

ANALIZA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH WSPOMAGANA MODELEM MATEMATYCZNYM JAKO PODSTAWOWY ETAP REALIZACJI PROJEKTÓW INWESTYCYJNYCH W GEOTERMII

ANALYSIS OF HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS SUPPORTED BY MATHEMATICAL MODELLING AS THE BASIC STAGE OF INVESTMENT PROJECTS IN THE FIELD OF GEOTHERMY

BARBARA TOMASZEWSKA¹, MARTA DENDYS², LESZEK PAJĄK¹

Abstrakt. Wody geotermalne (wody termalne) stanowią kopaliny objęte własnością górnictwem, a ich wydobycie jest możliwe po uzyskaniu koncesji i ustanowieniu użytkowania górnictwem. W Polsce wody te są wykorzystywane przede wszystkim w ciepłownictwie, balneoterapii i rekreacji. W ostatnich latach są prowadzone także badania, których celem jest zintensyfikowanie kompleksowego ich wykorzystania, również jako nowych produktów geotermalnych, m.in. zmineralizowanych koncentratów. Przedsięwzięcia inwestycyjne, mające na celu wykorzystanie wód geotermalnych, z uwagi na specyfikę występowania zasobów na dużych głębokościach pod powierzchnią ziemi muszą zapewniać możliwość bezpiecznego i stabilnego ich wydobycia w długim horyzoncie czasowym. Sposób przyszłego wykorzystania wód geotermalnych, oprócz warunków technicznych czy ekonomicznych, w dużej mierze determinują warunki przyrodnicze, m.in. temperatura wód, ich właściwości fizykochemiczne, warunki złożowe, stabilność parametrów lub odnawialność zasobów. Rozpoznanie tych elementów stanowi zestaw podstawowych informacji, które coraz częściej są integrowane w postaci modeli matematycznych. Modele te służą do analiz i symulacji pracy systemu geotermalnego jeszcze przed podjęciem działań projektowych oraz są weryfikowane na etapie eksploatacji zasobów. W pracy przedstawiono przykłady wykonanych w ostatnich latach projektów związanych z wykorzystaniem i zagospodarowaniem wód geotermalnych, dla których kluczowe były wyniki prowadzonych badań modelowych z zakresu geotermii i hydrogeologii.

Słowa kluczowe: modelowanie matematyczne, projekty inwestycyjne, wody geotermalne, geotermia.

Abstract. Geothermal groundwaters are deposits that must be categorised as a mining property. Their exploitation is possible with a mining concession and permission of use. Geothermal groundwaters in Poland are used in heating, balneotherapy and recreation purposes. Over the last years, investigations have been carried out to intensify the use of geothermal groundwaters. They can be used as new geothermal products, for example as a mineralised concentrate. Investment projects related to geothermal groundwaters should be prepared with care about safe and sustained exploitation in long-term perspective. Using of geothermal groundwaters is determined by technical and economical conditions. However, successful exploitation depends also on natural conditions *e.g.* water temperature, physical features, chemical composition and durability of parameters, and renewability of resources. Recognition of these elements give a basic information that nowadays can be integrated as mathematical models. The models are created to analyse and simulate the conditions of geothermal systems. It often happens before starting project operating activities. The paper presents examples of projects carried out over the recent years. They have been associated with the using and management of geothermal groundwaters and the key role has been played by mathematical modelling in the field of geothermy and hydrogeology.

Key words: mathematical modelling, investment projects, thermal groundwaters, geothermy.

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: bts@agh.edu.pl, pajakl@agh.edu.pl.

² Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; e-mail: mdendys@meeri.pl.

WSTĘP

Wody geotermalne w Polsce są głównie wykorzystywane w ciepłownictwie, balneologii i rekreacji (Kępińska, 2013), a w ostatnich latach realizowano także projekty badawcze, których celem było wskazanie nowych możliwości ich zagospodarowania (Tomaszewska i in., 2016). Rozpoznanie warunków geologicznych powinno prowadzić do wskazania optymalnej lokalizacji wiercenia (Barbacki i in., 2009), oceny wydajności i temperatury złoża oraz stabilności parametrów w czasie eksploatacji. Istotne jest również określenie modelu przepływu wód, oceny obszarów zasilania zbiornika oraz mineralizacji wód (Barbacki, 2002), której stopień jest kluczowy z punktu widzenia korozji instalacji geotermalnej lub możliwości wytrącania osadów wtórnych (Tomaszewska i in., 2013). Przedsięwzięcia inwestycyjne, mające na celu wykorzystanie energii geotermalnej, realizowane są w porządku określonym przepisami prawa oraz muszą być poprzedzone pozyskaniem informacji przed podjęciem decyzji o rozwoju i zakresie projektu (Tomaszewska, Hołojuch, 2012). Bujakowski (2015) etap rozpoznawczy wyróżnia jako pierwszy etap badawczy w sferze zagadnień związanych z geotermią, obejmujący ogólne informacje oraz badania i analizy warunków o różnej szczegółowości rozpoznania w skalach: makroregionalnej, krajowej, regionalnej i lokalnej. Także wymogi prawne klarownie określają sposób dokumentowania zasobów wód termalnych, ze szczególnym uwzględnieniem charakterystyki elementów systemu hydrogeologicznego, powiązanych z prawidłowym określeniem kierunków przepływu wód podziemnych. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (RMŚ, 2016) obowiązuje do określenia wpływu wymuszeń, np. eksploatacji, na system hydrogeologiczny i jego elementy, a także na kształtowanie się warunków hydrodynamicznych na obszarach o zagęszczonej eksploatacji tej samej kopaliny.

Obecnie to modelowanie matematyczne jest podstawowym narzędziem badania procesów zachodzących w systemach hydrogeologicznych i geotermalnych. Wiedza o dostępnych możliwościach pozwala właściwie projektować ścieżkę badań naukowych lub przemysłowych, a znajomość programów wykorzystywanych do modelowania matematycznego ułatwia wybór właściwej metody badawczej oraz planowania inwestycji z wykorzystaniem wód geotermalnych.

CHARAKTERYSTYKA PROJEKTÓW ORAZ WYKORZYSTANE OPROGRAMOWANIE

Modelowanie systemów geotermalnych to jedna z podstawowych metod badawczych stosowanych w celu optymalizacji pracy inwestycji geotermalnych. Artykuł Góreckiego i in. (1990) był jednym z pierwszych w Polsce, w którym zaproponowano zastosowanie programu obliczeniowego

OPTDIPOL, opartego na języku programowania FORTRAN. Od tego czasu odnotowano znaczny postęp w rozwoju narzędzi wykorzystywanych do modelowania numerycznego. Można je podzielić na trzy główne grupy, wspomagające rozpoznanie podstawowych zadań (Dendys i in., 2014; 2015; Zdechlik i in., 2015): i) prognozowanie składu chemicznego wód geotermalnych, ii) rozwiązywanie problemów inżynierii złożowej oraz iii) adaptacja metod modelowych do oceny warunków krążenia wód, transportu masy i ciepła. Przyjmując wyżej wymieniony podział za kryterium wyjściowe, w niniejszym artykule przywołano wybrane prace zrealizowane w ostatnich latach, w których pojawiały się informacje o projektach związanych z zagospodarowaniem wód geotermalnych, dla których szczególne znaczenie miało prowadzenie prac modelowych (tab. 1). Spośród podanych przykładów wykorzystanego oprogramowania w większości są to specjalistyczne programy, których pełne wersje użytkowe dostępne są odpłatnie. Niemniej przykładem ogólnie dostępnego, nieodpłatnego programu, a jednocześnie bardzo często wykorzystywanego w badaniach hydrochemicznych jest PHREEQC.

Zdecydowana większość badań jest prowadzona w celu rozpoznania budowy geologicznej i warunków geotermicznych systemów geotermalnych i stref perspektywicznych występujących na obszarze kraju. W tym celu głównie są wykorzystywane symulatory z grupy programów TOUGH (Magnusdottir, Finsterle, 2015). Petrel (2017), kojarzony z badaniami w dziedzinie poszukiwań naftowych, również może być z powodzeniem stosowany w badaniach systemów geotermalnych. Aspekty hydrochemiczne już eksploatowanych złóż, jak również dotyczące zagadnień technicznych (np. *scaling* instalacji geotermalnych), rozpatrywane były z wykorzystaniem programu PHREEQC (Parkhurst, Appelo, 1999) lub TOUGHREACT (Xu i in., 2008).

Warunkiem realizacji projektów inwestycyjnych w geotermii, których celem jest eksploatacja wód termalnych, jest przede wszystkim odpowiednie rozpoznanie warunków przyrodniczych. Obecnie dostępne dane oraz informacje geologiczne są najczęściej integrowane w postaci modeli matematycznych, które pozwalają na przeprowadzenie analiz tych warunków oraz wykonanie symulacji pracy systemów geotermalnych. Analiza wybranych prac pozwala na stwierdzenie, że zakres realizowanych badań ma szerokie spektrum. Wykorzystywane są w tym celu dostępne komercyjnie lub nieodpłatnie programy do rozpoznania budowy geologicznej oraz określenia warunków występowania lub eksploatacji wód termalnych. Jest to istotne nie tylko z punktu widzenia celów poznawczych, lecz także użytkowych. Potencjalni przedsiębiorcy, zainteresowani gospodarczym wykorzystaniem wód termalnych, zgodnie z przepisami prawa muszą wykazać się szerokim rozpoznaniem systemu geotermalnego przed uzyskaniem koncesji i ustanowieniem użytkowania górniczego. Dodatkowy istotny aspekt, będący przedmiotem prac modelowych, to zapewnienie bezpiecznej i długotrwałej eksploatacji w sposób stabilny technologicznie i uzasadniony ekonomicznie.

Tabela 1
Wybrane przykłady badań prowadzonych w celu rozpoznania warunków systemów geotermalnych z wykorzystaniem modelowania matematycznego
 Examples of the geothermal systems investigations with using of the mathematical modelling

Bibliografia	Typ projektu	Funkcja modelu	Wykorzystane oprogramowanie
Bujakowski i in., 2014a, b; Bujakowski i in., 2016; Miecznik i in., 2015	modele numeryczne termiki górotworu stref perspektywicznych: Kolo, Turek, Konin, Ślesin, Żnin, Łowicz, Stargard Szczeciński, Chociwel, Bańska Nizna, Cieplice Śląskie-Zdrój	a) ocena warunków początkowych dla modelowania pracy systemu w długim horyzoncie czasowym; b) ocena zmian temperatury eksploatowanej wody termalnej oraz prognozy zmian ciśnienia eksploatacyjnego, wymaganego dla zatłaczania wody schłodzonej w 50-letnim cyklu pracy systemu binarnego	TOUGH2
Miecznik, 2017	model rozkładu temperatury, symulacja kierunku naturalnego przepływu wód, określenie ciśnienia zatłaczania wód geotermalnych	opracowanie modelu zrównoważonej eksploatacji zbiornika wód geotermalnych w centralnej części Podhala do produkcji energii cieplnej i elektrycznej	
Wachowicz-Pyzik i in., 2016a, b	modelowanie numeryczne dla obszaru zlokalizowanego w północno-zachodniej części Polski, tj. niecka szczecińska, antyklina Choszczna	ocena wpływu odległości otworów wchodzących w skład dubletu geotermalnego oraz wielkości wydatku eksploatacyjnego na wyniki obliczeń	
Tomaszewska, Miecznik, 2016	modelowanie procesu wylazania do górotworu schłodzonych wód termalnych w ich niezmodyfikowanym składzie chemicznym oraz mieszanin (wód termalnych rozcieńczonych) – skier-niewicki system geotermalny	oszacowanie amplitudy zmian parametrów skalnych i hydrodynamicznych przebiegających w strefie przydwiertowej	TOUGHREACT
Papiernik, 2014	modelowanie wglębne do celów poszukiwań w geotermii, tzw. modelowanie statyczne, tj. strukturalne i parametryczne	odzworowanie uskoków, kompleksów strukturalnych, kartowanie w skali sejsmicznej lub mniejszej, wydzielenie warstw, opracowanie modeli facyjnych, litologicznych i parametrycznych	Petrel
Sowizdał i in., 2017	przestrzenne trójwymiarowe modele strukturalno-parametryczne na obszarze niecki mogileńsko-łódzkiej	a) ocena parametrów hydrogeologicznych i geotermicznych w obrębie zbiorników kredy dolnej oraz jury dolnej; b) określenie potencjalnych miejsc dla lokalizacji nowych instalacji ciepłowniczych	
Tomaszewska, 2008	prognozy dotyczące zjawiska <i>scalingu</i> w systemie geotermalnym z wykorzystaniem metod modelowania geochemicznego	zastosowanie metod modelowania geochemicznego do oceny stanu termodynamicznego wody geotermalnej celem prognozy <i>scalingu</i> rurociągu instalacji geotermalnej; prognozę stanu nasycecia wód termalnych jury dolnej w rejonie Gostynina analizowana względem minerałów wtórnych węglanowych, siarczanowych i żelazistych	PHREEQC
Sekula i in., 2017	modelowanie hydrogeochemiczne wód termalnych eksploatowanych z trzech ujęć geotermalnych w Bańskiej Niznej (Podhale)	a) ocena różnic w zakresie rozkładu specjacji wybranych wskaźników pomiędzy wodami pochodzącymi bezpośrednio z ujęć a ich mieszaniną (przed i za wymiennikiem ciepła); b) ocena wpływu zmian parametrów eksploatacyjnych (wydajności) oraz fizycznych (pH, Eh, temperatury) na właściwości pozyskiwanych i wykorzystywanych wód termalnych	
Tomaszewska i in., 2018	wykorzystanie modelowania numerycznego do prognozowania <i>scalingu</i> membran	wykorzystano równania empiryczne i modelowanie numeryczne do przewidywania możliwości wytrącania się osadów na membranie podczas uzdatniania wody geotermalnej z wykorzystaniem procesu odwróconej osmozy	
Hajto, 2014	modelowanie rozkładu współczynnika mocy dla utworów fliszowych jednostek zewnętrznych w interwale głęb. 1000–1500 m p.p.m. w Karpatach Zachodnich	model parametrów hydrogeotermalnych oraz kalkulacji zasobów geotermalnych, w tym obliczanie rozkładu współczynnika mocy oraz wizualizacja wyników obliczeń	ZMap Plus firmy Landmark Graphics Corporation
Dendys, 2018	modelowanie w skali regionalnej struktury niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego	model krażenia wód podziemnych w cenomańskim poziomie wodonośnym, charakterystyka warunków hydrogeologicznych w skali regionalnej	Visual MODFLOW

PODSUMOWANIE

Niniejsza praca jest przykładem studium, którego celem było zwrócenie uwagi na istotę analizy warunków geologicznych i hydrogeologicznych jako podstawowego etapu realizacji projektów inwestycyjnych w geotermii. Z uwagi na powyższe, w pracy przedstawiono krótką charakterystykę badań w zakresie rozpoznania tych warunków – określonych zarówno przez przepisy prawa, jak i rekomendowane przez specjalistów w dziedzinie geotermii. Z uwagi na fakt, że obecnie najlepszymi narzędziami do integracji danych geologicznych są dedykowane programy komputerowe oraz metody modelowania matematycznego, w pracy przedstawiono przykłady prowadzonych projektów, w których cel badawczy, jakim było rozpoznanie pracy systemów geotermalnych, został osiągnięty dzięki wykorzystaniu takich narzędzi jak: TOUGH, TOUGHREACT, Petrel, PHREEQC, czy ZMap Plus.

Praca została zrealizowana w ramach prac statutowych AGH-UST, nr 11.11.140.031.

LITERATURA

- BARBACKI A., 2002 – Geotermalny basen górnej jury centralnej części zapadliska przykarpackiego i południowo-wschodniej części niecki miechowskiej – budowa geologiczna i warunki hydrogeotermalne. *Prz. Geol.*, **50**, 9: 773–782.
- BARBACKI A., 2009 – Sytuacja geologiczna Kielc w aspekcie potencjalnego występowania wód termalnych. *Zesz. Nauk. Inst. Gosp. Sur. Miner. i Ener. PAN*, **76**: 65–80.
- BUJAKOWSKI W., 2015 – Geologiczne, środowiskowe i techniczne uwarunkowania projektowania i funkcjonowania zakładów geotermalnych w Polsce. Wydaw. Inst. Gosp. Sur. Miner. i Ener. PAN, Kraków.
- BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B., MIECZNIK M., PAJĄK L., BARBACKI A., SKRZYPCZAK R., 2014a – Modelowanie warunków hydrogeologicznych w rejonie miasta Chociwel. *W: Modele matematyczne w hydrogeologii* (red. A. Krawiec i I. Jamorska): 207–212. Wydaw. Nauk. Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- BUJAKOWSKI W., PAJĄK L., BARBACKI A., SKRZYPCZAK R., MIECZNIK M., TOMASZEWSKA B., BORSUKIEWICZ-GOZDUR A., NOWAK W., OPERACZ T., FREIWALD P., KUJAWA T., STACHEL A., 2014b – Strefy perspektywiczne dla skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej przy zastosowaniu układów binarnych w Polsce. *W: Atlas wykorzystania wód termalnych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej w układach binarnych w Polsce* (red. W. Bujakowski, B. Tomaszewska): 139–283. Wydaw. JAK, Kraków.
- BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B., MIECZNIK M., 2016 – The Podhale geothermal reservoir simulation for long-term sustainable production. *Renewable Energy*, **99**: 420–430.
- DENDYS M., 2018 – Hydrodynamiczne uwarunkowania krążenia wód termalnych i leczniczych w utworach cenomanu niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego. Wydaw. Inst. Gosp. Sur. Miner. i Ener. PAN, Kraków.
- DENDYS M., TOMASZEWSKA B., PAJĄK L., 2014 – Modelowanie numeryczne jako narzędzie wspomagające badania systemów geotermalnych. *W: Modele matematyczne w hydrogeologii* (red. A. Krawiec i I. Jamorska): 199–206. Wydaw. Nauk. Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- DENDYS M., TOMASZEWSKA B., PAJĄK L., 2015 – Numerical modelling in research on geothermal systems. *Bulletin of Geography: Physical Geography Series*, **9**: 39–44.
- GÓRECKI W., SZKLARCZYK T., HAŁADUS A., UGOREC W., 1990 – Program obliczeniowy optymalizujący eksploatację wód geotermalnych otworami w układzie dipolowym. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, **2**: 23–28.
- HAJTO M., 2014 – Modelowanie parametrów hydrogeologicznych i geotermicznych oraz automatyzacja obliczeń zasobów geotermalnych w skali regionalnej na przykładzie konstrukcji współczynnika mocy. *Prz. Geol.*, **62**, 12: 852–855.
- KĘPIŃSKA B., 2013 – Wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce, 2012–2013. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, **1**: 5–24.
- MAGNUSDOTTIR L., FINSTERLE S., 2015 – An iTOUGH2 equation-of-state module for modelling supercritical conditions in geothermal reservoirs. *Geothermics*, **57**: 8–17.
- MIECZNIK M., 2017 – Model zrównoważonej eksploatacji zbiornika wód geotermalnych w centralnej części Podhala w produkcji energii ciepłej i elektrycznej. Wydaw. Inst. Gosp. Sur. Miner. i Ener. PAN, Kraków.
- MIECZNIK M., SOWIŹDŻAŁ A., TOMASZEWSKA B., PAJĄK L., 2015 – Modeling geothermal conditions in part of the Szczecin Trough – the Chociwel area. *Geologos*, **21**, 3: 187–196.
- PAPIERNIK B., 2014 – Kartowanie i modelowanie wglębne do celów poszukiwań naftowych, podziemnego składowania dwutlenku węgla i geotermii w Polsce – rezultaty, narzędzia i potencjał. *Prz. Geol.*, **62**, 12: 860–861.
- PARKHURST D.L., APPELO C.A.J., 1999 – User’s guide to PHREEQC (version 2) – a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimension transport and inverse geochemical calculations. U.S Geological Survey Water-Resources Investigation Report.
- PETREL, 2017 – <https://www.software.slb.com/products/petrel> (dostęp: 24.04.2018).
- RMŚ, 2016 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (DzU 2016 poz. 2033).
- SEKUŁA K., TOMASZEWSKA B., WĄTOR K., KMIECIK E., MIKA A., 2017 – Modelowanie hydrogeochemiczne wód termalnych eksploatowanych z trzech ujęć geotermalnych w Bańskiej Niżnej (Podhale). *Prz. Geol.*, **65**, 11: 1014–1018.
- SOWIŹDŻAŁ A., HAJTO M., PAPIERNIK B., MITAN K., HAŁAJ E., 2017 – Możliwości rozwoju sektora geotermii w centralnej Polsce w świetle pogłębionej analizy strukturalno-parametrycznej rejonu niecki mogileńsko-lódzkiej. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, **56**, 2: 17–31.
- TOMASZEWSKA B., 2008 – Prognozowanie kolmatacji instalacji geotermalnych metodą modelowania geochemicznego / The prognosis of salting phenomena in geothermal system using the geochemical modeling methods. *Gosp. Sur. Miner. – Mineral Resources Management*, **24**, 2: 399–407.
- TOMASZEWSKA B., HOŁOJUCH G., 2012 – Pozyskanie energii geotermalnej w świetle nowych uregulowań prawnych. *Biul. Państ. Inst. Geol.*, **448**, 2: 281–284.
- TOMASZEWSKA B., MIECZNIK M., 2016 – Model koncepcyjno-numeryczny procesu zatłaczania rozcieńczonych wód

- w warunkach skierniewickiego systemu geotermalnego. *Zesz. Nauk. Inst. Gosp. Sur. Miner. i Ener. PAN*, **92**: 359–372.
- TOMASZEWSKA B., PAJĄK L., BIELEC B., 2013 – Prognozowanie kolmatacji otworu chłonnego przy zatłaczaniu schłodzonych wód termalnych. *Biul. Państ. Inst. Geol.*, **456**: 615–620.
- TOMASZEWSKA B., TYSZER M., BODZEK M., BUJAKOWSKI W., 2016 – Wstępne wyniki badań w kierunku uzyskania koncentratu na bazie wybranych wód zmineralizowanych. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, **2**: 169–178.
- TOMASZEWSKA B., KMIĘCIK E., WĄTOR K., TYSZER M., 2018 – Use of numerical modelling in the prediction of membrane scaling. Reaction between antiscalants and feedwater. *Desalination*, **427**: 27–34.
- WACHOWICZ-PYZIK A., SOWIDŹAŁ A., PAJĄK L., 2016a – Wykorzystanie modelowania numerycznego do określenia wpływu konfiguracji otworów na parametry eksploatacyjne dla dubletu geotermalnego w rejonie Choszczna. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury / Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, **33**, 63: 553–564.
- WACHOWICZ-PYZIK A., SOWIDŹAŁ A., PAJĄK L., 2016b – The influence of variability of calculation grids on the results of numerical modeling of geothermal doublets – an example from the Choszczno area, north-western Poland. *Journal of Physics: Conference Series*, **745**: 1–9.
- XU T., SONNENTHAL E., SPYCHER N., PRUESS K., 2008 – TOUGHREACT User's Guide: A Simulation Program for Non-isothermal Multiphase Reactive Geochemical Transport in Variably Saturated Geological Media. V1.2.1, LBNL-55460-2008, Berkeley, California.
- ZDECHLIK R., TOMASZEWSKA B., DENDYS M., PAJĄK L., 2015 – Przegląd oprogramowania do numerycznego modelowania procesów środowiskowych w systemach geotermalnych. *Prz. Geol.*, **63**, 10: 1150–1154.

SUMMARY

The paper presents a case study aimed at pointing that the recognition and analysis of geological and hydrogeological conditions are the basis for investment projects in geothermy. The authors show brief characteristics of the research, and these conditions are outlined because of law requirements or specialist recommendations. The most important goals in

the research and project investigations have been achieved using computer programs, applications and mathematical modelling methods. The following computer programs were used in the study: TOUGH, TOUGHREACT, Petrel, PHREEQC and ZMap Plus.

