców kredowych wraz z określeniem miejsc chłonności w strefie złożowej w otworze Mszczonów IG-1
21.	Założenia i projekt techniczny instalacji wydobywczej wody termalnej z odwiertu Mszczonów IG-1
22.	Projekt Aparatury Kontrolno-Pomiarowej i Automatyki sytemu geotermalnego Mszczonowa
23.	Ocena możliwości wykorzystania różnych źródeł energii odnawialnej w rejonie Mszczonowa
24.	Wyniki badań mineralogiczno-chemicznych próbek wody i materiału skalnego z odwiertu Mszczonów IG-1
25.	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych ujęcia wód termalnych z utworów dolnej kredy

Efektom współpracy było wykonanie rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1 oraz szeregu dokumentacji, opracowań, opinii i sprawozdań z badań (zestawione w tab. 3). Repozytorium wiedzy z zakresu wykonywanych prac oraz ich efektów są także materiały niepublikowane w postaci dokumentacji i sprawozdań (Bujakowski i in. 1999; Bujakowski i in. 2004) oraz szereg publikacji naukowych lub informacyjnych (Barbacki i in. 2000; Bujakowski i in. 2013a, 2013b; Kurek 2015; Balcer 2015; Bujakowski 2015; Bielec i Balcer 2015; Tomaszewska 2015; Kasztelewicz 2015). Na podstawie tych materiałów przedstawiono w kolejnych rozdziałach zagadnienia związane z pracami wiertniczymi, badaniami i testami hydrogeologicznymi, badaniami geofizycznymi oraz innymi pracami prowadzonymi w czasie rekonstrukcji i eksploatacji otworu Mszczonów IG-1.

4.2. Prace wiertnicze

Prace rekonstrukcyjne otworu rozpoczęto w grudniu 1996 r. W pierwszym etapie prac wiertniczych zwiercono korki cementowe w przedziałach głębokościowych 0,0–39,0 m, 1352,0–1355,0 m oraz 1508,0–1612,0 m p.p.t. (rys. 8). Podczas zwiercania pierwszego korka cementowego stwierdzono brak rur 9 5/8" w interwale 0,0–23,6 m p.p.t. W przedziale głębokości 59,6–60,3 m p.p.t. odwiert przerobiono frezem z powodu uszkodzenia rur, uniemożliwiającego zapuszczenie przewodów wiertniczych. Po zakończeniu zwiercania korków cementowych z odwiertu został wypłukany materiał pochodzący z ich likwidacji. Odwiert został przepłukany do głębokości 1793,0 m p.p.t., a płuczka wiertnicza, używana do zwiercania korków, wymieniona została na wodę.

Następnie wykonano szablonoowanie rur okładzinowych 9 5/8" do głębokości około 200,0 m. W celu stwierdzenia pełnej drożności górnego odcinka kolumny rur okładzinowych w odwiercie wykorzystany został szablon rurowy o średnicy zewnętrznej Ø 203,0 mm i długości 5,9 m. Szablon blokował się na głębokości około 23,6 m p.p.t., tj. przy stropie rur 9 5/8", oraz zatrzymywał się na głębokości około 60,0 m p.p.t. W celu zdiagnozowania przyczyny komplikacji przeprowadzono obserwacje wyżej wymienionych miejsc kamerą telewizyjną:

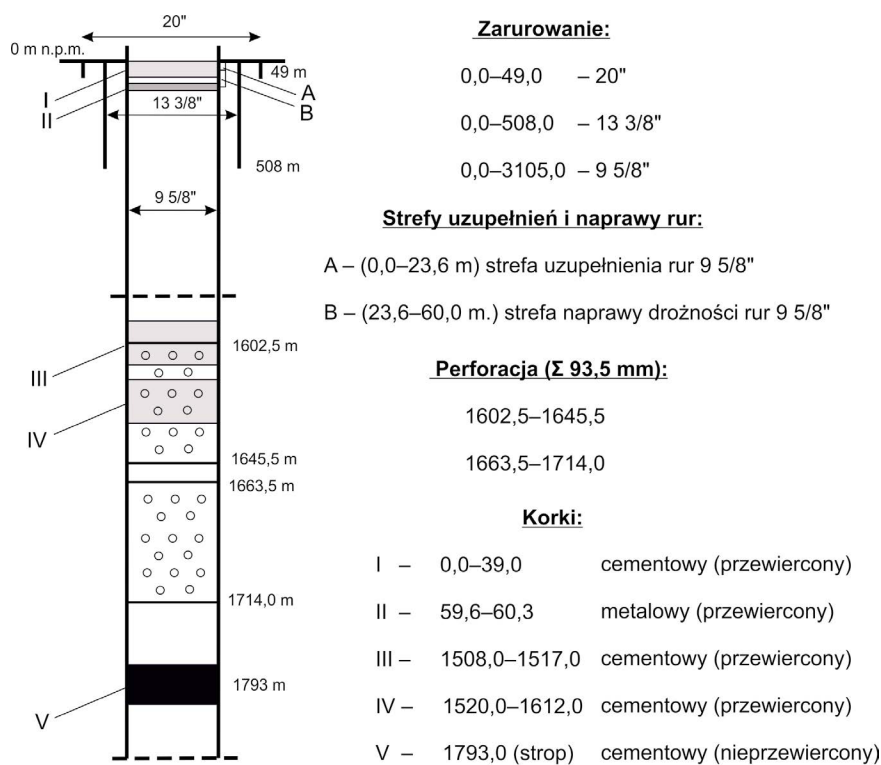
- od powierzchni terenu do głębokości 23,6 m otwór zarurowany rurami 13 3/8" był czysty;
- na głębokości 23,6 m widoczne było czoło rur 9 5/8"; szczelina między rurami 13 3/8" i 9 5/8" wypełniona była cementem, którego pokruszone kawałki wystawały kilka centymetrów nad czoło rur 9 5/8", tworząc nieregularny zarys; rury 9 5/8" rozpoczynały się gładką powierzchnią cylindryczną, a brak śladów gwintów świadczył, że rury rozpoczynają się czopem; stwierdzono, że mufa prawdopodobnie została odkręcona podczas likwidacji otworu w 1977 r.;
- w przedziale głębokości 23,6–54,0 m w kolumnie rur 9 5/8" nie stwierdzono wody; na ściankach widoczne były ślady korozji i osadów;

- na głębokości 54,0 m kamera trafiła na lustro wody, zanieczyszczonej pozostałościami smarów i innych zanieczyszczeń;
- na głębokości 60,0 m kamera została zatrzymana.

Następnie wykonane zostały badania geofizyczne z użyciem kawernomierza 80-ramiennego, obejmując przedział głębokościowy 0–70,0 m p.p.t.:

- stwierdzono, iż uszkodzenie nastąpiło na mufie rury na głębokości 57,0 m;
- uszkodzony był również odcinek rury nad mufą w przedziale głębokości 55,0–57,0 m; stwierdzono, że prawdopodobnie w tym miejscu nastąpiło przetarcie rury;
- uszkodzona została również rura poniżej mufy w przedziale głębokości 57,0–58,5 m; stwierdzono, że rury nie są połączone (rys. 8).

Po przeprowadzeniu badań diagnostycznych usunięto przyczynę komplikacji, wykonując frezowanie czołowe i boczne oraz uzyskując drożność odwiertu do głębokości około



Rys. 8. Stan techniczny otworu Mszczonów IG-1 stwierdzony w trakcie rekonstrukcji i strefy perforacji utworów dolnej kredy (Bujakowski i in. 2004)

Fig. 8. Technical state of the Mszczonów IG-1 borehole determined during reconstruction and the perforation zone of the Lower Cretaceous deposits (Bujakowski et al. 2004)

60,0 m. Uzupełniono także kolumnę rur 9 5/8" od głębokości 23,6 m do wierzchu bez dokręcania, stabilizując ją centrycznie w rurach 13 3/8". Następnie ponownie wykonano szablonowanie rur okładzinowych, stwierdzając swobodne przechodzenie szablonu do głębokości 200,0 m p.p.t. Tak przygotowany otwór mógł zostać poddany dalszym pracom związanym z udostępnianiem złoży wód geotermalnych.

Rury 9 5/8" uzupełniono przez połączenie składające się z odpowiednio wytoczonej stożkowo mufy osłoniętej „kapeluszem” wykonanym z rury 11 3/4", z naciętą w dolnej części koronką zębatą. „Kapelusz” został przyspawany do rury i stanowił prowadnicę dla uzupełniającej kolumny, dając równocześnie możliwość zwiercenia cementu w przestrzeni pierścieniowej pomiędzy rurami 9 5/8" i 13 3/8". Uwzględniając stan otworu przyjętego do rekonstrukcji oraz prace w nim wykonane uznano zarurowanie otworu na optymalne.

Udostępnienie strefy poziomu wodonośnego wykonano poprzez perforację rur okładzinowych 9 5/8" w głębokościach 1602,5–1645,5 m oraz 1663,5–1714,0 m (rys. 8), stosując 30 ładunków na 1 mb rur.

Przed przystąpieniem do zabiegu perforacji przeanalizowano dwa rodzaje perforatorów: korpusowe i bezkorpusowe. Dla warunków występujących w odwiercie Mszczonów IG-1 zdecydowano się na perforację przy zastosowaniu perforatora bezkorpusowego z uwagi na fakt, że należało przestrzelić pojedynczą kolumnę rur okładzinowych w dwóch, stosunkowo długich interwałach oraz z uwagi na koszty. Koszt wykonania pracy metodą korpusową byłby blisko sześciokrotnie wyższy od kosztu perforacji bezkorpusowej.

4.3. Badania i testy hydrogeologiczne

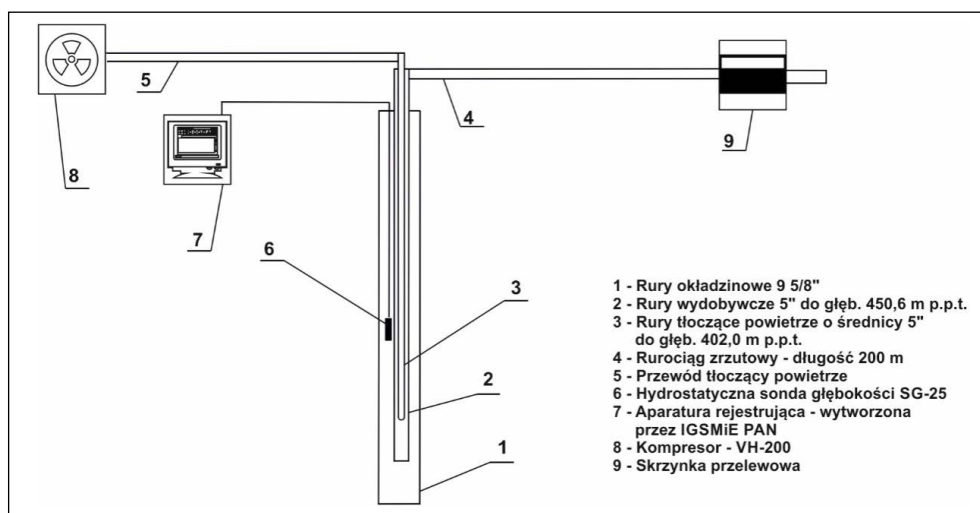
W latach 1997–1999 w trakcie przeprowadzonej rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1 wykonano pompowanie oczyszczające, pomiarowe i przedeksplatacyjne.

4.3.1. Pompowanie oczyszczające – 1997 r.

Pompowanie oczyszczające miało na celu usunięcie z otworu wiertniczego substancji pozostałych po procesie wiercenia i rekonstrukcji, jak również oczyszczenie strefy przyotworowej z osadu płuczkowego oraz innych zanieczyszczeń utrudniających lub uniemożliwiających dopływ wody ze złoży.

Pompowanie oczyszczające rozpoczęto 15 stycznia 1997 r. Przeprowadzono je w dwóch seriach przy użyciu „air liftu” z kompresorem (rys. 9).

Przed rozpoczęciem pompowania zwierciadło wody stabilizowało się na głębokości 70,0 m p.p.t. Agregat sprężarkowy został uruchomiony 15 stycznia, pompując wodę z wydajnością około 25,0 m³/h. Nastąpiło bardzo szybkie obniżenie zwierciadła wody do głębokości około 150,0 m p.p.t, czyli o około 80,0 m. Po około 2 godz. lustro wody zaczęło się podnosić do głębokości około 106,0 m p.p.t. Po kilku godzinach agregat został zatrzymany w celu przeglądu technicznego. Zwierciadło wody podniosło się do głębokości



Rys. 9. Schemat instalacji podczas pompowania oczyszczającego w odwiercie Mszczonów IG-1, wykonanego 15–18 stycznia 1997 r. (Barbacki i in. 2000)

Fig. 9. Diagram of the installation used during trial pumping test in the Mszczonów IG-1, borehole, January 15–18, 1997 (Barbacki et al. 2000)

58,0 m p.p.t. Po ponownym uruchomieniu pompowania lustro wody opadło do głębokości 106,0 m p.p.t, lecz po około 2 godzinach zaczęło się podnosić stabilizując się na głębokości 80,0 m p.p.t. Następnego dnia zatrzymano pompowanie w celu przeglądu technicznego kompresora. Poziom wody ustalił się na głębokości 53,0 m p.p.t. Po uruchomieniu agregatu doszło do trzykrotnego zerwania rurociągu zrzutowego w ciągu jednej godziny i agregat za każdym razem był zatrzymywany, w celu spięcia rur. Po usunięciu usterek technicznych zwierciadło wody opadło do głębokości 82,0 m p.p.t i na tej głębokości ustabilizowało się przy zwiększonej wydajności do 31,0 m³/h (rys. 10).

18 stycznia zwiększono wydajność do wartości 37,0 m³/h, co spowodowało obniżenie poziomu wody do 83,0 m p.p.t. Pompowanie zakończono po godzinie, rejestrując odbudowę ciśnienia przez następne dwie godziny. Poziom wody ustabilizował się na głębokości 52,0 m p.p.t. Zestawienie wyników pomiarów I serii pompowania oczyszczającego przedstawiono w tabeli 4.

W trakcie pompowania zaobserwowano intensywne piaszczenie z otworu, połączone ze wzrostem wydajności jednostkowej. Pompowanie trwało 70 godzin i 15 minut. Łącznie wytłoczono 1984,0 m³ wody.

Obserwację stabilizacji prowadzono do 27 stycznia. 28 stycznia wykonano kolejne pompowanie, osiągając maksymalną wydajność 37,0 m³/h, wobec zamierzonej 50,0 m³/h. Nie prowadzono rejestracji poziomu zwierciadła dynamicznego, gdyż nie udało się opuścić



Rys. 10. Wyniki pompowania oczyszczającego (Barbacki i in. 2000)

Fig. 10. Results of trial pumping test (Barbacki et al. 2000)

Tabela 4

Zestawienie wyników pomiarów I serii pompowania oczyszczającego (Barbacki i in. 2000)

Table 4

List of the results of measurements of the first series of the trial pumping test (Barbacki et al. 2000)

Wydajność [m ³ /h]	Czas pompowania	Najniższe położenie zwierciadła wody [m p.p.t.]	Depresja [m]	Wydajność jednostkowa [m ³ /h/m]	Temperatura pod koniec pompowania [°C]
16,72	1 h	—	—	—	—
19,94	3 h 30 min	104,0	51,0	0,39	27,0
25,14	21 h 45 min	79,0	25,0	1,00	31,0
31,15	43 h	80,0	27,0	1,15	34,0
36,96	1 h	83,3	30,0	1,23	34,0
Łącznie: 70 h 15 min					

sondy SG-25 na wymaganą głębokość. Następnie zwiększono głębokość zapuszczenia rur i rozpoczęto drugą serię pompowania oczyszczającego, uzyskując ponownie wydajność jedynie 37,0 m³/h. 31 stycznia uruchomiono pompowanie z dwoma kompresorami, uzyskując wydajność 50,0 m³/h, przy obserwowanym znacznym piaszczeniu z otworu. Poziom zwierciadła dynamicznego mierzonego ręcznie bez użycia sondy SG-25 kształtował się w granicach 79,0–80,0 m p.p.t. Pompowanie zakończono 3 lutego. Zestawienie wyników pomiarów II serii pompowania oczyszczającego przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Zestawienie wyników pomiarowych II serii pompowania oczyszczającego (Barbacki i in. 2000)

Table 5

List of the results of measurements of the second series of the trial pumping test (Barbacki et al. 2000)

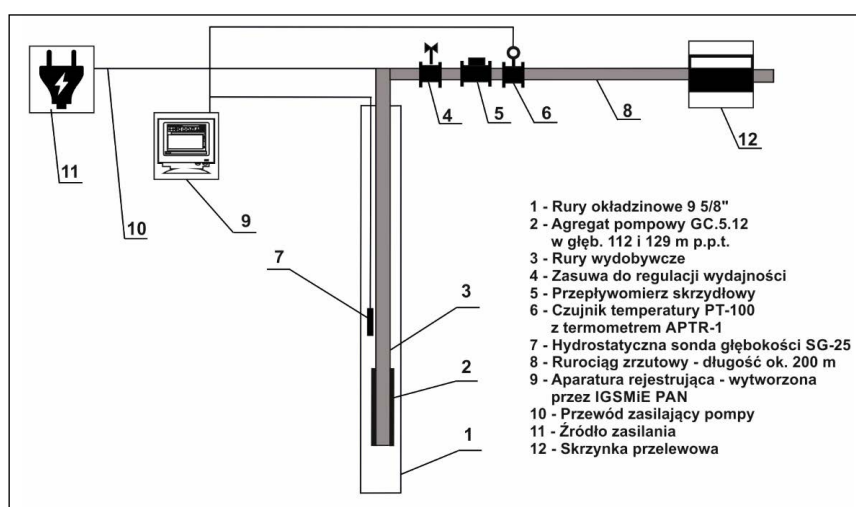
Wydajność [m ³ /h]	Czas pompowania	Najniższe położenie zwierciadła wody [m p.p.t.]	Depresja [m]	Wydajność jednostkowa [m ³ /h/m]	Temperatura pod koniec pompowania [°C]
44,72	2 h 30 min	85,5	32,5	1,38	27,0
48,00	6 h	84,8	31,8	1,51	31,0
50,00	63 h 30 min	79,6	26,6	1,88	34,0
Łącznie: 70 h					

Do końca pompowania w otworze obserwowano piaszczenie. W skrzyni przelewowej obecny był drobnoziarnisty piasek. Po zakończeniu pompowań oczyszczających w otworze stwierdzono zasyp w strefie głębokości 1711,5–1791,5 m, blokujący częściowo perforację rur 9 5/8". Na zasyp ten składał się zarówno piasek z warstwy wodonośnej, jak i okruchy cementu pochodzące z rozkruszonego podczas perforacji płaszcz cementowego. Przed podjęciem dalszych prac zasyp usunięto.

4.3.2. Pompowania pomiarowe – 1997 r.

Pompowania pomiarowe miały na celu określenie parametrów hydrogeologicznych poziomu wodonośnej kredy dolnej. Prace planowano wykonać dla trzech kolejnych, zmieniających się wydajności, z każdorazowym określeniem depresji. Następnie zaplanowano przeprowadzenie długofalowego pompowania z maksymalną wydajnością w celu rozpoznania możliwości eksploatacyjnych złoża. Na zakończenie, po ustaleniu się zwierciadła wody przy eksploatacji z maksymalną wydajnością, założono wykonanie dodatkowo testów pulsacyjnych, umożliwiających określenie sprawności i parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej.

Pompowanie pomiarowe rozpoczęło się 16 kwietnia 1997 r. Pompa została zapuszczona do otworu na głębokość 112,0 m, a 19 kwietnia na głębokość 129,0 m. Wydobywana woda odprowadzana była rurociągiem o długości około 200,0 m. Pomiaru wydajności dokonywano za pomocą skrzyni przelewowej, ustawionej na rurociągu oraz przepływomierzem skrzydełkowym zamontowanym na głowicy odwiertu. Temperaturę wody mierzono termometrem elektronicznym typu AFTR-1 z czujnikiem PT-100 wraz z komputerową rejestracją wyników. Pomiar położenia zwierciadła wody przeprowadzony został z użyciem hydrostatycznej sondy głębokości SG-25 połączonej z komputerem rejestrującym wyniki (rys. 11).

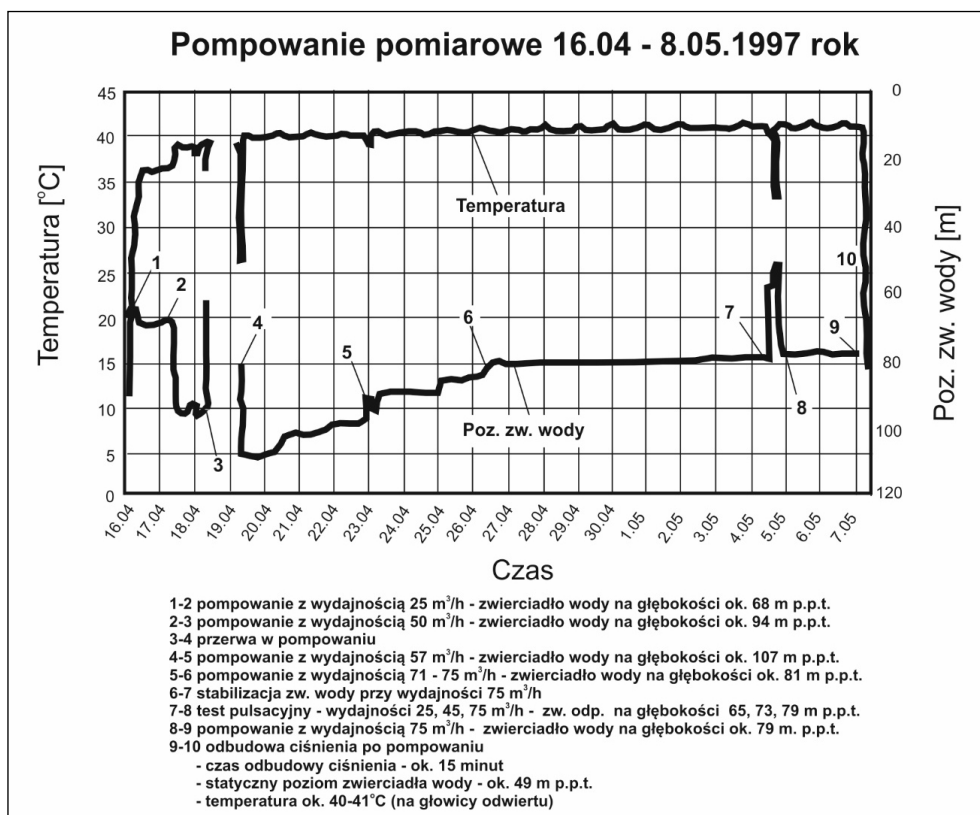


Rys. 11. Schemat instalacji pomiarowej podczas pompowania pomiarowego i testu pulsacyjnego, 5 maja 1997 r. (Barbacki i in. 2000)

Fig. 11. Diagram of the installation used during pumping test and pulse test, May 5, 1997 (Barbacki et al. 2000)

Pompowanie rozpoczęło z wydajnością 25,0 m³/h. Poziom zwierciadła dynamicznego ustabilizował się na głębokości 68,0 m p.p.t., a temperatura wody podnosiła się stopniowo osiągając 37°C. 17 kwietnia zwiększono wydajność do 50,0 m³/h. Poziom wody ustalił się na głębokości około 94,0 m, a temperatura podniosła się do 39°C (rys. 12).

Po umieszczeniu pompy na głębokości 129,0 m rozpoczęto pompowanie z wydajnością 57,0 m³/h. Dynamiczne zwierciadło wody opadło do głębokości około 107,0 m przy rejestrowanej temperaturze 40,0°C. Następnie obserwowano stopniowe podnoszenie się płynu w odwiercie, czemu towarzyszył wypływ mocno zanieczyszczonej wody. 22 kwietnia zwiększono wydajność do 71,0 m³/h, obserwując w dalszym ciągu stopniowe podnoszenie się poziomu wody. 24 kwietnia ustawiono maksymalną wydajność pompy na 75,0 m³/h.



Rys. 12. Wykres zmian położenia zwierciadła wody w otworze podczas testu pulsacyjnego – pompowanie pomiarowe (Barbacki i in. 2000)

Fig. 12. Diagram of changes in the position of the water table in the Mszczonów IG-1 borehole during the pulse test (Barbacki et al. 2000)

Zwierciadło płynu w otworze nadal przemieszczało się ku górze, aby 27 kwietnia ostatecznie ustabilizować się na poziomie około 81,0 m p.p.t. Najwyższa zarejestrowana w tym czasie temperatura wody wyniosła około 41,0°C. Zestawienie wyników pompowania pomiarowego przedstawiono w tabeli 6.

Eksplorację przy tych parametrach prowadzono do 5 maja, kiedy rozpoczęto test pulsacyjny, polegający na pompowaniu kolejno z trzema wydajnościami (rys. 13).

Pomiędzy zmianami wydajności pompowanie zatrzymywano do powrotu poziomu wody do głębokości „statycznej”. Test przeprowadzono przy wydajnościach: 25,0, 45,0 i 75,0 m³/h, uzyskując dynamiczny poziom zwierciadła wody w głębokościach kolejno: 65,0, 73,0 i 79,0 m. Podczas testów temperatura wody kształtowała się na poziomie 40,0°C. Po zakończeniu prób kontynuowano pompowanie z maksymalną wydajnością pompy (75,0 m³/h). Wydobywanie wody zakończono 8 maja rejestrując odbudowę ciśnienia w otworze (rys. 14).

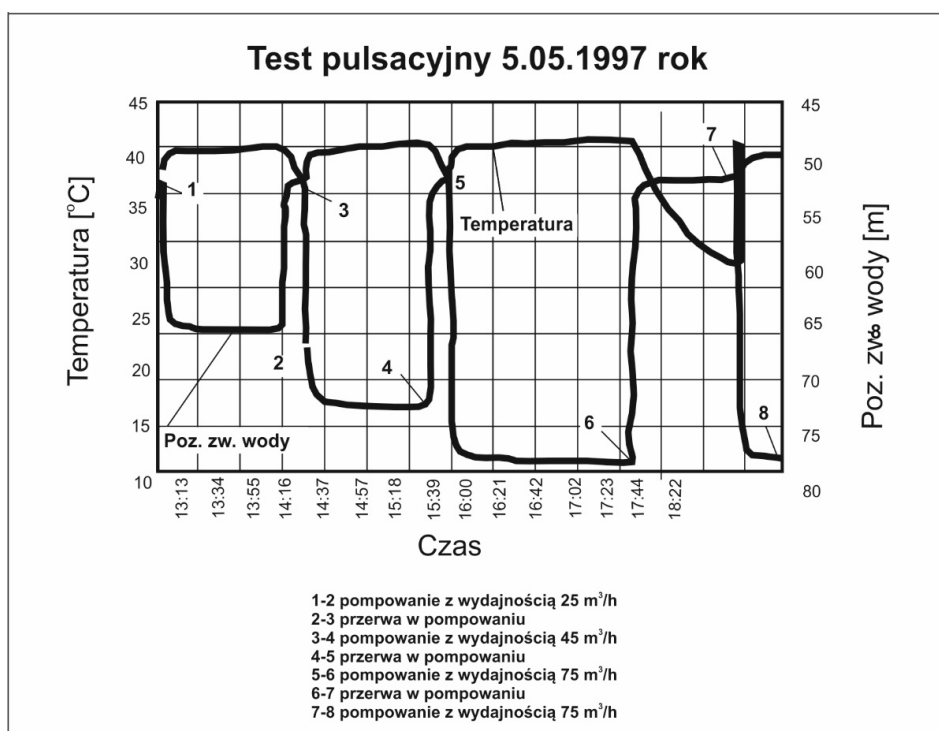
Tabela 6

Zestawienie wyników uzyskanych w czasie pompowania pomiarowego (Barbacki i in. 2000)

Table 6

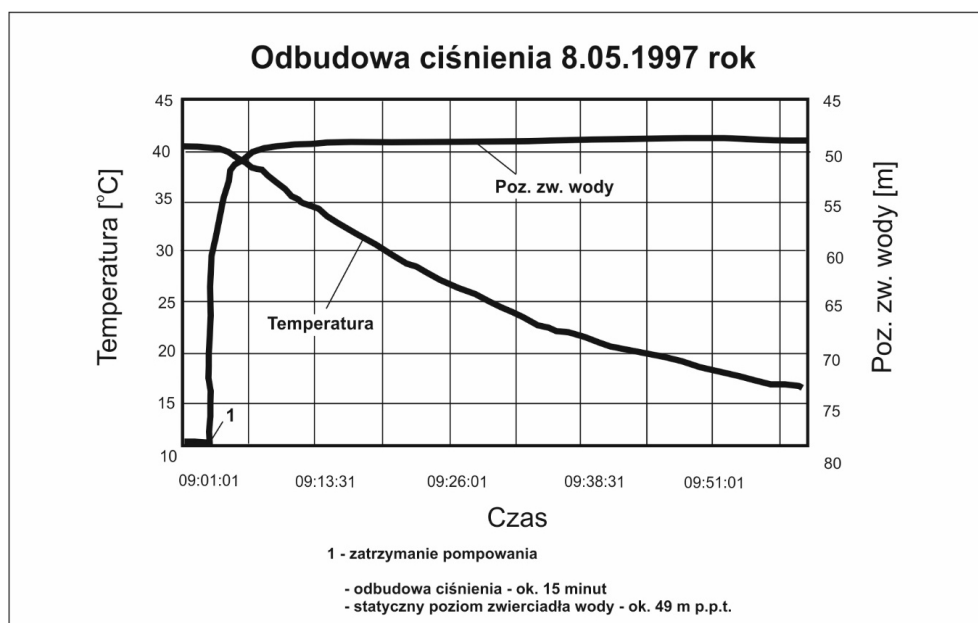
List of results obtained during pumping test (Barbacki et al. 2000)

Wydajność [m ³ /h]	Czas pompowania	Najniższe położenie zwierciadła wody [m p.p.t.]	Depresja [m]	Wydajność jednostkowa [m ³ /h/m]	Temperatura pod koniec pompowania [°C]
29,0	29 h 30 min	67,46	14,46	2,01	36,6
56,0	47 h 45 min	91,73	38,73	1 045,00	39,3
69,0–75,0	442 h	107,3–79,09	54,30–26,09	1027,00–2,87	40,5
Łącznie: 519 h 15 min					



Rys. 13. Wykres położenia zwierciadła wody i zmian temperatury wody na głowicy podczas testu pulsacyjnego (Barbacki i in. 2000)

Fig. 13. Plot of the water table position and changes of the water temperature during the pulse test (Barbacki et al. 2000)



Rys. 14. Wykres położenia zwierciadła wody i zmian temperatury wody na głowicy podczas odbudowy ciśnienia po pompowaniu pomiarowym (Barbacki i in. 2000)

Fig. 14. Plot of the water table position and changes of water temperature during pressure recovery after pumping test (Barbacki et al. 2000)

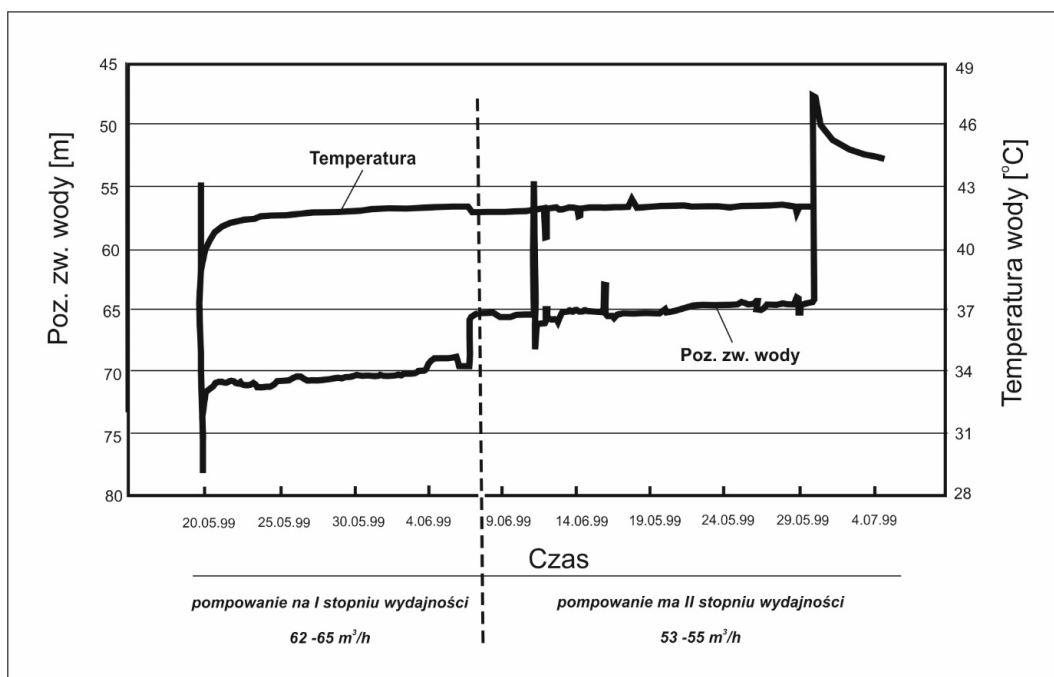
Na podstawie wyników pompowania pomiarowego stwierdzono, że zabieg ten spowodował oczyszczenie strefy przyotworowej. Świadczy o tym fakt, że poziom zwierciadła statycznego ustalił się na głębokości 49,0 m p.p.t. (przed – około 53,0 m p.p.t). Odbudowa ciśnienia po zakończeniu pompowania z wydajnością 75,0 m³/h trwała około 15 minut. Temperatura wody geotermalnej mierzona na głowicy odwiertu wahała się w przedziale 40,0–41,0°C.

4.3.3. Pompowanie przedeksploatacyjne – 1999 r.

Głównym celem pompowania przedeksploatacyjnego było zamodelowanie parametrów złoża poprzez skorelowanie ustabilizowanego wypływu wód złożowych ze skalą potrzeb odbiorców ciepła. Badania rozpoczęto 20 maja 1999 r., a zakończono 30 września 1999 r. po 41 dniach pompowania wód. Pomiary wykonywano z użyciem instalacji umożliwiającej ciągłą rejestrację i gromadzenie danych (rys. 15).

W czasie pompowania przedeksploatacyjnego zrealizowano prace obejmujące:

- ciągły monitoring parametrów złożowych,
- badania głębokości zwierciadła dynamicznego wód,
- badania wydajności,



Rys. 16. Wykres zmian temperatury i położenia zwierciadła wody podczas pompowania i odbudowy w otworze Mszczonów IG-1, 20 maja–5 lipca 1999 r. (Barbacki i in. 2000)

Fig. 16. Graph of temperature changes and position of the water table during pumping test and pressure recovery in the Mszczonów IG-1 bore, May 20–July 5, 1999 (Barbacki et al. 2000)

co odpowiada wydajności jednostkowej około $3,7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Ciśnienie wód w rurociągu geotermalnym wynosiło od $0,46\text{--}0,52 \text{ MPa}$. Temperatura wody zmieniała się w zakresie $38,0\text{--}42,0^\circ\text{C}$ i ustabilizowała się po około 7 dniach od rozpoczęcia pompowania.

II stopień wydajności określony został na podstawie aktualnych planowanych potrzeb ciepłych sieci grzewczej miasta Mszczonów. Ilość ta została oszacowana przez Geotermię Mazowiecką S.A. na poziomie około $55,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Wymagało to ograniczenia przepływu wód złożowych. Pompowanie w takich warunkach prowadzono przez 17 dni. Zmiana wydajności z $62,7$ na $53,7 \text{ m}^3/\text{h}$ spowodowała podniesienie się zwierciadła wody na $65,5 \text{ m p.p.t}$ do minimalnie $64,5 \text{ m.p.p.t}$. Temperatura w tym czasie stabilizowała się na poziomie $41,8\text{--}42,0^\circ\text{C}$. Ciśnienie wody w rurociągu wzrosło w porównaniu do I stopnia pompowania do wartości maksymalnej $0,94 \text{ Pa}$ i było spowodowane ograniczeniem przepływu wody przez zawór znajdujący się w ciepłowni geotermalnej na końcu rurociągu przetłaczającego. W warunkach pompowania przedekspluacyjnego z wydajnością rzędu $55,0 \text{ m}^3/\text{h}$ depresja wyniosła $12,0 \text{ m}$ przy zwierciadle swobodnym w głębokości $53,0 \text{ m p.p.t}$. Wydajność jednostkowa szacowana była na poziomie $4,58 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

4.4. Badania geofizyczne strefy złożowej

Badania geofizyczne strefy złożowej miały na celu określenie charakterystyki odwiertu, w tym stref chłonności i jego stanu technicznego. Do realizacji badań stref chłonności wykorzystano kompleksową sondę Production Log (PL).

Sonda (PL) wykorzystywana była w trakcie rekonstrukcji odwiertu Mszczonów IG-1 po pompowaniach oczyszczającym, pomiarowym i przedeksploatacyjnym. Pomiar wykazał nierównomierną chłonność otworu, zwłaszcza w obrębie dolnej części poziomu piaskowcowego, wyrażającą się skokową zmianą w przepływie wody rejestrowaną na wykresach chłonności. Profilowania wykazały także wzrost porowatości w trakcie pracy złoża. Stwierdzono, że powodem tej sytuacji może być fakt, że struktury piaskowców w miejscach podwyższonej chłonności wykazują piaszczenie formacji, co może prowadzić do powstawania wymyć i zasypów poza rurami w trakcie eksploatacji wody.

Tak więc badania geofizyczne pozwoliły na postawienie hipotezy o wpływie intensywnej eksploatacji wód na strukturę piaskowców w strefie przyodwiertowej – na zjawiska powstawania stref wymyć i zasypów. Umożliwiło to ustalenie optymalnych warunków eksploatacji złoża w związku z tzw. bezpieczeństwem ekologicznym pracy złoża.

Badania stanu technicznego odwiertu prowadzone były jednocześnie z badaniami stref chłonności, tj. po zakończeniu okresu testów i usunięciu agregatu pompowego z odwiertu. Potrzebę tych badań uzasadniał fakt, iż odwiert był fizycznie zlikwidowany w 1977 r. i zrekonstruowany dopiero po 20 latach. W trakcie rekonstrukcji stwierdzono wiele niezgodności pomiędzy dokumentacją wynikową a faktycznym stanem technicznym. Spowodowało to konieczność wykonania nieprzewidzianych wcześniej prac, m.in. frezowania elementów stalowych, wyrównywania nierówności rur okładzinowych, uzupełniania około 23,0 mb rur 9 5/8". W wyniku tych prac uzyskano taki stan odwiertu, który umożliwił zapuszczenie agregatu pompowego oraz ogólną bezawaryjną pracę otworu. W trakcie uruchamiania eksploatacji wód stwierdzono jednocześnie podniesienie się rur okładzinowych o około 12,0–15,0 cm. Podniesienie to miało charakter „podwójnych podrzutów”. Innym, nieomawianym tu problemem było wynoszenie piasku i powstawanie kawern poza rurami w strefie ich zacementowania.

4.4.1. I cykl pomiarów geofizycznych – marzec 1997 r.

Badania geofizyczne przeprowadzone w otworze Mszczonów IG-1 miały dwa podstawowe cele. Jednym z nich była analiza i badanie stref chłonnych w obrębie horyzontu dolnokredowego, drugim – badania stanu technicznego odwiertu.

Badanie stref chłonnych otworu miało na celu:

- ocenę produktywności poszczególnych interwałów (udział procentowy),
- ocenę przypływów z poszczególnych interwałów kompleksu zbiornikowego,
- lokalizację stref nieprodukcyjnych (rozważanie możliwości powtórnych perforacji lub innych zabiegów udrażniających horyzonty),
- określenie miąższości efektywnej strefy złożowej dla oceny wydajności złoża.

Badania przeprowadzono zestawem sond Producing Log, w skład którego weszły: mufolokator – CCL, sonda gamma – GRT, elektrotermometr – TLT, ciśnieniomierz – SPT oraz przepływomierz – FBF.

Pomiary wykonano w przedziale głębokościowym 1575,0–1711,0 m, a temperaturę w warunkach statycznych mierzono w całym otworze, tj. w przedziale 0,0–1711,0 m. Pomiary realizowano przy stałym zatłaczaniu wody w ilości około 11,0 m³/h.

Do oceny parametrów zbiornikowych badanego profilu otworu wykorzystano program ANALIT w systemie GEO. Pozwolił on na określenie składu litologicznego formacji, obliczenie porowatości, zailenia, nasycenia wodą i węglowodorami oraz przepuszczalności. Jak wynikało z zestawienia parametrów zbiornikowych, piaskowce w całej badanej strefie charakteryzowały się porowatością rzędu 15,0% z niewielkimi zmianami w stropie albu. Piaskowce w całości były nasycone wodą złożową, słabo zmineralizowaną. Pomiędzy seriami piaskowców występowały wkładki nieprzepuszczalnych i nieporowatych ilów. Dla oceny chłonności piaskowców albu i barremu, na odcinku otworu obejmującym wykonane perforacje w interwale głębokości 1580,0–1714,0 m wykonano serie 10 pomiarów w górę i w dół otworu, z różnymi prędkościami, zestawem sond PL w czasie wpompowywania do otworu wody przy stałej wydajności pompy wynoszącej 11 m³/h. Wyniki pozwoliły na ustalenie, że cała objętość wpompowywanej wody wchłaniana jest prawie natychmiast w piaskowce albu. Wskazywało to na nieznaczny wzrost ciśnienia wynoszący zaledwie 8 PSI (około 0,5 atm) w czasie pomiarów i zerową chłonność piaskowców barremu. W piaskowcach albu, w obrębie górnej, udostępnionej perforacją strefy, występowały trzy wyraźne zmiany prędkości płynów w otworze w przedziałach głębokości 1606,0–1608,0 m, 1629,0–1631,0 m oraz 1641,0–1642,5 m, które odpowiadają miejscom o największej procentowej chłonności ocenionej odpowiednio na 10, 28 i 62%. Stwierdzono, że cała dolna część poziomu była nieprodukcyjna, pomimo stwierdzonych identycznych cech złożowych (litologicznych) i jakości wykonanej perforacji. Badaniami stwierdzono także zasyp ze stropem w głębokości 1711,5 m, który usunięto po zakończeniu testów. Oprócz badań strefy chłonnej wykonano w tym cyklu badania stanu technicznego rur 9,5/8” w interwale 0,0–70,0 m. Prace wykonano kawernomierzem 80-ramiennym.

4.4.2. II cykl pomiarów geofizycznych – maj 1997 r.

W II cyklu badań chłonności wodonośnych piaskowców kredowych wykorzystano zestaw sond Production Log (PL) o identycznej konfiguracji jak w I cyklu, tj.: mufolokator, sonda gamma, elektrotermometr, ciśnieniomierz, przepływomierz. Pomiary wykonywano przy wydajności pompy wynoszącej 16 m³/h. Ponadto wykonano pomiary, które miały na celu przetestowanie metod geofizycznych stosowanych w górnictwie naftowym w warunkach otworu wodnego i dodatkowo zarurowanego. Profilowania PL wykonano dla zbadania stanu rur oraz ich zacementowania w strefie złoża oraz stanu technicznego ścian otworu poza rurami okładzinowymi po ponad 20-dniowej eksploatacji wód, z którą związane było intensywne wynoszenie materiału piaszczystego. Pomiary wykonano zestawem sond

COMBO obejmującym: sondę neutronową, cementomierz akustyczny, mufolokator, sondę gamma.

Interpretacja wyników sondą PL badań geofizycznych I cyklu wykazała – dla przypomnienia – że woda produkowana jest z trzech wąskich (małej miąższości 2,0–4,0 m) interwałów, znajdujących się w obrębie górnej, udostępnionej perforacją, strefy. Cała dolna część warstwy złożowej była nieprodukcyjna, pomimo stwierdzonych identycznych cech złożowych (litologicznych) i jakości wykonanej perforacji. Po przeprowadzeniu badań usunięto zasypaną część otworu, odsłaniając znajdujący się na głębokości 1793,0 m strop korka cementowego. Mając na uwadze fakt, że wcześniej wykonane pomiary chłonności wykazały nierównomierną chłonność w górnej części udostępnionego poziomu oraz brak chłonności w części dolnej, spodziewano się, że i w tej turze badań uzyskany obraz będzie podobny.

Wyniki profilowań sondą PL i ich interpretacja umożliwiły określenie chłonności serii złożowej (tab. 7). Wyniki różniły się zasadniczo od wyników uzyskanych w I cyklu pomiarów sondą PL, ponieważ główna strefa chłonności stwierdzona została w dolnej części udostępnionego poziomu (około 72 %). W II cyklu pomiarów stwierdzono zatem odwrócenie sytuacji w stosunku do I cyklu. Z wyznaczonych prędkości przepływu wody w nieperforowanych rurach można obliczyć ilość wody wpompowywanej do otworu i wielkość chłonności w procentach i w m³/h w interwałach perforacji. W obrębie perforacji 1602,0–1644,5 m obserwuje się dość równomierne pochłanianie wody z nieznacznym 10,0% skokiem wielkości pochłaniania w interwale 1626,5–1628,5 m.

Tabela 7

Wielkość chłonności w poszczególnych interwałach perforacji (Bujakowski i in. 2004)

Table 7

Injection value in perforation intervals (Bujakowski et al. 2004)

Przedział głębokościowy [m p.p.t.]	Wielkość chłonności [m ³ /h]	Wielkość chłonności [%]
1602,0–1644,5	4,5	28,0
1655,0–1714,0	11,5	72,0
Suma	16,0	100,0

Stwierdzono, że dolny poziom, w przedziale głębokości 1665,0–1714,0 m wchłania zdecydowanie więcej, bo ponad 70% wody. W obrębie tej perforacji można wydzielić cztery strefy różniące się chłonnością (tab. 8).

Wyniki badań geofizycznych II cyklu pozwoliły na ustalenie, że przeważająca wielkość chłonności występuje w strefie dolnej perforacji (1665,0-1714,0 m). Wielkość tę oszacowano na około 72%, podczas gdy w strefie górnej chłonność określono na poziomie 28% całkowitej wartości wtłoczonej wody.

Tabela 8

Strefy chłonności w interwale perforacji 1665,0–1714,0 m (Bujakowski i in. 2004)

Table 8

Injection zones in the perforation interval 1665,0–1714,0 m (Bujakowski et al. 2004)

Strefa	Przedział głębokościowy [m p.p.t.]	Wielość chłonności [%]
A	1665,0–1681,0	9,0
B	1681,0–1683,0	41,0
C	1683,0–1711,0	2,0
D	1711,0–1714,0	20,0
Suma		72,0

4.4.3. III cykl pomiarów geofizycznych – lipiec 1999 r.

Pomiary geofizyczne wykonano po trwającym 41 dni pompowaniu przedekspluatacyjnym zrealizowanym na dwóch stopniach wydajności. Prace wykonano 13 lipca 1999 r. dla przedziału głębokości 1602,0–1714,0 m zestawem sond Production Log (PL). Celem badania było określenie zmian występujących w obrębie stref chłonnych serii wodonośnych piaskowców kredy dolnej, ocena stanu technicznego otworu poza rurami oraz ocena stanu dna odwiertu (rys. 17). Ostatnie prace wykonano z użyciem kompleksowej sondy COMBO zawierającej sondę gamma i sondę neutronową z użyciem średnicomierza wieloramiennego MAC-80.

Dla poszczególnych przedziałów głębokości wykonano rodzaje pomiarów przedstawione w tabeli 9.

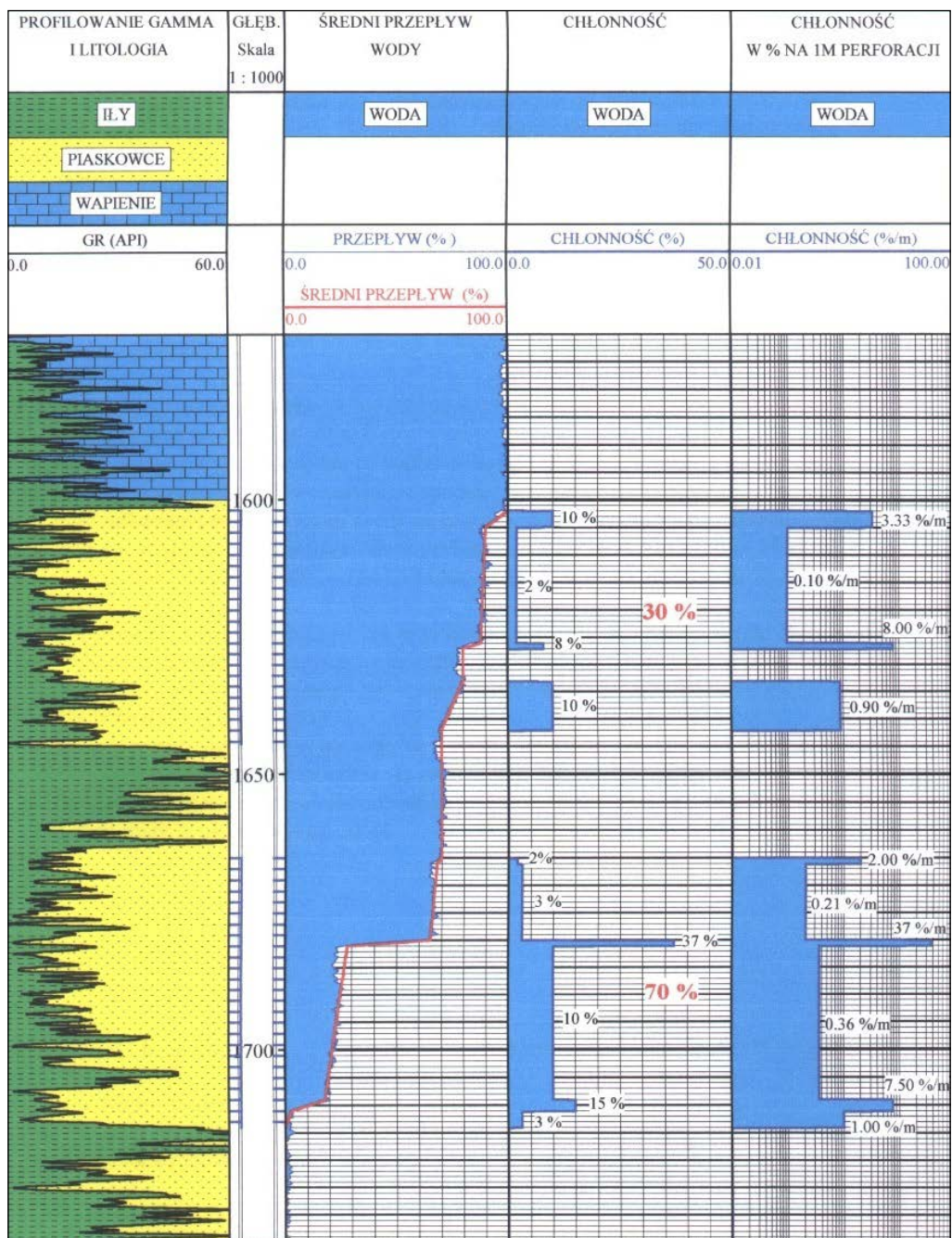
Pomiary wykonane sondą PL wskazały na nierównomierną chłonność w obrębie sperforowanych partii złoża. Oszacowano, że górna część, w przedziale głębokości 1602,0–1642,0 m, sumarycznie chłonęła około 30,0% wód trzema odcinkami o większej chłonności:

- 1602,0–1605,0 m (około 3,0 m) – chłonność około 10,0%,
- 1627,0–1628,0 m (około 1,0 m) – chłonność około 8,0%,
- 1633,0–1642,0 m (około 9,0 m) – chłonność około 10,0%.

Dolna sperforowana część złoża w przedziale głębokości 1665,0–1714,0 m wykazała chłonność około 70,0% ze znaczną nierównomiernością w całym interwale, z dwoma strefami o szczególnie wysokiej chłonności:

- 1680,0–1681,0 m (około 1,0 m) – chłonność około 37,0%,
- 1709,0–1711,0 m (około 2,0 m) – chłonność około 15,0%.

Stwierdzono, że chłonność w głębokości 1680,0–1681,0 m może wskazywać na uszkodzenie rur okładzinowych.



Rys. 17. Zestawienie wyników badań zestawem sond PL w otworze Mszczonów IG-1, 1999 r.
(Barbacki i in. 2000)

Fig. 17. List of test results of the PL probes test in the Mszczonów IG-1 borehole, 1999
(Barbacki et al. 2000)

Tabela 9

Rodzaje pomiarów wykonane w III cyklu badań geofizycznych (Bujakowski i in. 2004)

Table 9

Types of tests made in the third series of geophysical research (Bujakowski et al. 2004)

Przedział głębokościowy [m p.p.t.]	Rodzaj badania
0,0–1714,0	pomiary temperatury i ciśnienia w warunkach statycznych z dowiązaniem głębokościowym sondą gamma i mufolokatorem
1565,0–1735,0	pomiary zestawem PL przy zatłaczaniu wody 20 m ³ /h
1570,0	pomiar stacjonarny przepływomierzem
1655,0	
1735,0	
1602,0–1714,0	pomiar sondą neutronową
	pomiar sondą gęstościową
0,0–100,0	pomiar średnicy wewnętrznej rur

Wyniki profilowań chłonności były zbliżone do uzyskanych po pompowaniu pomiarowym II cyklu. Pomiary geofizyczne wykonane po pompowaniu przedeksplatacyjnym w odwiercie Mszczonów IG-1 pozwoliły na wyciągnięcie wniosków:

- szablonoowanie wykonane sondą COMBO wykazało drożność odwiertu do głębokości 1791,0 m, co wskazywało na brak zasypu na spodzie,
- przy zatłaczaniu średnio 19,4 m³ wody na godzinę była ona pochłaniana całkowicie przez serie piaskowców kredy w interwałach perforacji 1602,0–1644,5 m i 1665,0–1714,0 m,
- poziom w przedziale głębokości 1602,0–1644,5 m pochłaniał dość równomiernie 30,0% zatłaczanej wody,
- poziom w przedziale głębokości 1655,0–1714,0 m pochłaniał nierównomiernie pozostałe 70,0% wody,
- w głębokości 1680,0 m występowało, na krótkim odcinku około 1,0 m, bardzo silne pochłanianie zatłaczanej wody, około 37,0%, czego przyczyną było, jak przypuszczano, uszkodzenie kolumny rur okładzinowych w pobliżu mufy,
- pomiary neutronowe dobrze korelowały z pomiarami neutronowymi wykonanymi w maju 1997 r. i nie wskazywały na pojawianie się kawern w przestrzeni pozarurowej,
- pomiary średnicomierzem wieloramiennym wykazały uszkodzenie rur okładzinowych w pobliżu mufy w głębokości około 55 m.

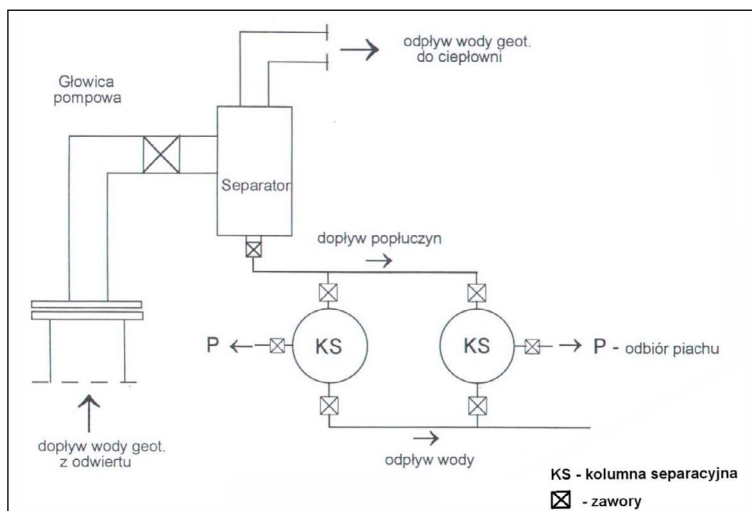
4.5. Badania wyniesionego materiału piaszczystego

W trakcie prowadzonych pompowań w czasie rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1 obserwowano piaszczenie o różnym nasileniu związanym z wielkością strumienia wód, a wydobywający się materiał poddany został badaniom (Bujakowski 2015).

System do poboru materiału piaszczystego w trakcie pompowań badawczych miał za zadanie pozyskiwanie całej ilości fazy stałej zawartej w wodzie geotermalnej wypompowywanej z odwiertu. Pozyskiwanie materiału piaszczystego odbywało się dwustopniowo (Bujakowski i in. 2004):

- I stopień – separacja materiału piaszczystego z wypompowywanej wody geotermalnej w separatorze zainstalowanym na stałe w instalacji geotermalnej i odprowadzanie na zewnątrz w postaci popłuczyn;
- II stopień – odbiór czystego materiału piaszczystego z popłuczyn na stanowisku badawczym do poboru materiału piaszczystego.

Proces pozyskiwania materiału piaszczystego odbywał się w sposób ciągły, bez ingerencji w przebieg procesu wydobywczego wody geotermalnej. Zaprojektowana aparatura umożliwiała badanie zjawiska piaszczenia w dowolnych okresach czasu i z dowolną częstotliwością. Konstrukcja stanowiska badawczego umożliwiała wykorzystanie go w dowolnych systemach geotermalnych i innych, związanych z wydobywaniem wody, w których zainstalowane były urządzenia do wstępnej separacji fazy stałej. Stanowisko badawcze do poboru materiału piaszczystego składało się z dwóch oddzielnych kolumn separacyjnych połączonych układem rurociągów z wylotem popłuczyn z separatora. Zastosowane rozwiązanie umożliwiało niezależną pracę poszczególnych kolumn i zapewniało ciągłość pozyskiwania materiału piaszczystego (rys. 18 i 19).



Rys. 18. Schemat instalacji do poboru materiału piaszczystego (Bujakowski i in. 2004)

Fig. 18. Diagram of the installation for the extraction of sandy material (Bujakowski et al. 2004)



Rys. 19. Stanowisko badawcze do poboru materiału piaszczystego przy otworze Mszczonów IG-1
(Bujakowski i in. 2004)

Fig. 19. Research stand for the extraction of sandy material near the Mszczonów IG-1 borehole
(Bujakowski et al. 2004)

Wewnątrz kolumny separacyjnej znajdował się turbulizator umożliwiający wytrącenie całej fazy stałej zawartej w popłuczynach separatora. Faza stała (piasek) zbierała się w dolnej części kolumny, skąd kierowana była do odsączarki. Nadmiar wody z popłuczyn odprowadzany był oddzielnym wylotem do kanalizacji. Z odsączarki odbierana jest czysta faza stała do dalszych badań.

Opróbowany poziom wodonośny w utworach albu środkowego – barremu w otworze Mszczonów IG-1 przedstawiał się następująco:

- 1602,0–1645,0 m – piaskowiec drobnoziarnisty barwy szarej miejscami przechodzący w mułowiec piaszczysty ciemnoszary z drobnymi wystąpieniami krzemieni, związane, ku spągowi piaskowiec średnioziarnisty ciemnoszary o spoiwie ilastym;
- 1645,0–1651,8 m – mułowce szare i czarno-szare z bardzo dużą ilością muskowitu, często zapiaszczone, słabo związane przechodzące w ilowce słabo związane;
- 1651,8–1714,0 m – piaski zawęglone, okruchy fauny, mułowce czarne z dużą ilością pyłu muskowitowego.

Na podstawie powyższych danych piaskowce zostały określone jako bardzo słabo związane, rozsypliwe. Potwierdzeniem tej oceny była bardzo duża ilość piasku, jaka zgromadziła

się w odwiercie podczas pompowania oczyszczającego i to przy bardzo niskiej depresji (około 27,0 m przy wydajności do 50,0 m³/h).

Pierwszą próbkę pobrano po zakończeniu pompowania oczyszczającego 3 lutego 1997, a drugą pod koniec pompowania pomiarowego w dniu 5 maja 1997 (tab. 10). Wyniki badań granulometrycznych wykazały, że proces piaszczenia otworu rozpoczął się od wynoszenia najdrobniejszej frakcji. Pod koniec pompowania pomiarowego warstwa była oczyszczana także z ziaren większych.

Oprócz powyższych analiz wykonano badania mikroskopowe na dwóch próbkach materiału skalnego wyniesionego w trakcie pompowania pomiarowego i oczyszczającego (tab. 11).

Tabela 10

Wyniki oznaczeń granulometrycznych osadów pobranych ze skrzyni przelewowej (Bujakowski i in. 2004)

Table 10

Results of granulometric tests of sediments taken from the overflow box (Bujakowski et al. 2004)

Data pobrania próbki osadu	Średnica miarodajna					Nazwa skały
	d ₁₀	d ₂₀	d ₅₀	d ₆₀	U = d ₆₀ /d ₁₀	
3.02.1997 r.	0,084	0,110	0,130	0,135	1,600	Piasek drobny
5.05.1997 r.	0,140	0,190	0,300	0,340	2,430	Piasek średni

Tabela 11

Wyniki analiz składu mineralnego osadów wynoszonych przez wody geotermalne z otworu Mszczonów IG-1 (Bujakowski i in. 2004)

Table 11

Results of analyzes of mineral composition of sediments carried out by geothermal waters from the Mszczonów IG-1 borehole (Bujakowski et al. 2004)

Składnik	Próbka nr 1	Próbka nr 2
Kwarc	99,0	99,8
K-skaleń	0,6	0,9
Plagioklasy	0,4	0,3
Minerały ciężkie	ślady	ślady
Galukonit	ślady	ślady
Tlenki Fe	ślady	ślady
Muskowit	ślady	ślady

Badania wykazały 99-procentowy udział ziaren kwarcu w wynoszonym materiale wraz ze śladowymi ilościami zwietrzałych skałeni potasowych oraz plagioklazów. Towarzyszyły im: glaukonit, minerały ciężkie, muskowit oraz tlenki Fe, obecne w badanym materiale w ilości mniejszej niż 0,1%.

Badania piaszczenia prowadzone były także w trakcie pompowania przedeksploatacyjnego od 20 maja do 30 czerwca 1999 r. W tym czasie uzyskano 81 próbek piasku pobieranych co 12 godzin oraz 41 prób pobieranych co 24 godziny. W sposób orientacyjny pobierano próby obrazujące dobowy uzysk piasku wraz z opróbowaniem piaszczenia w odstępie 12-godzinnym. Zebrany materiał skorelowany został z wielkością przepływu wód. Dodatkowo był przedmiotem badań mineralogiczno-petrograficznych.

4.6. Właściwości fizykochemiczne wód geotermalnych

Pierwsze badania właściwości fizykochemicznych wód z utworów kredy dolnej w otworze Mszczonów IG-1 zrealizowane zostały w trakcie opróbowania poziomu złożowego w 1977 r. Kolejne badania prowadzone były w czasie rekonstrukcji otworu i bezpośrednio po jej zakończeniu, tj. w latach 1997–1999. W trakcie pompowań wykonanych podczas rekonstrukcji prowadzone były badania właściwości fizykochemicznych wód termalnych. Analizy prowadzone były na próbkach wody w różnych okresach badania złoża. Ogółem pobrano około 100 próbek wody (Bujakowski 2015). Regularne badania wskaźnikowe jakości eksploatowanych wód realizowane są od 2000 r. w ramach programu pomiarów i badań stacjonarnych (Tomaszewska 2015).

W 1977 r. stwierdzono, że woda występująca w otworze Mszczonów IG-1 to woda typu chlorokowo-wodorowęglanowo-sodowo-wapniowego o mineralizacji $1,0 \text{ g/dm}^3$. Woda zawierała podwyższone stężenia jonu chlorkowego – $245,78 \text{ mg/dm}^3$ oraz wysokie stężenie jonu sodowego – $196,00 \text{ mg/dm}^3$. Pompowania oczyszczające i pomiarowe, wykonane w latach 1997–1999 w czasie rekonstrukcji, wykazały możliwość pozyskania wód o mineralizacji $0,5\text{--}0,6 \text{ g/dm}^3$ i typie wodorowęglanowo-wapniowo-sodowym. Zawartość jonu chlorkowego, przy wydajności ujęcia na poziomie około $60,0 \text{ m}^3/\text{h}$ wynosiła wówczas $83,0 \text{ mg/dm}^3$, a sodu stwierdzono około 2,5 razy mniej niż w 1977 r. (Tomaszewska 2015).

Istotnym efektem badań chemicznych, wykonanych w trakcie pompowania przedeksploatacyjnego była stabilizacja ilości jonu chlorkowego. Prawdopodobnie duży strumień eksploatowanych wód uruchamiał wody z niższych warstw zbiornika (Bujakowski 2015). Po ograniczeniu wypływu do około $65,0 \text{ m}^3/\text{h}$, obserwowano ciągle wysokie zawartości jonu chlorkowego (do około $120,0 \text{ mg/dm}^3$). Po kolejnej zmianie wydajności do około $55,0 \text{ m}^3/\text{h}$ zawartość chlorków w wodzie powróciła do wartości notowanej przed przebicciem się wód bardziej zasolonych (do około 80 mg/dm^3). Obecnie zawartość jonów chlorkowych w wodzie wynosi około $14,0 \text{ mg/dm}^3$, a sodu około $31,5 \text{ mg/dm}^3$ (tab. 12), co może wskazywać, że przyjęty poziom maksymalnej wydajności eksploatacyjnej otworu zapewnia stabilność właściwości fizykochemicznych ujmowanej wody (Tomaszewska 2015).

Tabela 12

Zestawienie wyników analiz chemicznych wody geotermalnej z otworu Mszczonów IG-1 (Tomaszewska 2015)

Table 12

List of results of chemical analysis of geothermal waters from the Mszczonów IG-1 borehole (Tomaszewska 2015)

Wskaźnik	10.1977	30.06.1999	28.08.2014
	mg/dm ³		
Na ⁺	196,00	78,5	31,55
K ⁺	36,12	8,40	10,88
Li ⁺	–	–	0,016
Be ⁺²	–	–	<0,000006
Ca ⁺²	73,91	60,30	54,96
Mg ⁺²	14,05	12,49	12,34
Ba ⁺²	–	0,231	0,148
Sr ⁺²	–	1,07	0,953
Fe ⁺²	7,31	1,60	1,052
Mn ⁺²	0,62	0,08	0,0010
Ag ⁺	–	–	<0,00020
Zn ⁺²	–	0,053	<0,002
Cu ⁺²	–	–	0,00300
Ni ⁺²	–	–	0,00013
Co ⁺²	–	–	0,00040
Pb ⁺²	–	–	0,00050
Hg ⁺²	–	–	<0,0002
Cd ²⁺	–	–	<0,00001
Se ⁺²	–	–	<0,002
Sb ⁺³	–	–	<0,00005
Al ⁺³	–	<0,06	<0,001
Cr ⁺³	–	–	0,00020
Mo ⁺⁶	–	–	0,01000
V ⁺⁵	–	–	0,00120
Zr ⁺⁴	–	–	<0,0001
Ti ⁺⁴	–	–	<0,005
As ⁺³	–	–	0,00015
Tl ⁺⁴	–	–	<0,00002
W ⁺⁶	–	–	<0,002
Razem kationy	328,01	162,78	111,9
Cl ⁻	245,78	83,0	13,6
Br ⁻	0,51	–	<0,100
I ⁻	–	–	<0,100
SO ₄ ⁻²	23,46	3,1	3,40
HCO ₃ ⁻²	409,46	297,2	315,0
CO ₃ ⁻²	–	–	<0,5
NO ₂ ⁻	–	–	<0,003
NO ₃ ⁻	–	–	<0,50
PO ₄ ⁻³	–	–	<0,05
BO ₃ ⁻³	–	0,272	0,73
Razem aniony	679,21	383,57	333,3
Razem kationy i aniony	1007,2	546,35	445,2

Parametry pracy ujęcia geotermalnego w Mszczonowie podlegają sezonowym wahaniom, ze względu na zmiany zapotrzebowania na ciepło w ciągu roku. Wahania wydajności i ciśnienia skorelowane są bezpośrednio z temperaturą wody geotermalnej. Jej wartość wzrasta przy zwiększonym poborze wód w okresie zimowym i maleje o kilka stopni w sezonie letnim, gdy zapotrzebowanie na ciepło jest znacznie mniejsze, a pobór wody termalnej z ujęcia maleje (Tomaszewska i Szczepański 2014).

Danych do oceny właściwości fizykochemicznych wód kredy dolnej z odwiertu Mszczonów IG-1 dostarczyły także badania izotopowe, zrealizowane w 1997 r. w trakcie pompowania pomiarowego. Próbkę pobrano po wypompowaniu 13 200 m³ wody o temperaturze 40°C mierzonej na powierzchni (Bujakowski i in. 2004). Badania wykazały, że pozyskiwane wody pochodzą ze strefy o głębokiej penetracji wód infiltracyjnych (Bujakowski i in. 1999). Skład izotopowy (tab. 13) wykazywał dominację wody zasilanej w klimacie chłodniejszym od holocenijskiego.

Tabela 13

Wyniki analiz składu izotopowego, koncentracji trytu i radiowęglu w próbce wody z odwiertu Mszczonów IG-1 (Tomaszewska 2015)

Table 13

Results of analyses of isotopic composition, concentration of tritium and radiocarbon in the water sample from the Mszczonów IG-1 borehole (Tomaszewska 2015)

Opis próby	Data poboru	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	δD [‰]	Tryt [T.U.]	^{14}C [pmc]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]
Otwór Mszczonów IG-1 po rekonstrukcji	25.04.1997	-10,5 -10,5	-79 -79	$0,0 \pm 0,5$	$18,7 \pm 1,0$	-13,0

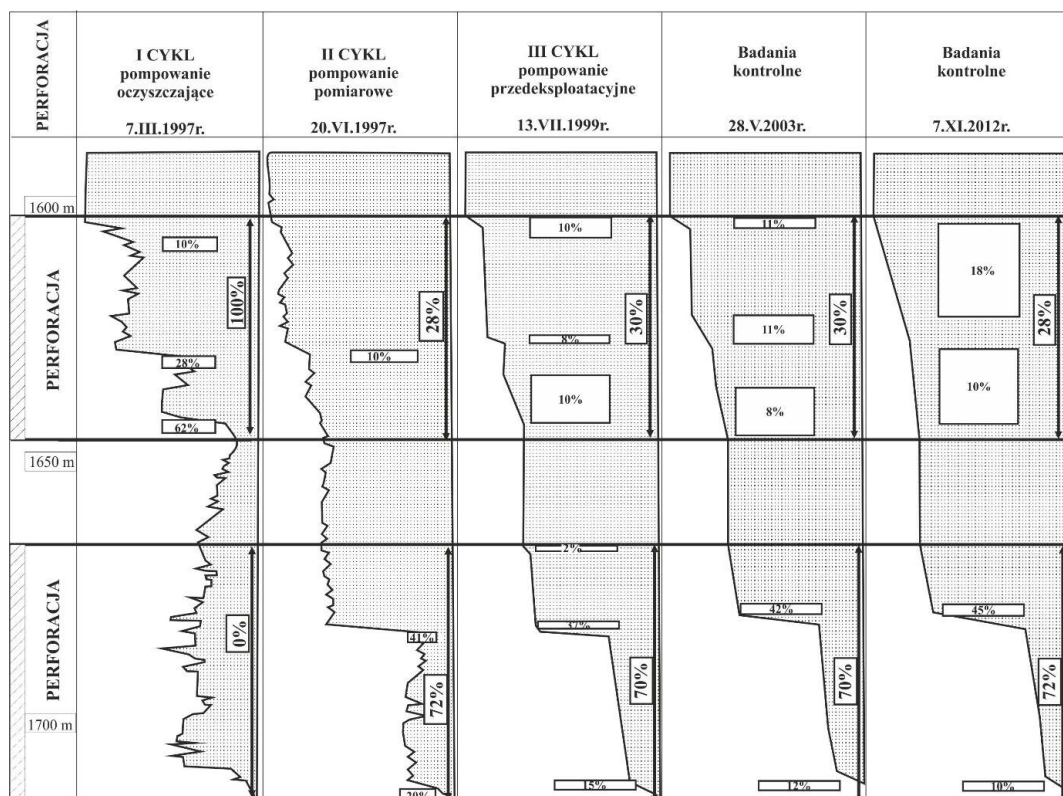
Błąd (poj. odchylenie standardowe, $\pm 1\sigma$) wynosi $\pm 0,1\text{‰}$ dla $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ oraz $\pm 1\sigma$ dla δD .

Obecność ^{14}C oznaczała, że zasilanie miało miejsce w końcowym stadium ostatniego glacjału. Względnie lekki skład izotopowy węgla ($\delta^{13}\text{C} = -13\text{‰}$), zwłaszcza dla wody geotermalnej, również wskazuje na niski wiek wody i dominujący jej przepływ przez utwory niewęglanowe. Wiek ^{14}C obliczony według modelu tłokowego z poprawką Pearsona wykazał wiek wody na poziomie 9 tys. lat (Tomaszewska 2015). Utwory kredy dolnej leżą zatem w obszarze intensywnej wymiany wód infiltracyjnych o bardzo głębokim zasięgu.

5. Badania stanu technicznego otworu w 2003 i 2012 roku

5.1. Strefa złożowa

W 2003 i 2012 r. powtórzone zostały badania strefy złożowej zestawem sond PL (Bujakowski 2015); był to ten sam zestaw, który omówiony został w poprzednim rozdziale. Wyniki badań pokazały, że chłonność odwiertu, oceniana na podstawie pomiarów przepły-



Rys. 20. Zestawienie wyników badań PL wykonanych w latach 1997, 1999, 2003 i 2012 (Bielec i Balcer 2015)

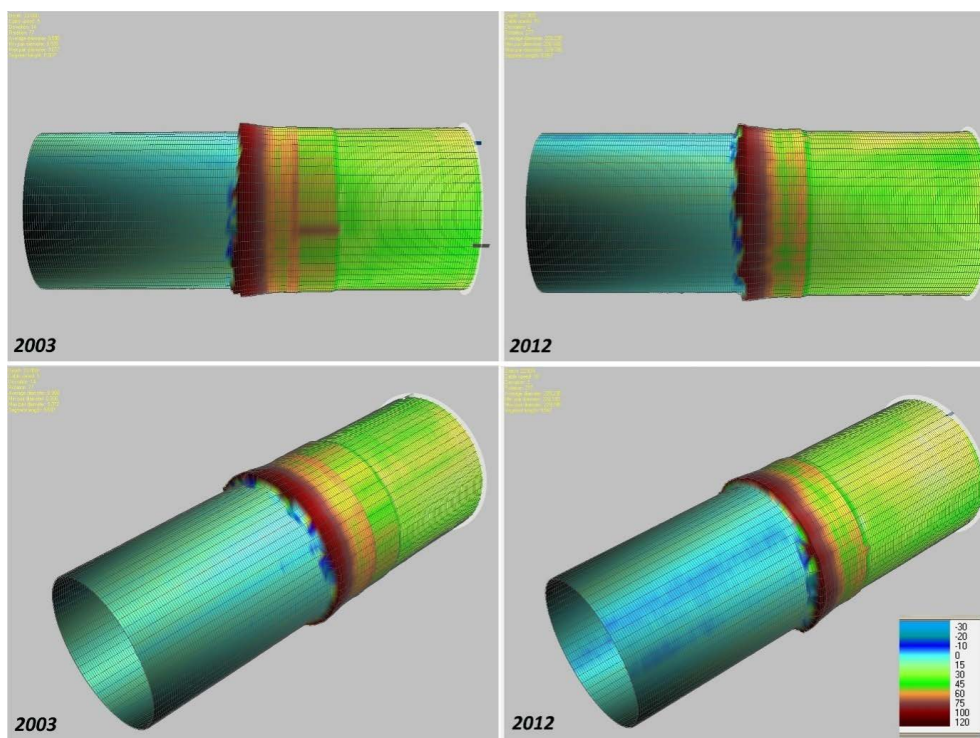
Fig. 20. List of results of PL probe tests performed in 1997, 1999, 2003 and 2012 (Bielec and Balcer 2015)

womierzem, nie uległa znaczącym zmianom na przestrzeni lat (rys. 20). Największa, skokowa zmiana występowała na głębokości 1680,0 m (Bielec i Balcer 2015). Strefa dolnej perforacji w otworze w typowych warunkach chłonięła około 70% wody, a w obrębie perforacji na głębokości 1680,0 m występował kilkunastocentymetrowy odcinek, w obrębie którego chłonność oceniona została na około 40%.

Pomiary wykonywane przepływomierzem w 2012 r. były znacznie gorszej jakości niż pomiary wykonane w 2003 r., ze względu na niestabilność przepływomierza. Na zestawieniach pomiaru przepływomierzem FLOW(s), wykonanego w warunkach statycznych z pomiarem prędkości przemieszczenia się zestawu TSPD(s), obserwowano rozejścia krzywych, świadczące o niestabilnej pracy przepływomierza.

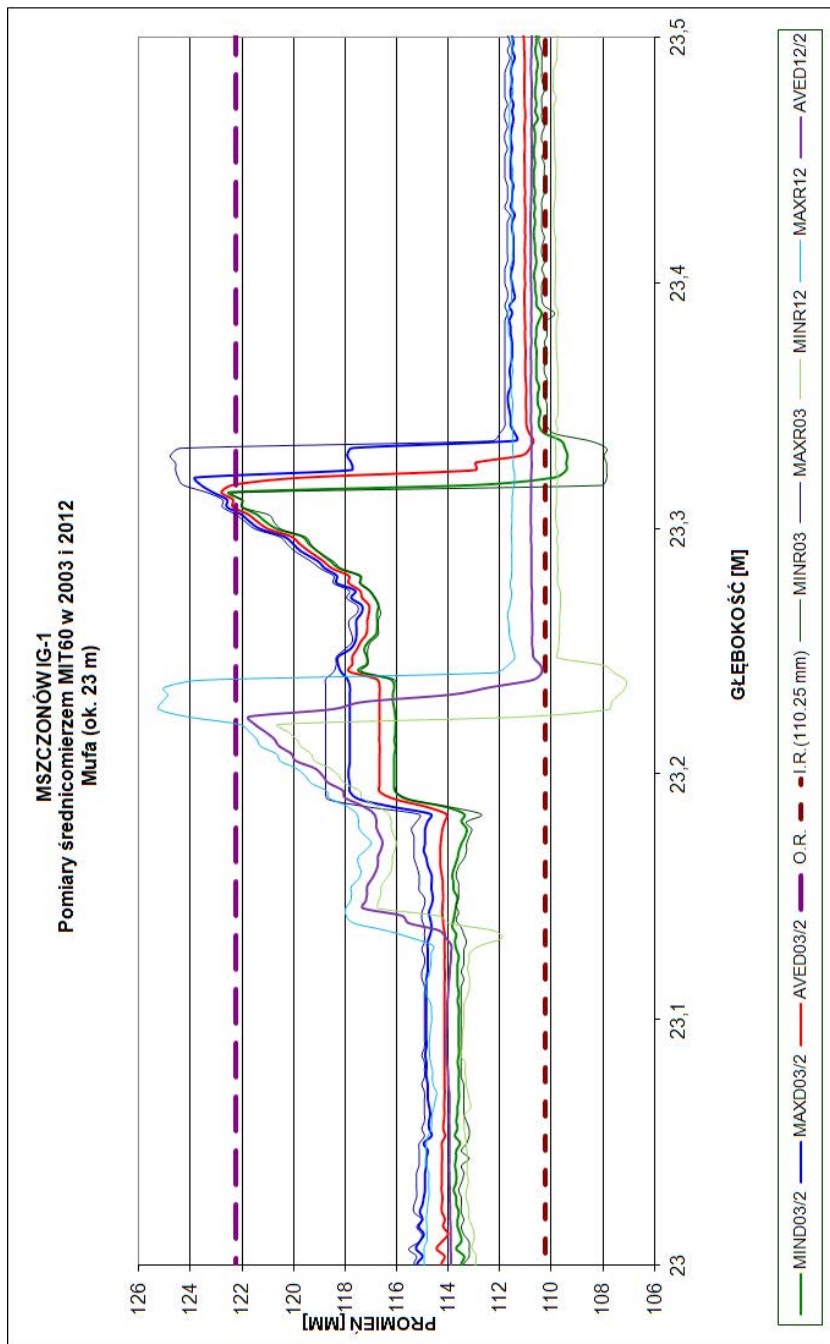
5.2. Stan techniczny otworu

Badanie stanu technicznego otworu Mszczonów IG-1 za pomocą sondy MIT60 firmy Sondex prowadzone były dwukrotnie, tj. w 2003 oraz 2012 r. (Bujakowski i in. 2013b;



Rys. 21. Obraz deformacji rur okładzinowych 9 5/8" na głębokości około 23,0 m uzyskany na podstawie pomiarów sondą MIT60. Zestawienie porównawcze pomiarów z 2003 i 2012 r. (Bielec i Balcer 2015)

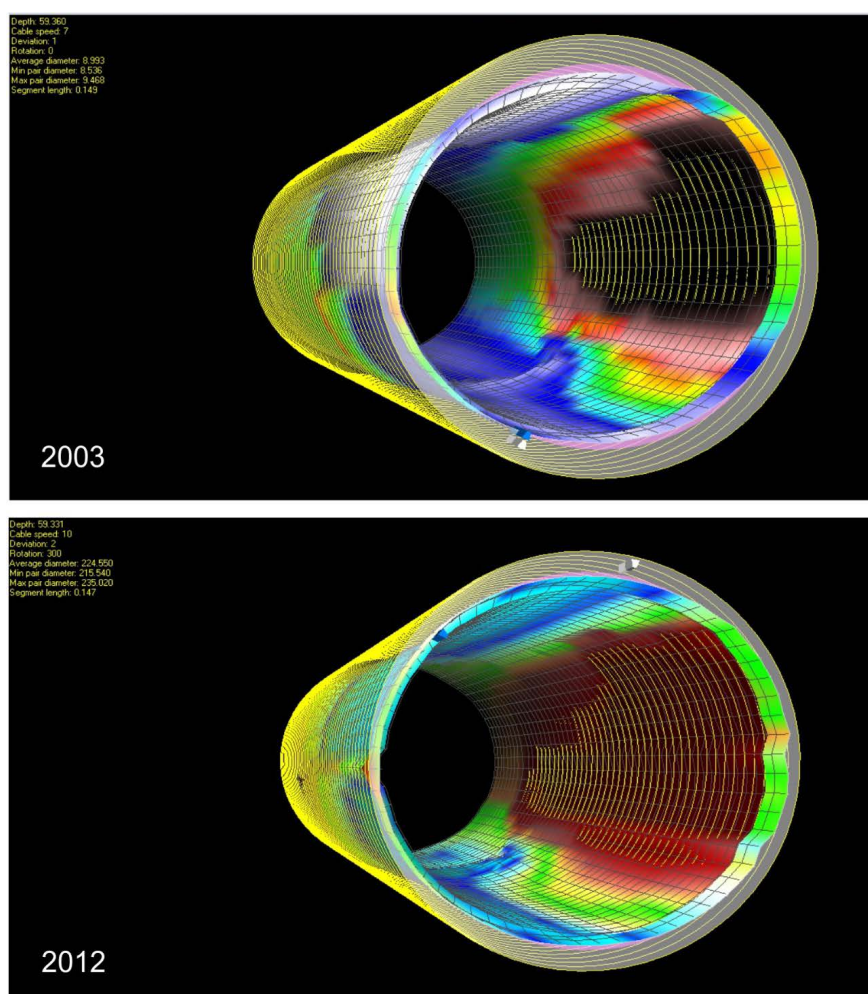
Fig. 21. Image of deformation of 9 5/8" pipes at the 23,0 m depth obtained from the MIT60 probe tests. Comparison of tests from 2003 and 2012 (Bielec and Balcer 2015)



Rys. 22. Wykres porównawczy badań sondą MIT60 strefy na głębokości około 23,0 m (2003 i 2012 r.)
(Bielec i Balcer 2015)

Fig. 22. Comparative graph of the MIT60 probe tests of the 23,0 m depth (2003 and 2012)
(Bielec and Balcer 2015)

Bielec i Balcer 2015). Badanie polegało na sprawdzeniu stanu stalowych rur okładzinowych 9 5/8", a dokładnie – na pomiarze średnicy wewnętrznej rur. W 2003 r. pomiary przeprowadzone zostały w interwale głębokościowym 0,0–105,0 m oraz 1560,0–1724,0 m, obejmującym dwie perforacje (Zychowicz i Miziołek 2003; Bielec i Balcer 2015). W 2012 r. badanie wykonano dla całego zarurowania otworu, tj. 0,0–1786,0 m (Wójcik 2012; Bielec i Balcer 2015). Dla porównania wyników badań z 2003 i 2012 r. wykonano zestawienia pomiarów średniej, minimalnej i maksymalnej średnicy wewnętrznej rur oraz minimalnego i maksymalnego promienia wewnętrznego rur w strefach, w których stwierdzono w czasie

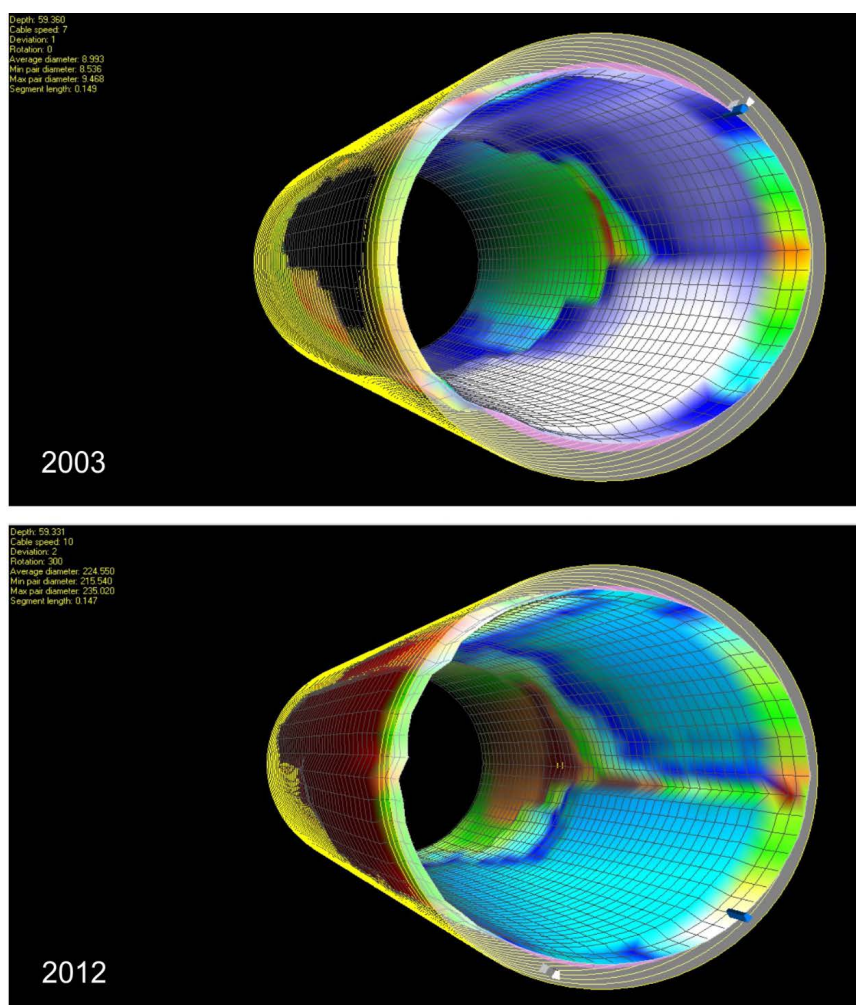


Rys. 23. Obraz deformacji rur okładzinowych 9 5/8" na głębokości około 59,0 m, sporządzony na podstawie pomiarów sondą MIT60. Widok wybrzuszonej ściany rury (Bielec i Balcer 2015)

Fig. 23. Image of deformation of 9 5/8 " pipes at the 59,0 depth, prepared on the basis of MIT60 probe tests.
 View of the bulging pipe wall (Bielec and Balcer 2015)

rekonstrukcji otworu uszkodzenie rur okładzinowych, tj. głębokości około 23,0 m oraz około 59,0 m. Obraz stanu połączenia rur okładzinowych 9 5/8" na głębokości 23,0 z kolumną rur sięgającą do powierzchni terenu przedstawiono na rysunku 21.

Analizowany odcinek nie wykazywał wypełnienia wodą oraz nie zaobserwowano także wyraźnych różnic w stanie technicznym rur w 2012 r. w stosunku do 2003 r. (Bielec i Balcer 2015). Zaobserwowano jedynie powstanie niewielkich osadów w rurach, powodujących



Rys. 24. Obraz deformacji rur okładzinowych 9 5/8" na głębokości około 59,0 m, sporządzony na podstawie pomiarów sondą MIT60. Widok miejsca podłużnego pęknięcia po przeciwnej stronie wybrzuszenia z rysunku 23 (Bielec i Balcer 2015)

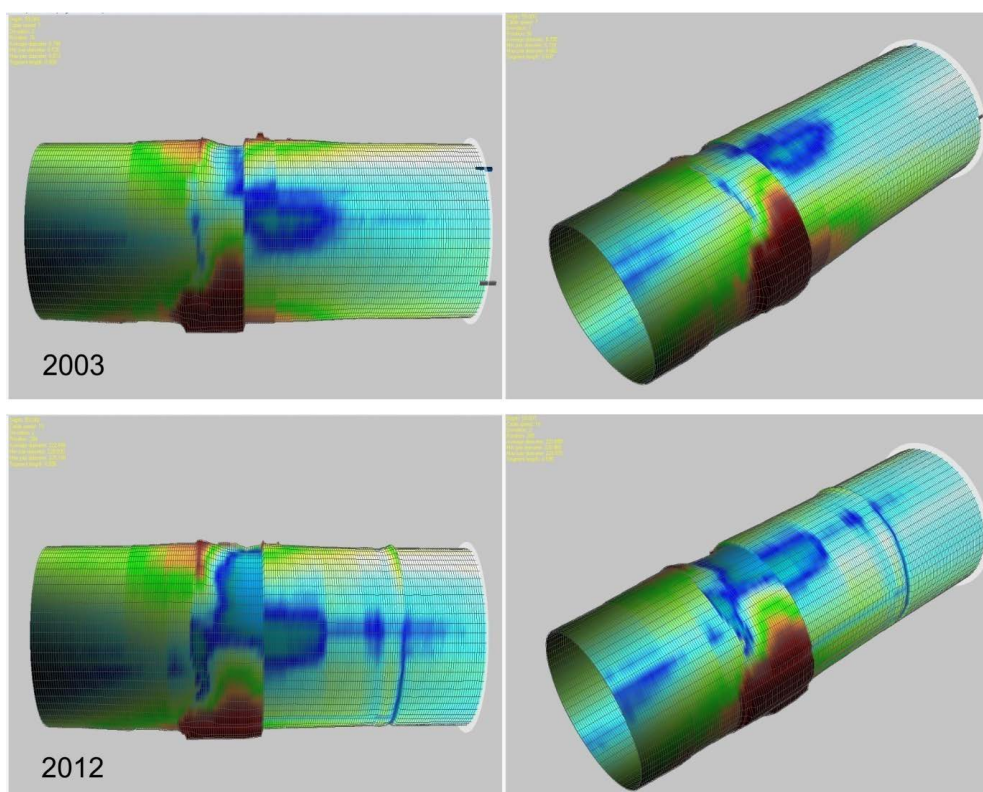
Fig. 24. Image of deformation of 9 5/8 " pipes at the 59,0 m depth, prepared on the basis of MIT60 probe tests. View of the place of the longitudinal crack on the opposite side of the bulge from Figure 23 (Bielec and Balcer 2015)

zmniejszenie ich średnicy. Pomiary promieni wewnętrznych rur w badanym odcinku wykazały przesunięcie względem siebie o około 10 cm (rys. 22). W pomiarach z 2003 r. widoczny był także efekt „zaciągnięcia” o długości około 5 cm na głębokości 23,2 m.

Badania geofizyczne wykonane kawernomierzem 80-ramiennym MAC80 jeszcze w trakcie rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1 uwidoczniły na głębokości około 59,0 m deformację rur 9 5/8". Uszkodzenie mufy łączącej charakteryzowało się pierścieniowym wgnieceniem rury z jednej strony i wybrzuszeniem po stronie przeciwnej. Znaczne wybrzuszenie spowodowało, że w obrazie z sondy MIT60 promienie wewnętrzne rury sięgały poza obrys zewnętrznej powierzchni rury (rys. 23).

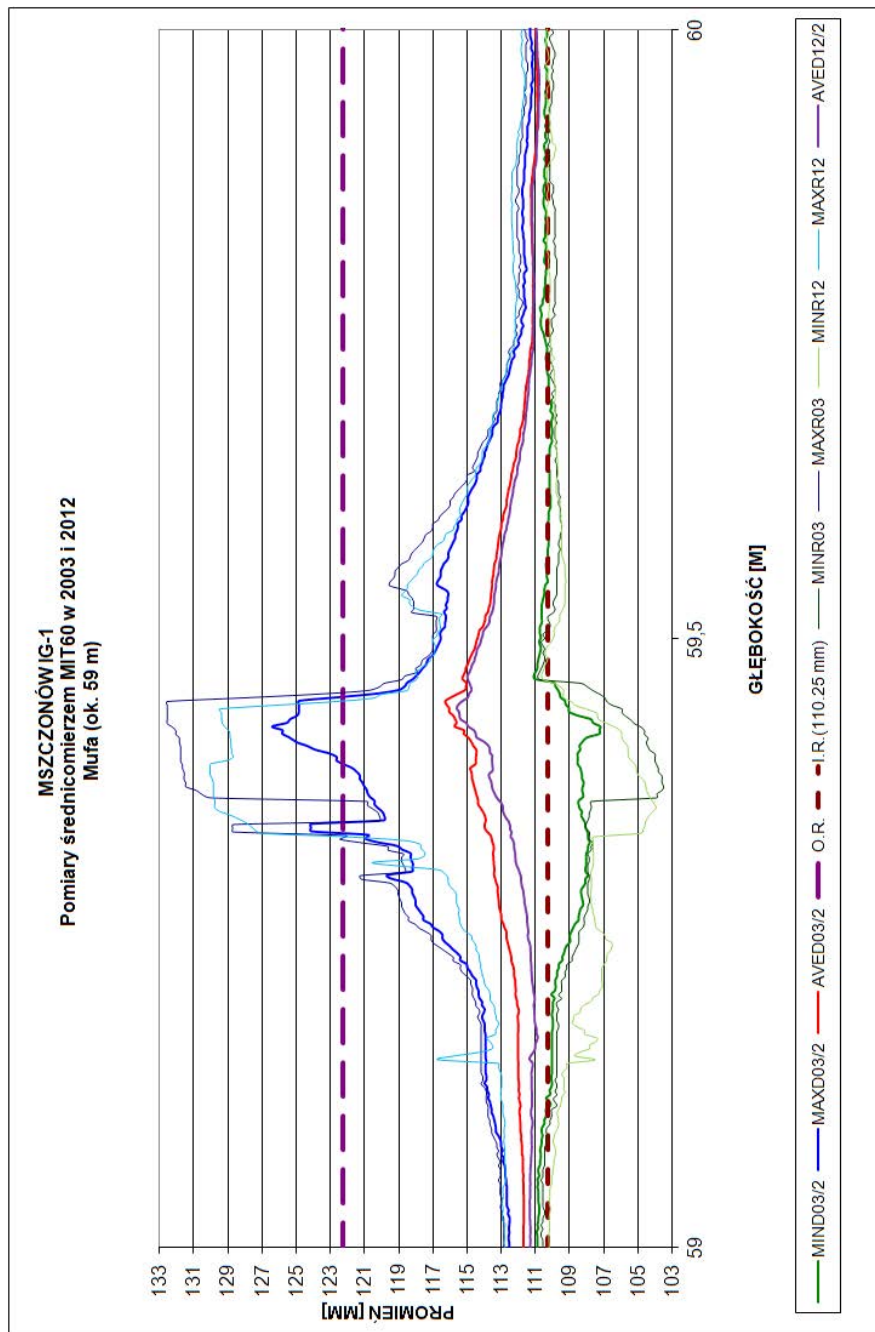
Zaznaczające się pionowe pęknięcia rur w części wgniecionej do wewnątrz, widoczne w czasie pomiarów z 2003 r., w 2012 r. wykazywało powiększenie i było już wyraźnie widoczne na obrazie otrzymanym z pomiarów (rys. 24).

Uszkodzenie kolumny rur 9 5/8" w miejscu połączenia mufowego na głębokości 59,34 m mógł spowodować zabieg nakręcania od góry dodatkowej kolumny rur okładzinowych na



Rys. 25. Obraz deformacji rur okładzinowych 9 5/8" na głębokości około 59,0 m, sporządzony na podstawie pomiarów sondą MIT60. Zestawienie porównawcze pomiarów z 2003 i 2012 r. (Bielec i Balcer 2015)

Fig. 25. Image of deformation of 9 5/8 " pipes at the 59,0 m depth, prepared on the basis of MIT60 probe tests. Comparison of tests from 2003 and 2012 (Bielec and Balcer 2015)



Rys. 26. Wykres porównawczy badań sondą MIT60 strefy na głębokości około 59,0 m, 2003 i 2012 r. (Bielec i Balcer 2015)

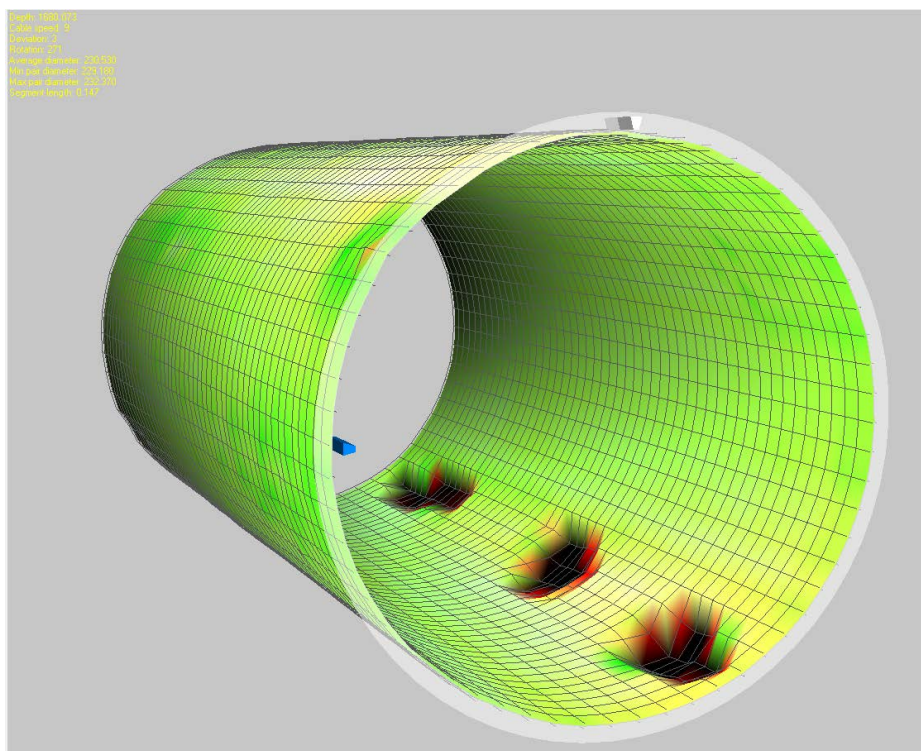
Legenda do zestawienia pomiarów promieni rury okładzinowej: MIND03/2 – średnica minimalna/2 2003 r., MAXD03/2 – średnica maksymalna/2 2003 r., AVED03/2 – średnica średnia/2 2003 rok, O.R. – nominalny promień zewnętrzny, I.R. – nominalny promień wewnętrzny, MINR03 – promień minimalny 2003 r., MAXR03 – promień maksymalny 2003 r., MINR12 – promień minimalny 2012 r., MAXR12 – promień maksymalny 2012 r., AVED12/2 – średnia średnica/2 2012 r.

Fig. 26. Comparative graph of the MIT60 probe tests of the 59.0 m depth, 2003 and 2012 (Bielec and Balcer 2015)

głębokości około 23 m. Tym bardziej, jeśli stan związania cementu z rurami w interwale 23,0–59,0 m był niedostateczny. Samo uszkodzenie wydawało się mieć charakter mechaniczny, jednak tego typu uszkodzenia mogą powodować, że w jego obrębie, w przyszłości, dojdzie do korozji.

W miejscu uszkodzenia widoczna była ostro zarysowana, znaczna dylatacja poprzeczna rur na połączeniu mufowym w głębokości 59,34 m (rys. 25).

Obraz z badań uwidocznił, że górna końcówka dolnej rury jest z jednej strony mocno wgnieciona do wewnątrz, a z drugiej – wypchnięta na zewnątrz, znacznie poza obrys zewnętrznej powierzchni rur. Takie uszkodzenie mogło zostać spowodowane wkręceniem lub wcisnięciem dolnej części mufy na końcówkę niżej położonej rury. Połączenia muf z rurami okładzinowymi miały stożkowe gwinty i zbyt duży nacisk mógł spowodować pęknięcie mufy. Rury okładzinowe 9 5/8" oraz znajdujące się poza nimi rury okładzinowe 13 3/8", sięgające do głębokości 508,0 m, zostały zacementowane do wierzchu. Powstałe uszkodzenie mogło być efektem braku cementu w przestrzeni międzyrurowej i pęknięcia mufy w miejscu wyrzucenia rury. Pośrodku wgniecenia rury do wewnątrz zauważono głębokie, podłużne



Rys. 27. Obraz sperforowanej strefy rur okładzinowych z głębokości około 1680,0 m, otrzymany z pomiaru sondą MIT60 w 2012 r. Trzy kilkucentymetrowe (3–4 cm) otwory po perforacji rur (Bielec i Balcer 2015)

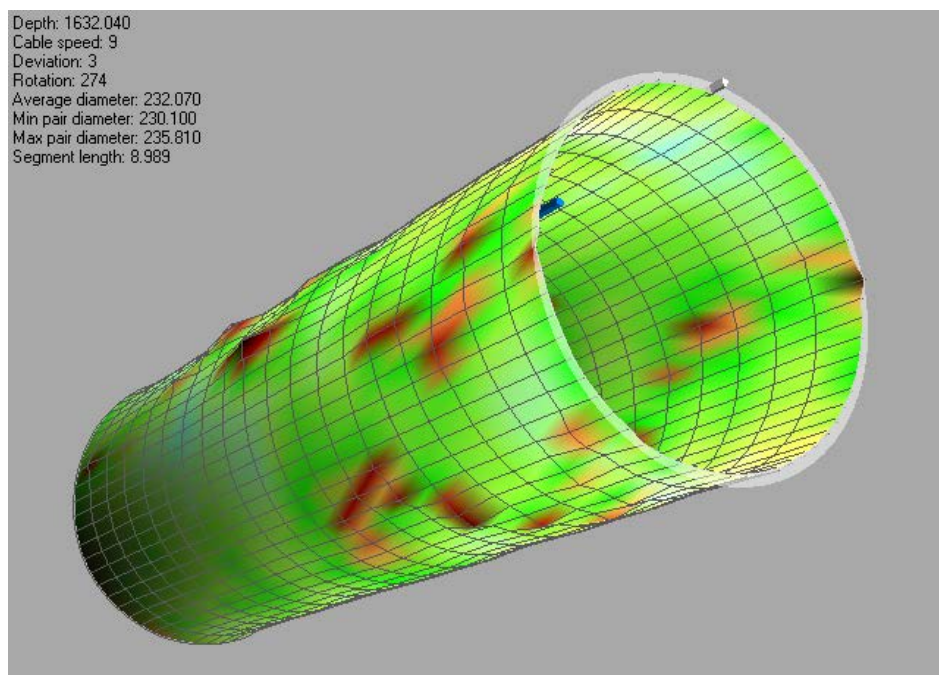
Fig. 27. Image of a perforated zone of pipes from the 1680,0 m depth, obtained from the MIT60 probe test in 2012. Three 3–4 cm holes after pipe perforation (Bielec and Balcer 2015)

pęknięcie ze śladami postępującej korozji. Głębokość pęknięcia powiększała się z czasem, co można było zaobserwować na obrazie z 2012 r. w stosunku do pęknięcia z 2003 r. Na ścianie górnej rury, na głębokości 59,15 m zaobserwowano nieznaczną dylatację poprzeczną w kierunku przeciwnym do opisanej powyżej. Prawdopodobnie była ona związana z górnym brzegiem mufy. Górna rura w miejscu łączenia wykazywała tylko nieznaczne uszkodzenie w miejscu podłużnego pęknięcia dolnej rury.

Porównanie obrazów z 2003 i 2012 r. ukazało powstanie drobnego uszkodzenia na głębokości 59,15 m p.p.t. (rys. 26). Była to niewielka deformacja podobna do poprzecznego pęknięcia na całym obwodzie rury, z nieznacznym jej przemieszczeniem.

5.3. Strefa sperforowana

Perforacja w otworze Mszczonów IG-1 wykonana została w dwóch interwałach (1602,5–1645,5 m oraz 1663,5–1714,0 m) przy użyciu perforatora bezkorpusowego (Bielec i Balcer 2015). Przy zakładanej gęstości strzelania, wynoszącej 30 ładunków na 1 metr bieżący

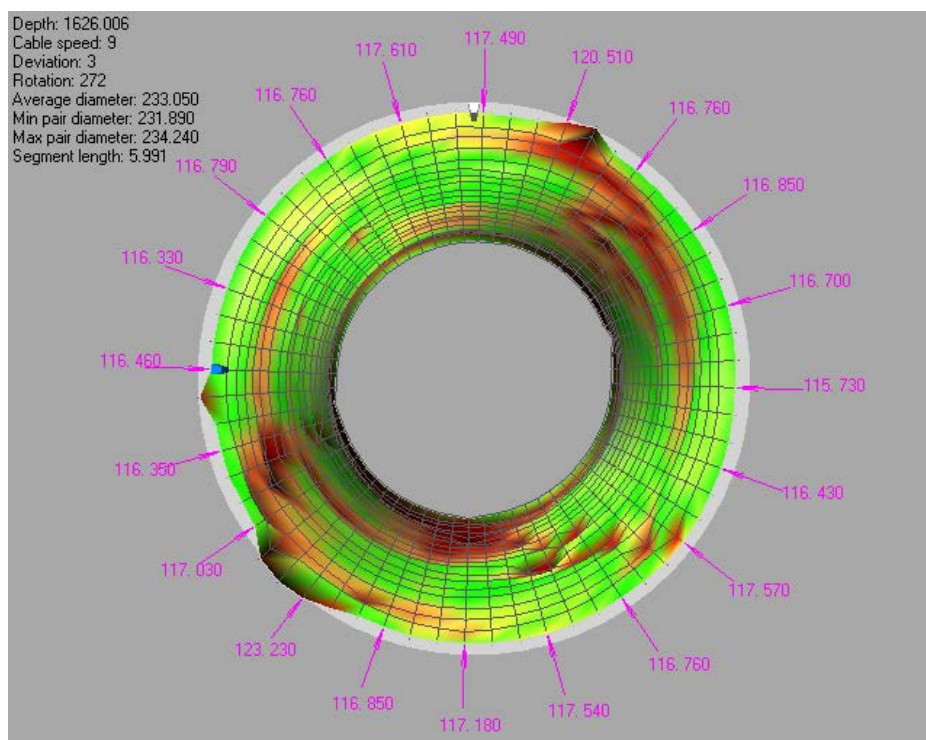


Rys. 28. Obraz perforacji rur na głębokości około 1632,0 m otrzymany z pomiaru sondą MIT60. Widoczne wielopunktowe uszkodzenia rur po odpaleniu ładunków perforatora na odcinku około 9,0 m w otworze Mszczonów IG-1, 2012 rok (Bielec i Balcer 2015)

Fig. 28. Image of pipe perforations at the 1632,0 m depth, obtained from the MIT60 probe tests. Visible multi-point damage of pipes after firing of perforator loads on a section about 9,0 m in the Mszczonów IG-1 borehole, 2012 (Bielec and Balcer 2015)

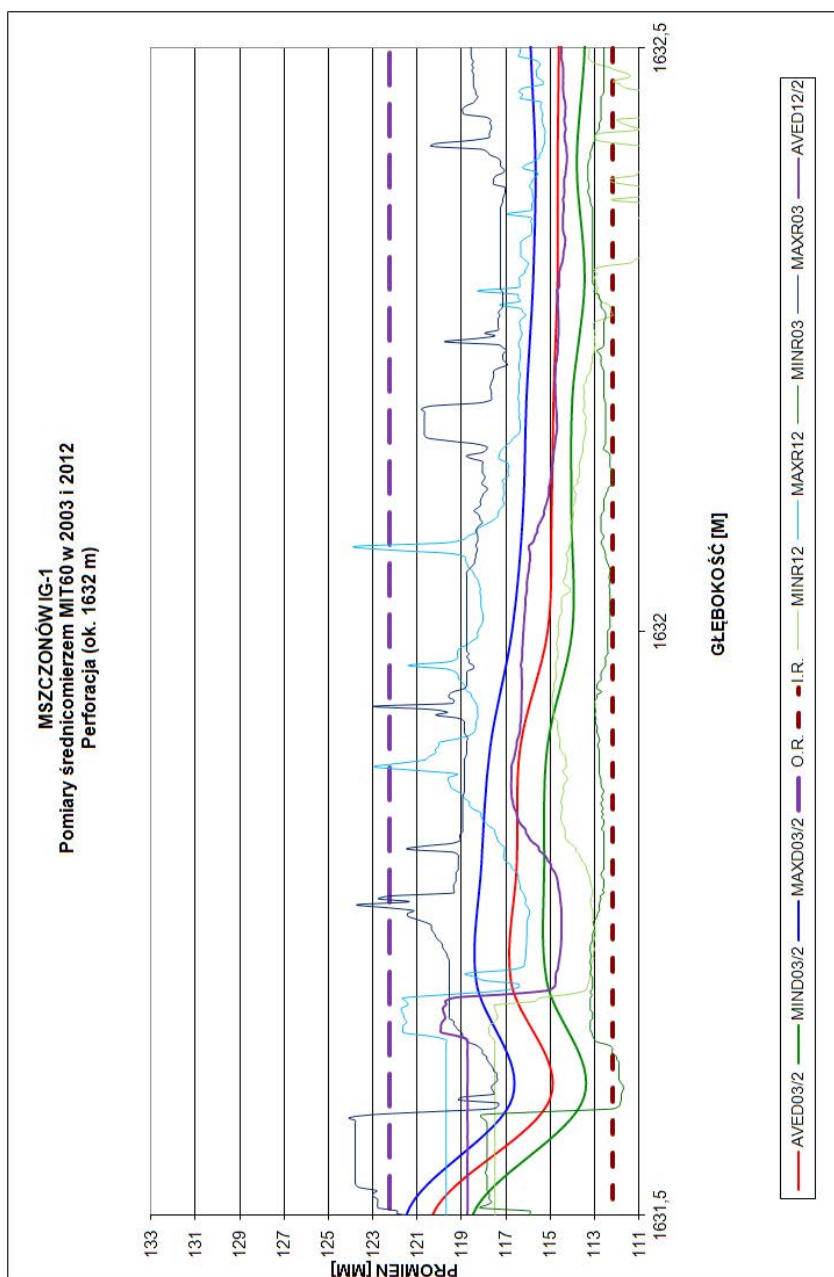
otworu, perforacja każdego odcinka musiała zostać wykonana wielokrotnie. Przy braku kontroli skutecznej perforacji i niedostatecznym dowiązaniu głębokościowym poszczególnych zabiegów mogło dochodzić do nierównomiernego rozmieszczenia i nadmiernego zagęszczenia przestrzelin w poszczególnych odcinkach perforacji w interwale 1605,0–1632,0 m lub pozostawienia fragmentów rur niedostatecznie sperforowanych albo niesperforowanych w interwale 1711,0–1713,0 m. I rzeczywiście wyniki wykonanych pomiarów geofizycznych wykazały występowanie na znaczną skalę nierównomierności wykonania zabiegu perforacji (Bujakowski i in. 2013b; Bielec i Balcer 2015). Na głębokości około 1680,0 m stwierdzono około 14-centymetrowy odcinek, w obrębie którego perforacja wykonana została tylko po jednej stronie rur, a przypuszczalnie penetracja górotworu poza rurami sięgnęła zaledwie poza zewnętrzny obrys rur.

W obrazie przestrzelin otrzymanym z pomiaru sondą MIT60 (rys. 27, 28 i 29) zwracał uwagę rozmiar otworów, który znacznie przekraczał rozmiar przestrzelin uzyskiwanych przy użyciu standardowych ładunków kumulacyjnych.



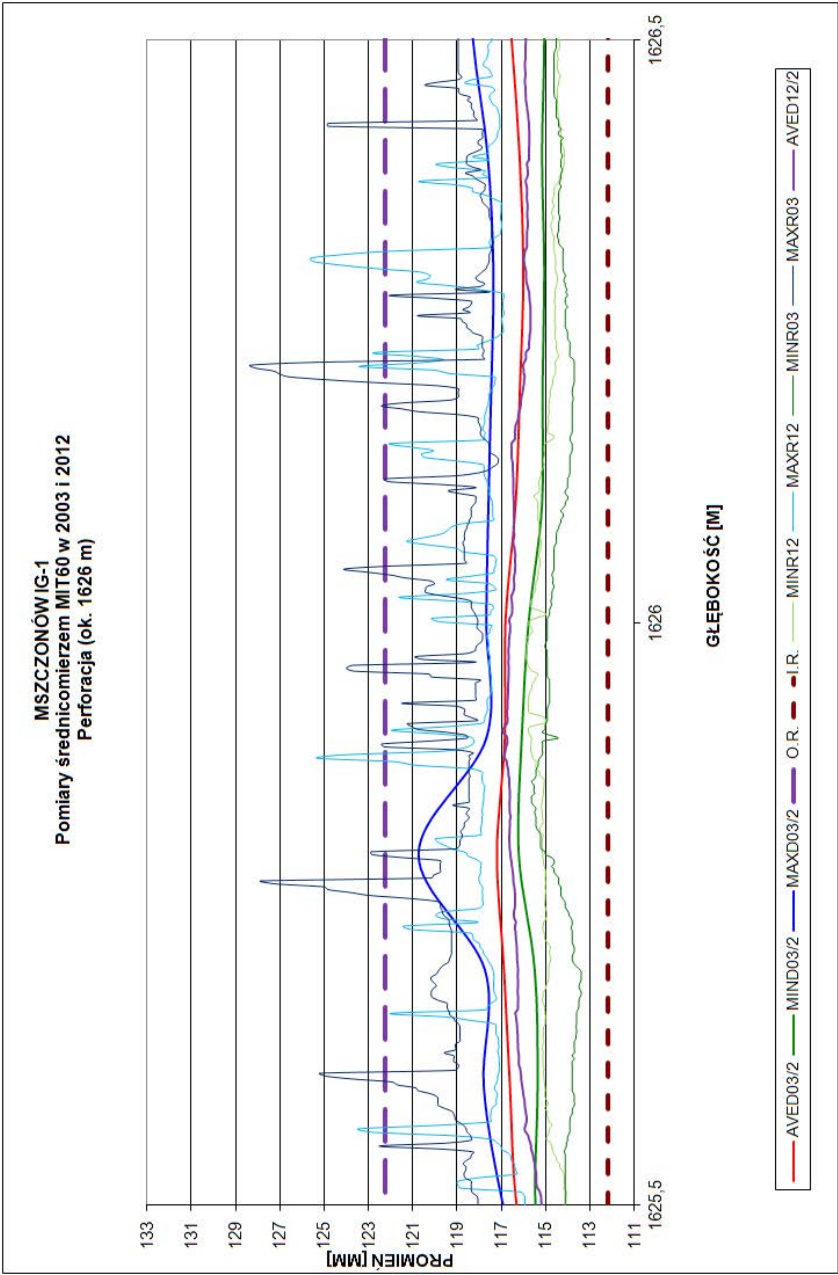
Rys. 29. Obraz przekroju rury okładzinowej na głębokości 1626,0 m. Wyraźne wielopunktowe przebiccia rury, 2012 rok (Bielec i Balcer 2015)

Fig. 29. Image of the cross-section of the pipe at the 1626,0 m depth. Clear multi-point pipe penetrations, 2012 (Bielec and Balcer 2015)



Rys. 30. Wykres porównawczy pomiarów wykonanych sondą MIT60 strefy perforowanej na głębokości około 1632,0 m, 2003 i 2012 r. – opis jak dla rysunku 26 (Bielec i Balcer 2015)

Fig. 30. Comparative graph of measurements made with the MIT60 probe tests of the perforated zone at the 1632,0 m depth, 2003 and 2012 – a description as for Figure 26 (Bielec and Balcer 2015)



Rys. 31. Wykres porównawczy pomiarów wykonanych sondą MIT60 w strefie perforowanej około 1626,0 m p.p.t., 2003 i 2012 r. – opis jak dla rysunku 26 (Bielec i Balcer 2015)

Fig. 31. Comparative graph of measurements made with the MIT60 probe tests in the perforated zone at the 1626,0 m, 2003 and 2012 – description as for Figure 26 (Bielec and Balcer 2015)

Przypuszczano, że na brzegach tych otworów, przy dużym przypływie i prędkości wody występuje silna korozja i abrazja spowodowane piaszczeniem (Bielec i Balcer 2015). Intensywność tego procesu nie była możliwa do oceny bez porównania z analogicznym obrazem wykonanym wcześniej. Obrazy perforacji rur okładzinowych z niewielkich interwałów głębokościowych pokazały, iż przestrzeliny po perforacji, rejestrowane przez czujniki sondy MIT60 uwidaczniały się najczęściej tylko jako pojedyncze punkty, których głębokość nie zawsze sięgała poza zewnętrzny obrys rury, co pozwalało stwierdzić jedynie, że ładunki perforatora zostały odpalone. Takie obrazy nie dawały informacji, czy rura została przestrzelona i czy przestrzelina penetruje skałę do głębokości 500–600 mm (rys. 30 i 31).

6. Zakład Geotermalny

Zakład Geotermalny w Mszczonowie, podobnie jak inne zakłady geotermalne, składa się z części podziemnej i powierzchniowej. Część podziemną tworzą głównie warstwa wodonośna i otwór wiertniczy, stanowiący ujęcie wód geotermalnych. Część powierzchniową tworzą urządzenia i instalacje odbierające energię od wód geotermalnych i przekazujące ją użytkownikom oraz urządzenia wspomagające – w okresach szczytowego zapotrzebowania na energię.

6.1. Ujęcie geotermalne

Ujęcie wód geotermalnych jest zlokalizowane w Mszczonowie przy ulicy Tarczyńskiej (rys. 32). Od wpływów atmosfery ujęcie chroni obudowa, w której znajduje się instalacja eksploatacji wód, spełniająca następujące cele (Barbacki i in. 2000):



Rys. 32. Widok na obudowę ujęcia geotermalnego Mszczonów IG-1 – z lewej.
Obok widoczna obudowa stacji badawczej (fot. M. Słówek)

Fig. 32. View of the housing of the Mszczonów IG-1 geothermal intake – on the left.
Next to the visible housing of the research station (photo: M. Słówek)

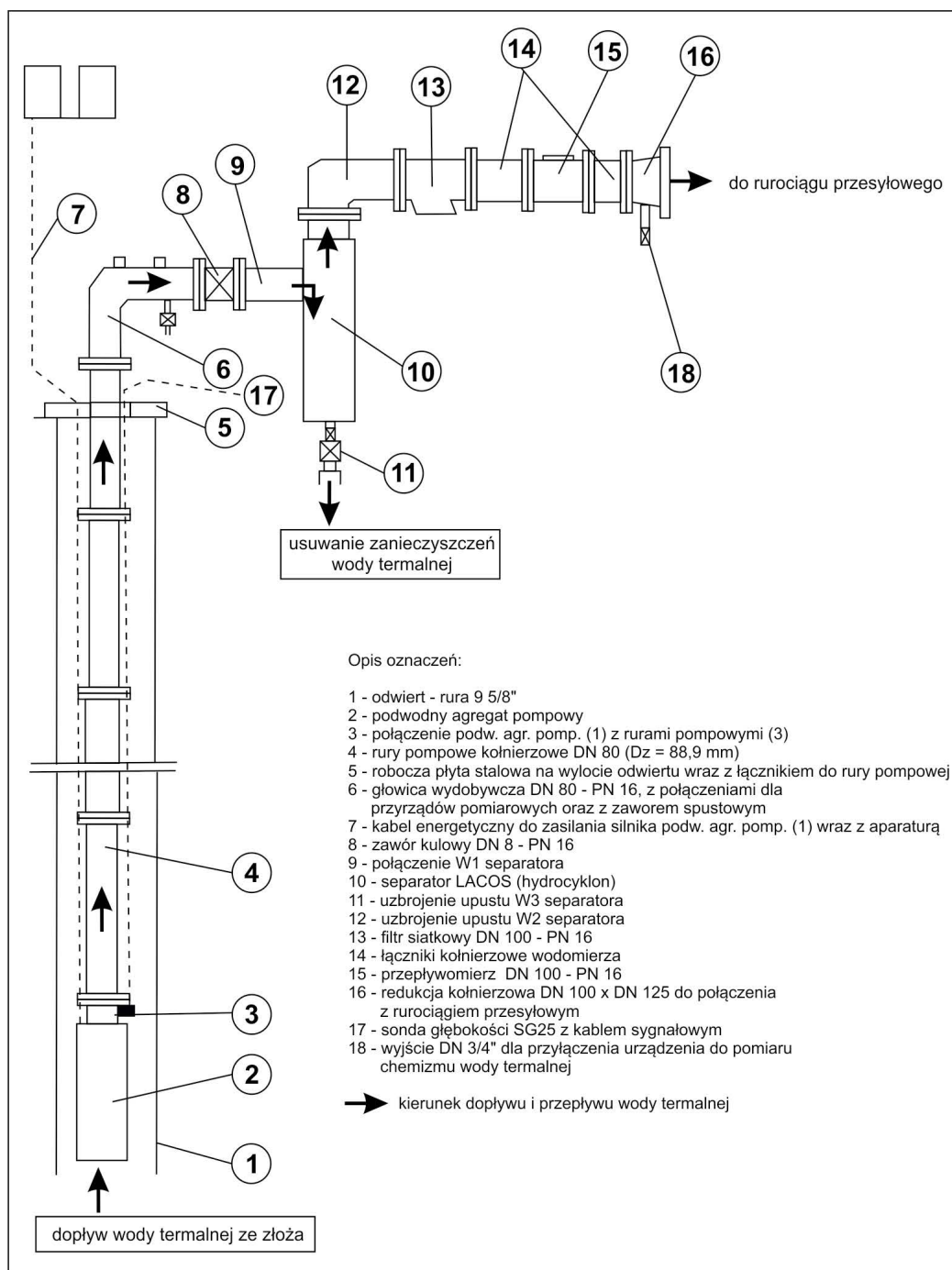
- wydobywanie wody geotermalnej w ilości pokrywającej zapotrzebowanie ciepłowni geotermalnej,
- wstępne oczyszczenie z frakcji stałych,
- możliwość dokonywania pomiarów parametrów eksploatacyjnych,
- możliwość pobierania próbek wody termalnej do badań specjalistycznych,
- możliwość zamontowania dodatkowego wyposażenia lub oprzyrządowania,
- łatwość obsługi, konserwacji i ewentualnych napraw poszczególnych elementów instalacji,
- bezawaryjne i łatwe przeprowadzenie operacji zapuszczania i wyciągania z odwiertu podwodnego agregatu pompowego oraz przyrządów pomiarowych za pomocą dźwigu.

Wymienione zadania realizowane są w trzech systemach (Barbacki i in. 2000):

- instalacja wydobywcza,
- agregat pompowy,
- system pomiarowo-rejestracyjny.

Instalacja wydobywcza, skojarzona z otworem Mszczonów IG-1, pracuje według schematu opisanego poniżej; przedstawia ją rysunek 33. Na rysunku 34 przedstawiono widok na instalację wydobywczą przy ujęciu z otworu Mszczonów IG-1, natomiast na rysunku 35 – schemat instalacji wraz z chwilowym stanem parametrów objętych monitoringiem w czasie eksploatacji.

Widoczny na rysunku 33 podwodny agregat pompowy (2) zapuszczany jest do odwiertu na kolumnie rur pompowych z przewodnikiem (4). Agregat pompowy z kolumną rur pompowych połączony jest za pomocą specjalnego łącznika (3). Kolumna rur pompowych postawiona jest na wylocie odwiertu – rury okładzinowe 9 5/8" (1) na roboczej płycie stalowej (5), która zabezpiecza jednocześnie wnętrze odwiertu przed przedostaniem się przedmiotów obcych. Wzdłuż kolumny rur pompowych (4) przeprowadzono kabel energetyczny (7), zasilający silnik wgłębny do napędu pompy głębinowej. Kabel przymocowano do kolumny rur pompowych specjalnymi opaskami. Kabel energetyczny połączono z zespołem urządzeń sterujących pracą silnika wgłębego, tj. z urządzeniem zabezpieczającym przed „suchobiegiem” pompy i przegrzaniem silnika oraz z przemiennikiem częstotliwości do płynnego rozruchu silnika i sterowania obrotami (falownik). Do ostatniej rury kolumny pompowej przykręcona została głowica wydobywcza (6), wyposażona w dwa oddzielne sztuce z gwintem wewnętrznym do zamontowania czujników do pomiaru temperatury i ciśnienia wody termalnej oraz zawór do pobierania próbek wody termalnej. Do głowicy wydobywczej przykręcony został zawór odcinający/regulacyjny (8) oraz łącznik redukcyjny (9) do przyłączenia separatora (10). Zadaniem separatora (hydrocyklon) jest odebranie z wydobywanej wody geotermalnej ewentualnych zawartości frakcji stałej (np. piasku), którą można usunąć za pomocą zaworu elektromagnetycznego (11). Na górnym wylocie separatora zamontowano kolano wyjściowe (12), do którego przykręcony został filtr siatkowy (13); jego zadaniem jest dodatkowe oczyszczenie wody geotermalnej z pozostałości fazy stałej oraz łączniki kołnierзовые (14), zabezpieczające przepływomierze pomiarowe (15) przed uszkodzeniem



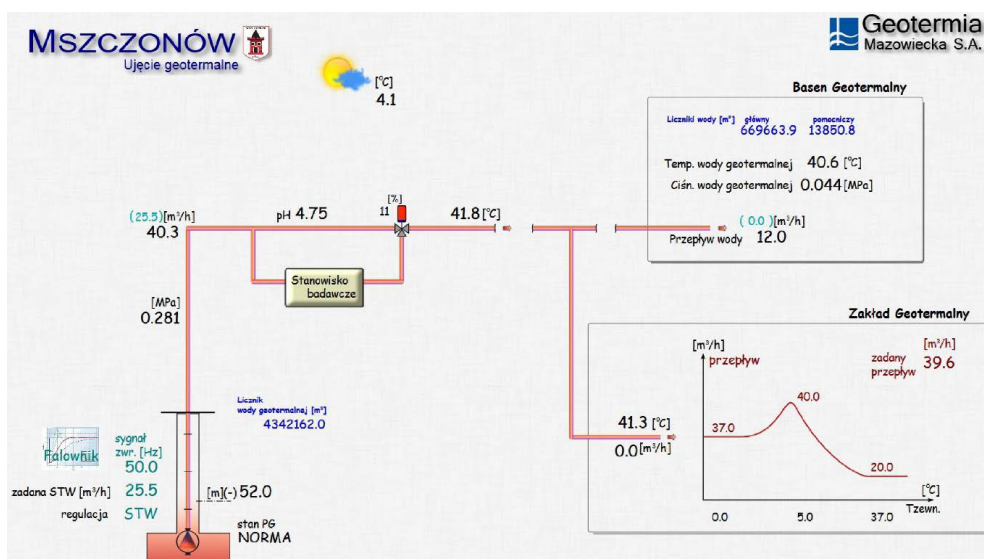
Rys. 33. Schemat instalacji wydobywczej wody termalnej (Barbacki i in. 2000)

Fig. 33. Diagram of a thermal water extraction installation (Barbacki et al. 2000)



Rys. 34. Instalacja wydobywcza ujęcia wód termalnych Mszczonów IG-1 (fot. B. Bielec)

Fig. 34. Extraction installation of the Mszczonów IG-1 thermal water intake (photo B. Bielec)



Rys. 35. Schemat ujęcia geotermalnego (źródło: Geotermia Mazowiecka S.A.)

Fig. 35. Diagram of the geothermal intake (source: Geotermia Mazowiecka S.A.)

częstkami stałymi. Do przepływomierza pomiarowego przykręcony został łącznik redukcyjny (16) do połączenia instalacji wydobywczej z rurociągiem przesyłowym wody geotermalnej.

System agregatu pompowego składa się zatem z: podwodnego agregatu pompowego (pompa głębinowa i silnik), kabla zasilającego oraz zespołu urządzeń rozruchowo-sterowniczych. Połowy agregat pompowy (pompa głębinowa z silnikiem) zapuszczono do odwiertu na kolumnie rur pompowych kołnierzowych DN80.

6.2. System kontrolno-pomiarowy

Wszystkie istotne parametry eksploatacyjne objęte są stałym monitoringiem poprzez elektroniczny system kontrolno-pomiarowy, w którego skład wchodzi następujące elementy (Bielec i Balcer 2015):

- czujnik temperatury wody termalnej,
- przetwornik ciśnienia tłoczenia wody termalnej,
- przepływomierz turbinowy,
- hydrostatyczna sonda głębokości, zainstalowana w odwiercie bezpośrednio nad pompą głębinową,
- czujnik temperatury zewnętrznej, zainstalowany na zewnątrz budynku,
- sterownik programowalny do współpracy z pompą głębinową, zainstalowany wewnątrz budynku,
- czujnik do pomiaru pH wody termalnej.

System kontrolno-pomiarowy, znajdujący się przy odwiercie wydobywczym, połączony został analogową linią kablową i linią modemową z komputerem centralnym systemu sterująco-pomiarowo-kontrolnego. Komputer znajduje się w ciepłowni geotermalnej, gdzie prowadzony jest również monitoring procesu technologicznego. Komputer centralny całego systemu, gromadzący dane, posiada także łącze modemowe z siedzibą przedsiębiorcy. Umożliwia to zdalny odczyt parametrów, sterowanie pracą procesu technologicznego oraz wydobywaniem wody geotermalnej.

System pomiarowo-rejestrujący składa się z następujących elementów, umożliwiających pomiar parametrów:

- hydrostatyczna sonda głębokości 25–96 m, o zakresie pompowania 0–100 m – poziom zwierciadła wody w otworze,
- piezorezystancyjny przetwornik ciśnienia PC-28, o zakresie pomiarowym 0–1 MPa – ciśnienie wody w rurociągu,
- czujnik temperatury Pt 100 z przetwornikiem, o zakresie pomiarowym 0–100°C – temperaturę wody geotermalnej,
- przepływomierz turbinowy WS Metron DN 100 z nadajnikiem impulsów i przetwornikiem prądowym, o zakresie pomiarowym 0–70 m³/h – przepływ wody,

- czujnik temperatury Pt 100 z przetwornikiem, o zakresie pomiarowym od 30°C do +60°C – temperatura zewnętrzna.

W celu gromadzenia wyników pomiaru w obiekcie obudowy odwiertu zainstalowana została szafa pomiarowo-sterownicza (rys. 36); umożliwia ona lokalny odczyt mierzonych wartości parametrów na wyświetlaczach i transmisję danych do stanowiska monitoringu, znajdującego się w budynku Zakładu Geotermalnego.



Rys. 36. Szafa sterownicza oraz widok panelu kontrolnego (fot. B. Bielec)

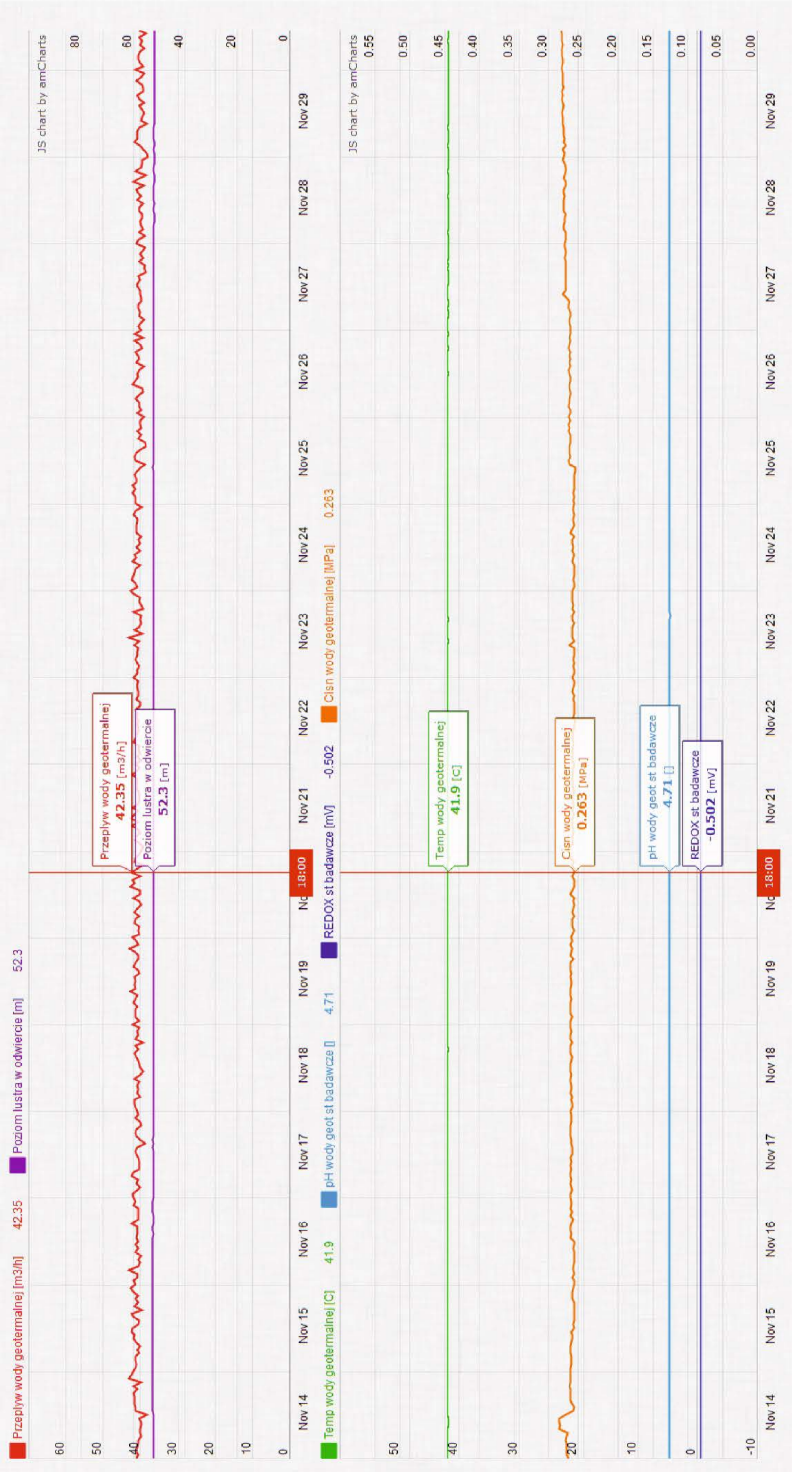
Fig. 36. Control cabinet and view of the control panel (photo B. Bielec)

Na rysunku 37 przedstawiony został przykładowy obraz z systemu kontrolno-pomiarowo-sterującego z informacjami o bieżących parametrach pracy systemu.

6.3. Ciepłownia

Rozruch technologiczny instalacji geotermalnej w Mszczonowie nastąpił w grudniu 1999 r., po niecałych trzech latach jej budowy. Formalne zakończenie wszystkich prac objętych projektem nastąpiło w maju 2000 r. Zakład Geotermalny zastąpił trzy osiedlowe kotłownie zlokalizowane w centrum miasta, spalające miał węglowy.

Woda geotermalna wydobywana jest z odwiertu geotermalnego Mszczonów IG-1 za pomocą wielostopniowej pompy głębinowej typu GC i przetłaczana preizolowanym ruro-



Rys. 37. Informacja o bieżących parametrach pracy systemu geotermalnego w Mszczonowie (źródło: Geotermia Mazowiecka S.A.)

Fig. 37. Information of the current geothermal system operation parameters in Mszczonów (source: Geotermia Mazowiecka S.A.)

ciągiem o średnicy 125 mm i długości 1650 m, do zlokalizowanego w centrum Mszczonowa Zakładu Geotermalnego. Temperatura początkowa wody geotermalnej, przy przepływie nominalnym $45 \text{ m}^3/\text{h}$, wynosi 42°C . Strata temperatury, w czasie przepływu rurociągiem, wynosi około $1,5^\circ\text{C}$.

W Zakładzie Geotermalnym część strumienia wody geotermalnej trafia do ekonomizera, współpracującego z kotłem wysokoparametrowym o mocy nominalnej 1,9 MW, który z kolei napędza absorpcyjną pompę ciepła. Całkowita moc nominalna ekonomizera wynosi 0,5 MW, a spaliny pochodzące ze spalania gazu schładzane są w nim do temperatury poniżej 58°C – czyli poniżej temperatury punktu rosy dla pary wodnej zawartej w spalinach. Jednocześnie pozwala to na podgrzanie wody geotermalnej – co podnosi sprawność pompy absorpcyjnej i wpływa na efektywność pracy całego systemu. Z ekonomizera woda o temperaturze około 44°C trafia do absorpcyjnej pompy ciepła o mocy nominalnej 2,7 MW (rys. 38), gdzie jest schładzana do temperatury $20\text{--}30^\circ\text{C}$, a odzyskana energia kierowana jest do miejskiego systemu ciepłowniczego – tzw. dużego obiegu (rys. 39).

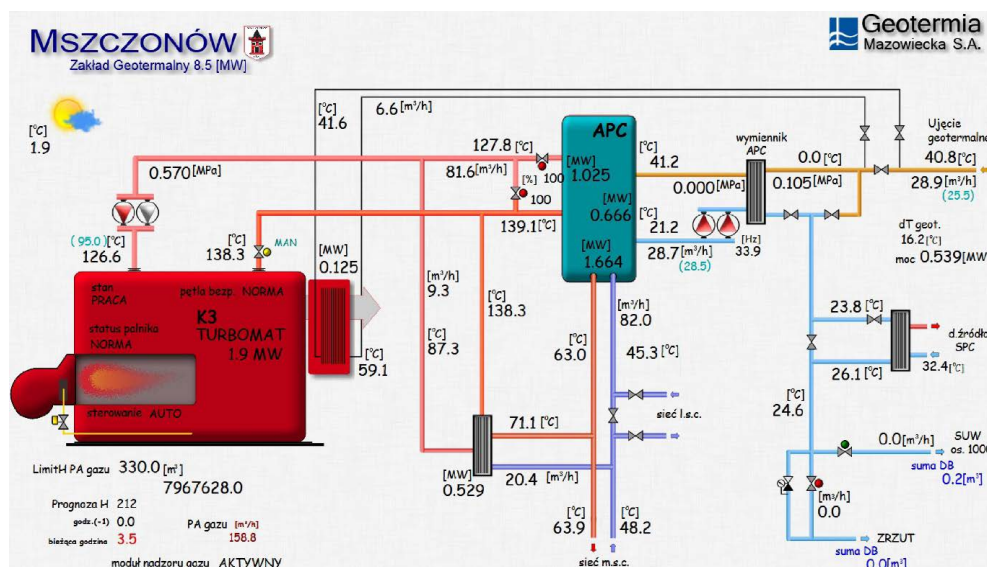
Drugi stopień odzysku energii od wody geotermalnej stanowi sprężarkowa pompa ciepła o mocy 1 MW (rys. 40), z której energia kierowana jest do miejskiego systemu dystrybucji ciepła, tzw. małego obiegu (rys. 41). Sprężarkowa pompa ciepła schładza wodę geotermalną od temperatury około 25°C do około 17°C .

Zakład Geotermalny dodatkowo wyposażony jest w dwa wodno-gazowe kotły niskoparametrowe o mocy 2,4 MW każdy, stanowiące tzw. układ szczytowy ciepłowni (rys. 42).



Rys. 38. Absorpcyjna pompa ciepła w Zakładzie Geotermalnym w Mszczonowie (fot. M. Słówek)

Fig. 38. Absorption heat pump in the Geothermal Heating Plant in Mszczonów (photo. M. Słówek)



Rys. 39. Schemat podłączenia absorpcyjnej pompy ciepła (APC) (źródło: Geotermia Mazowiecka S.A.)

Fig. 39. Technological diagram of an absorption heat pump connection (APC) (source: Geotermia Mazowiecka S.A.)



Rys. 40. Sprężarkowa pompa ciepła w Zakładzie Geotermalnym w Mszczonowie (fot. B. Bielec)

Fig. 40. Compressor heat pump in the Geothermal Heating Plant in Mszczonów (photo. B. Bielec)

Fig. 41. Technological diagram of the compressor connection to the district heating heat pump (SPC)
(source: Geotermia Mazowiecka S.A.)



Fig. 42. Gas boilers in the Geothermal Heating Plant in Mszczonów (photo: M. Słowek)

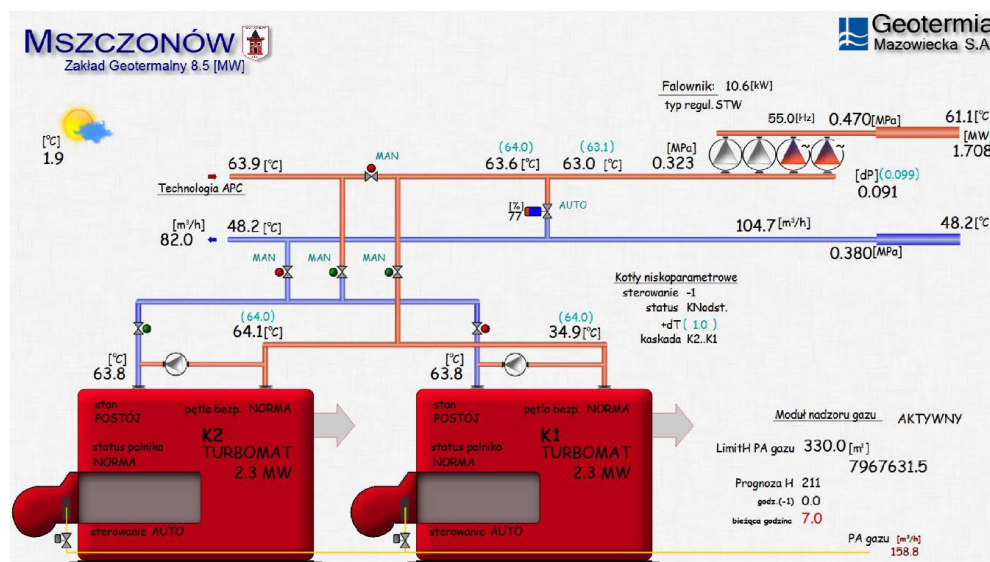
Służą one jako uzupełniające źródło ciepła, w przypadku wystąpienia silnych mrozów lub jako źródło zastępcze, w przypadku wystąpienia awarii systemu geotermalnego.

Instalacja geotermalna w Mszczonowie stanowi kombinację urządzeń energetycznych wzajemnie ze sobą współpracujących, przy zastosowaniu systemów automatycznej regulacji. Biorąc pod uwagę duży stopień zaawansowania technologicznego źródła geotermalnego w Mszczonowie „Geotermia Mazowiecka” S.A. podjęła decyzję o doposażeniu instalacji geotermalnej w automatyczny system sterowania i monitoringu instalacji. Podstawową zaletą systemu, poza bezobsługowym dozowaniem, jest archiwizacja danych z pracy układu geotermalnego. Odczyty rejestrowane są w ponad 60 punktach systemu. Archiwizacja prowadzona jest co 15 sekund. Pozwala to na bardzo precyzyjne optymalizowanie pracy układu, zależnie od rzeczywistych warunków systemu ciepłowniczego Mszczonowa.

Schemat włączenia kotłów szczytowych w system ciepłowni geotermalnej przedstawiony jest na rysunku 43.

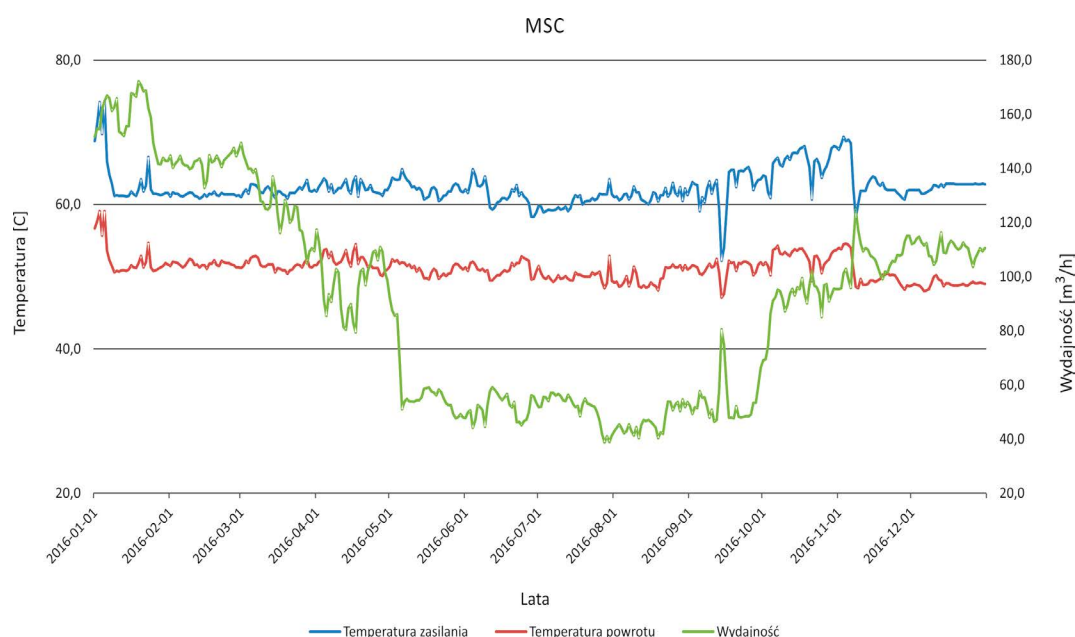
Wdrożenie systemu rozpoczęto w listopadzie 2017 roku.

W Mszczonowie funkcjonują dwie niezależne sieci dystrybucji energii cieplnej. Jedną z nich, tzw. duży obieg, pracuje przy maksymalnej (projektowej) temperaturze zasilania 80°C i osiąga w tych warunkach temperaturę powrotu wody z sieci ciepłowniczej 60°C – jest to zatem sieć o parametrach projektowych 80/60°C. Rysunek 44 przedstawia przykładową zmienność parametrów w sieci ciepłowniczej współpracującej ze źródłem geotermalnym.



Rys. 43. Schemat połączenia kotłów szczytowych z siecią ciepłowniczą w Mszczonowie
(źródło: Geotermia Mazowiecka S.A.)

Fig. 43. Diagram of peak-type boilers with the heating network in Mszczonów
(source: Geotermia Mazowiecka S.A.)



Rys. 44. Przykładowy wykres zmian temperatury wody i strumienia wody sieciowej w miejskiej sieci ciepłowniczej – tzw. duży obieg w 2016 r. (opracowano na podstawie danych Geotermii Mazowieckiej S.A.)

Fig. 44. Graph of changes in water flow and temperature in a district heating – large circulation, 2016 (based on data from Geotermia Mazowiecka SA)

Obieg drugi – tzw. mały, obsługuje odbiorców, których instalacje zaprojektowano dla parametrów 70/50°C (temperatura zasilania/temperatura powrotu – w warunkach maksymalnego zapotrzebowania na moc). Taki system daje możliwość znacznego schłodzenia wody geotermalnej, co równoważne jest maksymalnemu wykorzystaniu energii cieplnej zawartej w wodzie geotermalnej.

7. Zagospodarowanie wód geotermalnych w Mszczonowie

7.1. Ciepłownictwo

Przed budową Zakładu Geotermalnego i rozpoczęciem eksploatacji określone zostało zapotrzebowanie na wodę oraz na energię cieplną w Mszczonowie (Barbacki i in. 2000). Potrzeby odbiorców oszacowano na podstawie charakteru istniejących źródeł ciepła oraz planowanej ich przebudowy poprzez włączenie nowego źródła ciepła. Ówczesnie w Mszczonowie działały trzy kotłownie węglowe zaopatrujące w ciepło osiedla Dworcowa I, II oraz III. Kotłownie opalane były miałem węglowym i ogrzewały około 20% zasobów mieszkaniowych.

Zgodnie z założeniami projektowymi kotłownie węglowe miały zostać zastąpione kotłownią geotermalną, zasilaną wodami z otworu Mszczonów IG-1, a w razie potrzeby, w okresie jesienno-zimowym, źródło geotermalne wspomagane miało być kotłami wodnymi na gaz ziemny. Budowa ciepłowni geotermalnej zrealizowana została w dwóch etapach. W etapie I wybudowany został budynek kotłowni oraz zainstalowane zostały dwa kotły wodne, niskotemperaturowe 95/70°C, o mocy 2,2 MW każdy. Budynek wyposażony został w zaplecze techniczne, w którym znalazły się m.in. pompy obiegowe wody obiegu ciepłowniczego oraz stacja uzdatniania wody. W etapie II zainstalowana została absorpcyjna pompa ciepła o wydajności 2,7 MW, zasilana wysokotemperaturowym kotłem wodnym o mocy 1,8 MW, temperaturze zasilania około 160°C i ciśnieniu 16 bar.

Absorpcyjną pompę ciepła, w pełni zautomatyzowaną, charakteryzowały następujące parametry:

- moc grzejna całkowita – 2,7 MW,
- absorbent – bromek litu,
- temperatura zasilania wody geotermalnej – około 40°C,
- temperatura powrotu wody geotermalnej – około 14°C,
- maksymalny godzinowy przepływ wody – 45 m³/h,
- minimalny godzinowy przepływ wody – 8 m³/h,
- średnioroczne zapotrzebowanie na wodę – 194 000 m³/r,
- ciśnienie robocze pracy pompy – 10 bar.

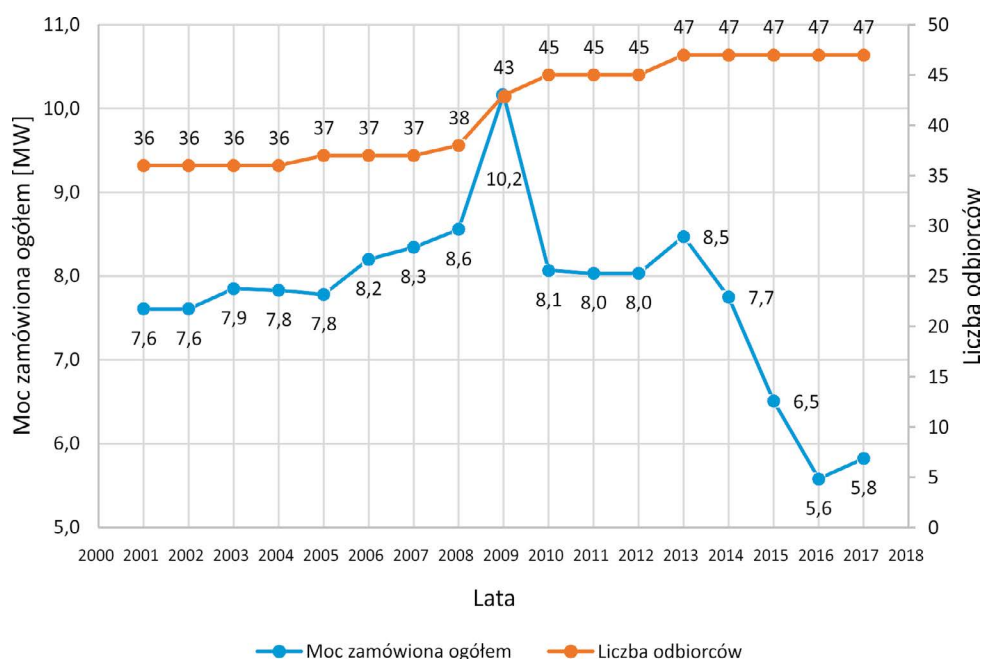
Początkowo szacowano, że średniomiesięczne zapotrzebowanie na ciepło w Mszczonowie wyniesie około 473 MWh – tj. 1690 GJ. Największe zapotrzebowanie przypadło na

miesiąc marzec – 775 MWh, tj. 2768 GJ, a najmniejsze na czerwiec – 145 MWh, tj. 518 GJ (Barbacki i in. 2000). Jednocześnie oszacowano, że maksymalne zapotrzebowanie na wodę geotermalną, gwarantujące pokrycie potrzeb ciepłowniczych osiedli Dworcowa I, II oraz III, nie przekroczy $45 \text{ m}^3/\text{h}$, a po instalacji absorpcyjnej pompy ciepła moc ciepłowni osiągnie wartość 6 MW.

Obecnie z ciepła geotermalnego korzystają wszystkie bloki Mszczonowskiej Spółdzielni Mieszkaniowej oraz większość budynków użyteczności publicznej, w tym: szkoła podstawowa, przedszkole, ośrodek kultury, hala OSiR i ośrodek zdrowia. Latem moc mszczonowskiego zakładu geotermalnego wykorzystywana jest zaledwie w 5%. W okresie grzewczym wskaźnik ten średnio wzrasta do 65% (Kurek 2015).

Na przestrzeni lat 2001–2017 liczba odbiorców ciepła z Zakładu Geotermalnego w Mszczonowie wzrosła z 36 do 47 (rys. 45, tab. 14), chociaż w tym czasie odnotowywano także spadek mocy zamówionej, ze względu na termomodernizację budynków.

Na rysunku 46 przedstawiono zmienność w ilości energii sprzedawanej przez ciepłowniczy zakład geotermalny. Ilość sprzedawanej odbiorcom energii cieplnej zależy od warunków atmosferycznych. Stąd widoczna na wykresie zmienność zapotrzebowania na energię roczną. Rok 2010 odznaczał się dużą ilością sprzedanej energii, natomiast lata 2004 i 2007



Rys. 45. Liczba odbiorców ciepła i moc zamówiona z Zakładu Geotermalnego w Mszczonowie w latach 2001–2017 (opracowano na podstawie danych Geotermii Mazowieckiej S.A.)

Fig. 45. Number of heat recipients and power ordered from the Geothermal Heating Plant in Mszczonów, 2001–2017 (compiled on the basis of data from Geotermia Mazowiecka S.A.)

Tabela 14

Zmiany mocy zamówionej w latach 2001–2016 przez odbiorców ciepła z Zakładu Geotermalnego w Mszczonowie (opracowano na podstawie danych Geotermii Mazowieckiej S.A.)

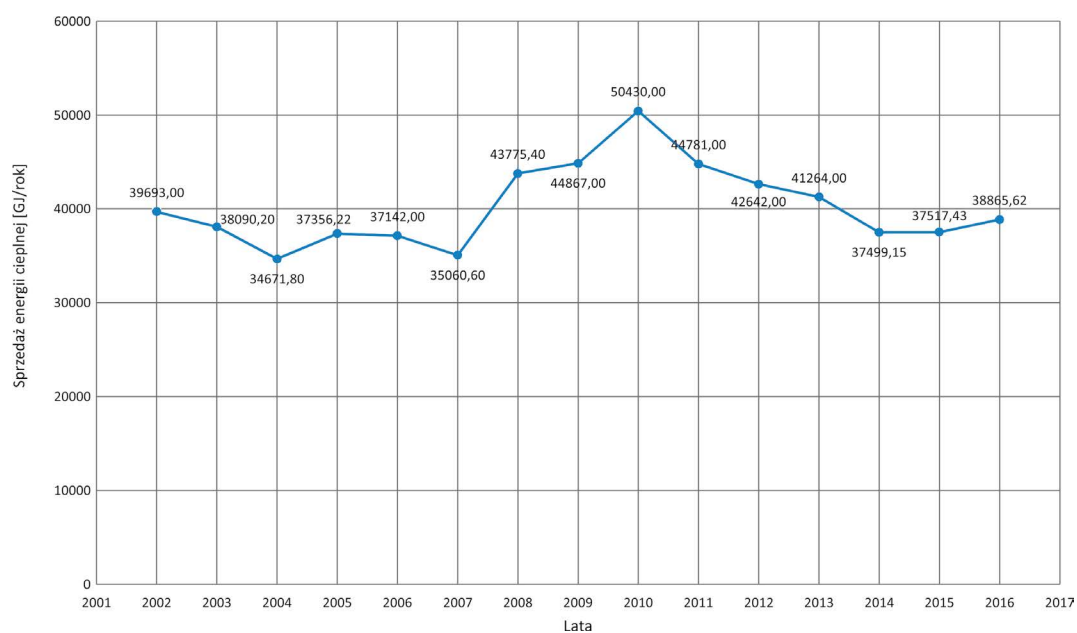
Table 14

Changes in the power ordered in 2001–2016 by heat recipients from the Geothermal Heating Plant in Mszczonów (developed on the basis of data from Geotermia Mazowiecka S.A.)

Rok	Liczba odbiorców	Moc zamówiona ogółem [MW]	Zmiany mocy na skutek termomodernizacji [MW]
2001	36	7,607	
2002	36	7,607	
2003	36	7,850	
2004	36	7,830	
2005	37	7,780	
2006	37	8,200	
2007	37	8,343	
2008	38	8,556	
2009	43	10,169	
2010	45	8,070	
2011	45	8,032	Spadek mocy zamówionej o 0,0406
2012	45	8,032	
2013	47	8,473	
2014	47	7,749	Spadek mocy zamówionej o 0,7181
2015	47	6,509	Spadek mocy zamówionej o 1,2410
2016	47	5,581	Spadek mocy zamówionej o 0,88547
2017	47	5,822	

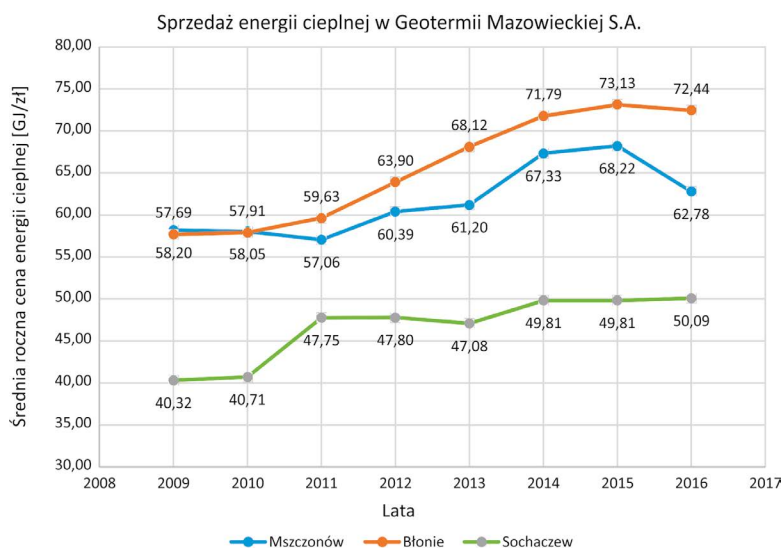
niewielkimi ilościami sprzedanej energii. Ciekawych wniosków można doszukać się korelując dane z wykresu na rysunku 45 i 46. Na przełomie lat 2009–2010 odnotowano drastyczną redukcję mocy zamówionej (rys. 45, z około 10 do około 8 MW), jednocześnie obserwuje się znaczący wzrost ilości sprzedanej energii (rys. 46) z około 45 TJ/rok w roku 2009 do około 50 TJ/rok w roku 2010. Świadczyć to może o tym, że: po pierwsze, rok 2010 cechował się niską średnią temperaturą powietrza w sezonie grzewczym, po drugie, odbiorcy mogli nie posiadać odpowiednio dopasowanej (do swoich realnych potrzeb) mocy zamówionej – moc ta była znacząco za wysoka, w stosunku do realnych potrzeb. Obniżenie mocy zamówionej może być efektem lepszego jej dopasowania do potrzeb rzeczywistych, po termomodernizacji.

Rysunek 47 prezentuje zmiany w czasie, na przestrzeni lat 2009–2016, ceny jednostkowej energii cieplnej dla wybranych zakładów obsługiwanych przez Geotermię Mazowiecką S.A.



Rys. 46. Sprzedaż energii cieplnej przez Zakład Geotermalny w Mszczonowie w latach 2002–2016 (opracowano na podstawie danych Geotermii Mazowieckiej S.A.)

Fig. 46. Sales of thermal energy by the Geothermal Plant in Mszczonów in the years 2002–2016 (compiled on the basis of data from Geotermia Mazowiecka S.A.)



Rys. 47. Cena netto energii cieplnej w Geotermii Mazowieckiej S.A. w latach 2009–2016 (opracowano na podstawie danych Geotermii Mazowieckiej S.A.)

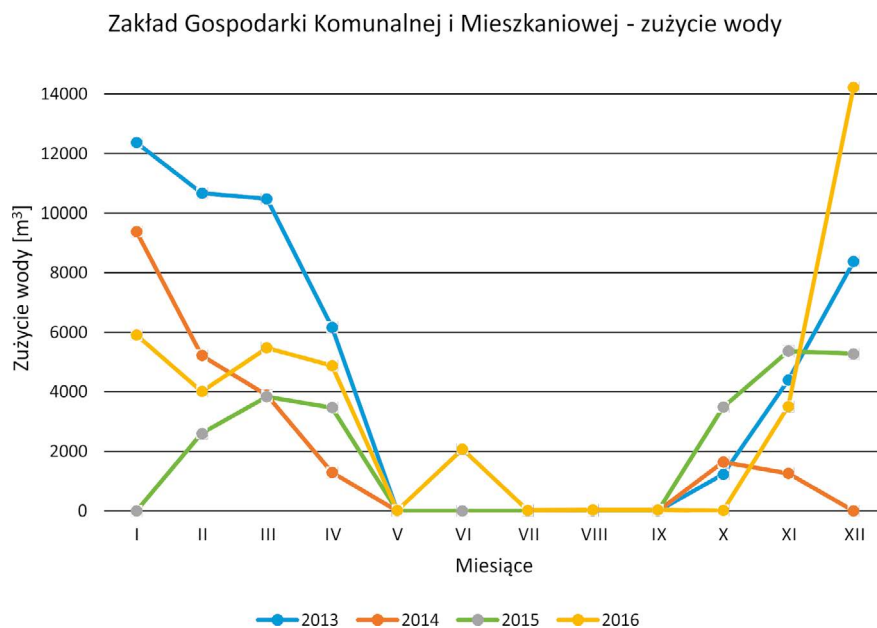
Fig. 47. The net price of thermal energy in Geotermia Mazowiecka S.A. in 2009–2016 (compiled on the basis of data from Geotermia Mazowiecka S.A.)

Są to ceny typowe dla: Mszczonowa – gdzie energia pochodzi z energii geotermalnej i gazu ziemnego, Błonia – gdzie energia pochodzi z gazu ziemnego i Sochaczewa – gdzie energia pochodzi z węgla.

Z rysunku wynika stały trend wzrostu cen jednostkowych energii cieplnej. W latach 2009–2010 cena jednostkowa energii cieplnej z instalacji geotermalnej (Mszczonów) i gazowej (Błonia) była niemal identyczna. Od roku 2011 cena jednostkowa energii cieplnej pochodzącej z ciepłowni geotermalnej (Mszczonów) wykazuje stałą – niższą wartość niż jednostkowa cena energii pochodzącej z gazu ziemnego (Błonia).

7.2. Woda pitna

Woda geotermalna po wyjściu z pomp ciepła i ochładzacza wentylatorowego przetłaczana jest do zlokalizowanej w pobliżu stacji uzdatniania wody. W zmodernizowanej stacji uzdatniania wody, wyposażonej we w pełni automatyczne filtry mineralne, miesza się wodę geotermalną i wodę czwartorzędową, uzdatnia je i pompami podaje do miejskiej sieci wodociągowej. Schłodzona woda geotermalna trafia zatem z Zakładu Geotermalnego do stacji, gdzie uzdatniana jest do parametrów wody pitnej. Po uzdatnieniu woda ta kierowana jest bezpośrednio



Rys. 48. Wykorzystanie wody z Zakładu Geotermalnego w Mszczonowie w miejskiej sieci wodociągowej w latach 2013–2016 (opracowano na podstawie danych Geotermii Mazowieckiej S.A.)

Fig. 48. Utilization of water from the Geothermal Heating Plant in Mszczonów in the municipal water supply network in 2013–2016 (compiled on the basis of data from Geotermia Mazowiecka S.A.)

do miejskich wodociągów, a stamtąd do kranów mieszkańców Mszczonowa (Balcer 2015). Na rysunku 48 oraz w tabeli 15 przedstawiono dane, dotyczące wykorzystania wody trafiającej z Zakładu Geotermalnego do sieci miejskich wodociągów.

Tabela 15

Wykorzystanie wody z Zakładu Geotermalnego w Mszczonowie w miejskiej sieci wodociągowej w latach 2013–2016 (opracowano na podstawie danych Geotermii Mazowieckiej S.A.)

Table 15

Use of water from the Geothermal Heating Plant in Mszczonów in the municipal water supply network in 2013–2016 (compiled on the basis of data from Geotermia Mazowiecka SA)

	2013	2014	2015	2016
Styczeń	12 370,0	9 381,0	0,0	5 903,0
Luty	10 673,0	5 215,0	2 605,0	4 006,0
Marzec	10 480,0	3 880,0	3 835,0	5 473,0
Kwiecień	6 168,0	1 292,0	3 463,0	4 877,0
Maj	0,0	0,0	0,0	14,0
Czerwiec	0,0	0,0	0,0	2 075,0
Lipiec	0,0	0,0	0,0	19,2
Sierpień	0,0	0,0	0,0	29,9
Wrzesień	0,0	0,0	0,0	30,0
Październik	1 225,0	1 638,0	3 482,0	6,9
Listopad	4 390,0	1 256,0	5 360,0	3 510,0
Grudzień	8 367,0	0,0	5 280,0	14 223,0
Suma roczna:	53 673,0	22 662,0	24 025,0	40 167,0

7.3. Termy Mszczonowskie

Otwarcie Kompleksu Basenów Termalnych miało miejsce 28 czerwca 2008 r. Właścicielem obiektu jest Gmina Mszczonów, która przeznaczyła na budowę Kompleksu 30% środków, pozostałe 70% pochodziło z dofinansowania Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Zarządzającym obiektem jest Ośrodek Sportu i Rekreacji w Mszczonowie.

Termalny kompleks basenowy cieszy się olbrzymim zainteresowaniem wśród mieszkańców aglomeracji warszawsko-lódzkiej. Goście odwiedzający Termy Mszczonowskie mogą skorzystać z dwóch całorocznych basenów, zawierających surową wodę termalną o temperaturze 30–34°C, która korzystnie wpływa na schorzenia reumatyczne oraz układ kostny (TM 2017). Z tego powodu osoby ze schorzeniami kończyn górnych i dolnych, gośćcem i problemami reumatycznymi przyjeżdżają do Mszczonowa z całej Polski (Kurek 2015). Korzystanie z kąpeli w wodach termalnych poprawia również samopoczucie, obniża stres oraz stabilizuje układ nerwowy. Wody wykorzystywane w kąpielisku nie są filtrowane, ani wzbogacane, w celu zachowania ich naturalnych właściwości. Podwyższona zawartość związków żelaza powoduje mętność oraz determinuje brązowo-zielonkawy kolor wody (rys. 49).



Rys. 49. Termy Mszczonowskie (fot. <http://termy-mszczonow.eu>)

Fig. 49. Mszczonów Baths „Termy Mszczonowskie” (photo: <http://termy-mszczonow.eu>)

Oprócz basenów termalnych w Kompleksie znajdują się także dwa inne baseny – zewnętrzny basen rekreacyjny z wodą o temperaturze 28–30°C oraz basen sportowy o wymiarach 25,0 × 12,5 m i temperaturą wody 26–28°C. Dodatkowo, ofertę Term Mszczonowskich wzbogacają m.in. grota solna, brodziki, atrakcje wodne i plac zabaw dla dzieci, strefa rekreacyjna, sauna, czy jacuzzi.

W latach 2012–2016 z otworu Mszczonów IG-1 do Kompleksu Basenów dostarczona została woda termalna w ilości 433 972 m³ (tab. 16).

Tabela 16

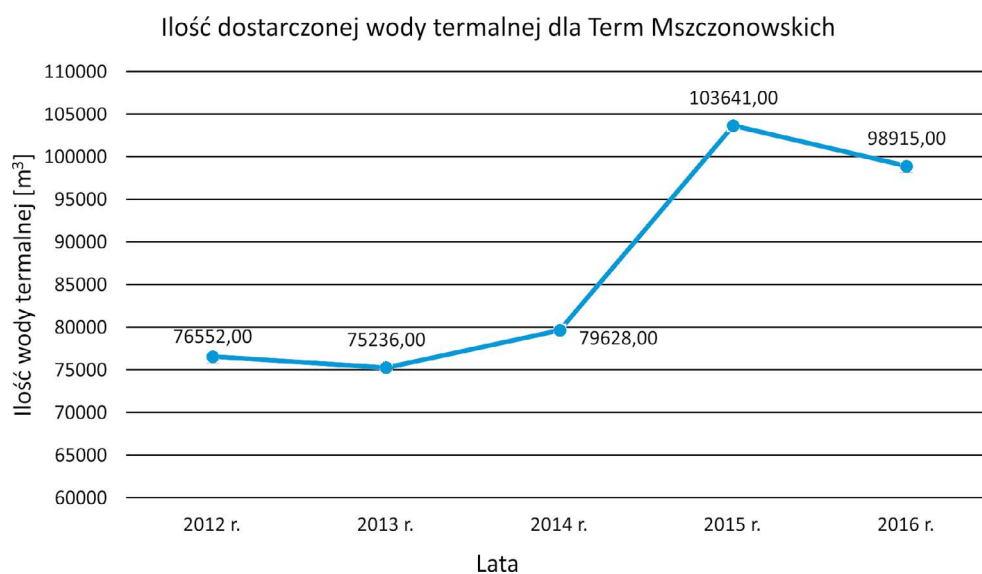
Woda dostarczona do Term Mszczonowskich w latach 2012–2016
(opracowano na podstawie danych Geotermii Mazowieckiej S.A.)

Table 16

Water delivered to “Termy Mszczonowskie” in 2012–2016
(compiled on the basis of data from Geotermia Mazowiecka S.A.)

	2012 r.	2013 r.	2014 r.	2015 r.	2016 r.
	[m ³]				
Styczeń	9 357,0	6 995,0	8 311,0	9 426,0	9 098,0
Luty	8 622,0	5 431,0	5 729,0	8 745,0	9 184,0
Marzec	7 463,0	7 837,0	6 516,0	8 546,0	9 553,0
Kwiecień	3 658,0	5 148,0	2 527,0	7 774,0	6 511,0
Maj	6 697,0	5 764,0	5 700,0	7 350,0	7 124,0
Czerwiec	4 934,0	5 237,0	5 527,0	7 971,0	7 901,0
Lipiec	6 685,0	6 012,0	6 989,0	8 450,0	5 506,0
Sierpień	6 565,0	5 624,0	7 156,0	7 507,0	7 093,0
Wrzesień	5 686,0	5 866,0	7 390,0	10 099,0	9 300,0
Październik	6 078,0	6 359,0	7 642,0	9 023,0	7 968,0
Listopad	5 252,0	6 223,0	7 714,0	8 551,0	9 367,0
Grudzień	5 555,0	8 740,0	8 427,0	10 199,0	10 310,0
Suma roczna	76 552,0	75 236,0	79 628,0	103 641,0	98 915,0
Łącznie w latach 2012–2016	433 972,0 m ³				

Ilość dostarczanej wody w latach 2012–2014 utrzymywała się na podobnym poziomie, tj. odpowiednio było to 76 552, 75 236 oraz 79 628 m³. W roku 2015 obserwowany był znaczący wzrost ilości dostarczonej wody – do 103 641 m³, co stanowiło około 30% więcej w stosunku do roku poprzedniego (rys. 50). Przyczyną tego faktu była zmiana technologii pracy term dla stabilizacji parametrów termicznych wody kąpielowej.



Rys. 50. Ilość dostarczonej wody termalnej dla Term Mszczonowskich w latach 2012–2016
(opracowano na podstawie danych Geotermii Mazowieckiej S.A.)

Fig. 50. Amount of thermal water supplied to “Termy Mszczonowskie” in 2012–2016
(compiled on the basis of data from Geotermia Mazowiecka S.A.)

8. Efekty gospodarcze, społeczne i środowiskowe funkcjonowania Zakładu Geotermalnego w Mszczonowie

8.1. Wpływ na gospodarkę i społeczeństwo

Rekonstrukcja otworu Mszczonów IG-1, dzięki przeprowadzonej analizie optymalizacyjnej, umożliwiła uruchomienie eksploatacji wody geotermalnej przy zminimalizowanych kosztach prac rekonstrukcyjnych. Według szacunków koszt prac stanowił około 30–40% kosztu wykonania nowego odwiertu w istniejących warunkach geologicznych (Bujakowski 2015).

Dzięki inwestycjom związanym z geotermią oraz Termami Mszczonowskimi do miasta spłynęły środki z zewnętrznych dotacji. Dzięki inwestycji geotermalnej został całkowicie zmodernizowany system ciepłowniczy miasta. Mszczonów pozyskał obiekt basenowy z licznymi atrakcjami wodnymi, przy Termach powstało kryte lodowisko, a także zaplecze sportowe. Geotermia i Termy dały początek nowym przedsięwzięciom lokalnym małego biznesu, przyczyniły się do rozwoju lokalnego rzemiosła i handlu, a tym samym stworzyły nowe miejsca pracy (Kurek 2015). Dzięki geotermii rozbudowała się także Mszczonowska Spółdzielnia Mieszkaniowa.

Geotermia to zasługa radnych, którzy nigdy nie bali się wyzwań i zawsze wspierali ciekawe rozwiązania i pomysły. W połowie lat dziewięćdziesiątych inwestowanie w geotermię, która była wtedy traktowana jako całkowicie novum, wiązało się ze sporym ryzykiem. Nikt nie był w stanie zagwarantować burmistrzowi, że inwestycja w 25-letni odwiert będzie opłacalna i da miastu określone korzyści. Po konsultacji w środowisku gminnego samorządu zapadła jednak decyzja o podjęciu tego ryzyka (Kurek 2015). Dzięki geotermii zostało znalezione zagraniczne miasto partnerskie Mszczonowa. Podczas realizacji projektu geotermalnego samorządowcy korzystali bowiem ze wsparcia i doświadczeń bawarskiego Erding. Dziś współpraca obu miast to nie tylko geotermia, ale także: termy, wymiana młodzieży, partnerstwo kulturalne oraz kontakty rodzinne. Geotermia zaowocowała także wpisaniem Mszczonowa do elitarnej europejskiej sieci miast Brundtland, która skupia miejscowości mające szczególne osiągnięcia w upowszechnianiu ekologii i zastosowaniu nowoczesnych technik umożliwiających poczynienie oszczędności w zużyciu energii. Geotermia Mazowiecka S.A. sponsoruje rozwój gminnego sportu, inwestuje w przedsięwzięcia kulturalne i rozrywkowe. Nawiązane kontakty zagraniczne przekładają się na korzyści społeczne i ogólnorozwojowe, nieprzeliczalne na pieniądze (Kurek 2015).

Duże poparcie władz samorządowych, jak i lokalnej społeczności umożliwiło powołanie spółki, która miała zrealizować budowę geotermii w Żyrardowie (Balcer 2015).

8.2. Efekt ekologiczny

Ciepłownia korzystająca z wody geotermalnej z odwiertu Mszczonów IG-1 miała za zadanie zastąpić działające ciepłownie węglowe, a co za tym idzie znacznie zmniejszyć emisję trujących substancji do atmosfery. W wyniku modernizacji zlikwidowano trzy kotłownie wodne zasilane miałem węglowym:

- kotłownia nr 1 o wydajności około 2,8 MW, wyposażona w trzy kotły WCO, o parametrach wody 130/90°C, zasilająca osiedle Dworcowa I i II;
- kotłownie nr 2 i 3 o łącznej wydajności około 2,7 MW, wyposażone w kotły typu SWC Rumia, po trzy kotły w każdej kotłowni, o parametrach wody 95/75°C, zasilające osiedle Dworcowa III.

Ciepłownia geotermalna w okresie występowania wyższych temperatur całkowicie pokrywa zapotrzebowanie miasta na ciepło, a spalanie gazu służy jedynie zasilaniu pompy ciepła. W okresie występowania niższych temperatur kotłownia gazowa służy dodatkowo do dogrzewania wody geotermalnej przed dostarczeniem jej do wymienników ciepła. Dzięki zastosowaniu wody termalnej w układzie absorpcyjnej pompy ciepła obniżone zostało zużycie gazu ziemnego do poziomu około 30% w porównaniu do typowej ciepłowni gazowej.

Wykonano również analizy porównawcze trzech różnych instalacji grzewczych, których Geotermia Mazowiecka S.A. jest właścicielem lub użytkownikiem. Analizie poddano koszty produkcji jednostki ciepła z nowoczesnej kotłowni olejowej, starej kotłowni węglowej i opisanej powyżej kotłowni geotermalno-gazowej. W wyniku analizy stwierdzono, że w identycznych warunkach pracy i ekonomicznych, koszty wyprodukowania 1 GJ w kotłowni gazowej i węglowej były zbliżone (z oleju nieco wyższe), natomiast z kotłowni geotermalnej o około 25% niższe.

Ciepłownia charakteryzuje się stabilną pracą, co potwierdzają stabilne charakterystyki termalne i wydajnościowe wody wydobywanej ze złoża. Włączenie ciepłowni geotermalnej niewątpliwie poprawiło czystość powietrza w rejonie Mszczonowa oraz estetykę miasta, eliminując brzydkie i mocno dymiące kominy osiedlowych ciepłowni węglowych.

Według założeń prognozowane zmniejszenie wydzielanych zanieczyszczeń po pełnym uruchomieniu ciepłowni geotermalnej oraz gazowych określono (Bujakowski i in. 2004):

- SO_2 – z ówczesnych 59 390,5 kg/rok do 21,8 kg/rok – o 99,9%, w rzeczywistości 100%;
- NO_x – z ówczesnych 14 858,0 kg/rok do 2 496,5 kg/rok – o 83,3%, w rzeczywistości 82,9%;
- CO – z ówczesnych 23 199,5 kg/rok do 351 kg/rok – o 98,5%, w rzeczywistości 98,5%;
- benzo(a)piren – z ówczesnie 14,8 kg/rok, docelowo 0 kg/rok – w rzeczywistości o 100%;

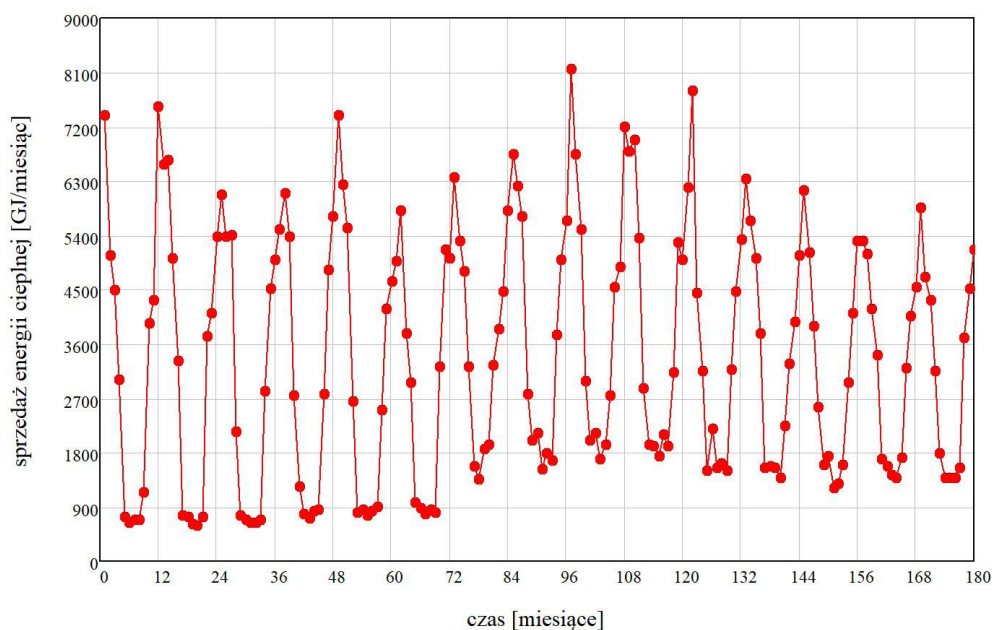
- CO₂ – z ówczesnych 9 743,6 t/rok do 2 287,0 t/rok – o 76,5%, w rzeczywistości o 74,8%;
- sadza i pył – z ówczesnych 14 518,0 kg/rok do 18,8 kg/rok – o 99,9%, w rzeczywistości o 100%.

8.3. Określenie efektu ekologicznego związanego z eksploatacją energii geotermalnej w ciepłowni w Mszczonowie

Ilość rzeczywistej sprzedawanej energii cieplnej przez geotermalną ciepłownię w Mszczonowie bywa zmienna w czasie, w ciągu roku. Zmienność wieloletnich ilości sprzedawanej energii cieplnej, w przedziale czasu od roku 2002 do roku 2016 – w poszczególnych miesiącach, przedstawia rysunek 51.

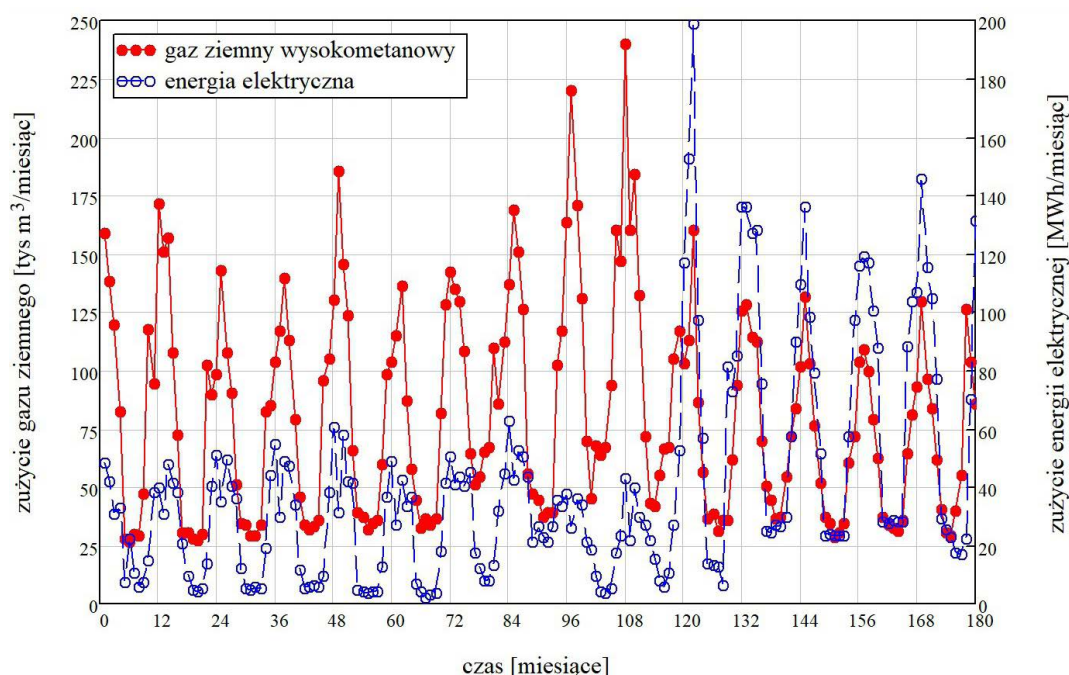
Widoczne jest wyraźne zróżnicowanie ilości sprzedawanej energii w okresie zimowym i letnim. Od roku 2008 wzrosła znacząco – dwukrotnie – ilość energii sprzedawanej w lecie (z około 800 GJ/miesiąc do około 1,5 TJ/miesiąc).

Zużycie nośników energii od roku 2002 do roku 2016 przedstawia rysunek 52.



Rys. 51. Sezonowa zmienność sprzedawanej energii cieplnej, w ujęciu miesięcznym, w przedziale czasu od roku 2002 do roku 2016 (źródło danych: Geotermia Mazowiecka 2017)

Fig. 51. Seasonal variability of thermal energy sold, in monthly terms, in the time interval from 2002 to 2016 (source: Geotermia Mazowiecka 2017)



Rys. 52. Zużycie sieciowego – wysokometanowego gazu ziemnego i energii elektrycznej przez ciepłownię geotermalną w Mszczonowie, w przedziale czasu od roku 2002 do roku 2016
(źródło danych: Geotermia Mazowiecka 2017)

Fig. 52. Consumption of high-methane natural gas and electricity by the Geothermal Heating Plant in Mszczonów, in the time interval from 2002 to 2016
(data source: Geotermia Mazowiecka 2017)

Na podstawie rzeczywistego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego oszacowano lokalną emisję do atmosfery wybranych zanieczyszczeń, dla których wskaźniki emisji podano w literaturze (KOBiZE 2015; tab. 17). Obok emisji pochodzącej z ciepłowni geotermalnej określono lokalną emisję równoważną, przy założeniu, że identyczna ilość energii (zużywanej przez odbiorcę) byłaby wytwarzana z gazu ziemnego lub węgla kamiennego, w kotłach o mocy od 500 kW do 5 MW. Emisja z ciepłowni geotermalnej i wariantów równoważnych ujmuje straty na przesyle – ponieważ bazuje na rzeczywistych ilościach zużywanego przez ciepłownię gazu ziemnego. Szacując emisję równoważną założono, że gaz ziemny lub węgiel będą spalane w ciepłowniach obsługujących tę samą sieć dystrybucyjną i zasilających tego samego odbiorcę. Emisję oszacowano w ujęciu rocznym, na podstawie danych z przedziału czasu od roku 2002 do 2016 – jest to zatem emisja średnia roczna, określona z piętnastu lat eksploatacji instalacji. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 18. Emisję równoważną z gazu ziemnego i węgla określono zakładając:

Tabela 17

Wskaźniki emisji zanieczyszczeń dla wybranych paliw i rodzajów palenisk, wykorzystane do obliczeniowego określenia emisji zanieczyszczeń z instalacji ciepłowni geotermalnej w Mszczonowie i emisji równoważnej (KOBiZE 2015)

Table 17

Emission factors for selected fuels and types of furnaces, used for computational determination of pollutant emissions from the geothermal heat plant in Mszczonów and equivalent emission (KOBiZE 2015)

Polutant	Węgiel kamienny, moc paleniska $P\ 500\text{ kW} < P \leq 5\text{ MW}$, ciąg naturalny [g/Mg]	Gaz ziemny, moc kotła $P\ 500\text{ kW} < P \leq 5\text{ MW}$ [g/m ³]
SO _x /SO ₂	16 000 s _w	0,002 s _{gz}
NO _x /NO ₂	1 000	1,75
CO	45 000	0,24
CO ₂	$2 \cdot 10^6$	2 000
Pył całkowity, zawieszony (TSP)	1 500 A ^r	0,0005
B(A)P	14	0,0

s_w – zawartość siarki w węglu [%].

s_{gz} – zawartość siarki w gazie ziemnym [mg/m³].

A^r – zawartość popiołu w węglu w stanie roboczym [%].

— wartość opałową gazu ziemnego – 35,5 MJ/m³, zawartość siarki w gazie – 40 mg/m³ i sprawność kotłów – 90%,

— wartość opałową węgla kamiennego – 27 MJ/kg, zawartość siarki – 0,6% i zawartość popiołu w stanie roboczym – 10%, sprawność spalania określono na 75%.

Emisję zaniechaną określono jako różnicę między emisją równoważną i emisją pochodzącą z ciepłowni geotermalnej, dla analizowanych polutantów. Została ona również przedstawiona w tabeli 18.

Analizując dane z tabeli 18 można stwierdzić, że wykorzystanie energii geotermalnej pozwoliło zaniechać znaczącej emisji zanieczyszczeń. Jedyne emisja pyłu, w odniesieniu do paliwa gazowego nie wykazuje istotnych zmian – wynika to z niewielkiej emisji pyłu jaka powstaje w przypadku spalania gazu ziemnego (powszechnie uważanego za paliwo czyste). Redukcja emisji zanieczyszczeń pochodzących z geotermii, w odniesieniu do gazu ziemnego, wiąże się przede wszystkim z zastosowaniem absorpcyjnej pompy ciepła, która pozwala zredukować konsumpcję tego paliwa.

Tabela 18

Oszacowana lokalna emisja do atmosfery wybranych zanieczyszczeń, pochodząca z geotermii oraz dla wariantów równoważnych zakładających wykorzystanie gazu ziemnego lub węgla kamiennego (emisja równoważna) [kg/rok]

Table 18

Estimated emission of selected pollutants, emitted to the atmosphere locally, originating from geothermal energy and equivalent variants assuming the use of herbaceous gas or hard coal (equivalent emission) [kg/year]

Polutant	Ciepłownia geotermalna	Równoważna emisja pochodząca z gazu ziemnego	Równoważna emisja pochodząca z węgla kamiennego	Emisja zaniechana, w odniesieniu do gazu ziemnego	Emisja zaniechana, w odniesieniu do węgla kamiennego
SO _x /SO ₂	78	126	23 920	48	23 842
NO _x /NO ₂	1 712	2 762	2 492	1 050	780
CO	235	379	112 125	144	111 890
CO ₂	1 956 · 10 ³	3 156 · 10 ³	4 983 · 10 ³	1 200 · 10 ³	3 027 · 10 ³
Pył całkowity, zawieszony (TSP)	0,5	0,8	3 738	0,3	3 737
B(a)P	0	0	34,9	0	34,9

9. Działalność inwestycyjna i badawczo-rozwojowa Geotermii Mazowieckiej S.A. w Mszczonowie

Geotermia Mazowiecka S.A. posiada doświadczenie w realizacji i zarządzaniu projektami badawczymi, pracami rozwojowymi oraz wdrożeniami innowacyjnych technologii.

W latach 2009–2011 Geotermia Mazowiecka S.A. była liderem konsorcjum oraz wykonawcą zamówienia z dziedziny geologii pn. „Opracowanie wytycznych projektowych poprawy chłonności skał zbiornikowych w związku z zatłaczaniem wód termalnych w polskich zakładach geotermalnych”. Opracowanie wykonane zostało we współpracy z Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.

9.1. Projekt GEOCOM

W latach 2010–2015 gmina Mszczonów, przy wsparciu Geotermii Mazowieckiej S.A., brała udział w realizacji projektu GEOCOM: „Geothermal Communities – demonstrating the cascading use of geothermal energy for district heating with small scale RES integration and retrofitting measures” (*Spoleczności geotermalne – demonstracja kaskadowego wykorzystania energii geotermalnej w ciepłownictwie w integracji na małą skalę z innymi OZE wraz z demonstracją i opomiarowaniem*). Projekt był jednym z czterech projektów inicjatywy CONCERTO, finansowanych przez Komisję Europejską w ramach 7. Ramowego Projektu. Wzięli w nim udział partnerzy z Węgier, Włoch, Słowacji, Macedonii, Serbii, Rumunii oraz Polski. Celem projektu była prezentacja najlepszych dostępnych technologii w zakresie wykorzystania energii geotermalnej w integracji z innymi odnawialnymi źródłami energii oraz zastosowaniem innowacyjnych środków i metod służących poprawie efektywności energetycznej (Kasztelewicz 2015). Prace demonstracyjne realizowane były w trzech miastach pilotowych: Galanta na Słowacji, Mórahalom na Węgrzech oraz Montieri we Włoszech. Równolegle z częścią demonstracyjną realizowane były prace badawcze i technologiczne nad poprawą sposobu i zakresu wykorzystania energii geotermalnej w krajach Europy środkowo-wschodniej. Uzyskane wyniki miały służyć podniesieniu poziomu innowacyjności oraz efektywności ekonomicznej i technologicznej projektów geotermalnych. Projekt GEOCOM przyczynił się także do nawiązania współpracy pomiędzy kilkoma miastami: Mszczonowem, Oras Sacueni, Subotica oraz Kocani. Miasta te posiadały już

działające systemy geotermalne wymagające zastosowania nowych technologii lub zamierzały wdrożyć od podstaw nowe systemy w ramach projektu. Jesienią 2010 r. podpisane zostało porozumienie o współpracy i wymianie doświadczeń między Mszczonowem i miastem Kocani w Macedonii w zakresie rozwiązań dotyczących wykorzystania energii geotermalnej. W 2013 r. podpisano podobne porozumienie z miastem Oras Sacueni w Rumunii. Dzięki tej współpracy delegaci z Macedonii i Rumunii mieli okazję zapoznać się z zastosowanymi sposobami wykorzystania wód geotermalnych w Mszczonowie, odwiedzając m.in. Geotermię Mazowiecką S.A. oraz Termy Mszczonowskie.

W maju 2013 r. w Mszczonowie odbyła się międzynarodowa konferencja na temat wykorzystania odnawialnych źródeł energii w ramach projektu GEOCOM. Podczas warsztatów, które miały wtedy miejsce, uczestnicy mieli okazję zapoznać się z podstawowymi zagadnieniami dotyczącymi inicjowania i realizacji projektów geotermalnych w powiązaniu z innymi odnawialnymi źródłami energii. Pracownicy samorządów, administracji krajowej i przedstawiciele sektora gospodarczego szkolili się natomiast z tematyki realizacji projektów służących efektywności energetycznej z uwzględnieniem lokalnych zasobów energii geotermalnej oraz innych odnawialnych źródeł energii.

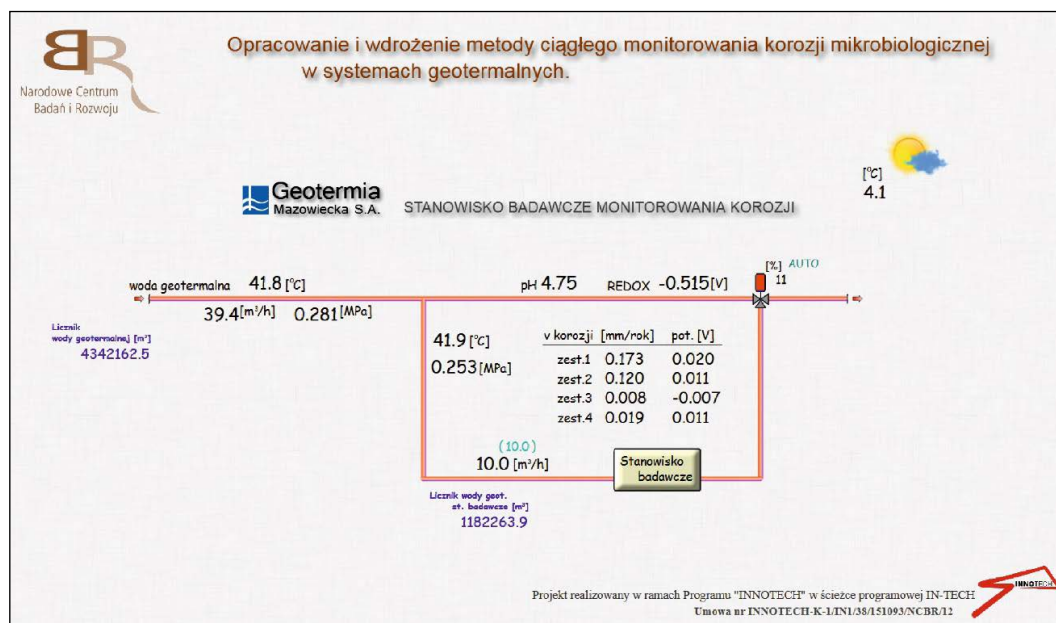
W ramach projektu gmina Mszczonów dołączyła do stowarzyszenia utworzonego w 2015 r. – Mayors' Geothermal Club (*Geotermalny Klub Burmistrzów*). Jest to inicjatywa kierowana do europejskich gmin posiadających potencjał geotermalny. Jej celem jest stworzenie warunków i ram współpracy władz samorządowych, w ramach których dyskutowane będą kwestie związane z wykorzystaniem potencjału geotermalnego.

W 2011 r. Geotermia Mazowiecka S.A. zrealizowała inwestycję pn. „Budowa instalacji odzysku ciepła II stopnia w Zakładzie Geotermalnym w Mszczonowie”. Jej efektem gospodarczym, ale i ekologicznym, było uruchomienie instalacji zwiększającej produkcję energii odnawialnej o 1 MW.

9.2. Projekt monitorownia korozji mikrobiologicznej

W latach 2012–2015 Geotermia Mazowiecka S.A. realizowała projekt badawczo-rozwojowy pt. „Opracowanie i wdrożenie metody ciągłego monitorowania korozji mikrobiologicznej w systemach geotermalnych”. Projekt otrzymał finansowanie z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach konkursu programu INNOTECH. W projekcie tym Geotermia Mazowiecka S.A. była liderem Konsorcjum. Projekt realizowały także uczelnie: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie – Wydział Odlewnictwa oraz Politechnika Warszawska – Wydział Inżynierii Materiałowej. Celem projektu było opracowanie skutecznych metod monitorowania procesu tworzenia się warstwy biofilmu oraz korozji mikrobiologicznej (MIC).

Wynikiem końcowym projektu była prototypowa stacja monitorowania BioCorrGeo wraz z pełną dokumentacją konstrukcyjną i oprogramowaniem oraz kompleksowy program zarządzania ryzykiem MIC w systemach geotermalnych. Opierając się na koncepcji



Rys. 53. Przykładowy stan parametrów stanowiska badawczego systemu ciągłego monitorowania korozji mikrobiologicznej w wodach geotermalnych (fot. Geotermia Mazowiecka S.A.)

Fig. 53. Sample status of the parameters of the continuous microbial corrosion monitoring system in geothermal waters (Photo: Geotermia Mazowiecka S.A.)

opracowanej przez zespół naukowców z Akademii Górniczo-Hutniczej, Geotermia Mazowiecka S.A. zbudowała prototypową stację monitorowania korozji mikrobiologicznej, składającą się z trzech modułów: modułu pomiarów elektrochemicznych, modułu grawimetrii i kontroli biofilmu oraz sekcji pomiarów fizykochemicznych.

Stacja składa się z dwóch połączonych ze sobą rur wyposażonych w elementy pomiarowe. Zainstalowane zostały systemy umożliwiające monitorowanie podstawowych parametrów pracy, takich jak: temperatura, ciśnienie, czy przepływ wody geotermalnej – ich znajomość jest niezbędna do pomiaru prędkości korozji. Segmenty pomiarowe składają się z szeregu czujników trójelektrodowych, określających prędkość korozji metodą polaryzacji liniowej oraz z systemu zbierania danych i ciągłego monitorowania parametrów przy instalacji, zintegrowanego z nadrzędnym system sterowania Geotermii Mazowieckiej S.A. (rys. 53).

9.3. Projekt pozyskiwania wód pitnych oraz cieczy i substancji balneologicznych

W latach 2014–2017 Geotermia Mazowiecka S.A. współtworzyła konsorcjum naukowe projektu pn. „Pozyskanie wód pitnych oraz cieczy i substancji balneologicznych w procesie uzdatniania schłodzonych wód termalnych”, finansowanego przez Narodowe Centrum

Badań i Rozwoju (Projekt nr PBS3/A2/18/2015). Celem projektu była ocena możliwości wielowariantowego wykorzystania odpadowych wód termalnych dla pozyskania wód mineralnych o szczególnym znaczeniu użytkowym. Zadaniem podstawowym było opracowanie warunków umożliwiających wdrożenie rozwiązań bazujących na naturalnych zasobach wód termalnych i naturalnych surowcach mineralnych, wykorzystywanych dla wzbogacenia wód w cenne składniki o znaczeniu fizjologicznym (Tomaszewska i in. 2016). W projekcie tym wzięły udział cztery jednostki naukowe: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Politechnika Śląska w Gliwicach, Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie (Oddz. w Krakowie) oraz podmioty gospodarcze, tj. Geotermia Uniejów Sp. z o.o. oraz Geotermia Mazowiecka S.A.

Udział Geotermii Mazowieckiej S.A. miał istotne znaczenie dla prawidłowego i sprawnego zorganizowania oraz przebiegu działań zaplanowanych w projekcie. W ramach badań wykonane zostały testy uzdatniania wód termalnych w skali laboratoryjnej w celu weryfikacji i doboru układów technologicznych oraz materiałowych, odpowiednich dla wytypowanych wód. W tym działaniu Geotermia Mazowiecka S.A. dostarczyła adekwatne do potrzeb badań ilości wód termalnych. W trakcie pomiaru parametrów procesowych i badania jakości permeatu i koncentratu Geotermia Mazowiecka S.A. odpowiadała za zabezpieczenie odpowiedniej ilości wody termalnej do badań, zorganizowanie i dopełnienie wymogów technicznych jej poboru z ujęcia i dostarczenie do pilotowej instalacji uzdatniania wód w Laboratorium Geotermalnym PAN. W zadaniu, którego celem była ocena uwarunkowań hydrogeotermalnych i złożowych dla uzdatniania odpadowych, schłodzonych wód termalnych w wytypowanych lokalizacjach, Geotermia Mazowiecka S.A. przygotowała i udostępniła niezbędne materiały dotyczące budowy geologicznej i warunków hydrogeotermalnych złoża (m.in. dokumentacje geologiczne, wyniki badań geofizycznych itd.) oraz dane dotyczące bieżącej pracy systemu geotermalnego (m.in. wydajności, ciśnienia, temperatury itd.). Badania modelowe złoża przyczyniły się do optymalizacji gospodarki schłodzonymi, odpadowymi wodami termalnymi, przy zachowaniu stabilności zasobów energii geotermalnej, możliwości długotrwałej i bezpiecznej eksploatacji złoża oraz zapewnieniu działalności efektywnej ekonomicznie, ale również bezpiecznej ekologicznie. W czasie realizacji projektu jednym z zadań Geotermii Mazowieckiej S.A. była także koordynacja działań związanych z analizą lokalnego rynku, m.in. pod kątem rozpoznania i zebrania danych dotyczących potencjalnych podmiotów gospodarczych, zainteresowanych wodami pitnymi i gospodarczymi, wodami technologicznymi, cieczami i substancjami balneologicznymi. Przedstawiciele Geotermii czynnie uczestniczyli także w upowszechnieniu i prezentacji wyników badań.

Jedynym z przeprowadzonych w czasie trwania projektu badań był test zateżniania mszczonowskiej wody geotermalnej, prowadzony w skali laboratoryjnej z wykorzystaniem technik membranowych (Tomaszewska i in. 2016). W stanie naturalnym woda termalna z otworu Mszczonów IG-1 cechuje się niską mineralizacją ogólną ($0,5 \text{ g/dm}^3$) oraz podwyższoną zawartością składników swoistych: jonów żelazowych ($0,32 \text{ mg/dm}^3$) i kwasu metakrzemowego ($26,57 \text{ mg/dm}^3$) (tab. 19). Naturalna woda termalna z Mszczonowa reprezentuje

Tabela 19

Właściwości chemiczne wody termalnej z ujęcia Mszczonów IG-1 oraz koncentratu i permeatu po procesie zatężania (Tomaszewska i in. 2016)

Table 19

Chemical properties of thermal water from the Mszczonów IG-1 borehole as well as concentrate and permeate after the concentration process (Tomaszewska et al. 2016)

Wskaźnik	Otwór Mszczonów IG-1		
	woda naturalna [mg/dm ³]	koncentrat [mg/dm ³]	permeat [mg/dm ³]
Na ⁺	34,71	89,48	<0,10
K ⁺	15,20	32,28	3,46
Li ⁺	0,019	0,052	<0,005
Be ⁺²	<0,005	<0,005	<0,005
Ca ⁺²	58,69	145,80	0,09
Mg ⁺²	13,53	32,09	0,02
Ba ⁺²	0,07	0,21	<0,01
Sr ⁺²	1,10	2,70	<0,20
Fe ⁺²	0,32	0,58	<0,01
Mn ⁺²	0,012	0,051	<0,005
Ag ⁺	<0,01	<0,01	<0,01
Zn ⁺²	<0,01	0,02	<0,01
Cu ⁺²	<0,005	0,008	<0,005
Ni ⁺²	<0,05	<0,05	<0,05
Co ⁺²	<0,01	<0,01	<0,01
Pb ⁺²	<0,01	<0,01	<0,01
Cd ²⁺	<0,01	<0,01	<0,01
Sb ⁺³	<0,004	0,006	0,01
Al ⁺³	<0,01	<0,01	<0,008
Cr ⁺³	<0,01	<0,01	<0,01
Mo ⁺⁶	<0,20	<0,20	<0,01
V ⁺⁵	<0,05	<0,05	<0,20
Zr ⁺⁴	0,003	0,011	<0,05
Ti ⁺⁴	<0,02	<0,02	<0,002
As ⁺³	<0,10	<0,10	<0,02
Tl ⁺⁴	<0,20	<0,20	<0,10
W ⁺⁶	<0,01	<0,01	<0,20
Razem kationy	124,30	304,00	4,60
Cl ⁻	16,50	36,60	2,50
SO ₄ ⁻²	4,13	10,11	<3,00
HCO ₃ ⁻	319,20	792,00	2,90
CO ₃ ⁻²	<0,50	<0,50	<0,50
PO ₄ ⁻³	<0,0061	1,1042	<0,0061
BO ₃ ⁻³	<0,62	0,97	0,32
HBO ₂	<0,47	0,72	0,24
Razem aniony	340,30	840,30	8,90
Razem analiza	464,70	1144,30	13,50
H ₂ SiO ₃	26,57	64,59	0,47
Mineralizacja	491,70	1209,60	14,20

typ hydrogeochemiczny wodorowęglanowo-wapniowo-sodowy (Tomaszewska i in. 2016). Po przeprowadzonych testach zateżenia uzyskany został wysokiej jakości koncentrat o typie hydrogeochemicznym $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ i mineralizacji $1,21 \text{ g/dm}^3$. Koncentrat cechował się także podwyższoną zawartością cennych składników mineralnych (tab. 19):

- kwasu metakrzemowego ($64,59 \text{ mg/dm}^3$),
- wapnia ($145,80 \text{ mg/dm}^3$),
- magnezu ($32,09 \text{ mg/dm}^3$),
- potasu ($32,28 \text{ mg/dm}^3$).

Wyniki innowacyjnych i pilotowych badań wskazały na duży potencjał i możliwości wykorzystania naturalnych składników swoistych występujących w odpadowych wodach termalnych, głównie wapnia, magnezu, potasu i kwasu metakrzemowego. Dla wody z ujęcia Mszczonów IG-1 uzyskano także pozytywną opinię Zakładu Tworzyw Uzdrawiskowych Państwowego Zakładu Higieny w Poznaniu, potwierdzającą spełnienie wymagań określonych rozporządzeniem Ministra Zdrowia dla naturalnych wód mineralnych przeznaczonych do udostępnienia w opakowaniach jednostkowych (NIZP 2015). Opinia ta, wraz z wynikami testów, wskazały na duże prawdopodobieństwo sukcesu gospodarczego w przypadku wdrożenia wyników badań na skalę przemysłową i wprowadzenia na rynek nowego rodzaju wód (Tomaszewska i in. 2016).

9.4. Projekt Europejskiego Obszaru Gospodarczego

W 2017 r. Prezes Geotermii Mazowieckiej S.A., Marek Balcer, w charakterze eksperta, brał udział w projekcie pn. „Energia geotermalna podstawą niskoemisyjnego ciepłownictwa, poprawy warunków życia i zrównoważonego rozwoju, określającego wstępne studia możliwości dla wybranych obszarów na terenie Polski”. Projekt, koordynowany przez Ministerstwo Środowiska, zrealizowany został ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego 2009–2014. Celem projektu był transfer wiedzy, technologii i dobrych praktyk stosowanych w Norwegii i Islandii w obszarach ciepłownictwa.

W ramach projektu odbyły się wizyty studyjne w Polsce, Norwegii i Islandii, konferencje oraz prowadzone były działania informacyjne. Efektem projektu był opracowany wszechstronny raport zawierający propozycje rozwiązań, których wprowadzenie powinno sprzyjać trwałemu rozwojowi ciepłownictwa geotermalnego w Polsce.

9.5. Projekt magazynowania wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych

W 2017 r. Geotermia Mazowiecka S.A. wraz Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi PAN w Krakowie oraz Politechniką Warszawską podjęły współpracę w ramach projektu „Opracowanie metody zatłaczania wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych do wytypowanych struktur geologicznych”. Projekt uzyskał dofinansowanie z Europej-

skiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014–2020. Celem projektu jest opracowanie innowacyjnej, co najmniej w skali kraju, metody magazynowania wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych.

Projekt zrealizowany zostanie w trzech etapach. Etap I obejmie ocenę możliwości magazynowania wykorzystanych energetycznie wód termalnych poprzez zatłaczanie w płytkich strukturach geologicznych. W etapie II przeprowadzone zostaną badania i obserwacje prowadzące do ustalenia optymalnych parametrów procesu zatłaczania wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych. Szczególnie uwzględnione zostaną tu właściwości zbiornikowe struktury, która stanie się kolektorem wód podziemnych oraz zbadany zostanie potencjalny zasięg oddziaływania procesu. Etap III, prac rozwojowych, obejmie działania testowania i walidacji nowej, opracowanej metody. Ich głównym celem będzie dalsze udoskonalenie techniczne procesu. Opracowana technologia zostanie zademonstrowana w środowisku zbliżonym do rzeczywistego, co oznacza, że realizacja projektu zakończy się na minimum VI poziomie gotowości technologicznej. W ramach badań opracowany zostanie prototyp platformy badawczej w wytypowanej strukturze geologicznej wraz z systemem doprowadzającym wykorzystane energetycznie wody termalne. W ramach tego etapu projektu powstanie także otwór chłonny, którym zatłaczane będą wody do wytypowanej struktury.

Realizacja projektu przewidziana jest na lata 2017–2018. Projekt pozwoli na uzyskanie jednoznacznych informacji na temat możliwości retencjonowania wykorzystanych energetycznie wód termalnych poprzez ich magazynowanie w strukturach geologicznych.

Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiona została charakterystyka działań organizacyjno-technicznych, które wykonane zostały w czasie rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1. Objęły one szereg czynności wiertniczych wykonanych w celu przywrócenia dobrego stanu technicznego otworu, badania oraz testy hydrogeologiczne i geofizyczne złoży, a także m.in. badania właściwości fizykochemicznych wód geotermalnych. Ścieżka działań, zaplanowanych i wykonanych podczas samej rekonstrukcji otworu, a także działania późniejsze, których efektem było uruchomienie eksploatacji otworu oraz funkcjonowanie Zakładu Geotermalnego, do dziś nie straciła aktualności i może stanowić swoiste kompendium wiedzy dla wszystkich, których aspiracją jest budowa systemu ciepłowniczego opartego na odnawialnym, czystym i ekologicznym źródle energii, jaki stanowią wody geotermalne. Historia rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1, przedstawiona w niniejszej pracy, podnosi nie tylko rolę odpowiedniego przygotowania przedsięwzięcia pod względem organizacyjnym i technicznym, ale także skuteczność wielopłaszczyznowej współpracy pomiędzy samorządem terytorialnym, jednostkami naukowymi oraz przedsiębiorstwami sfery gospodarczej i instytucjami finansującymi. Może być zatem traktowana jako przykład dobrej praktyki i przedsięwzięcia zakończonego sukcesem, którego doświadczenia i część rozwiązań mogą zostać powielone w innych lokalizacjach w Polsce.

Wody eksploatowane w Mszczonowie, oprócz zagospodarowania w celach ciepłowniczych, wykorzystane są także jako wody pitne oraz zasilają kompleks rekreacyjny Termy Mszczonowskie. Wykorzystanie wód geotermalnych po odebraniu z nich ciepła jako wód pitnych jest możliwe dzięki ich niskiej mineralizacji, co jest rzadkością w skali nie tylko Polski, ale i Europy. Szczególnie ważny w tej sytuacji jest przykład optymalnego wykorzystania dostępnych zasobów w celu wzbogacenia bilansu wód zwykłych w mieście. Równie trafionym pomysłem na zagospodarowanie wód geotermalnych jest wykorzystanie ich w celach rekreacyjnych, dzięki czemu eksploatacja wód geotermalnych powiększa pozytywny zasięg oddziaływania na ofertę turystyczną części województw łódzkiego i mazowieckiego. Zatem, o ile pozyskiwanie wód geotermalnych w celu uzyskania czystej energii cieplnej jest pierwszym powodem ich eksploatacji, o tyle rozszerzenie ich zagospodarowania stwarza równocześnie możliwość rozwoju innych sfer gospodarki w poszczególnych regionach.

Obecnie w Polsce i Europie wielki rozkwit przeżywają ośrodki rekreacyjne oparte na wykorzystaniu wód geotermalnych (m.in. na Węgrzech i na Słowacji, a w Polsce na Podhalu,

w Uniejowie, czy Poddębicach). Przykład Geotermii Mazowieckiej S.A. wskazuje jednak także na wartość inicjatyw podejmowanych w działalności badawczo-rozwojowej. Efektem jest znajdowanie nisz rozwojowych, mogących stanowić dodatkowy obszar zagospodarowania wód geotermalnych w danym regionie. Udział Geotermii Mazowieckiej S.A. w projektach badawczo-rozwojowych, związanych np. z monitorowaniem korozji mikrobiologicznej, pozyskiwaniem wód pitnych oraz cieczy i substancji balneologicznych, czy magazynowaniem wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych, pozwala ocenić, że wody te mogą stanowić podstawę dla działań innowacyjnych i nieustannego rozwoju nawet małych miejscowości.

Najważniejszy w eksploatacji wód geotermalnych wydaje się być jednak pozytywny skutek ekologiczny, do jakiego przyczyniła się budowa i funkcjonowanie Zakładu Geotermalnego. Dotyczy to przede wszystkim wyeliminowania znaczących emisji gazów i pyłów do środowiska.

Literatura

- Balcer M. 2015. Geotermia Mazowiecka – historia, teraźniejszość i przyszłość. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 54, z. 1, s. 9–16.
- Barbacki i in. 2000 – Barbacki A., Bujakowski W., Graczyk S., Hołojuch G., Kazanowska A., Kępińska B., Pająk L. i Uliasz-Misiak B. 2000. Rekonstrukcja otworu Mszczonów IG-1 na potrzeby złoża geotermalnego do systemu grzewczego [W:] Bujakowski W. red. 2000: *Wybrane problemy wykorzystania geotermii – I*. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN, s. 63–107.
- Bielec B. i Balcer M. 2015 – Wieloletni monitoring eksploatacji złoża wód termalnych, stanu technicznego odwiertu Mszczonów IG-1 i strefy złożowej. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 54 (1), s. 37–57.
- Bujakowski W. 2000 – Pierwsza w Polsce rekonstrukcja głębokiego otworu wiertniczego Mszczonów IG-1 do celów ciepłowniczych [W:] Międzynarodowe seminarium nt. *Rola energii geotermalnej w zrównoważonym rozwoju regionów mazowieckiego i łódzkiego*, Osuchów 2000, Wyd. IGSMiE PAN, s. 89–106.
- Bujakowski W. 2001 – *Możliwości rekonstrukcji starych otworów wiertniczych dla celów geotermalnych na przykładzie otworu Mszczonów IG-1*. Sprawozdania z Posiedzeń Komisji Naukowych PAN. s. 212–217.
- Bujakowski W. 2015 – Rekonstrukcja odwiertu Mszczonów IG-1 na tle innych, wybranych rekonstrukcji otworów geotermalnych. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 54, nr 1, s. 17–36.
- Bujakowski W. red. 2000 – Wybrane problemy wykorzystania geotermii – część 1. *Studia, Rozprawy, Monografie* nr 76, Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Bujakowski i in. 2013a – Bujakowski W., Balcer M. i Bielec B. 2013a. Porównawczy obraz produktywności poziomu wodonośnego na podstawie badań zestawem sond PL i sondą MIT60 na przykładzie odwiertu geotermalnego Mszczonów IG-1. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 52, z. 1, s. 73–82.
- Bujakowski i in. 2013b – Bujakowski W., Balcer M. i Bielec B. 2013b. Ocena zmian stanu technicznego rur okładzinowych w trakcie wieloletniej eksploatacji odwiertu geotermalnego Mszczonów IG-1. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 52, z. 1, s. 83–90.
- Bujakowski W. i in. 1999. *Dokumentacja powykonawcza z prac badawczo-rozwojowych „Dostosowanie otworu Mszczonów IG-1 dla potrzeb eksploatacji złoża geotermalnego do systemu grzewczego”*. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN (Archiwum), Kraków.

- Bujakowski W. i in. 2004. *Sprawozdanie merytoryczne z wykonania projektu celowego „System badawczo-pomiarowy dla optymalnej pracy zakładu geotermalnego w Mszczonowie”*. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN (Archiwum), Kraków.
- Geotermia Mazowiecka 2017. Dane pochodzące z monitoringu pracy ciepłowni w Mszczonowie – materiał źródłowy. Archiwum Geotermii Mazowieckiej, Mszczonów.
- GUS 2016. Dane Głównego Urzędu Statystycznego z 2016 r. [Online] Dostępne w: <http://www.polskawliczbach.pl/Mszczonow> [Dostęp: 20.11.2017].
- Kasztelewicz A. 2015. Miasto i gmina Mszczonów w Projekcie GEOCOM realizowanym w ramach 7. Programu Ramowego Unii Europejskiej. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 54, z. 1, s. 115–122.
- KOBiZE 2015. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw, kotły o mocy nominalnej do 5 MW, Warszawa.
- Kurek G. 2015. Słowo od Burmistrza. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 54, z. 1, s. 3–7.
- NIZP, 2015 – Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego Państwowy Zakład Higieny w Warszawie, Ekspertyza wykonana na rzecz Geotermii Mazowieckiej SA (niepublikowane). [Online] Dostępne w: <http://termy-mszczonow.eu> (dostęp: listopad 2017).
- Prawo geologiczne i górnicze – Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r Prawo geologiczne i górnicze (t.j. Dz.U. z 2017 r. poz. 2126).
- Polgeol 1991 – Bujakowska K., Biernat H. i Jaworska I. 1991. *Projekt rekonstrukcji otworu i badań hydrogeologicznych wód geotermalnych z horyzontu kredowego w otworze Mszczonów IG-1*. Przedsiębiorstwo Geologiczne „Polgeol”, Warszawa.
- Tomaszewska B. i Szczepański A. 2014. Possibilities for the efficient utilisation of spent geothermal waters. *Environmental Science and Pollution Research* 21, s. 11409–11417.
- Tomaszewska B. 2015. Warunki hydrogeotermalne w regionie Mszczonowa. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 54, z. 1, s. 81–94.
- Tomaszewska B. i Pająk L. 2012 – Dynamics of clogging processes in injection wells used to pump highly mineralized thermal waters into the sandstone structures lying under the Polish Lowland. *Archives of Environmental Protection* 38/3, s. 103–117.
- Tomaszewska i in. 2016 – Tomaszewska B., Bujakowski W. i Tyszer M. 2016. Innowacyjne badania nad wykorzystaniem swoistych cech wód termalnych Mszczonowa w produkcji wód mineralnych. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 55, z. 1, s. 103–110.
- URE 2017. Urząd Regulacji Energetyki – rejestry i bazy. [Online] Dostępne w: <https://bip.ure.gov.pl/bip/rejestry-i-bazy>. [Dostęp: 1.12.2017].
- Wójcik R. 2012. *Określenie stanu technicznego rur 9 5/8” na podstawie kawernomierza wieloramiennego MIT-60*. Geofizyka Kraków S.A. Archiwum Geotermia Mazowiecka S.A., Mszczonów.
- Zychowicz J. i Miziołek E. 2003. *Pomiary geofizyki wiertniczej i wyniki prac interpretacyjnych wykonanych dla oceny chłonności piaskowców kredy w otworze Mszczonów IG-1*. Geofizyka Kraków S.A. Archiwum Geotermia Mazowiecka S.A., Mszczonów.

Otwór geotermalny Mszczonów IG-1 – rekonstrukcja i wieloletnia eksploatacja

Streszczenie

Otwór Mszczonów IG-1, o głębokości 4119,0 m, został wykonany w latach 1976–1977 w celach badawczych, parametryczno-strukturalnych rejonu synklinorium i antyklinorium warszawskiego. Jednym z celów badań było także poszukiwanie złóż ropy i gazu. Ze względu na brak udokumentowania występowania węglowodorów otwór został zlikwidowany. W 1997 r. władze samorządowe Mszczonowa wraz z naukowcami z Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie podjęli działania rekonstrukcyjne, których celem było przywrócenie otworu do stanu technicznego umożliwiającego eksploatację wód geotermalnych. Planowano, że wody geotermalne będą stanowiły podstawę nowoczesnego systemu ciepłowniczego.

Zakład Geotermalny funkcjonuje w Mszczonowie od 2000 r. dzięki bezawaryjnej eksploatacji wód z otworu Mszczonów IG-1. W tym czasie w mieście wyeliminowane zostało zanieczyszczenie środowiska gazami i pyłami oraz nastąpił rozwój i ożywienie gospodarcze także dzięki uruchomieniu obiektu rekreacyjnego Termy Mszczonowskie. Ponadto prowadzona jest zrównoważona gospodarka komunalna oparta na zagospodarowaniu wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych także w celach pitnych.

W niniejszej pracy przedstawione zostały aspekty techniczno-organizacyjne rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1, obejmujące prace wiertnicze, badania oraz testy hydrogeologiczne i geofizyczne, jak również m.in. badania fizykochemiczne wód geotermalnych. Przedstawione zostały aspekty funkcjonowania Zakładu Geotermalnego, obejmujące ujęcie wód geotermalnych, system kontrolno-pomiarowy oraz ciepłownię. W pracy analizie poddane zostało także zagospodarowanie wód geotermalnych w Mszczonowie, obejmujące system ciepłowniczy, wykorzystanie w celach pitnych oraz w obiekcie rekreacyjnym Termy Mszczonowskie. Przeanalizowane zostały skutki społeczne, gospodarcze oraz środowiskowe, które są efektem rekonstrukcji otworu, wykonanej w 1997 r. oraz wieloletniej eksploatacji wód geotermalnych, prowadzonej od roku 2000. Podniesiona została także rola działalności badawczo-rozwojowej oraz prowadzenia projektów innowacyjnych dla rozwoju Zakładu Geotermalnego w Mszczonowie oraz geotermii w Polsce.

Mszczonów IG-1 geothermal well – reconstruction and long time exploitation

Abstract

The borehole Mszczonów IG-1 has been made in 1976–1977 for research purpose, due to recognize parametrics and structure of the synclitorium and anticlinorium in Warsaw. The borehole Mszczonów IG-1 was drilled to the depth 4119,0 m. One of the research goals was also exploration for oil and gas. Borehole has not been used due to the lack of occurrence of the hydrocarbons.

Reconstruction activities were undertaken in 1997. Main goal was to restore the borehole to the good technical condition for the exploitation of geothermal waters. Actions were taken by the Local Government of Mszczonów together with scientists from the Institute of The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences. Geothermal waters were planned to be the basis of a modern heating system. The Geothermal Heating Plant has been operating in Mszczonów without any problems since 2000, based on the exploitation of water from the Mszczonów IG-1 well. At that time pollution from gases and dust was eliminated in the city. There has also been development and economic recovery in town due to the launch of the “ Termy Mszczonowskie “ recreational pools. In Mszczonów there is a sustainable municipal economy based on the development of energy geothermal waters for drinking purposes as well.

This paper presents the technical and organizational aspects of reconstruction of the Mszczonów IG-1 borehole. These include drilling works, hydrogeological and geophysical tests and physicochemical analysis of geothermal waters. The paper presents aspects of the operation of the Geothermal Heating Plant, including geothermal water intake, control and measurement system and heating. The analysis also covers the development of geothermal waters in Mszczonów, the heating system, use for drinking purposes and the recreation pools Termy Mszczonowskie. Also was analyzed the history of exploitation of the Mszczonów IG-1 borehole after the reconstruction in 1997 and the time of operation after 2000. The work also describes the role of research and development projects and activity in innovative projects for the development of the Geothermal Heating Plant in Mszczonów and geothermal energy in Poland.