

7.7. Łowicz

7.7.1. Ogólna charakterystyka strefy

Pod względem geologicznym miasto Łowicz położone jest w granicach niecki warszawskiej. Miasto obejmuje powierzchnię 23,4 km² i liczy około 32 tys. mieszkańców. Jest stolicą powiatu ziemskiego, obejmującego 9 gmin wiejskich: Bielawy, Chąśno, Domaniewice, Kiernoż, Kocierzew Płd., Łowicz, Łyszkowice, Nieborów i Zduny (www.lowicz.eu).

Gospodarka Łowicza to głównie przemysł spożywczy („Agros Nova” oddział w Łowiczu – produkcja dżemów, soków owocowych, przetworów warzywnych; Okręgowa Spółdzielnia Mleczarska w Łowiczu – produkcja mleka i produktów mlecznych; Firma Braci Urbanek – przetwórstwo warzyw i owoców; Spółdzielnia Ogrodniczo-Pszczelarska „Pszczółka”), przemysł włókienniczy, metalowy i budowlany.

Zapotrzebowanie na moc cieplną na cele grzewcze (centralne ogrzewanie, c.o.) i przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) na terenie miasta Łowicza w 97,01% zaspokajane jest przez Zakład Energetyki Ciepłej w Łowiczu Sp. z o.o.; 2,99% to indywidualne instalacje grzewcze oparte na piecach olejowych oraz gazowych (ankieta – Zakład Energetyki Ciepłej w Łowiczu Sp. z o.o. oraz Łowicka Spółdzielnia Mieszkaniowa).

W przypadku indywidualnych instalacji grzewczych charakterystyka źródeł ciepła przedstawia się następująco:

- ◆ B4 – instalacja na potrzeby jednego bloku mieszkaniowego o mocy źródła 305 kW, moc zamówiona: c.o. – 0,1023 MW, c.w.u. – 0,0293 MW, paliwo: olej napędowy grzewczy,
- ◆ A43 – instalacja na potrzeby kilku bloków mieszkaniowych o mocy źródła 450 kW, moc zamówiona: c.o. – 0,4282 MW, c.w.u. – 0,0000 MW, paliwo: olej napędowy grzewczy/gaz wysokometanowy,
- ◆ K10 – instalacja na potrzeby jednego bloku mieszkaniowego i kilku domów jednorodzinnych o mocy źródła 340 kW, moc zamówiona: c.o. – 0,2173 MW, c.w.u. – 0,0675 MW, paliwo: olej napędowy grzewczy/gaz wysokometanowy.

Dla systemu scentralizowanego (Zakład Energetyki Ciepłej w Łowiczu Sp. z o.o. – 51% udziałów WFOŚiGW w Łodzi, a 49% miasto Łowicz) charakterystyka źródeł ciepła przedstawia się następująco:

- ◆ S1 – ciepłownia o mocy zainstalowanej 26,420 MW, zasilająca sieć na terenie miasta Łowicza,
- ◆ Z10 – kotłownia lokalna o mocy zainstalowanej 4,000 MW, zasilająca sieć na terenie miasta Łowicza (tzw. Zatorze – 10 bloków mieszkalnych),
- ◆ T1 – kotłownia szczytowa o mocy zainstalowanej 1,345 MW, dodatkowe zasilanie budynków na osiedlu Tkaczew,
- ◆ R1 – kotłownia szczytowa o mocy zainstalowanej 1,075 MW, dodatkowe zasilanie budynków na osiedlu Reymonta,
- ◆ K6 – kotłownia szczytowa o mocy zainstalowanej 2,475 MW, dodatkowe zasilanie budynku zlokalizowanego przy ul. Kaliskiej,
- ◆ R8 – kotłownia szczytowa o mocy zainstalowanej 0,170 MW, dodatkowe zasilanie kamienicy zlokalizowanej na Starym Rynku,
- ◆ A43 – kotłownia lokalna o mocy zainstalowanej 0,450 MW, zasilająca 6 bloków mieszkalnych zlokalizowanych przy ul. Armii Krajowej,

- ◆ B4 – kotłownia lokalna o mocy zainstalowanej 0,305 MW na potrzeby jednego bloku mieszkalnego zlokalizowanego przy ul. Bawełnianej,
- ◆ K10 – kotłownia lokalna o mocy zainstalowanej 0,340 MW na potrzeby jednego bloku mieszkalnego zlokalizowanego przy ul. Kwiatowej.

Stosowane paliwo:

- ◆ S1 – miał węglowy sortymentu Miał IIA,
- ◆ Z10 – miał węglowy sortymentu Miał IIA,
- ◆ A43 – gaz wysokometanowy/olej napędowy grzewczy,
- ◆ B4 – olej napędowy grzewczy,
- ◆ K6 – olej napędowy grzewczy,
- ◆ K10 – gaz wysokometanowy/olej napędowy grzewczy,
- ◆ R1 – olej napędowy grzewczy,
- ◆ R8 – olej napędowy grzewczy,
- ◆ T1 – olej napędowy grzewczy.

Produkcja ciepła (rocznie) za rok 2012 (w GJ):

- ◆ S1 – 228 011,00
- ◆ Z10 – 15 035,00
- ◆ A43 – 3 470,00
- ◆ B4 – 1 449,00
- ◆ K6 – 0,00
- ◆ K10 – 1 623,00
- ◆ R1 – 0,00
- ◆ R8 – 0,00
- ◆ T1 – 0,00

Ilość spalanego opału za rok 2012:

- ◆ S1 – 12 319,40 Mg (miał węglowy)
- ◆ Z10 – 971,00 Mg (miał węglowy)
- ◆ A43 – 111 571,00 m³ (gaz wysokometanowy)
- ◆ B4 – 45 805,00 l (olej napędowy grzewczy)
- ◆ K6 – 0,00
- ◆ K10 – 58 898,00 m³ (gaz wysokometanowy)
- ◆ R1 – 0,00
- ◆ R8 – 0,00
- ◆ T1 – 0,00

Sieć przesyłowa to magistrala rozdzielcza, przyłączeniowa o łącznej długość 14,6 km; ilość eksploatowanych węzłów cieplnych wynosi 216 szt. (w tym jednofunkcyjne wymiennikowe: 130 szt. oraz dwufunkcyjne wymiennikowe: 86 szt.), parametry pracy 110/70°C. Technologia wykonania sieci oparta jest na rurociągach preizolowanych ułożonych w gruncie (długość 7,4 km), sieci napowietrznej izolowanej watą mineralną z osłoną z blachy, prowadzoną na podporach (1 km) oraz na rurociągach w kanałach betonowych/ceglanych izolowanych watą mineralną (6,2 km).

Podział odbiorców ciepła scentralizowanego w roku 2012 przedstawiał się następująco:

- ◆ budownictwo mieszkaniowe około 159 obiektów: 68,65%,
- ◆ odbiorcy komunalni/urzędy i instytucje: 22,83%,

- ♦ przemysł: 2,13%,
- ♦ usługi / rzemiosło: 1,14%,
- ♦ obiekty wojskowe: 2,50%,
- ♦ rolnictwo: 0,00%,
- ♦ inni: 2,75%.

Stan techniczny obiektów:

- ♦ ocieplone – 82,
- ♦ częściowo ocieplone – 41,
- ♦ wyposażone w zawory termostatyczne – 127,
- ♦ z instalacją 2-rurową z grzejnikami żeliwnymi – 121.

7.7.2. Koncepcyjny model geologiczny i parametry hydrogeotermalne

Budowę geologiczną strefy Łowicza przedstawiono na podstawie informacji zawartych w rozdziale 4 i 5 oraz prac publikowanych (Górecki (red.) 2006, Bujakowski (red.), 2009) i niepublikowanych zawartych w dokumentacjach wynikowych otworów wykonanych w analizowanym rejonie.

Strefa Łowicza usytuowana jest w obrębie niecki warszawskiej, stanowiącej fragment niecki brzeżnej (synklinorium brzeżnego), jednej z głównych jednostek strukturalnych Polski. Niecka warszawska obejmuje obszar na styku platformy prekambryjskiej (płyty bałtyckiej) i platformy paleozoicznej (wyznaczonej zasięgiem waryscyjsko-alpejskich fałdowań Europy zachodniej), które rozdziela głęboki rozłam – strefa Teisseyra-Tornquista (T-T). Aktywność strefy T-T miała istotny wpływ na rozwój permsko-mezozoicznej sedymentacji (Pożaryski 1969; Dadlez 2003).

W strefie Łowicza zlokalizowany jest otwór Kompina 2 (zał. 7.7.1), a na północ od niego otwory Różyce-1 i Różyce IG-2. Wykonano tutaj szereg profilowań sejsmicznych w tym profilowań 3D (por. rozdział 5.5). Dzięki informacjom z prac geologiczno-wiertniczych i geofizycznych dokładnie rozpoznano budowę geologiczną analizowanej strefy.

Elementy strukturalnego modelu geologicznego strefy zostały przedstawione na załącznikach 7.7.1 i 7.7.2.

Podłoże analizowanego obszaru niecki brzeżnej na przełomie syluru i dewonu było terenem spływającego się zbiornika morskiego, który w końcu dewonu dolnego uległ wynurzeniu i podlegał erozji (Żelichowski, 1983). Ponowna sedymentacja miała miejsce dopiero w karbonie górnym (dane z otworów: Kompina 2, Różyce IG-2, Mszczonów IG-2, Nadarzyn IG-1, Maciejowice IG-1 i Izdebno IG-1) (Nocoń 1984; Marek 1988; Bujakowski (red.) 2009).

Strukturalno-tektoniczne założenia niecki brzeżnej powstały w efekcie ruchów orogenezy waryscyjskiej, kiedy na skutek nacisku płyty wschodnioeuropejskiej na pofałdowany obszar Europy zachodniej i południowej, w triasie nastąpiło pogrążenie podłoża na przedpolu płyty. Została wtedy utworzona depresja oddzielona od płyty licznymi dyslokacjami. Depresja szybko zapełniała się osadami, a stały nacisk płyty powodował fałdowanie osadów o dużej miąższości, doprowadzając do powstania antyklinorium środkowopolskiego. Wypiętrzanie antyklinorium było jednoczesne ze stałym pogrążaniem podłoża depresji i rozwojem tektoniki salinarnej. Nasilenie subsydencji występowało w późnym permie, późnej jurze, a szczególnie intensywne było w młodszej kredzie.

Niecka brzeżna powstała jako basen sedymentacyjny między Górami Świętokrzyskimi a płytą wschodnioeuropejską. Obszar przedpola tej płyty, za wyjątkiem niecki brzeżnej, został ostatecznie

wydzwignięty i sfałdowany podczas ruchów laramijskich. W tym czasie (mastrycht, dan i paleocen) w niecce brzeżnej powstał zbiornik sedymentacyjny, którego osady częściowo wkroczyły na płytę wschodnioeuropejską.

Z końcem mezozoiku ruchy tektoniczne fazy laramijskiej spowodowały całkowite odizolowanie niecki brzeżnej od innych jednostek mezozoicznych.

W tektonice permsko-mezozoicznej osadów niecki brzeżnej wyróżniono kilka subkompleksów strukturalnych (Żelichowski 1983): dolnopermski, cechsztyński, pstrego piaskowca, karniko-noryko-retykowy, retycki, liasowo-dolnobatoński, górnobatońsko-tytoński i kredowo-paleoceński. Oddzielają je niezgodności kątowe, hiatusy lub różnice w zasięgach sąsiadujących subkompleksów.

Tektonika kompleksu permsko-mezozoicznego stanowi wypadkową planów tektonicznych permu i triasu, powstałych w SE obramowaniu obniżenia środkowopolskiego, oraz tektoniki utworów młodszych. Wskazuje na to zróżnicowany zasięg osadów poszczególnych pięter i stopień zaburzeń tektonicznych. W młodszych subkompleksach, gdzie dominowały ruchy pionowe, tektonika jest uboższa. Natomiast utwory permu i mezozoiku, na ogół słabo sfałdowane, miejscami wykazują znaczne zaburzenia tektoniczne, występujące w trzech generalnych typach jako:

- ♦ ciała solne o różnych kształtach; związane głównie z cyklotemem PZ2 (soczewki, poduszki, diapiry i wysady),
- ♦ struktury fałdowe; głównie fleksury i krótkie brachyantykliny – lokalne podniesienia o niesolnej genezie,
- ♦ struktury dysjunktywne – różnego rodzaju uskoki, normalne i odwrócone, przesuwcze, pionowe i nachylone, kontynuujące się z podłoża w pokrywę permsko-mezozoiczną i uskoki potomne powstałe w pokrywie w związku z przemieszczaniem się soli lub nierównomiernym fałdowaniem zróżnicowanych litologicznie osadów mezozoicznych.

Strefa T-T, występująca częściowo w obrębie niecki brzeżnej, miała istotny wpływ na rozwój sedymentacji permsko-mezozoicznej poprzez tworzenie się uskoków o dużych amplitudach, wzdłuż których podłoże krystaliczne obniżało się ku zachodowi (Stupnicka 1997). O długotrwałej synsedymentacyjnej aktywności uskoków tej strefy świadczy znaczny wzrost miąższości skał osadowych (ze wschodu na zachód) i zwiększanie się rzutów tych uskoków – od skał młodszych do starszych, jako wynik długotrwałych przemieszczeń wzdłuż poszczególnych dyslokacji. Ponadto, większość uskoków w podłożu podpermskim, które miały wpływ na zmiany miąższości osadów permu i mezozoiku oraz na ich zróżnicowanie facjalne, miała kierunek NW-SE, tj. równoległy do strefy T-T (Stupnicka 1997). Aktywność uskoków zależała od stopnia tensji.

Po fazach subsydencji basen środkowopolski objęły ruchy fazy laramijskiej. Był to okres kompresji o kierunku NE-SW, która spowodowała, że uskoki normalne (powstałe w czasie tensji) uległy przebudowie i na ich miejscu utworzyły się liczne uskoki odwrócone o kierunku NW-SE, a w pokrywie osadowej nad nimi powstały antykliny lub brachyantykliny. Ponadto powstały uskoki przesuwcze, o kierunku zbliżonym do W-E, manifestujące się w pokrywie osadowej w postaci kulisowo rozmieszczonych antyklin.

Niecka warszawska obejmuje środkową, najgłębszą część niecki brzeżnej. Od północy graniczy z niecką pomorską (wzdłuż równoleżnikowego uskoku Tuchola–Brodnica), a od południa z niecką lubelską (wzdłuż uskoku Nowe Miasto–Grójec). Północno-wschodnią granicę niecki warszawskiej stanowią liczne uskoki i rowy między Garwolinem a Mławą, natomiast południowo-zachodni zasięg niecki wyznacza podkenozoiczna linia intersekcyjna powierzchni spągowej skał górnokredowych.

Budowa niecki warszawskiej jest asymetryczna, z bardzo łagodnym skrzydłem wschodnim (gdzie osady leżą prawie poziomo) i wyraźnie stromym skrzydłem SW (nachylenie warstw wynosi tam 5–10°), gdzie zlokalizowany jest otwór Kompina 2 (zał. 7.7.1).

W utworach kredy zaznacza się depresja o kierunku osi: Lipno–Warka–Wyszogród, dzieląca niekę warszawską na dwie części: północno-wschodnią i południowo-zachodnią, gdzie położona jest strefa Łowicza. Utwory kredy zachowują w niej wyraźny charakter układu synklinalnego, w odróżnieniu od starszych powierzchni strukturalnych, które wykazują jej stopniowy zanik. O ile układ strukturalny w stropie osadów jury górnej nawiązuje do obrazu w spągu kredy, o tyle w spągu jury zbliżony jest do południkowego, tj. do kierunku wyraźnie widocznego w spągu utworów permu.

W zachodniej części niecki warszawskiej znane są liczne przejawy tektoniki salinarnej, słabo rozwinięte w innych częściach niecki brzeżnej (Stupnicka 1997). Poduszki solne występują tutaj w jądrach większości antyklin. W warstwach kredy ich amplitudy wahają się od 100 do 300 m, a w głębi pokrywy mezozoicznej zwiększają się.

W strefie Łowicza większość dyslokacji wgłębnych ma kierunki NW-SE (zał. 7.7.1 i 7.7.2), tj. równoległe do osi niecki oraz strefy T-T. Liczne są też głębokie uskoki równoleżnikowe, które będąc aktywne synsedymencie wpływały na zmiany miąższości skał mezozoicznych.

Po ruchach laramijskich i po okresie erozji, niecka warszawska stała się ponownie obszarem akumulacji. W paleogenie powstała tutaj rozległa depresja z centrum w okolicy Warszawy, sięgająca poza granice niecki warszawskiej i obejmująca także inne tereny środkowej Polski, wypełniona detrytycznymi osadami powstałymi od eocenu po pliocen.

Potencjalną serię zbiornikową dla wykorzystania w systemach binarnych stanowią utwory triasowe pstrego piaskowca. Są to osady iłowcowo-mułowcowe, piaskowce i podrzędnie wapienie o łącznej miąższości od 515 m w centrum strefy Łowicza (otwór Kompina 2), wzrastającej w kierunku północnym – już poza tą strefą – do 569 m (otwór Różyce IG-2).

Strop pstrego piaskowca izoluje kompleks osadów węglanowych wapienia muszlowego z wkładkami piaskowców, iłowców i margli o miąższości ponad 130 m w części na północ od strefy Łowicza (otwór Różyce IG-2; Marek 1988) i około 170 m w części centralnej (otwór Kompina 2; Nocoń 1984). Wyżejleżące utwory kajpru o miąższości od 140 do 900 m, to iłowce i mułowce z wkładkami piaskowców i gipsów. Retyk stanowi seria pstra, ilasto-mułowcowa, z wkładkami piaszczysto-zlepieńcowatymi o łącznej miąższości od 341 do 677,5 m. Osady jury mają tutaj miąższość od 300 do 1400 m, kredy od około 500 do około 1200 m, a paleogenu, neogenu i czwartorzędu łącznie od 100 do 200 m.

Spąg serii zbiornikowej pstrego piaskowca stanowią mułowce i iłowce cechsztynu o miąższości wzrastającej w strefie Łowicza w kierunku wschodnim do 400–500 m. Pod nimi występują utwory cyklotemu PZ4 (sól najmłodsza) nawiercone m.in. w otworze Kompina 2 na głębokości 4485 m p.p.t. Podścielają je piaskowce i mułowce o miąższości od paru metrów (otwór Nadarzyn IG-1 – 2 m, otwór Sochaczew-2 – 6,5 m) do 60 m (otwór Mszczonów IG-2) oraz piaskowce i mułowce karbonu górnego o miąższości od blisko 400 m (otwór Nadarzyn IG-1 – 371,5 m) do ponad 700 m (otwór Mszczonów IG-2 – 757,0 m) (Bujakowski (red.) 2009).

W obrębie niecki brzeżnej w otworach: Nadarzyn IG-1, Mszczonów IG-2 i Korabiewice PIG-1 stwierdzono występowanie utworów syluru górnego wykształconych w postaci łupków i mułowców o miąższości powyżej 188 m. Wyniki badań grawimetrycznych, magnetometrycznych i głębokich sondowań refrakcyjnych wskazują, że głębokie podłoże skalne stanowią tutaj utwory platformy prekambryjskiej (Żelichowski 1983).

Zarówno spąg dolnotriasowej serii złożowej (utwory cechsztyńskie), jak i jej strop (utwory wapienia muszlowego), są niemal nieprzepuszczalne, tj. w kierunku X i Y przepuszczalność wynosi 10^{-9} mD, a w kierunku Z – 10^{-10} mD, przy porowatości efektywnej około 1% (Nocoń 1984).

Parametry hydrogeotermalne serii złożowej podano na podstawie danych archiwalnych i zawartych w rozdz. 4.2.2, publikowanych (Barbacki i in. 2009) oraz dokumentacji wynikowych ww. otworów.

Strop utworów pstrego piaskowca występuje w strefie Łowicza na głębokości od –3550 m n.p.m. do –4500 m n.p.m. (zał. 7.7.1). Miąższość serii złożowej zawiera się w interwale od 500 do 700 m. Temperatura w stropie utworów pstrego piaskowca w strefie Łowicza wynosi od 100 do 120°C. W otworze Kompina 2 podczas opróbowania utworów tej serii w przedziale głębokości 4130–4165 m p.p.t. temperatura płynu złożowego wynosiła 107°C, przy dopływie 0,07 m³/h, natomiast z głęb. 4110–4115 m p.p.t. nastąpił samowypływ solanki, a ciśnienie na głowicy osiągnęło wartość 14,2 MPa. Gradient temperatury oszacowano tutaj na około 27°C/km, natomiast średnia gęstość strumienia ciepła – na 60 mW/m². Te przesłanki oraz wyniki szczegółowego rozpoznania geofizycznego (sejs- miki 3D oraz magnetotelluryki, por. rozdział 5.5), zdecydowały o wytypowaniu w analizowanej strefie zbiornika dolnotriasowego – pstrego piaskowca, jako struktury perspektywicznej dla pozys- kania wód termalnych, o temperaturze przekraczającej 100°C, celem wykorzystania w systemach binarnych.

Mineralizacja wody w utworach pstrego piaskowca w analizowanej strefie jest wysoka i wynosi od 200 do 350 g/dm³. W otworze Kompina 2 stwierdzono solanki o zasoleniu dochodzącym do 337,1 g/dm³.

Parametry zbiornikowe piaskowców dolnotriasowych podano poniżej na podstawie opracowań Noconia (1984), Bujakowskiego i in. (2007) oraz Bujakowskiego (red.) (2009).

Dane uzyskane w otworze Kompina 2 wskazują, że utwory pstrego piaskowca odznaczają się niską porowatością efektywną – od 0,85 do 5,29% (Nocoń 1984). Porowatość efektywna występujących tu szczelin szacowana jest na 6%. Szacuje się, że przepuszczalność wynosi w nich około 100 mD w kierunku X i Y oraz około 10 mD w kierunku Z.

Przepuszczalność pozioma w utworach pstrego piaskowca zawiera się w zakresie od 0 do 0,074 mD, a pionowa od 0 do 0,13 mD. Nadległe utwory wapienia muszlowego i podścielające utwory cechsztynu są również niemal nieprzepuszczalne (Nocoń 1984). Wobec powyższego ruch solanki, podczas potencjalnej eksploatacji, odbywać się może głównie strefami szczelinowymi, których lokalizacja pokrywa się przypuszczalnie z lokalizacją głównych uskoków zinterpretowanych na podstawie badań sejsmicznych oraz informacji geologicznej zawartej w dokumentacji otworu Kompina 2 (Nocoń 1984). Zakładana obecność stref przepuszczalnych w obrębie pstrego piaskowca jest zgodna z obserwacjami prowadzonymi w trakcie pomiarów na otworze Kompina 2. Zaobserwowano tam samowypływ solanki pochodzący z utworów pstrego piaskowca, charakteryzujący się wysokim nadciśnieniem (ciśnienie statyczne na głowicy 140 atm tj. ok. 14,2 MPa) z głębokości 4110–4115 m p.p.t. (Bujakowski i in. 2007; 2010). Powyżej kompleksu pstrego piaskowca, od wapienia muszlowego począwszy, ciśnienia solanki są zbliżone do ciśnień hydrostatycznych. Obecność wysokiego nadciśnienia w utworach pstrego piaskowca, sąsiadującego ze strefą ciśnień normalnych w utworach młodszych, sugeruje hydrauliczną szczelność zbiornika. Utwory cechsztyńskie nie są zawodnione i prawdopodobnie uplastycznione sole są główną przyczyną znacznych wartości nadciśnień w strefach szczelinowych pstrego piaskowca. Rozkład szczelin wgłębnych tego rejonu

można prześledzić na podstawie wyników badań sejsmicznych przeprowadzonych w ramach projektów badawczych finansowanych ze środków Unii Europejskiej w ramach 7 Programu Ramowego i Ministerstwa Środowiska przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (Bu- jakowski (red.) 2009).

Przedstawiony koncepcyjny model geologiczny strefy Łowicza, obejmujący mapę ukształtowania stropu pstrego piaskowca, przekroje geologiczne z oszacowanymi miąższościami utworów, rozpoznanymi parametrami hydrogeotermalnymi oraz dane litostratygraficzne stanowiły podstawę dla opracowania numerycznego modelu przestrzennego rozkładu temperatur i ciśnień w analizowanej strefie.

7.7.3. Model numeryczny termiki górotworu

Modelowaniem numerycznym objęto obszar 10 × 10 km począwszy od głębokości –3000 m n.p.m. do głębokości –6000 m n.p.m., zlokalizowany w strefie Łowicza. W centrum obszaru modelowania znajduje się odwiert Kompina 2, którego lokalizację na tle strukturalnej granicy sejsmicznej stropu środkowego pstrego piaskowca i stropu cechsztynu przedstawia załącznik 7.7.1. Model składa się z 20 warstw, natomiast każda warstwa składa się z 1457 elementów o zróżnicowanym wymiarze powierzchniowym (od 20 × 20 m do 667 × 667 m), wynikającym ze złożonej budowy geologicznej obszaru badań. Miąższość warstw wynosi 100 m, z wyjątkiem warstw leżących w stropie i spągu modelu, których miąższość wynosi 200 m. Łączna liczba elementów obliczeniowych tworzących model stanu stacjonarnego wynosi 29140 (zał. 7.7.3 – rys.1).

Według dostępnych danych źródłowych (por. rozdział 5.5, 7.7.2) ocenia się, że utwory pstrego piaskowca i zalegające pod nimi utwory cechsztynu oraz nadległe utwory wapienia muszlowego są praktycznie nieprzepuszczalne (Nocoń 1984).

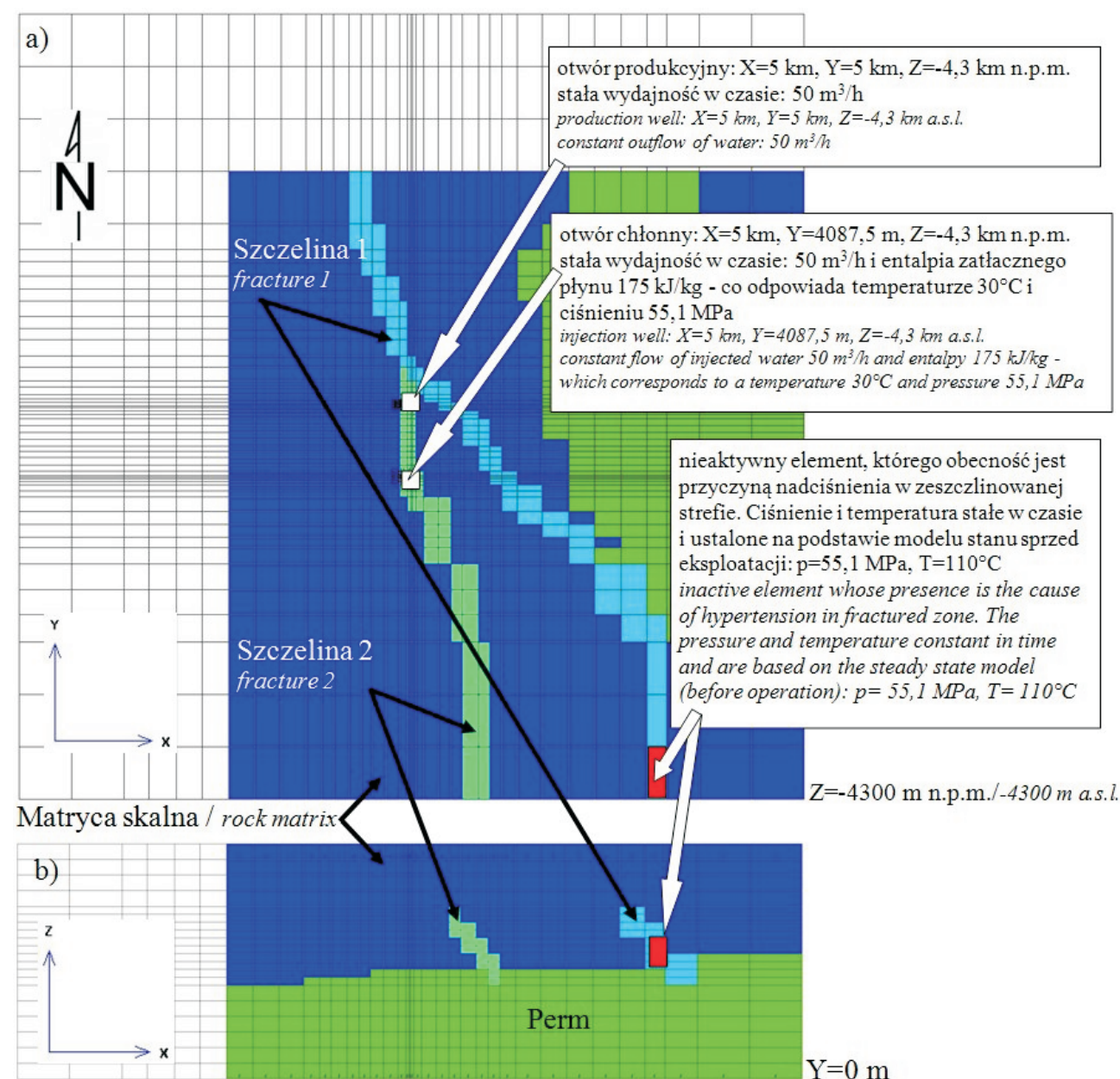
Na załączniku 7.7.3 – rys. 1 przedstawiono trójwymiarowy blok strefy objętej modelowaniem numerycznym wraz z wprowadzonymi strefami uskoków, które – jak założono – w obrębie utworów pstrego piaskowca tworzą szczelinowe zbiorniki solanki geotermalnej o wysokiej temperaturze. Rysunek ten przedstawia również sposób wpisania modelowanego obszaru w lokalny układ współrzędnych kartezjańskich wykorzystywany na etapie modelowania numerycznego. Na podstawie danych sejsmicznych (Bujakowski (red.) 2009) przyjęto kąt nachylenia głównych powierzchni uskokowych w stosunku do powierzchni poziomej na około 60°. Na podstawie wartości występujących ciśnień założono, że strefy uskokowe są przepuszczalne głównie w utworach pstrego piaskowca. Utwory pstrego piaskowca poza strefami zeszcelinowanymi, o miąższości rzędu 500–700 m oraz utwory wapienia muszlowego (miąższość do 170 m) nazwano ogólnie matrycą skalną, której materiał przyjęto jako praktycznie nieprzepuszczalny. Solne utwory permu uznano jako nieprzepuszczalne o współczynniku przewodzenia ciepła rzędu 4,5 W/(m·K) (na podstawie Plewa 1994). Właściwości fizyczne materiałów tworzących modelowany obszar zestawiono w tabeli 7.7.1. Porowatość i gęstość utworów zostały przyjęte na podstawie *Dokumentacji wynikowej otworu Kompina 2 i Różyce-1* (Nocoń 1984). Porowatość w analizowanej strefie zmieniała się w zakresie od 0,85 do 5,29%, a gęstość od 2610 kg/m³ do 2690 kg/m³. Współczynnik przewodzenia ciepła przyjęto na podstawie danych literaturowych (Plewa 1994) w zakresie charakterystycznym dla piaskowców i mułowców. Wartość ciepła właściwego założono na stałym poziomie w całym analizowanym obszarze jako równe 1000 J/(kg K).

Na rysunku 7.7.3.1 przedstawiono sposób dyskretyzacji stref zeszcelinowanych w strefie pstrego piaskowca. W strefie szczelin ulokowano tzw. element nieaktywny, charakteryzujący się tym, że w trakcie procesu modelowania w elemencie tym ustalona jest niezmienna wartość ciśnienia i temperatury. Wartości ciśnienia i temperatury ustalone w tym elemencie określono na etapie modelowania wstępnego – w procesie tzw. określania stanu ustalonego, który ma miejsce w czasie poprzedzającym eksploatację. Po ustaleniu ciśnienia i temperatury w elemencie nieaktywnym ich wartości zostały zablokowane (warunek brzegowy I rodzaju (Dirichleta)). Wartość ciśnienia hydrostatycznego została powiększona o ciśnienie geokompresji (według danych otworowych z otworu Kompina 2 o około 12 MPa), natomiast wartości temperatury nie korygowano. Zadaniem tego elementu jest symulacja strefy geokompresji powodującej wysokie nadciśnienie w strefach zeszcelinowanych ulokowanych w pстрыm piaskowcu. Wartość temperatury ustalona w tym elemencie wynikała z gradientu geotermicznego i wynosiła 110°C. Dane pomiarowe jednoznacznie stwierdzają występowanie solanek o zróżnicowanej mineralizacji, dochodzącej do 337,1 g/dm³. Ponadto, warunek brzegowy I rodzaju ($T(t) = \text{const.}$, $p(t) = \text{const.}$) przyjęto w stropowej oraz spągowej warstwie modelu, efektem czego jest otrzymany rozkład temperatury (rys. 7.7.3.2, zał. 7.7.3 – rys. 2) i ciśnienia w modelu. Warunki te ustalano na podstawie dostępnych danych pochodzących z pomiarów wykonanych w otworze Kompina 2 i zestawionych w literaturze (Bujakowski (red.) 2009).

W tabeli 7.7.3.1 zestawiono parametry zbiornikowe przyjęte w modelowanej przestrzeni. Kalibracja modelu numerycznego termiki górotworu polegała na wykonaniu szeregu symulacji, mających na celu odtworzenie warunków termicznych w analizowanym sąsiedztwie miasta Łowicz. Na rysunku 7.7.3.2 przedstawiono krzywą profilowania termicznego dla otworu Kompina 2 i krzywą ekstrapolowaną przy wykorzystaniu opisanego modelu numerycznego. Na załączniku 7.7.3 – rys. 2 przedstawiono rozkład temperatury na powierzchni przekroju AA’ modelowanego obszaru.

Tabela 7.7.3.1. Struktury geologiczne tworzące model i ich parametry.
Table 7.7.3.1. Geological structures constituting the model and their geological parameters.

Nr	Formacja/ Struktura	Opis	Oznaczenie w modelu	Porowatość efektywna [%]	Gęstość [kg/m ³]	Przepuszczalność [mD]		Ciepło właściwe [J/(kg·K)]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/(m·K)]
						XY	Z		
1	Matryca skalna	mułowce, iłowce, piaskowce oraz wapienie i dolomity		1	2650	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	1000	3
2	T1	Szczelina 1 (f1 na zał. 7.7.3 – rys. 1) szczelina przewodząca w pстрыm piaskowcu)		6	2650	100	10	1000	3
3	T1	Szczelina 2 (f2 na zał. 7.7.3 – rys. 1) szczelina przewodząca w pстрыm piaskowcu)		6	2650	100	10	1000	3
4	Perm	cechsztyń: mułowce, anhidytry, sól kamienna		0,01	2650	0	0	1000	4,5

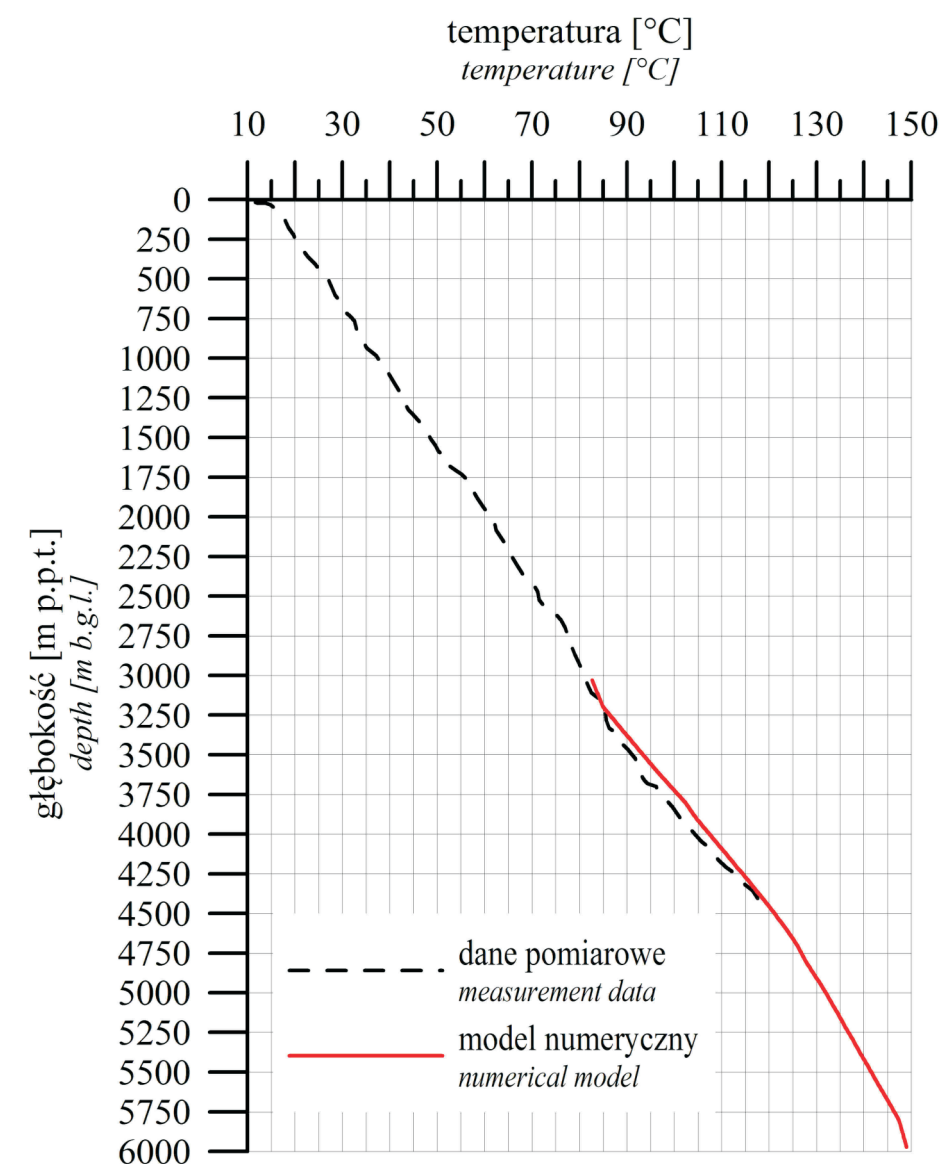


Rys. 7.7.3.1. Schemat dyskretyzacji strefy uskoków w stropie warstwy pstrego piaskowca:
a) na głębokości -4250 m n.p.m., b) na płaszczyźnie X-Y dla Y = 0 m. Widok 2D wraz ze sposobem lokacji
w lokalnym kartezjańskim układzie współrzędnych X,Y,Z

Fig. 7.7.3.1. Diagram of the discretization of the fault area in the roof of the Buntsandstein layer at:
a) the depth of -4250 m amsl, b) on the X-Y plane for Y = 0 m. 2D view presenting the location of the
geological structures and holes in the local Cartesian coordinate system X, Y, Z

7.7.4. Program technologiczny zastosowania systemu binarnego

Zgodnie z informacją zawartą w rozdziale 7.7.2, w centrum analizowanej strefy znajduje się zlikwidowany odwiert Kompina 2, dla którego przeprowadzono analizę możliwości rekonstrukcji i udostępnienia dla eksploatacji systemu geotermalnego.



Rys. 7.7.3.2. Krzywa profilowania termicznego otworu Kompina 2, dane pomiarowe (na podstawie: Bujakowski i in. 2007) oraz dane otrzymane w wyniku modelowania numerycznego

Fig. 7.7.3.2. Thermal profile of the Kompina 2 well, measured data (based on: Bujakowski et al. 2007) as well as the data obtained through numerical modelling

7.7.4.1. Analiza możliwości rekonstrukcji starych otworów wiertniczych

Otwór Kompina 2

Otwór dowiercony został do głębokości 4570 m p.p.t. Dokumentacja wynikowa otworu poszukiwawczego Kompina 2 opracowana została w 1984 r. przez Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo Zakład Poszukiwań Nafty i Gazu – Wołomin. Otwór Kompina 2 zlokalizowany został w miejscowości Strzelców (gmina Łowicz). Współrzędne geograficzne otworu wynoszą (wg dokumentacji):

- ♦ szerokość geograficzna: 52°08'19",
- ♦ długość geograficzna: 20°00'05",
- ♦ wysokość nad poziom morza: 90,0 m.

Wiercenie rozpoczęto w dniu 11.03.1979 r., a zakończono 5.11.1980 r. Otwór został zlikwidowany w dniu 5.07.1981 r.

Otwór poszukiwawczy Kompina 2 wykonano w celu rozpoznania wykształcenia litologiczno-fajalnego utworów mezozoiku oraz zbadania gazo- i roponośności utworów triasu i jury w pułapkach strukturalnych oraz przypuszczalnych pułapkach litologicznych i litologiczno-strukturalnych.

Uproszczony profil litostratygraficzny (m p.p.t.):

0,0–57,0 m – czwartorzęd – gliny,
57,0–167,5 m – paleogen i neogen,
167,5–1055,0 m – kreda górna – margle, wapienie,
1055,0–1313,0 m – kreda dolna – iły, iłowce, piaskowce,
1313,0–2080,0 m – jura górna – iłowce, wapienie, margle,
2080,0–2682,5 m – jura środkowa – piaskowce, wapienie, mułowce,
2682,5–3084,0 m – jura dolna – piaskowce, mułowce,
3084,0–3801,0 m – trias górny – mułowce, iłowce, piaskowce,
3801,0–3970,0 m – trias środkowy – mułowce, dolomity, wapienie,
3970,0–4485,0 m – trias dolny – mułowce, iłowce, piaskowce,
4485,0–4570,0 m – perm – mułowce, anhydryt, sól kamienna.

Zarurzenie otworu (m p.p.t.):

0–174 m – rury 20” cementowane do wierzchu,
0–1405 m – rury 13 3/8” cementowane do wierzchu,
0–3881 m – rury 9 5/8” cementowane do wierzchu,
3746–4300 m – rury 6 5/8” cementowane na zakładkę w rurach 9 5/8”.

Badania wykonane w otworze

W trakcie wiercenia wykonano trzy próby złożowe:

- ♦ **1640,5–1664 m p.p.t.** – jura górna, wapienie. W wyniku opróbowania rurowym próbnikiem złoża otrzymano przyptyw płynu złożowego w ilości około 3 m³ w czasie 8 minut. Ciśnienie złożowe ustabilizowane do wartości 173,7 atm. Otrzymany płyn był solanką, około 4,7%.
- ♦ **2495,2–2511 m p.p.t.** – jura środkowa, piaskowce. W wyniku opróbowania rurowym próbnikiem złoża otrzymano przyptyw filtratu z płuczki w ilości 879,8 l o natężeniu przyptywu 0,02 m³/min. Ciśnienie złożowe wynosiło 252,2 atm.
- ♦ **2665,5–2681 m p.p.t.** – jura dolna/środkowa, piaskowce. W wyniku opróbowania rurowym próbnikiem złoża otrzymano przyptyw płynu złożowego w ilości 11,364 m³ w czasie 17 min. Natężeniu przyptywu wynosiło 0,668 m³/min. Ciśnienie złożowe wynosiło 272 atm. Otrzymany płyn był solanką około 11,4%.

Po zakończeniu wiercenia przeprowadzono jedenaście prób złożowych:

- ♦ **4244,5–4257 m p.p.t.** – trias dolny, piaskowce. Wykonano perforację rur 6 5/8” i w wyniku opróbowania nie otrzymano przyptywu ze złoża.
- ♦ **4155–4165 m p.p.t. i 4130–4141 m p.p.t.** – trias dolny, piaskowce. Wykonano perforację rur 6 5/8” i w wyniku opróbowania nie otrzymano przyptywu ze złoża – opróbowanie niejednoznaczne. Po ponownej perforacji interwałów 4155–4165 m p.p.t. oraz 4130–4145 m p.p.t. w wyniku opróbowania otrzymano przyptyw płynu złożowego rozcieńczonego filtratem płuczki w ilości 2,075 m³ w czasie 1770 min. Otrzymany płyn złożowy minimalnie zgazowany gazem

palnym posiadał temperaturę 107°C. Natężenie przyptywu wynosiło 0,07 m³/h. Zanotowano wzrost ciśnienia do wartości 358,2 atm.

- ♦ **4110–4115 m p.p.t.** – trias dolny, piaskowce, mułowce. Wykonano perforację rur 6 5/8” i w wyniku opróbowania otrzymano samowypływ minimalnie zgazowanej solanki.
- ♦ **4000–4022 m p.p.t.** – trias dolny, piaskowce. Wykonano perforację rur 6 5/8” i w wyniku opróbowania nie otrzymano przyptywu ze złoża.
- ♦ **3910–3920 m p.p.t.** – trias środkowy, wapienie. Wykonano perforację rur 6 5/8” i opróbowano złożo rurowym próbnikiem złożowym. Otrzymano dopływ solanki w ilości 0,316 m³/h. Temperatura opróbowanego poziomu wynosiła 97°C. Ciśnienie złożowe nieustabilizowane do wartości 389 atm.
- ♦ **3644–3656 m p.p.t.** – trias górny, piaskowce. Wykonano perforację rur 9 5/8” i opróbowano złożo rurowym próbnikiem złożowym. Otrzymano dopływ średnio zgazowanej gazem palnym solanki w ilości 1,45 m³ w czasie 253,2 min. Natężenie przyptywu wynosiło 0,34 m³/h. Ciśnienie złożowe nieustabilizowane do wartości 290,8 atm.
- ♦ **3620–3635 m p.p.t.** – trias górny, piaskowce, mułowce. Wykonano perforację rur 9 5/8” i opróbowano złożo rurowym próbnikiem złożowym. Otrzymano dopływ minimalnie zgazowanej gazem palnym solanki w ilości 0,5 m³ w czasie 283 min. Natężenie przyptywu wynosiło 0,106 m³/h. Ciśnienie złożowe nieustabilizowane do wartości 333,2 atm.
- ♦ **3545–3585 m p.p.t.** – trias górny, piaskowce, mułowce. Wykonano perforację rur 9 5/8” i opróbowano złożo rurowym próbnikiem złożowym. Otrzymano dopływ solanki w ilości 0,72 m³ w czasie 244 min. Temperatura opróbowanego poziomu wynosiła 94°C. Natężenie przyptywu wynosiło 0,177 m³/h. Ciśnienie złożowe nieustabilizowane do wartości 191 atm.
- ♦ **3110–3125 m p.p.t.** – trias górny, piaskowce. Wykonano perforację rur 9 5/8” i opróbowano złożo rurowym próbnikiem złożowym. Otrzymano dopływ solanki w ilości 5,5 m³ w czasie 15 min. Natężenie przyptywu wynosiło 22 m³/h. Ciśnienie złożowe ustabilizowane w I cyklu wynosiło 330,6 atm, a w II cyklu 332,2 atm.
- ♦ **2760–2765 m p.p.t.** – jura dolna, piaskowce. Wykonano perforację rur 9 5/8” i opróbowano złożo rurowym próbnikiem złożowym. Otrzymano dopływ solanki w ilości 6,6 m³ w czasie 188,5 min. Natężenie przyptywu wynosiło 3,34 m³/h. Ciśnienia złożowego nie mierzono.
- ♦ **1615–1633 m p.p.t.** – jura górna, wapienie. Wykonano perforację rur 9 5/8” i opróbowano złożo rurowym próbnikiem złożowym. Otrzymano dopływ wody w ilości 2,2 m³ w czasie 55,5 min. Natężenie przyptywu wynosiło 2,3 m³/h. Temperatura opróbowanego poziomu wynosiła 51°C. Ciśnienie złożowe ustabilizowane do wartości 165,7 atm.

Likwidacja otworu

W dniu 5.07.1981 r. przeprowadzono likwidację otworu. W ramach tych prac wykonano korki cementowe w głębokościach 4175–4220 m p.p.t., 4030–4075 m p.p.t., 3930–4000 m p.p.t., 3590–3637 m p.p.t., 3500–3540 m p.p.t., 3120–3180 m p.p.t., 2276–2833 m p.p.t., 2725–2765 m p.p.t., 1640–1690 m p.p.t., 30–0 m p.p.t. Przestrzeń pomiędzy korkami została wypełniona gęstą płuczką. Profil otworu zaprezentowano na rysunku 7.7.4.1.

Wstępne wskazanie zakresu prac rekonstrukcyjnych otworu Kompina 2

Udostępnienie złoża występującego w triasie dolnym wiąże się z wykonaniem w otworze Kompina 2 następujących prac rekonstrukcyjnych.

Zakres prac rekonstrukcyjnych winien obejmować następujące czynności:

- ♦ opracowanie projektu rekonstrukcji odwiertu,
- ♦ instalacja głowicy,
- ♦ zwiercenie korków cementacyjnych do głębokości 4175 m p.p.t.,
- ♦ wstępne czyszczenie otworu,
- ♦ szablonowanie otworu do głębokości 4175 m p.p.t.,
- ♦ zapuszczenie i zacementowanie rur 6 5/8" na głębokości 1550–3746 m p.p.t. w celu uszczelnienia sperforowanych rur 9 5/8",
- ♦ sprawdzenie szczelności korka cementowego w interwale głębokości 4175–4220 m p.p.t.,
- ♦ wykonanie pomiarów geofizycznych w otworze,
- ♦ rekonstrukcja strefy zbiornikowej – perforacja rur 6 5/8" w celu udostępnienia złoża w triasie dolnym (3970–4175 m p.p.t.),
- ♦ badania hydrogeologiczne (pompowanie próbne i eksploatacyjne lub chłonne),
- ♦ ewentualna intensyfikacja przepływów, np. poprzez zabiegi kwasowania.

7.7.4.2. Modelowanie wpływu zmian parametrów eksploatacyjnych na uzyskiwane efekty pracy binarnej elektrociepłowni geotermalnej

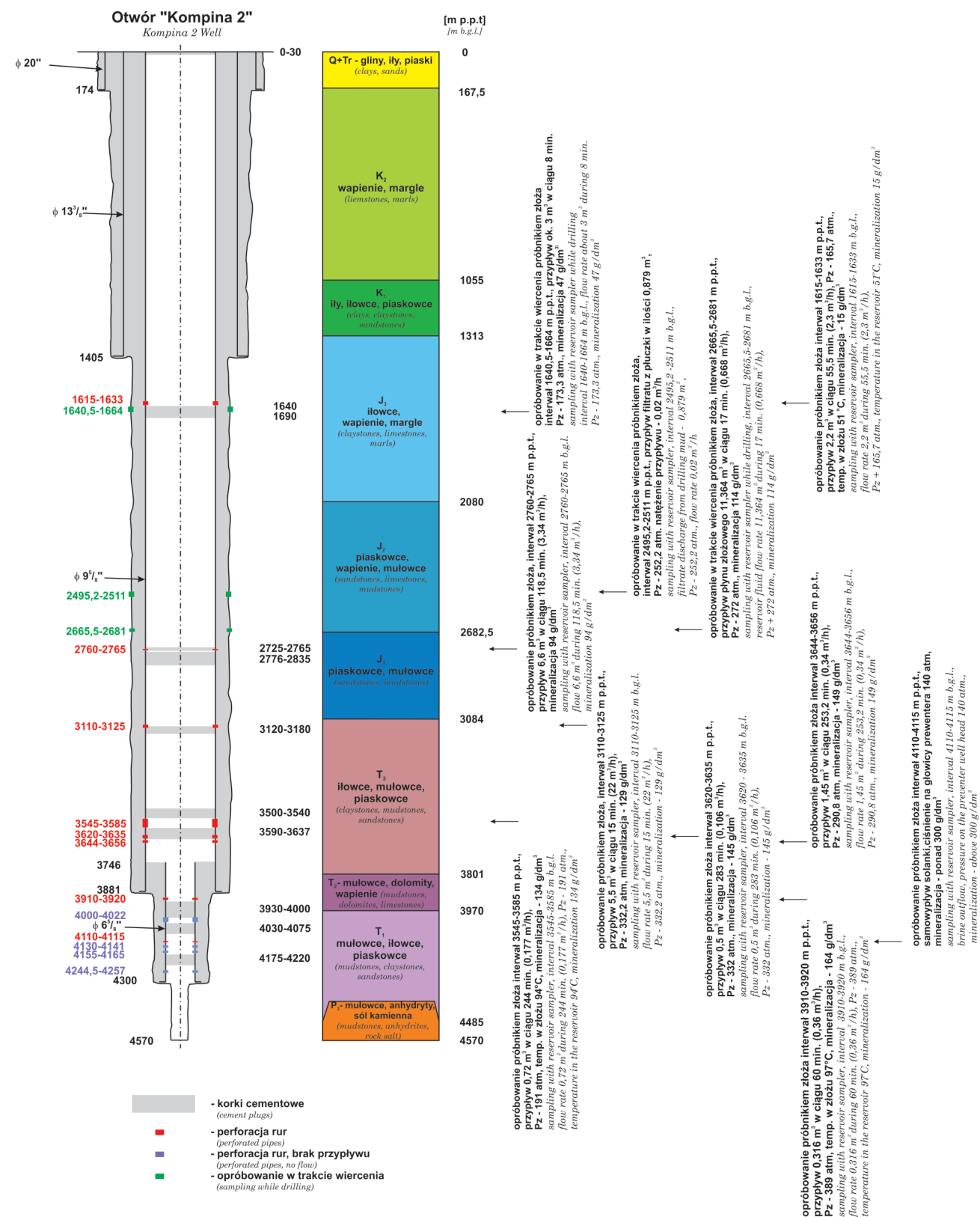
Wyniki przeprowadzonej analizy doboru parametrów pracy systemu ORC dla strefy łowicza zaprezentowano w tabelach 7.7.4.1–7.7.4.3. Obliczenia wykonano dla trzech oczekiwanych temperatur końcowych wody termalnej (woda schłodzona w systemie energetycznym) T_{g2} :

- ♦ **wariant A** – woda termalna zasila tylko elektrownię geotermalną (po zasileniu elektrowni będzie kierowana do odwiertu chłonnego) – wybrano te parametry pracy elektrowni, przy których moc elektrowni jest najwyższa,
- ♦ **wariant B** – woda termalna będzie wykorzystywana również na potrzeby ciepłownicze lub do innych procesów technologicznych – do obliczeń przyjęto $T_{g2}^B = 60^\circ\text{C}$,
- ♦ **wariant C** – woda termalna będzie wykorzystywana na potrzeby technologii basenowej i/lub cele balneologiczne – do obliczeń przyjęto $T_{g2}^C = 47^\circ\text{C}$.

Oznaczenia prezentowane w tabelach są zgodne z opisem przedstawionym w rozdziale 6.2. oraz ze schematem zaprezentowanym na rysunku 6.2.5.1.

Na podstawie analizy przedstawionej w tabeli 7.7.4.1, dla wody termalnej o temperaturze około 100°C , przy wydajności ujęcia na poziomie $50\text{ m}^3/\text{h}$ maksymalną moc elektrowni ($151,9\text{ kW}$) uzyskuje się przy zastosowaniu czynnika R227ea i temperaturze jego odparowania 66°C . Woda termalna schładzana jest w takim przypadku do temperatury $55,8^\circ\text{C}$. Przy założeniu, że woda termalna po zasileniu elektrowni zostanie schłodzona do temperatury 60°C (wariant B, tab. 7.7.4.2), najwyższą moc ($147,8\text{ kW}$) osiągnie się również przy zastosowaniu czynnika R227ea w temperaturze odparowania 70°C . Dla wariantu C (tab. 7.7.4.3) moc maksymalna elektrowni wynosi $134,5\text{ kW}$, przy zastosowaniu tego samego czynnika roboczego i jego odparowaniu w temperaturze 54°C .

Rodzaj zastosowanego czynnika roboczego znacząco wpływa na wielkość mocy elektrowni, przy czym należy rozpatrywać zespół cech i właściwości czynnika roboczego zarówno termodynamicznych jak i eksploatacyjnych. Trudno jest określić, w jakim stopniu rodzaj czynnika pod kątem jego kształtu krzywych nasycenia (suchy, mokry) wpływa na efektywność pracy siłowni, gdyż tylko jeden z rozpatrywanych czynników zalicza się do grupy mokrych (metanol), natomiast zauważalny jest



Rys. 7.7.4.1. Schemat konstrukcji otworu Kompina 2 po zakończeniu wiercenia

Fig. 7.7.4.1. Diagram of the Kompina 2 borehole design following the drilling

Tabela 7.7.4.1. Parametry termiczne i kaloryczne czynników roboczych oraz wyniki obliczeń dla wariantu A – maksymalizacja mocy elektrowni geotermalnej dla strefy ŁOWICZ
Table 7.7.4.1. Thermal and calorific parameters of the operating media, as well as calculation results for the option A – maximization of the geothermal plant power for the ŁOWICZ location

Lokalizacje ŁOWICZ: $T_{g1} = 100^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 50 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta T_1 = 5\text{K}$ $\Delta T_s = 3\text{K}$, wariant A																					
Woda termalna					Parametry charakterystyczne czynnika										Układ ORC						
czynnik roboczy	T_{g2}	T_{g3}	T_{g4}	ΔT_2	T_{n1}	h_{n1}	T_{n2s}	h_{n2s}	T_{n3}	h_{n3}	T_{n4s}	h_{n4s}	$T_{n5} = T_{n6}$	h_{n5}	h_{n6}	m_n	N_t	N_p	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kW	kW	kW	kW	%
R227ea	55,8	71,0	98,8	32,8	69,0	366,5	42,1	354,4	30,0	234,6	30,5	235,2	66,0	280,4	363,0	17,0	165,3	13,4	151,9	2 238,8	6,8
R1234ze	57,6	69,0	99,1	35,1	67,0	249,9	35,1	232,9	30,0	64,9	30,5	65,6	64,0	115,2	246,1	11,7	158,0	11,2	146,8	2 146,8	6,8
R236fa	57,7	69,0	99,2	35,2	67,0	405,1	41,0	390,1	30,0	237,3	30,2	237,7	64,0	282,5	402,0	12,8	153,5	6,6	146,8	2 143,3	6,9
Izobutan	59,5	69,0	99,3	35,3	67,0	645,0	38,8	610,7	30,0	271,2	30,3	272,3	64,0	359,6	638,5	5,5	150,7	7,5	143,3	2 049,1	7,0
MM	57,5	67,0	99,3	37,3	65,0	139,0	49,4	116,0	30,0	-141,1	30,0	-141,0	62,0	-78,4	134,2	7,7	141,4	0,3	141,1	2 151,6	6,6
Metanol	60,9	63,2	97,5	39,3	95,0	1 176,8	30,0	1 068,4	30,0	-92,8	30,0	-92,7	58,2	-17,6	1 095,4	1,6	135,2	0,2	135,1	1 979,1	6,8

Tabela 7.7.4.2. Parametry termiczne i kaloryczne czynników roboczych oraz wyniki obliczeń dla wariantu B dla strefy ŁOWICZ
Table 7.7.4.2. Thermal and calorific parameters of the operating media, as well as calculation results for the option B for the ŁOWICZ location

Lokalizacje ŁOWICZ: $T_{g1} = 100^{\circ}\text{C}$, $T_{g2} = 60^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 50 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta T_{ppl} = 5\text{K}$, $\Delta T_s = 3\text{K}$, wariant B																					
Woda termalna					Parametry charakterystyczne czynnika										Układ ORC						
czynnik roboczy	T_{g4}	ΔT_2	T_{g3}	ΔT_1	T_{n1}	h_{n1}	T_{n2s}	h_{n2s}	T_{n3}	h_{n3}	T_{n4s}	h_{n4s}	$T_{n5} = T_{n6}$	h_{n5}	h_{n6}	m_n	N_t	N_p	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kW	kW	kW	kW	%
R227ea	98,9	28,9	75,2	5,2	73,0	368,4	42,9	355,1	30,0	234,6	30,6	235,3	70,0	286,0	364,8	15,2	161,8	14,0	147,8	2 024,9	7,3
R1234ze	99,2	33,2	71,4	5,4	69,0	250,8	35,2	233,0	30,0	64,9	30,5	65,6	66,0	118,3	247,0	11,0	155,8	11,4	144,5	2 024,9	7,1
R236fa	99,3	35,3	69,4	5,4	67,0	645,0	38,8	610,7	30,0	271,2	30,3	272,3	64,0	359,6	638,5	5,4	148,9	7,4	141,5	2 024,9	7,0
Izobutan	99,3	35,3	69,4	5,4	67,0	645,0	38,8	610,7	30,0	271,2	30,3	272,3	64,0	359,6	638,5	5,4	148,9	7,4	141,5	2 024,9	7,0
MM	99,3	35,3	69,4	5,4	67,0	142,1	50,5	117,7	30,0	-141,1	30,0	-141,0	64,0	-74,4	137,2	7,1	139,4	0,3	139,1	2 024,9	6,9
Metanol	97,5	40,1	62,3	4,9	93,0	1 173,8	30,0	1 068,4	30,0	-92,8	30,0	-92,7	57,4	-19,7	1 094,7	1,6	134,8	0,2	134,7	2 024,9	6,7

Tabela 7.7.4.3. Parametry termiczne i kaloryczne czynników roboczych oraz wyniki obliczeń dla wariantu C dla strefy ŁOWICZ
Table 7.7.4.3. Thermal and calorific parameters of the operating media, as well as calculation results for the option C for the ŁOWICZ location

Lokalizacje ŁOWICZ: $T_{g1} = 100^{\circ}\text{C}$, $T_{g2} = 47^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 50 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta T_{ppl} = 5\text{K}$, $\Delta T_s = 3\text{K}$, wariant C																					
Woda termalna					Parametry charakterystyczne czynnika										Układ ORC						
czynnik roboczy	T_{g4}	ΔT_2	T_{g3}	ΔT_1	T_{n1}	h_{n1}	T_{n2s}	h_{n2s}	T_{n3}	h_{n3}	T_{n4s}	h_{n4s}	$T_{n5} = T_{n6}$	h_{n5}	h_{n6}	m_n	N_t	N_p	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kW	kW	kW	kW	%
R227ea	98,7	44,7	59,5	5,5	57,0	360,3	39,3	351,9	30,0	234,6	30,3	235,0	54,0	264,5	357,1	21,5	144,3	9,7	134,5	2 683,0	5,0
R1234ze	99,0	49,0	55,5	5,5	53,0	242,7	34,4	232,2	30,0	64,9	30,2	65,2	50,0	93,7	239,3	15,1	126,9	7,4	119,5	2 683,0	4,5
R236fa	99,0	47,0	56,5	4,5	55,0	397,6	38,1	387,6	30,0	237,3	30,1	237,5	52,0	266,1	394,7	16,7	134,6	4,9	129,7	2 683,0	4,8
izobutan	99,1	49,1	54,5	4,5	53,0	626,9	36,2	606,0	30,0	271,2	30,2	271,8	50,0	322,1	620,8	7,5	126,5	5,2	121,2	2 683,0	4,5
MM	99,1	49,1	54,9	4,9	53,0	120,8	43,0	106,1	30,0	-141,1	30,0	-141,0	50,0	-102,2	116,1	10,3	120,1	0,3	119,9	2 683,0	4,5
metanol	98,3	54,9	48,5	5,1	58,0	1 119,8	30,0	1 068,4	30,0	-92,8	30,0	-92,8	43,4	-57,8	1 081,5	2,2	91,0	0,1	90,9	2 683,0	3,4

wpływ temperatury krytycznej czynnika. Dla czynników o niższych wartościach temperatury krytycznej zazwyczaj osiągnano lepszą efektywność pracy elektrowni geotermalnej.

7.7.4.3. Wyniki obliczeń wskaźników energetycznych

W tabeli 7.7.4.4 przedstawiono wartości maksymalnego strumienia ciepła i maksymalnych ilości ciepła możliwych do pozyskania w ciągu roku z ujęcia geotermalnego w strefie łowicza. Zestawienia dokonano przy założeniu, że system wykorzystania energii geotermalnej jest w stanie schłodzić wodę termalną do temperatury $T_{g2T} = 30^{\circ}\text{C}$. Jest to jednoznaczne z tym, że temperatura wody termalnej zatłaczanej do górotworu wynosi $T_{g2} = 30^{\circ}\text{C}$.

W obliczeniach tych, zgodnie z początkowym założeniem upraszczającym (por. rozdział 6.2), pominięto wielkość strat cieplnych związanych z przesyłem.

Tabela 7.7.4.4. Wartości maksymalnych strumieni ciepła i ilości ciepła możliwego do pozyskania w ciągu roku z ujęcia geotermalnego w strefie łowicza

Table 7.7.4.4. Values of maximum heat fluxes and heat capacities available to be obtained annually from the geothermal source in łowicz area

Parametry ujęcia geotermalnego						Ilość ciepła		
Lokalizacja	$\dot{V}_g$	T_{g1}	ρ	$c_{p,g}$	$\dot{Q}_{g\max}$	$Q_{g\max}$	$Q_{g\max}$	$Q_{g\max}$
	m^3/h	$^{\circ}\text{C}$	kg/m^3	$\text{kJ}/(\text{kg K})$	kW	TJ	kWh	GWh
łowicz	50	100	1 180,0	3,09	3 544	112	31 045 440	31

Na podstawie przeprowadzonej ankietyzacji ustalono, że roczna rzeczywista produkcja ciepła w strefie łowicza wynosi 250 TJ.

Niezbędnym parametrem do określenia wskaźników energetycznych instalacji geotermalnej jest całkowita produkcja ciepła w ciągu roku. W celu określenia zdefiniowanych wcześniej (por. rozdział 6.2.) wskaźników w obliczeniach przyjęto, że przekazywanie energii cieplnej z wody termalnej do wody sieciowej odbywa się z 10% stratami ciepła w wymienniku geotermalnym. Zatem sprawność wykorzystania pozyskanej energii geotermalnej w wymienniku ciepłowniczym wynosi 90%.

W pierwszej kolejności rozważono teoretyczny układ ciepłowni geotermalnej zakładając, że ciepłownia ta w ciągu całego roku wykorzystuje maksymalny strumień wody termalnej (stały, maksymalny strumień energii geotermalnej). W analizie uwzględniono następujące przypadki:

- ♦ pierwszy, kiedy w ciepłowni istnieje możliwość schłodzenia wody termalnej do temperatury granicznej wynoszącej $T_{g2} = T_{g2T} = 30^{\circ}\text{C}$,
- ♦ drugi, kiedy w ciepłowni istnieje możliwość schłodzenia wody termalnej do temperatury wynoszącej $T_{g2} = 40^{\circ}\text{C}$ (przypadek współpracy sieci ciepłowniczej z odbiornikami średnio- i niskotemperaturowymi lub podgrzew ciepłej wody użytkowej),
- ♦ trzeci, kiedy w ciepłowni istnieje możliwość schłodzenia wody termalnej do temperatury wynoszącej $T_{g2} = 75^{\circ}\text{C}$ (przypadek, kiedy temperatura powrotna z systemu grzewczego wynosi 70°C).

Wartości wskaźników dla potencjalnej ciepłowni w strefie łowicza, dla trzech powyższych przypadków zestawiono w tabeli 7.7.4.5.

Tabela 7.7.4.5. Wartości wskaźników dla ciepłowni w strefie łowicza, dla przyjętych założeń upraszczających
Table 7.7.4.5. Index values for the heating plants in łowicz area, according to the accepted simplification assumptions

Lokalizacja	$\dot{V}_g$	T_{g1}	T_{g2}	Q_{co}	$Q_{g\max}$	Q_g	$Q_{co\ g}$	E_g	Z_g	ξ_g
	m^3/h	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	TJ	TJ	TJ	TJ	–	–	–
łowicz	50	100	30	250	112	112	101	1,000	0,404	0,902
			40			96	86	0,857	0,344	0,768
			75			40	36	0,357	0,144	0,321

W tabelach 7.7.4.6–7.7.4.8 przedstawiono wyniki oceny wskaźników energetycznych dla elektrociepłowni, przy założeniu dla trzech wariantów: A, B i C. Dla wszystkich wariantów elektrociepłowni przyjęto, podobnie jak dla ciepłowni, że w ciągu całego roku wykorzystywany jest stały strumień energii geotermalnej zarówno na cele produkcji elektrycznej jak i produkcji ciepła. W przypadku określania wskaźników energetycznych dla elektrociepłowni przyjęto dwie wartości temperatury wody termalnej opuszczającej wymiennik ciepłowniczy, tj. 75°C oraz 40°C .

7.7.5. Model numeryczny pracy dubletu geotermalnego

Wykorzystując opisany model numeryczny strefy łowicz, dokonano symulacji 50-letniego okresu eksploatacji dubletu geotermalnego: otwór Kompina 2 i dodatkowy potencjalny otwór chłonny. Tak więc założono, że otwór Kompina 2 pełni funkcję otworu produkcyjnego, a dodatkowy otwór, w odległości 912 m na południe od otworu Kompina 2, zlokalizowany w tej samej strefie zeszczelinowanej (szczelina f2 wg zał. 7.7.3 – rys. 1) pełni funkcję otworu chłonnego. Założono stały strumień solanki równy $50 \text{ m}^3/\text{h}$ w okresie 50-letniej eksploatacji oraz stałą temperaturę zatłaczania solanki w tym okresie, wynoszącą 30°C . Model eksploatacji energii jest kontynuacją modelu stanu stacjonarnego, tj. bazuje na uzyskanym rozkładzie temperatury i ciśnienia w warunkach przed-eksploatacyjnych. Przebieg oraz parametry wydzielonych w obrębie modelu struktur geologicznych, jak również przyjęte warunki brzegowe pozostają niezmienione.

Rozkład temperatury wzdłuż przekroju AA' (zał. 7.7.3 – rys. 1) w warunkach stacjonarnych poprzedzających eksploatację dubletu przedstawiono na załączniku 7.7.3 – rys. 2. Rozkład ten, wobec przyjętych warunków brzegowych oraz parametrów struktur geologicznych charakteryzuje się brakiem zróżnicowania lateralnego, natomiast wartość gradientu geotermicznego spada w utworach cechsztyńskich. Rozkład temperatury po 50 latach eksploatacji w modelowanym obszarze prezentuje rysunek 7.7.5.1. Linia cięcia przekroju temperaturowego AA', prostopadła do osi X, została przeprowadzona przez obydwa otwory tworzące dublet, a linia cięcia równoległa do osi Y została przeprowadzona przez otwór Kompina 2. Na rysunku 7.7.5.2 przedstawiono rozkład temperatury na płaszczyźnie X-Y na głębokości -4300 m n.p.m. (przybliżona głębokość strefy szczelinowej w rejonie otworu Kompina 2). Z rysunków wynika, że rozprzestrzeniający się front chłodny nie powinien wpływać znacząco na temperaturę solanki wydobywanej otworem produkcyjnym. Potwierdzają to również wykresy dwuwymiarowe na załączniku 7.7.3 – rys. 3 i 4. Po 50 latach eksploatacji temperatura solanki dopływającej do otworu produkcyjnego nie spada poniżej 115°C (zał. 7.7.3 – rys. 3).

Tabela 7.7.4.6. Wartości wskaźników energetycznych dla wariantu A – lokalizacja w miejscowości ŁOWICZ (na podstawie tabeli 7.7.4.1)

Table 7.7.4.6. Energy index values for the option A – ŁOWICZ location (based on Table 7.7.4.1)

Lokalizacja – ŁOWICZ: $T_{g1} = 100^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 50 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{CO} = 113 \text{ 013 GJ}$, wariant A															
Układ ORC						Q_g		Q_{COg}		Wskaźniki energetyczne					
Czynnik	T_{g2}	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}	E_{el}					E_g		Z_g		ξ_g	
						40	75	40	75	40	75	40	75	40	75
–	$^{\circ}\text{C}$	kW	kW	%	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	–	–	–	–	–	–
R227ea	55,8	151,9	2 238,8	6,8	3,6	96	71	23	0	0,857	0,634	0,105	0,031	0,238	0,032
R1234ze	57,6	146,8	2 146,8	6,8	3,5	96	68	25	0	0,857	0,607	0,112	0,030	0,254	0,031
R236fa	57,7	146,8	2 143,3	6,9	3,5	96	68	25	0	0,857	0,607	0,112	0,030	0,254	0,031
Izobutan	59,5	143,3	2 049,1	7	3,4	96	65	28	0	0,857	0,580	0,124	0,029	0,280	0,030
MM	57,5	141,1	2 151,6	6,6	3,4	96	68	25	0	0,857	0,607	0,112	0,029	0,254	0,030

Tabela 7.7.4.7. Wartości wskaźników energetycznych dla wariantu B – lokalizacja w miejscowości ŁOWICZ (na podstawie tabeli 7.7.4.2)

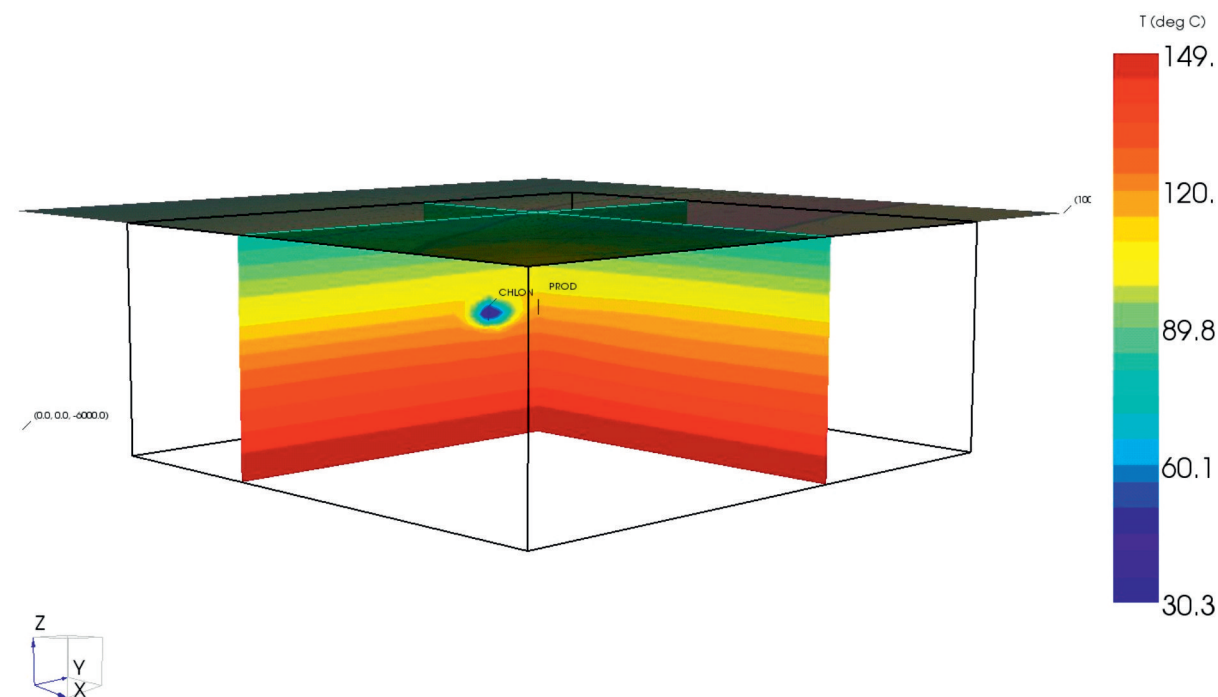
Table 7.7.4.7. Energy index values for the option B – ŁOWICZ location (based on Table 7.7.4.2)

Lokalizacja – ŁOWICZ: $T_{g1} = 100^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 50 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{CO} = 113 \text{ 013 GJ}$, $T_2 = 60^{\circ}\text{C}$, wariant B															
Układ ORC						Q_g		Q_{COg}		Wskaźniki energetyczne					
Czynnik	T_{g2}	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}	E_{el}					E_g		Z_g		ξ_g	
						40	75	40	75	40	75	40	75	40	75
–	$^{\circ}\text{C}$	kW	kW	%	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	–	–	–	–	–	–
R227ea	60	147,8	2 024,9	7,3	3,5	96	64	29	0	0,857	0,571	0,128	0,031	0,289	0,032
R1234ze	60	144,5	2 024,9	7,1	3,5	96	64	29	0	0,857	0,571	0,127	0,030	0,288	0,031
R236fa	60	141,5	2 024,9	7,0	3,4	96	64	29	0	0,857	0,571	0,127	0,029	0,288	0,030
Izobutan	60	141,5	2 024,9	7,0	3,4	96	64	29	0	0,857	0,571	0,127	0,029	0,288	0,030
MM	60	139,1	2 024,9	6,9	3,3	96	64	29	0	0,857	0,571	0,127	0,029	0,287	0,030
Metanol	60	134,7	2 024,9	6,7	3,2	96	64	29	0	0,857	0,571	0,126	0,028	0,286	0,029

Tabela 7.7.4.8. Wartości wskaźników energetycznych dla wariantu C – lokalizacja w miejscowości ŁOWICZ (na podstawie tabeli 7.7.4.3)

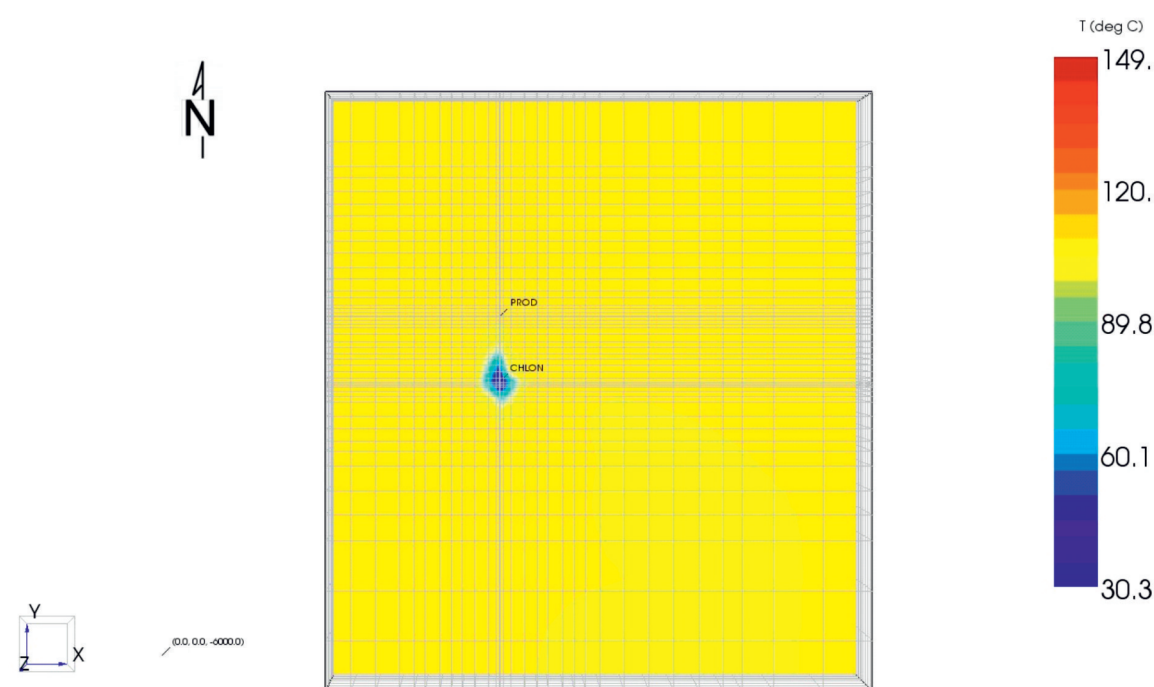
Table 7.7.4.8. Energy index values for the option C – ŁOWICZ location (based on Table 7.7.4.3)

Lokalizacja – ŁOWICZ: $T_{g1} = 100^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 50 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{CO} = 113 \text{ 013 GJ}$, $T_2 = 47^{\circ}\text{C}$, wariant C															
Układ ORC						Q_g		Q_{COg}		Wskaźniki energetyczne					
Czynnik	T_{g2}	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}	E_{el}					E_g		Z_g		ξ_g	
						40	75	40	75	40	75	40	75	40	75
–	$^{\circ}\text{C}$	kW	kW	%	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	–	–	–	–	–	–
R227ea	47	134,5	2 683	5,0	3,2	96	85	10	0	0,857	0,757	0,053	0,028	0,119	0,029
R1234ze	47	119,5	2 683	4,5	2,9	96	85	10	0	0,857	0,757	0,051	0,025	0,116	0,026
R236fa	47	129,7	2 683	4,8	3,1	96	85	10	0	0,857	0,757	0,052	0,027	0,118	0,028
Izobutan	47	121,2	2 683	4,5	2,9	96	85	10	0	0,857	0,757	0,051	0,025	0,116	0,026
MM	47	119,9	2 683	4,5	2,9	96	85	10	0	0,857	0,757	0,051	0,025	0,116	0,026
Metanol	47	90,9	2 683	3,4	2,2	96	85	10	0	0,857	0,757	0,049	0,019	0,110	0,020



Rys. 7.7.5.1. Rozkład temperatury w modelowanym obszarze na płaszczyźnie Y–Z dla $X = 5$ km oraz na płaszczyźnie X–Z dla $Y = 5$ km, stan po 50 latach eksploatacji z wydajnością $50 \text{ m}^3/\text{h}$, temperatura zatłaczania 30°C

Fig. 7.7.5.1. Temperature distribution in the modelled area on the Y–Z plane for $X = 5$ km as well as on the X–Z plane for $Y = 5$ km, as of after 50 years of operation at the performance of $50 \text{ m}^3/\text{h}$, injection temperature 30°C



Rys. 7.7.5.2. Rozkład temperatury w modelowanym obszarze na płaszczyźnie X–Y dla $Z = -4300$ m n.p.m., stan po 50 latach eksploatacji z wydajnością $50 \text{ m}^3/\text{h}$, temperatura zatłaczania 30°C

Fig. 7.7.5.2. Temperature distribution in the modelled area on the X–Y plane for $Z = -4300$ m a.s.l., as of after 50 years of operation at the flowrate of $50 \text{ m}^3/\text{h}$, injection temperature 30°C

Zapotrzebowanie na moc elektryczną do zatłaczania solanki otworem chłonnym wynosić będzie około 17 kW (wzrost ciśnienia o ok. 1 MPa , strumień $50 \text{ m}^3/\text{h}$).

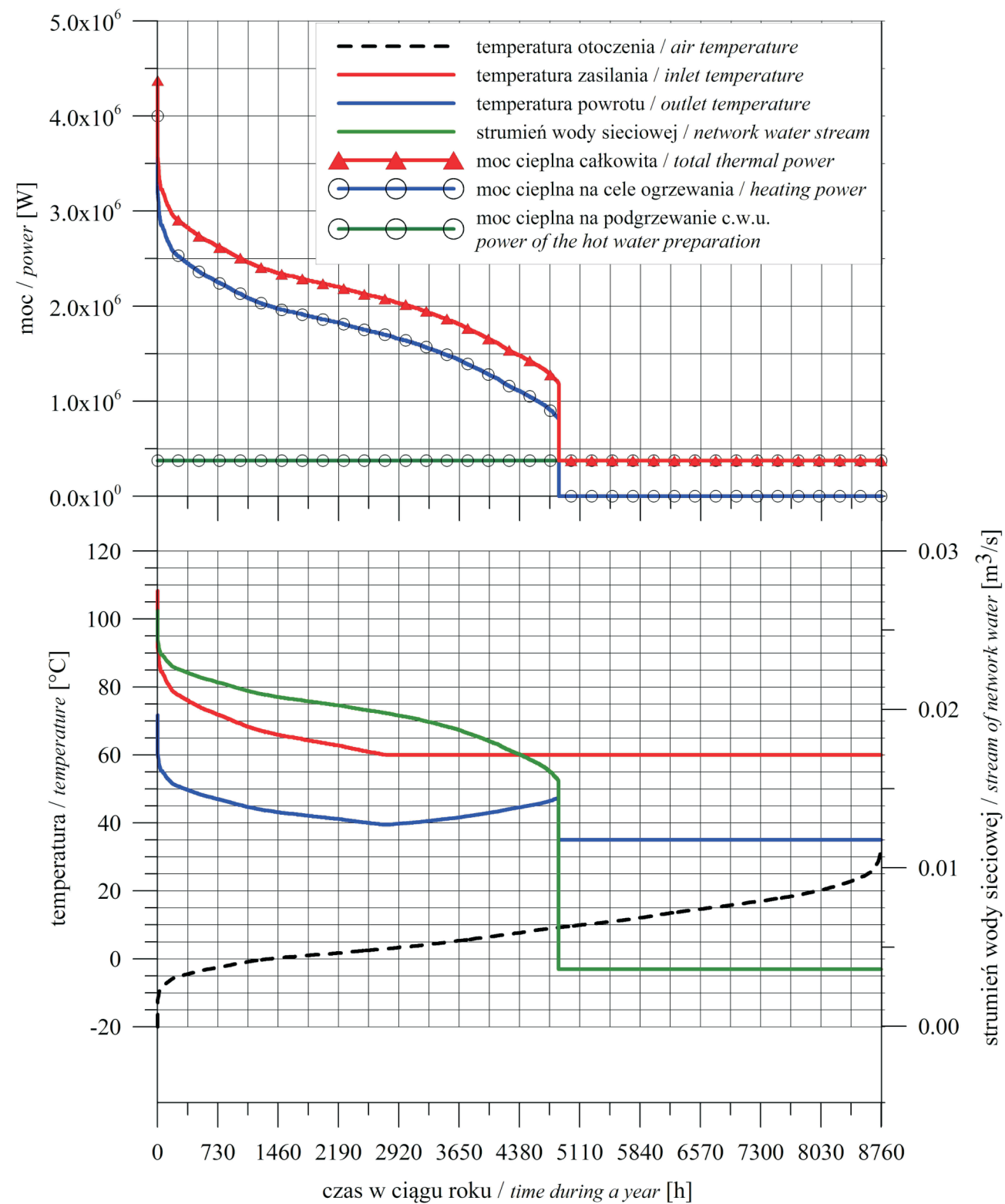
7.7.6. Prognoza efektów finansowych, energetycznych, ekologicznych i społecznych

Na terenie miasta Łowicz istnieje sieć ciepłownicza (dokładniej infrastrukturę ciepłowniczą opisano w rozdziale 7.7.1). Całkowita moc cieplna źródeł energii dostępnych na terenie miasta jest dość znacząca. Mając na uwadze dostępne parametry ujęcia geotermalnego zaproponowano włączenie ujęcia do systemu źródła energii o mocy 4 MW (wg rozdziału 7.7.1. źródło Z10). Charakterystykę odbiorcy energii, z którym współpracować ma źródło geotermalne przedstawiono na rysunku 7.7.6.1. Współpracując z tak zdefiniowanym odbiorcą energii cieplnej źródło geotermalne mogłoby osiągnąć moc cieplną rzędu $2,5 \text{ MW}$ (rys. 7.7.6.2). Całkowita moc elektryczna w siłowni binarnej wykorzystującej zasoby energii geotermalnej została oszacowana na $133,5 \text{ kW}$ (tab. 7.7.6.1), z czego moc maksymalna odprowadzana do sieci elektroenergetycznej wynosić będzie około 120 kW (rys. 7.7.6.2). Przez znaczną część roku instalacja powierzchniowego źródła energii będzie zasilana w energię elektryczną wytwarzaną w geotermalnej siłowni binarnej (rys. 7.7.6.2). Całkowita ilość energii elektrycznej odprowadzonej do sieci wynosić będzie około $667,5 \text{ MWh/rok}$ (tab. 7.7.6.1).

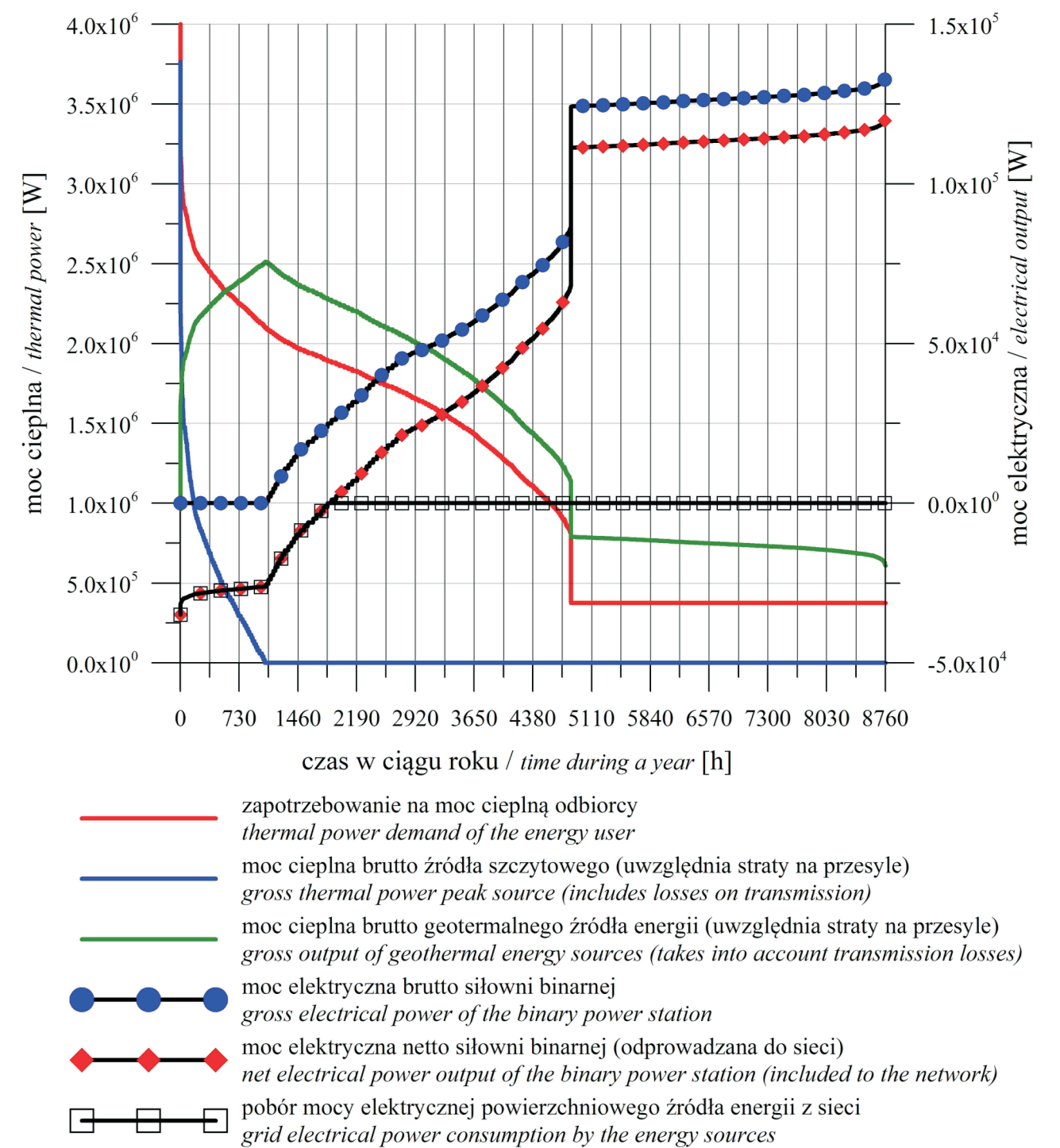
Parametry: źródła energii, systemu dystrybucji i odbiorcy w sposób ilościowy zestawiono w tabeli 7.7.6.1. Nakłady inwestycyjne związane z wykonaniem ujęcia geotermalnego i instalacji powierzchniowej oraz inne parametry ekonomiczne przedstawiono w tabeli 7.7.6.2. Cena netto sprzedaży energii cieplnej gwarantująca finansową rentowność inwestycji została oszacowana na około 90 zł/GJ (tab. 7.7.6.2) – co jest wielkością charakterystyczną dla energii pochodzącej z oleju opałowego (Pająk, Bujakowski 2013a). Całkowite nakłady inwestycyjne na uruchomienie przedmiotowego systemu oszacowano na około 57 mln zł (tab. 7.7.6.2).

Efekt ekologiczny w postaci redukcji emisji zanieczyszczeń do atmosfery zestawiono w tabeli 7.7.6.3.

Efekty społeczne wykorzystania wód termalnych w rejonie Łowicza wiązać się będą z powstaniem nowych miejsc pracy, w liczbie około 6 w rejonie uruchomienia inwestycji. Biorąc pod uwagę możliwość budowy na bazie analizowanych wód również obiektów balneo-rekreacyjnych, liczba miejsc pracy wzrosłaby znacząco. Miejsca w których uruchomiono dotychczas instalacje geotermalne wykorzystujące te wody w celach balneo-rekreacyjnych, świadczą o dużym zainteresowaniu klientów tego typu usługami. Takie przedsięwzięcia stymulują lokalny rynek usług i znacząco wpływają na wzrost atrakcyjności turystycznej. Zyskuje na tym branża gastronomiczna, hotelarska, rozwija się rynek różnorodnych usług.



Rys. 7.7.6.1. Definicja odbiorcy energii dla lokalizacji Łowicz
Fig. 7.7.6.1. Energy end-user characteristic for Łowicz location



Rys. 7.7.6.2. Moc cieplna i elektryczna wytwarzana przez źródło energii dla lokalizacji Łowicz
Fig. 7.7.6.2. Heat and electric power generated by the energy source in Łowicz location

Tabela 7.7.6.1. Parametry techniczne dla instalacji źródła energii dla lokalizacji Łowicz
Table 7.7.6.1. Technical parameters for the heat source installation in Łowicz location

Parametr	Wartość
Lokalizacja	Łowicz
Głębokość otworu produkcyjnego [m]:	4300
Średnica otworu produkcyjnego [m]:	0,244475
Stan otworu produkcyjnego:	rekonstrukcja
Strumień nominalny (maksymalny) wody termalnej [m³/h]:	50
Temperatura wody w warstwie wodonośnej [°C]:	107
Poziom zwierciadła statycznego w otworze produkcyjnym [m p.p.t.]:	100
Ciśnienie depresji [MPa]:	0,2
Głębokość otworu chłonnego [m]:	4300
Stan otworu chłonnego:	nowy
Poziom zwierciadła statycznego w otworze chłonnym[m p.p.t.]:	100
Ciśnienie represji [MPa]:	0,5
Projektowana temperatura schłodzenia wody termalnej w siłowni binarnej [°C]:	55,8
Projektowana temperatura wody termalnej na głowicy otworu produkcyjnego [°C]:	98,29
Temperatura minimalna (projektowa) powietrza zewnętrznego [°C]:	-20
Temperatura projektowa zasilania instalacji odbiorcy [°C]:	108,28
Temperatura projektowa powrotu z instalacji odbiorcy [°C]:	71,72
Nominalny (maksymalny) strumień czynnika dla instalacji odbiorcy [m³/h]:	94,5
Moc cieplna całkowita odbiorcy [kW]:	4375,2
Moc cieplna centralnego ogrzewania dla odbiorcy [kW]:	4000
Moc cieplna przygotowania ciepłej wody użytkowej dla odbiorcy [kW]:	375,2
Całkowite zapotrzebowanie na energię cieplną odbiorcy [GJ/rok]:	35998,9
Całkowita moc cieplna zainstalowana w źródle energii (uwzględnia straty na przesyle) [kW]:	6274,9
Całkowita ilość energii cieplnej wytworzonej przez źródło energii (uwzględnia straty na przesyle) [GJ/rok]:	47775,3
Całkowita moc cieplna zainstalowana w części geotermalnej [kW]:	2511,2
Całkowita ilość energii cieplnej wytworzonej z geotermii (uwzględnia straty na przesyle) [GJ/rok]:	45551,5
Całkowita moc cieplna zainstalowana w ciepłowni szczytowej [kW]:	3763,7
Całkowita ilość energii cieplnej wytworzonej przez kotłownię szczytową (uwzględnia straty na przesyle) [GJ/rok]:	2223,8
Całkowita moc elektryczna zainstalowana w geotermalnej siłowni binarnej [kW]:	133,5
Całkowita ilość energii elektrycznej wytworzonej przez siłownię binarną brutto (uwzględnia potrzeby całej własne instalacji) [MWh/rok]:	667,5
Ilość energii elektrycznej wytworzonej przez siłownię binarną netto (po odjęciu potrzeb własnych instalacji = energia sprzedana) [MWh/rok]:	538,2
Długość całkowita rurociągu z wodą termalną (od głowic otworów do ciepłowni) [m]:	200
Średnica nominalna rury przewodowej dla rurociągu zwodą termalną (od głowic otworów do ciepłowni) [m]:	0,12139
Stan rurociągu z wodą termalną:	nowy
Długość całkowita rurociągu od ciepłowni geotermalnej do ciepłowni szczytowej [m]:	500
Średnica nominalna rury przewodowej dla rurociągu od ciepłowni geotermalnej do ciepłowni szczytowej [m]:	0,16685
Stan rurociągu od ciepłowni geotermalnej do ciepłowni szczytowej:	nowy
Długość całkowita rurociągu od ciepłowni szczytowej do odbiorcy energii cieplnej [m]:	5000
Średnica nominalna rury przewodowej dla rurociągu od ciepłowni szczytowej do odbiorcy energii [m]:	0,16685
Stan rurociągu od ciepłowni szczytowej do odbiorcy:	istnieje
Maksymalne opory przepływu na rurociągach ciepłowniczych przesyłowych (z wyłączeniem rurociągu z wodą termalną) [MPa]:	0,6741
Maksymalne opory przepływu na rurociągu zwodą termalną [MPa]:	0,0396
Maksymalne ciśnienie do pokonania przez pompy geotermalne (ciśnienie represji minus ciśnienie depresji) [MPa]:	0,7
Średnie roczne straty energii cieplnej na przesyle [ułamek energii cieplnejwytworzonej w źródle energii]:	0,25

Tabela 7.7.6.2. Zestawienie parametrów ekonomicznych dla instalacji powierzchniowego źródła energii dla lokalizacji Łowicz

Table 7.7.6.2. List of the economic parameters for the surface energy source installation in Łowicz location

Parametr	Wartość
Cena netto zakupu energii elektrycznej [zł/kWh]:	0,488
Cena netto sprzedaży energii elektrycznej [zł/kWh]:	0,24
Cena netto zakupu gazu ziemnego wysokometanowego [zł/m³]:	1,626
Cena netto sprzedaży energii cieplnej gwarantująca finansową rentowność inwestycji [zł/GJ]:	89,54
Całkowite prognozowane nakłady inwestycyjne (główne komponenty zestawiono poniżej) [tys zł]:	56729
Nakłady inwestycyjne na otwór produkcyjny [tys zł]:	12850
Nakłady inwestycyjne na otwór chłonnny [tys zł]:	38551
Nakłady inwestycyjne na siłownię binarną [tys zł]:	1218
Nakłady inwestycyjne na szczytowe kotły gazowe [tys. zł]:	1317
Nakłady inwestycyjne na pompy geotermalne (głębiniowa i stacja pomp zatłaczania) [tys. zł]:	69
Nakłady inwestycyjne na pompy obiegowe [tys zł]:	47
Nakłady inwestycyjne na wymienniki ciepła [tys zł]:	397
Nakłady inwestycyjne na rurociągi połączeniowe [tys zł]:	1219
Nakłady inwestycyjne na budynek ciepłownigeotermalnej i szczytowej [tys. zł]:	661
Całkowite koszty obsługi instalacji (główne składniki kosztów zestawiono poniżej) [tys zł/rok]:	3352
Amortyzacja środków trwałych [tys. zł/rok]:	2652
Koszty obsługi, remontów, konserwacji [tys. zł/rok]:	567
Koszty zakupu nośników energii [tys. zł/rok]:	133
Przychody z tytułu sprzedaży energii (szczegółowo zestawiono poniżej) [tys zł/rok]:	3352
Przychody z tytułu sprzedaży energii cieplnej [tys. zł/rok]:	3223
Przychody z tytułu sprzedaży energii elektrycznej [tys. zł/rok]:	129

Tabela 7.7.6.3. Zestawienie parametrów ekologicznych dla instalacji powierzchniowego źródła energii dla lokalizacji Łowicz

Table 7.7.6.3. List of the ecological parameters for the surface energy source installation in Łowicz location

Parametr	Wartość
Roczna emisja B(a)P dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0
Roczna emisja sadzy dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,001
Roczna emisja pyłu dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,015
Roczna emisja CO ₂ dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	2929,135
Roczna emisja CO dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,616
Roczna emisja NO _x w przeliczeniu na NO ₂ dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	1,936
Roczna emisja SO ₂ dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,247
Roczna emisja węglowodorów alifatycznych dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,189
Roczna emisja w. węglowodorów aromatycznych dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,052
Roczne ograniczenie emisji B(a)P [Mg/rok]:	0,048
Roczne ograniczenie emisji sadzy [Mg/rok]:	24,566
Roczne ograniczenie emisji pyłu [Mg/rok]:	98,465
Roczne ograniczenie emisji CO ₂ [Mg/rok]:	2684,93
Roczne ograniczenie emisji CO [Mg/rok]:	273,653
Roczne ograniczenie emisji NO _x w przeliczeniu na NO ₂ [Mg/rok]:	1,812
Roczne ograniczenie emisja SO ₂ [Mg/rok]:	38,161
Roczne ograniczenie emisji węglowodorów alifatycznych [Mg/rok]:	14,115
Roczne ograniczenie emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych [Mg/rok]:	13,675

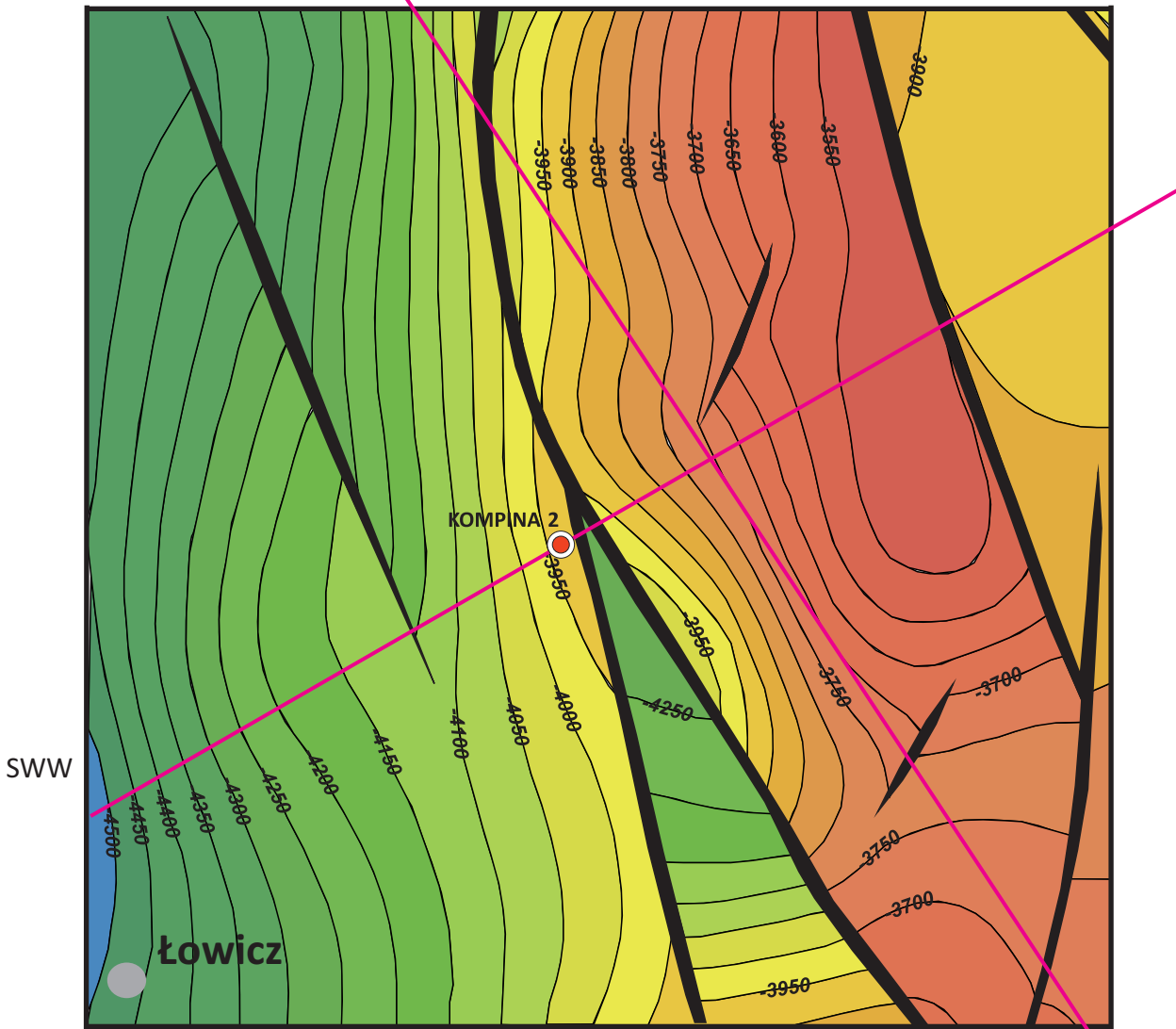
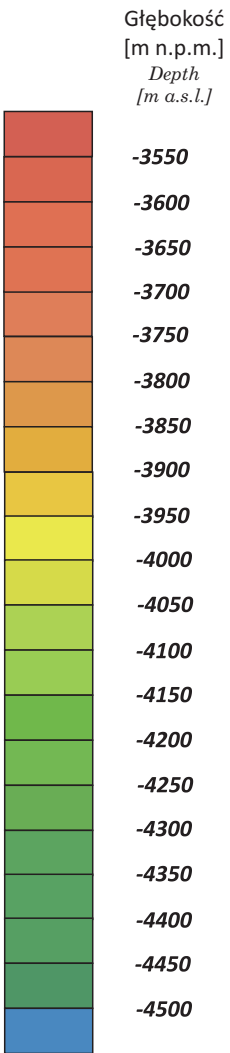
MAPA STROPU
UTWORÓW ŚRODKOWEGO
PSTREGO PIASKOWCA
STREFY ŁOWICZ*

MAP OF THE TOP
OF MIDDLE BUNTER SANDSTONE
IN THE ŁOWICZ AREA

*na podstawie: Bujakowski (red.), 2009
(based on: Bujakowski (ed.), 2009)

LEGENDA:
LEGEND:

- Uskoki
Faults
- Główne miasto
Main city
- Otworki
Boreholes
- Linie przekrojów geologicznych
wg danych sejsmicznych (Załącznik 7.7.2)
Cross-section lines according
to seismic data (Encl. 7.7.2)
- Izohipsy stropu utworów
środkowego pstrego
piaskowca [m n.p.m.]
Isohyps of the top of Middle
Bunter Sandstone [m a.s.l.]



SSE

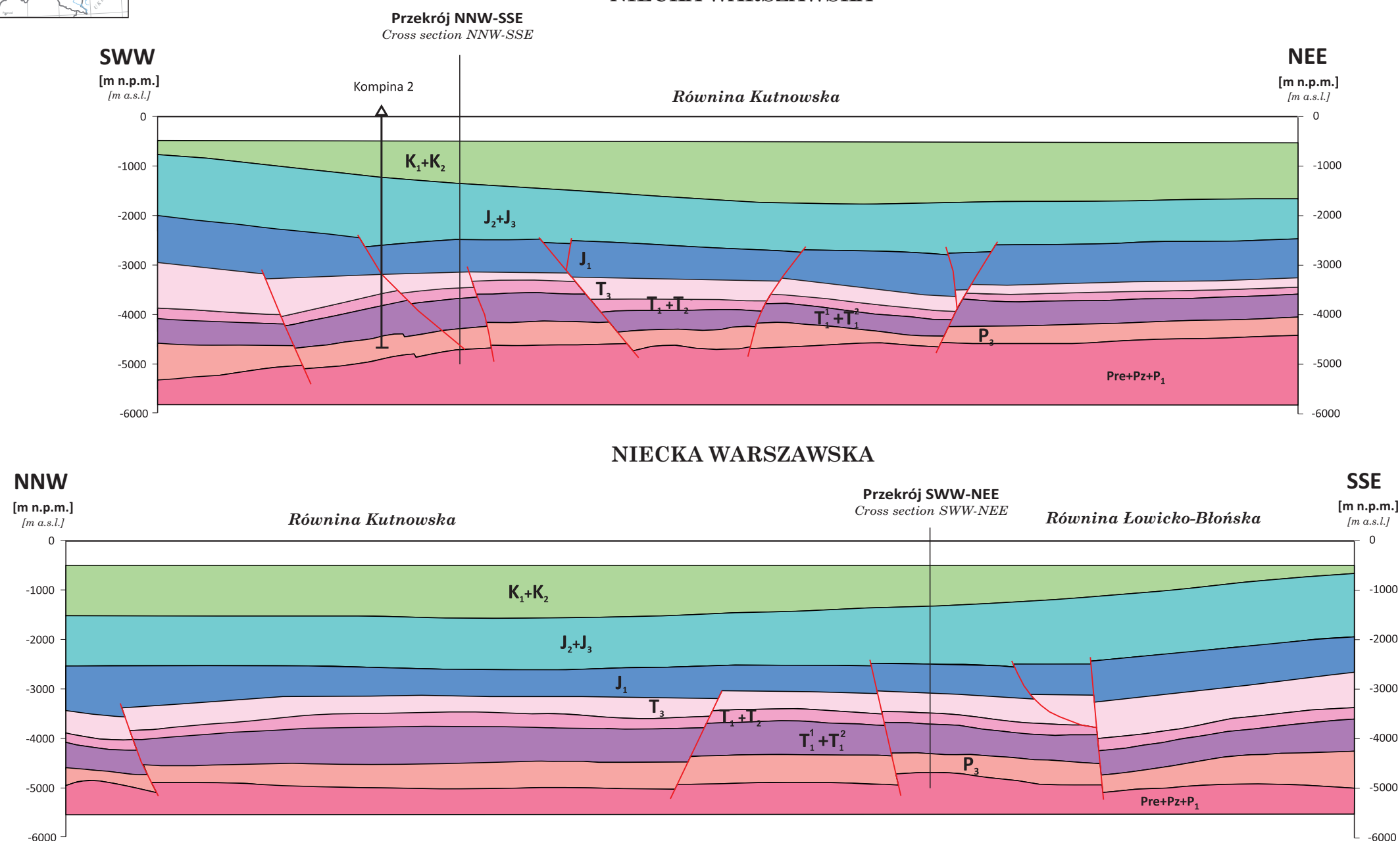


PRZEKROJE GEOLOGICZNE PRZEZ STREFĘ ŁOWICZA (przebieg na zał. 7.7.1)*

GEOLOGICAL CROSS-SECTIONS THROUGH THE ŁOWICZ AREA
(line at encl. 7.7.1)

Zał. 7.7.2
Encl. 7.7.2

NIECKA WARSZAWSKA



K₁+K₂ Kreda dolna i górna
Lower & Upper Cretaceous

J₂+J₃ Jura środkowa i górna
Middle & Upper Jurassic

J₁ Jura dolna
Lower Jurassic

T₃ Trias górny
Upper Triassic

T₃³+T₂ Pstry piaskowiec górny
i wapień muszlowy
Upper Bunter-sandstone & Muschelkalk

T₁¹+T₁² Pstry piaskowiec
dolny i środkowy
Lower & Middle Bunter-sandstone

P₃ Perm górny
Upper Permian

Pre+Pz+P₁ Prekambr, paleozoik
i perm dolny
Precambrian, Paleozoic
& Lower Permian

↑
otwory
boreholes

↗
uskoki
faults

0 2 4 km

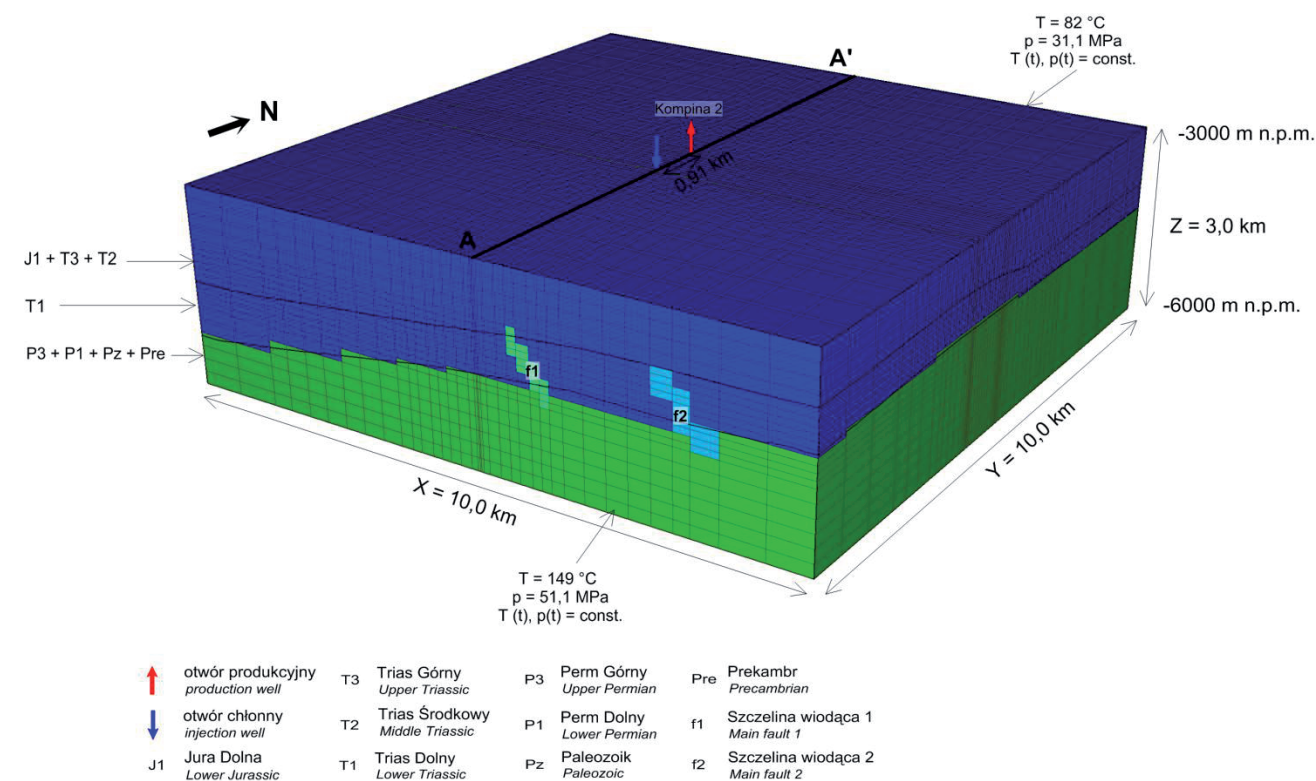
*na podstawie: Bujakowski (red.), 2009
(based on: Bujakowski (ed.), 2009)

WYNIKI MODELOWANIA NUMERYCZNEGO W STREFIE ŁOWICZA

NUMERICAL MODELING RESULTS IN THE ŁOWICZ AREA

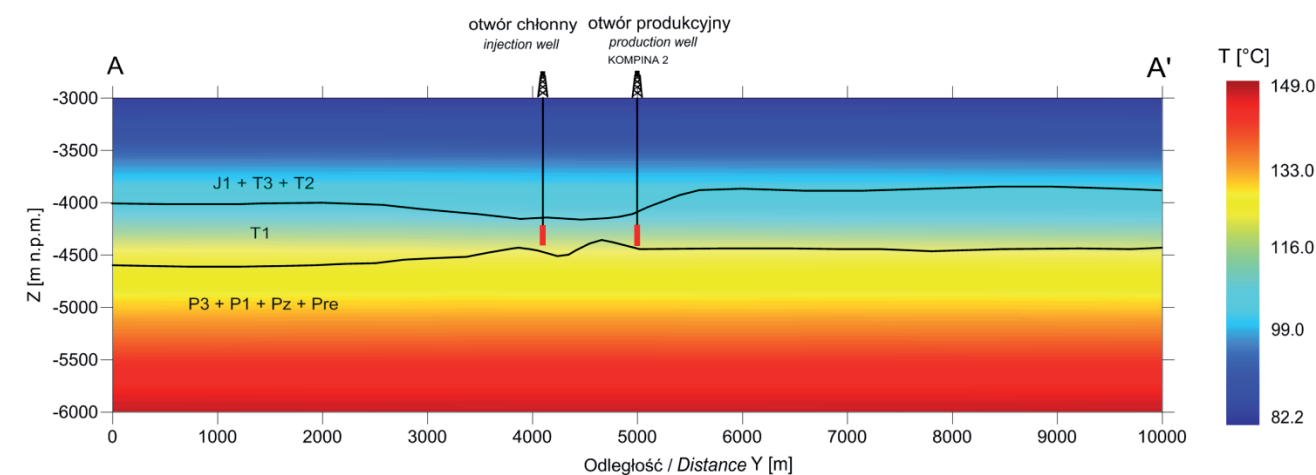
Zał. 7.7.3

Encl. 7.7.3



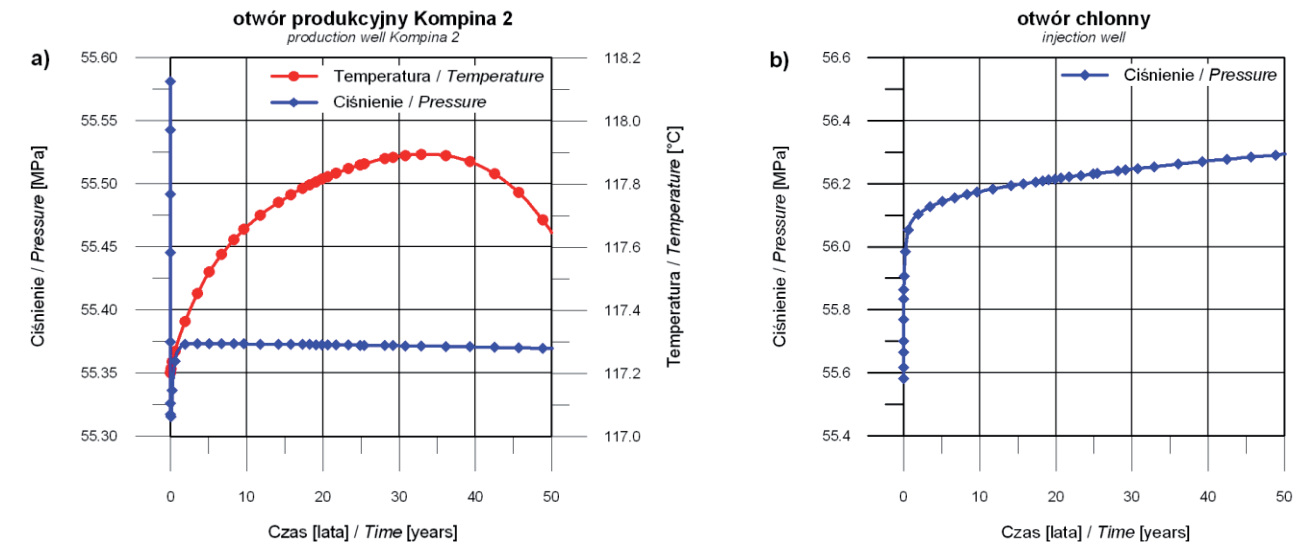
Rys. 1. Model numeryczny strefy Łowicza

Fig. 1. Numerical model of the Łowicz area



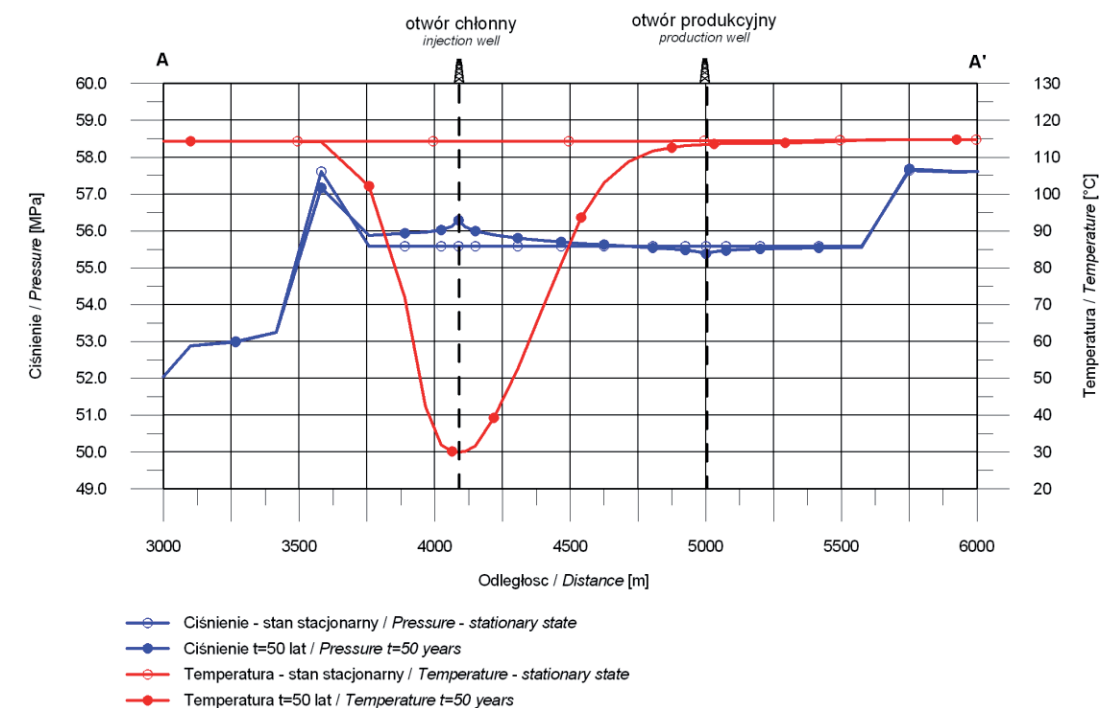
Rys. 2. Prognozowany rozkład temperatury w modelu stanu przedeksploatacyjnego wzdłuż przekroju AA'

Fig. 2. Forecasted temperature distribution prior to exploitation along the AA' cross section



Rys. 3. a) Zmiana temperatury i ciśnienia złożowego w funkcji czasu w otworze produkcyjnym, b) zmiana ciśnienia złożowego w otworze chłonnym na głębokości $z = -4350\text{ m n.p.m.}$ dla wydajności dubletu $Q = 50\text{ m}^3/\text{h}$

Fig. 3. a) Change of the reservoir temperature and pressure versus time in the production well, b) change of the reservoir pressure in the injection well at the depth $z = -4250\text{ m a.s.l.}$ for the doublet flow rate $Q = 50\text{ m}^3/\text{h}$



Rys. 4. Zmiana temperatury złożowej oraz ciśnienia złożowego wzdłuż fragmentu przekroju AA' na głębokości $z = -4350\text{ m n.p.m.}$ dla wydajności dubletu $Q = 50\text{ m}^3/\text{h}$

Fig. 4. Cross-sectional change of the reservoir temperature and pressure along part of the AA' cross section at the depth $z = -4350\text{ m a.s.l.}$ for the doublet flow rate $Q = 50\text{ m}^3/\text{h}$

7.8. Stargard Szczeciński

7.8.1. Ogólna charakterystyka strefy

Stargard Szczeciński to miasto w województwie zachodniopomorskim leżące nad rzeką Iną, w odległości 46 km od granicy Polski, 36 km od Szczecina, 35 km od międzynarodowego portu lotniczego w Goleniowie. Miejscowość położona jest w powiecie stargardzkim, na Równinie Pyrzycko-Stargardzkiej (www.stargard.pl). Jest trzecim ośrodkiem miejskim województwa, liczy około 70 tysięcy mieszkańców. Stanowi ważny węzeł komunikacyjny oraz ośrodek przemysłowy, usługowy i kulturalny. Wraz ze Szczecinem, Świnoujściem, Policami, Goleniowem i Gryfinem tworzy aglomerację szczecińską.

Stargard Szczeciński jest silnym ośrodkiem gospodarczym i przemysłowym – stanowi regionalny ośrodek zrównoważonego rozwoju. Występuje tutaj wyraźna przewaga przemysłu lekkiego. Ważny udział ma przemysł spożywczy (cukrowniczy, mleczarski, cukierniczy) i maszynowy (produkcja taboru kolejowego, produkcja maszyn przeładunkowych, produkcja elementów napędowych maszyn).

Do głównych przedsiębiorstw zalicza się (Kierzkowska, Sikora 2009):

- ♦ spółki miejskie (Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o., Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Sp. z o.o., Stargardzkie Towarzystwo Budownictwa Społecznego Sp. z o.o.),
- ♦ zakłady przemysłu spożywczego (Cukrownia Kluczewo Sp. z o.o., RARYTAS Sp. z o.o., STARCO Zakład Mleczarski Sp. z o.o.),
- ♦ zakłady przemysłu gumowego (Bridgestone Stargard Sp. z o.o., Stargum Zakład Przemysłu Gumowego Sp. z o.o.),
- ♦ zakłady produkcji środków transportu („CARGOTEC” – Sp. z o.o.; Przedsiębiorstwo Transportu i Maszyn Drogowych TRANS-MASZ S.A., Zakład Pojazdów Szynowych Sp. z o.o.),
- ♦ zakłady przemysłu maszynowego (Z.U.M.-Stargard Sp. z o.o., Backer OBR Sp. z o.o. Zakład w Stargardzie Szczecińskim, Klippan Safety Sp. z o.o.),
- ♦ zakłady remontowo-budowlane (Przedsiębiorstwo Napraw Infrastruktury Sp. z o.o., Przedsiębiorstwo Remontowo-Budowlane Maxbud Sp. z o.o., Przedsiębiorstwo Robót Mostowych Mostar Sp. z o.o., Stargardzkie Przedsiębiorstwo Budowlane Marbud Sp. z o.o.),
- ♦ zakład dziewiarski (Suzan Polska Sp. z o.o.),
- ♦ zakład wyrobów szrotkarskich (Stargard Borst Sp. z o.o.).

Zapotrzebowanie na moc ciepłą na cele grzewcze i c.w.u. na terenie Stargardu Szczecińskiego w 70% zaspokajane jest przez Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. (spółka komunalna), a 30% stanowią indywidualne instalacje grzewcze oparte na piecach węglowych, olejowych oraz gazowych (na podstawie wyników ankietyzacji – Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej sp. z o.o. w Stargardzie Szczecińskim).

Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. jest firmą komunalną. Jedna kotłownia opalana miałem węglowym, w skład której wchodzi 5 kotłów WR-10 i 2 kotły WR-25 o łącznej mocy zainstalowanej równej 116,3 MW zapewnia dostawę energii ciepłej dla mieszkańców Stargardu Szczecińskiego na potrzeby c.o. i c.w.u. Roczna produkcja ciepła z kotłowni to 618 031 GJ (ilość spalanego opału 31 836 Mg).

Dodatkowo przedsiębiorstwo zakupuje energię ciepłą z instalacji geotermalnej zlokalizowanej w pobliżu ciepłowni (moc zamówiona 4 MW) – 91753 GJ/rok.

Sieć przesyłowa (magistralna, rozdzielcza, przyłączeniowa) o długości 59 035 m z 494 szt. eksploatowanych węzłów cieplnych pracuje na znamionowych parametrach, które wynoszą 125/70°C.

Technologia wykonania sieci w większości oparta jest na preizolowanych rurociągach ułożonych w gruncie (36 270 m) oraz rurociągach w kanałach betonowych/ceglanych z izolacją z waty mineralnej (18 905 m). Sieć napowietrzna izolowana watą mineralną z osłoną z blachy, prowadzona na podporach, ma mały udział w całej długości sieci – 3860 m.

Stosowane węzły ciepłownicze to wymiennikownie jednofunkcyjne (123 szt.) i wymiennikownie dwufunkcyjne (371 szt.). Odbiorcą ciepła scentralizowanego w większości jest budownictwo mieszkaniowe (65%). Pozostali odbiorcy to obiekty: komunalne (urzędy i instytucje) – 15,44 %, przemysł – 5,2 %, inni – 14,36 %.

Szacuje się, że 50% zakładów przemysłowych zlokalizowanych na terenie miasta przyłączonych jest do miejskiej sieci ciepłowniczej, pozostałe posiadają indywidualne kotłownie.

Rzeczywiste średnie miesięczne temperatury powietrza dla Stargardu Szczecińskiego w roku 2012 przedstawiono w tabeli 7.8.1.

Tabela 7.8.1. Rzeczywiste średnie temperatury powietrza dla Stargardu Szczecińskiego w roku 2012

Table 7.8.1. Actual mean air temperatures for Stargard Szczeciński in 2012

Miesiąc	Temperatura [°C]
Styczeń	1,8
Luty	–2,4
Marzec	6,2
Kwiecień	8,8
Maj	14,5
Czerwiec	16,3
Lipiec	18,8
Sierpień	18,4
Wrzesień	14,6
Październik	8,8
Listopad	5,5
Grudzień	–0,2

7.8.2. Koncepcyjny model geologiczny i parametry hydrogeotermalne

Model budowy geologicznej strefy Stargard Szczeciński opracowano na podstawie materiałów archiwalnych i danych przedstawionych w rozdz. 4 i 5.

Strefa Stargardu Szczecińskiego jest częścią niecki szczecińskiej – północnego fragmentu niecki szczecińsko-lódzko-miechowskiej, jednej z głównych jednostek strukturalnych Polski. Odwiercono tu dwa otwory dla zakładu geotermalnego: Stargard GT-1 i GT-2, natomiast trzeci otwór Stargard 1 – rozważany jest jako przyszły obiekt dla potencjalnego systemu binarnego.

Elementy strukturalnego modelu geologicznego tej strefy zostały przedstawione na załącznikach 7.8.1 i 7.8.2.

Silnie wydłużony i sfałdowany obszar niecki szczecińskiej posiada asymetryczne skrzydła: NE – bardziej strome, SW – łagodniejsze (Stupnicka 1997). Cechsztyńsko-mezozoiczny kompleks osadowy niecki kształtowały zróżnicowane ruchy pionowe bloków podłoża podcechsztyńskiego, głównie wzdłuż wgłębnych płaszczyzn nieciągłości tektonicznych. Ruchy te, na ogół powolne i długotrwałe, powodowały zmiany tempa i rodzaju sedymentacji, wyrażające się zmiennymi miąższościami osadów, występowaniem utworów różnych facji oraz powstawaniem powierzchni erozyjnych. Powodowały one także przebudowę strukturalną nadległego kompleksu osadowego w wyniku mechanicznych deformacji, których główny etap miał miejsce w najstarszym trzeciorzędzie (Pożaryski 1974).

Regionalna strefa dyslokacyjna Goleniów–Krzyż o kierunku NW-SE dzieli nieckę szczecińską na dwie jednostki. W jednej z nich, w jednostce Stargardu, usytuowano analizowaną strefę Stargardu Szczecińskiego (na SW od ww. strefy dyslokacyjnej). Występujące tutaj uskoki, równoległe do regionalnej strefy dyslokacyjnej, przypuszczalnie przecinają dolną część utworów mezozoiku (zał. 7.8.1 i 7.8.2).

Na NW od strefy Stargardu Szczecińskiego rozciąga się kolejna regionalna strefa dyslokacyjna – Stargard-Świdwin, poprzeczna do poprzedniej, tj. o kierunku SW-NE (Dadlez, Franczyk 1979; Sowizdzał 2012).

Czynnikiem kształtującym budowę tektoniczną niecki szczecińskiej były również poziome i pionowe przemieszczenia soli cechsztyńskich, które poczynawszy od górnego triasu zachodziły z niewielkimi przerwami praktycznie przez cały czas sedymentacji kompleksu mezozoicznego. Przemieszczenia soli były inicjowane przez ruchy bloków podłoża serii solnej. Częściowo mogły być procesami autonomicznymi, sterowanymi przez różnice gęstości soli i mogły interferować z ruchami inicjalnymi (Jaskowiak-Schoeneich (red.) 1979).

W związku z aktywną halotektoniką w spągu utworów kredy zaznaczają się osie synklin i antyklin o przeważającym przebiegu NW-SE, wskazujące jednocześnie na zróżnicowanie form lokalnej tektoniki. Strefa silnego oddziaływania tektoniki solnej wzdłuż niecki szczecińskiej obejmuje kilkanaście struktur solnych, uszeregowanych liniowo od strefy ryglowej Szamotuły–Oborniki po Kamień Pomorski-Międzyzdroje (Garlicki, Szybist 1986). W większości przypadków struktury te częściowo przebijają osady mezozoiku (Dadlez, Jaroszewski 1994). W rejonie Stargardu Szczecińskiego wspomniane uskoki o kierunku NW-SE rozdzielają dużą strukturę solną Stargardu Szczecińskiego (prawdopodobnie nie przebijającą się przez utwory mezozoiku; Garlicki, Szybist 1986) na dwie permskie poduszki solne – południowo-zachodnią i północno-wschodnią (zał. 7.8.2).

Na obszarze tym perspektywiczny zbiornik geotermalny dla lokalizacji systemów binarnych budują utwory jury dolnej. W rejonie Stargardu Szczecińskiego charakteryzują się one naprzemianległym ułożeniem osadów, które powstały w środowiskach jeziornych i rzecznych (Deczkowski i in. 1997). W utworach tych różnice facjalne są niewielkie, natomiast zaznaczyły się w nich wyraźne różnice w prędkości subsydencji osadów przy zasadniczo pełnym rozwoju piaszczysto-ilastych serii osadowych (Dadlez, Franczyk 1979). Ich profil rozpoczynają osady ilaste hetangu dolnego i górnego. Są to lądowe osady rozległych jeziorzysk oraz meandrujących rzek i ich równi zalewowych. Osady środkowej części jury dolnej to głównie piaskowce, a osady górnej części jury dolnej to iłowce toarku dolnego oraz piaskowce toarku górnego. Najbardziej rozprzestrzenione są utwory piaszczyste – białe, szare i żółtawe, drobno- i średnioziarniste (Deczkowski 1997). Ze względu na aktywność tektoniki solnej, miąższość utworów liasu jest bardzo zmienna i waha się od 500 do 1400 m, a strop

tych utworów osiąga w części centralnej niecki szczecińskiej maksymalną głębokość –2500 m n.p.m. w rejonie Chociwla (Sowizdzał 2009a).

Wśród utworów dolnojurajskich najlepsze parametry zbiornikowe mają piaszczyste warstwy mechowskie (hetang-synemur dln.) zalegające w spągowej części zbiornika, a nieco gorsze – piaszczyste warstwy radowskie (synemur grn.), zawierające przewarstwienia utworów słabo przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych, wykształconych w postaci mułowców i iłowców. Gorszymi parametrami zbiornikovymi cechują się nadległe utwory warstw komorowskich (domer-dolna część toarku dln.) i kamieńskich (toark grn.). Natomiast kompleks izolujący w obrębie utworów dolnojurajskich stanowią utwory warstw łobeskich (karyks-domer) i gryfickich (toark dln.), cechujące się najwyższymi wartościami zailenia (Sowizdzał 2009a i 2012).

Na przełomie liasu i jury środkowej występowała większa ruchliwość struktur solnych o czym świadczy lokalny brak utworów górnego toarku (warstw kamieńskich) i częściowe usunięcie utworów dolnego toarku (warstw gryfickich).

W okresie środkowej jury miało miejsce kilka transgresji, przy czym najsilniejsza nastąpiła z początkiem górnego kujawu, kiedy sedymentacja morska wystąpiła również w strefach dotąd wyniesionych. W rejonie Stargardu Szczecińskiego sedymentacja przebiegała spokojnie, co znajduje odzwierciedlenie w pełnym profilu stratygraficznym (Dayczak-Calikowska 1979). Jednak po górnym kujawie zróżnicowanie sedymentacyjne zaznaczyło się znacznymi redukcjami miąższości osadów. Niewielka jest tam również miąższość osadów górnej jury i dolnej kredy, kiedy basen szczeciński był paleowyniesieniem i gdzie nastąpiła redukcja osadów oraz erozyjne ścięcie dużej ich części. Utwory kredy dolnej zachowały się jedynie w postaci cienkiej powłoki osadów albu (Górecki (red.) 1995). Przykrywają je osady górnej kredy o miąższości około 1200 m, na których spoczywają lądowe osady klastyczne paleogenu i neogenu oraz czwartorzędu. Łądogłód zlodowacenia południowopolskiego zaburzył osady podczwartorzędowe, a niekiedy wycisnął je z pierwotnego położenia. Stąd wśród utworów czwartorzędowych zachowały się kry utworów mezozoicznych (Jaskowiak-Schoeneich (red.) 1979).

Zbiornik dolnojurajski podścielają słodkowodne utwory retyku. W skali regionalnej ich miąższość wykazuje bardzo duże wahania, na co między innymi miał wpływ ruch soli cechsztyńskiej, a w części SW niecki szczecińskiej dźwignięcie i nieznaczna denudacja, które poprzedziły sedymentację liasową (Dadlez, Franczyk 1979). Osady retyku leżą na utworach wapienia muszlowego o niewielkiej, lecz dość stałej miąższości (do 290 m), powstałych w strefie sublitoralnej płytkiego i rozległego morza epikontynentalnego (Gajewska 1979). Leżące pod nimi utwory triasu dolnego w skali regionalnej wykazują zmienną miąższość od 400 do ponad 1000 m w osiowej części niecki szczecińskiej oraz tendencję wznoszenia się stropu ku brzeżnym strefom niecki.

Pod utworami mezozoicznymi występują salinarne utwory cechsztynu, a pod nimi piaskowce i eruptywne utwory czerwonego spągowca. Kompleks skał eruptywnych, który występuje w rejonie Gorzowa Wielkopolskiego (o miąższości ponad 1500 m), jest źródłem zwiększonej migracji ciepła z głębi Ziemi ku powierzchni w rejonie Stargardu Szczecińskiego (Sokołowski (red.) 1998). Utwory czerwonego spągowca w obrębie niecki szczecińskiej leżą na sfałdowanych i częściowo zerodowanych utworach dewońsko-karbońskich orogenu waryscyjskiego lub na utworach piaszczystych górnego karbonu, wypełniających obszar przedwaryscyjskiego zapadliska.

Spąg dolnojurajskiej serii perspektywicznej w strefie Stargardu stanowią utwory triasu górnego (iłowce, mułowce i piaskowce), które w otworze Stargard 1 mają miąższość 580 m (por. rozdz. 4).

Przez analogię do danych dotyczących otworu Chociwel 3 (Zboińska 1987) przepuszczalności w iłowcach pstrych kajpru i w iłowcach piaszczystych kajpru dolnego mogą wynosić około 0,4 mD, a w iłowcach piaszczystych kajpru dolnego około 42 mD.

Strop dolnojurajskiej serii perspektywicznej w otworze Stargard 1 stanowią kolejno: mułowce i piaskowce doggeru, piaskowce i mułowce malmu oraz iłowce i mułowce kredy dolnej, odpowiednio o miąższości 80, 60 i 70 m. Przykrywa je 1340 m kompleks wapieni, margli i iłowców kredy górnej. Przez analogię do danych dotyczących otworu Chociwel 3, przepuszczalność serii piaskowców jury górnej oraz iłowców i mułowców kredy dolnej można ocenić na 4,5 mD.

Parametry hydrogeotermalne serii złożowej podano na podstawie danych archiwalnych (rozdz. 4.2.1) i publikowanych (m.in. Szewczyk, Hajto 2006; Kubiński 2008) oraz dokumentacji wyników ww. otworów.

Strop utworów jury dolnej występuje w strefie Stargardu Szczecińskiego na głębokości od powyżej –1600 m n.p.m. do poniżej –2000 m n.p.m. w obrębie miasta Stargard (zał. 7.8.1). Miąższość utworów jury dolnej wzrasta od poniżej 425 m na SE i SW do 525 m w okolicy otworu Stargard 1. Temperatura wody złożowej w warstwie wodonośnej wynosi tam od 86,5°C do 94°C (Kubiński 2008). Temperatura w otworze Stargard 1 w spągowych warstwach mechowskich sięga 100°C, pomimo iż w stropie zbiornika dolnojurajskiego temperatury są niewiele wyższe od 75°C. Lokalnie zatem, w obrębie zbiornika występują temperatury wyższe od 90°C.

W Stargardzie Szczecińskim ujęcie zakładu geotermalnego o wysokiej wydajności eksploatacyjnej (300 m³/h) daje na głowicy otworu temperaturę wód 86,9°C.

Gęstość strumienia ciepła szacowana jest w strefie Stargardu Szczecińskiego na około 80 mW/m², natomiast średni gradient termiczny na 3,24°C/100 m, przy czym najwyższe wartości wskazywane są w utworach jury środkowej, a najniższe w utworach triasu górnego (Szewczyk, Hajto 2006).

Mineralizacja wody w strefie Stargardu Szczecińskiego kształtuje się na poziomie od około 110 do 125 g/dm³. Woda eksploatowana w ujęciu geotermalnym w Stargardzie Szczecińskim dopływa ze złoża jako solanka typu chlorkowo-sodowego o mineralizacji 121,1 g/dm³ (Kubiński 2008).

Parametry zbiornikowe piaskowców dolnojurajskich zestawiono poniżej na podstawie danych ujętych w rozdz. 5.4 oraz informacji archiwalnych i publikowanych (m.in. Sowizdzał 2012).

W strefie Stargardu Szczecińskiego zailenie piaskowców z otworu Stargard 1 wynosi średnio 23,10%. Najniższe jest w warstwach gryfickich (6,40%), coraz wyższe w warstwach: komorowskich (17,2%), łobeskich (18,6%), kamieńskich (29,80%) i radowskich (31,30%), a relatywnie wysokie – mechowskich (35,30%).

W pojedynczej próbie z warstw radowskich w otworze Stargard 1 stwierdzono maksymalną wartość porowatości dla strefy Stargardu Szczecińskiego: 39,3%. W tej samej warstwie średnia wartość porowatości kształtuje się na poziomie powyżej 20%, a średnia wartość porowatości utworów jury dolnej wynosi w strefie Stargardu Szczecińskiego 10–15%. Pomimo tego, uśrednione wartości dla prób z otworów w tym rejonie i w jego sąsiedztwie są generalnie niższe. Najniższe wartości występują w warstwach kamieńskich (4,1%) i mechowskich (4,6%), a wyższe w radowskich (11,1%), gryfickich (12,6%), łobeskich (13,1%) i komorowskich (14,3%).

Na SWW od strefy Stargardu Szczecińskiego, w otworze Chabowo 1, uśredniona przepuszczalność piaskowców jury dolnej wynosi 558,14 mD.

Współczynniki filtracji dla warstwy złożowej w strefie Stargardu Szczecińskiego wynoszą od ponad $3,25 \cdot 10^{-5}$ m/s do $4 \cdot 10^{-5}$ m/s. W poszczególnych warstwach dolnojurajskich są następujące: gryfic-

kich – $1 \cdot 10^{-10}$ m/s, komorowskich – $1 \cdot 10^{-5}$ m/s, łobeskich – $1 \cdot 10^{-10}$ m/s, radowskich – $2 \cdot 10^{-5}$ m/s, mechowskich – $4 \cdot 10^{-5}$ m/s, natomiast w warstwach kenozoicznych $1 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Przewodność hydrauliczna warstwy złożowej w strefie Stargardu Szczecińskiego wynosi od 0,75 do $1,25 \cdot 10^{-2}$ m²/s, przy dominacji tej wyższej wartości.

Korzystne parametry zbiornikowe przekładają się na wysokie wartości potencjalnych wydajności otworów. W strefie Stargardu Szczecińskiego przekraczają one 250 m³/h.

Przedstawiony koncepcyjny model geologiczny strefy Stargardu Szczecińskiego, obejmujący mapę ukształtowania stropu zbiornika jurajskiego, przekroje geologiczne z oszacowanymi miąższościami utworów, parametry hydrogeotermalne oraz dane litostratygraficzne – stanowiły podstawę dla opracowania numerycznego modelu przestrzennego rozkładu temperatur i ciśnień w analizowanej strefie.

7.8.3. Model numeryczny termiki górotworu

Model numeryczny dla strefy Stargardu Szczecińskiego ma wymiar powierzchniowy 10 × 10 km (zał. 7.8.3 – rys. 1), zawarty między współrzędnymi X: 613988–623988 oraz Y: 228414–238414 według notacji PUWG 1992. Najwyższą warstwę modelu stanowi strop jury dolnej, którego rzędna zawiera się w przedziale głębokości od około –1500 m n.p.m. do około –2050 m n.p.m. (zał. 7.8.3 – rys. 1). Spąg modelu, znajdujący się w całości w obrębie triasu górnego wyznacza rzędna –2800 m n.p.m. Model numeryczny został podzielony na 43 równoległe warstwy, z czego 40 warstw – każda o miąższości 25 m – obejmuje cały kompleks jury dolnej na obszarze modelu.

W modelu uwzględniono jako potencjalnie produkcyjny otwór Stargard 1 o głębokości całkowitej 5444 m, znajdujący się w centrum modelu, oraz hipotetyczny otwór chłonny, oddalony o 1200 m na północ od otworu Stargard 1 (zał. 7.8.3 – rys. 1). Elementy obliczeniowe o kształcie nieregularnym zostały skoncentrowane w sąsiedztwie w.w. otworów. Najmniejsze komórki obliczeniowe mają powierzchnię około 100 m² oraz objętość około 2500 m³, podczas gdy elementy graniczne modelu zajmują powierzchnię około $7,7 \cdot 10^5$ m² oraz kubaturę około $7,7 \cdot 10^7$ m³.

W modelu wykorzystano warunki brzegowe I rodzaju ($T(t), p(t) = \text{const.}$ na brzegach modelowego bloku – warunek Dirichleta). W części stropowej modelu, którą stanowią warstwy kamieńskie jury dolnej, ustalono stałą wartość ciśnienia złożowego oraz temperatury. W ten sam sposób warunki brzegowe przypisano warstwie spągowej modelu na głębokości –2750 m n.p.m. (centrum geometryczne warstwy) (zał. 7.8.3 – rys. 1). Przyjęto, że wpływ eksploatacji złoża, tj. zmiana temperatury oraz ciśnienia złożowego warstw wodonośnych nie będzie zaznaczał się w warstwach granicznych modelu. Założenie to jest wynikiem przyjęcia niskiej przepuszczalności warstw, które oddzielają warstwy wodonośne od granic modelu numerycznego.

Początkowy rozkład temperatury przyjęto jako liniową aproksymację profilu termicznego otworu Stargard 1 (zał. 7.8.3 – rys. 2). Mineralizacja solanki z poziomu jury dolnej w otworze Stargard 1 wynosi około 115–120 g/dm³.

Utwory jury dolnej na obszarze modelu Stargard Szczeciński obejmują sześć wydzieleni litostratygraficznych (zał. 7.8.3 – rys. 1, tab. 7.8.3.1). Łączna miąższość osadów jury dolnej w otworze Stargard 1 wynosi 529 m. Począwszy od stropu ($z = -1943,5$ m n.p.m.) w kierunku spągu jury dolnej ($z = -2472,5$ m n.p.m.) są to kolejno: warstwy kamieńskie (miąższość $h = 37$ m), warstwy gryfickie ($h = 99$ m), warstwy komorowskie ($h = 128$ m), warstwy łobeskie ($h = 31$ m), warstwy radowskie ($h = 41$ m) oraz warstwy mechowskie ($h = 193$ m) (Sowizdzał 2009).

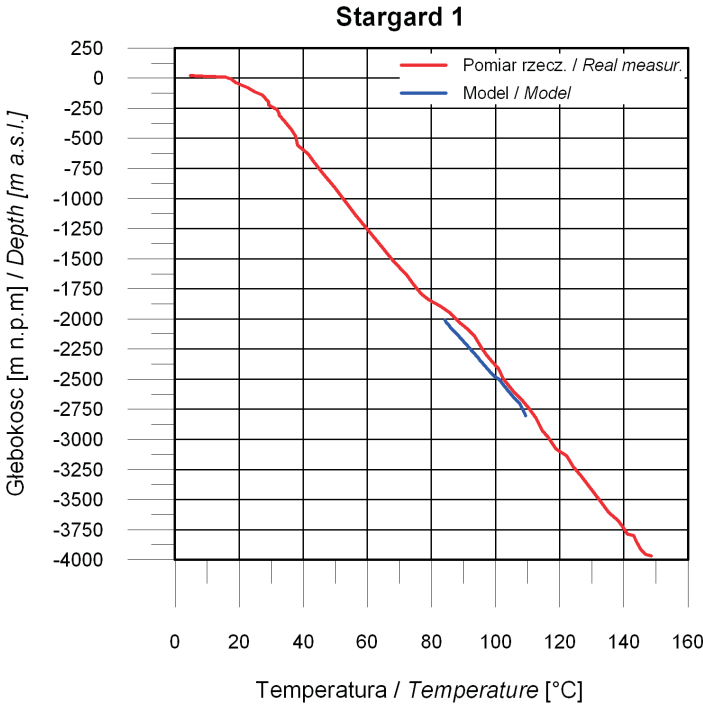
Poziomy wodonośne stanowią przede wszystkim kompleksy piaskowcowe leżące w spągu jury dolnej, tj. warstwy mechowskie oraz radowskie. Przepuszczalność (k) tych utworów w modelu wynosi odpowiednio $5,0 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ (ok. 507 mD) oraz $1,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ (ok. 1620 mD). Nieco gorszymi parametrami filtracyjnymi charakteryzują się warstwy komorowskie, zbudowane z piaskowców z wkładkami iłowców i mułowców ($k = 1,0 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$, ok. 101 mD) oraz warstwy kamieńskie ($k = 1,0 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$, ok. 10 mD). Warstwy łobeskie ($k = 1,0 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$, ok. 1 mD) oraz gryfickie ($k = 1,0 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$, ok. 0,01 mD), zbudowane w głównej mierze z iłowców stanowią warstwy słabo przepuszczalne lub nieprzepuszczalne. Utwory jury dolnej podścielają iłowce triasu górnego o znacznej miąższości ($h = 580 \text{ m}$ w otworze Stargard 1). Spąg modelu ($z = -2800 \text{ m n.p.m.}$) znajduje się w całości w nieprzepuszczalnych utworach triasu. W modelu poszczególnym wydzieleniom przypisano gęstość właściwą szkieletu skalnego, porowatość, przepuszczalność, współczynnik przewodzenia ciepła oraz ciepło właściwe skał. Wartości te są zestawione w tabeli 7.8.3.1.

Kalibracja modelu polegała na wykonaniu szeregu symulacji mających na celu odtworzenie temperatur zbliżonych do profilu termicznego zmierzonego w otworze Stargard 1. Gęstość strumienia cieplnego na obszarze modelu dla strefy Stargard Szczeciński wynosi około 80 mW/m^2

Tabela 7.8.3.1. Struktury geologiczne tworzące model i ich parametry geologiczne
Table 7.8.3.1. Geological structures constituting the model and their geological parameters

Nr	Formacja	Opis	Oznaczenie w modelu	Porowatość efektywna [%]	Gęstość [kg/m ³]	Przepuszczalność [mD]		Ciepło właściwe [J/(kg·K)]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/(m·K)]
						XY	Z		
1	T3	iłowce triasu górnego		15	2 500	0,01	0,01	900	2,1
2	Jh	kompleksy piaskowców warstw mechowskich jury dolnej		4,6	2 500	507	507	850	2,3
3	Js3	kompleksy piaskowców warstw radowskich jury dolnej		11,1	2 500	1620	1620	850	2,3
4	Jpl1	iłowce z przekładkami piaskowców warstw łobeskich jury dolnej		13,1	2 500	1	1	870	2,3
5	Jpl3	kompleksy piaskowców z warstwami iłowców i mułowców warstw komorowskich jury dolnej		14,3	2 500	101	101	850	2,3
6	Jto1	kompleksy iłowców z wkładkami piaskowców warstw gryfickich jury dolnej		12,6	2 500	0,01	0,01	900	2,1
7	Jto3	kompleksy piaskowców z wkładkami iłowców warstw kamieńskich jury dolnej		4,1	2 500	10	10	870	2,1

(Szewczyk, Hajto 2006). Znając gęstość powierzchniowego strumienia ciepła oraz rozkład temperatury w otworze można z prawa Fouriera wyznaczyć przewodność cieplną poszczególnych warstw modelu. Parametr ten był poddawany niewielkim korektom w celu dopasowania profilu termicznego modelu z pomiarem wykonanym w otworze Stargard 1. Jakość kalibracji oraz uzyskany rozkład temperatur w stanie naturalnym wzdłuż przekroju AA' (zał. 7.8.3 – rys. 1) przedstawia rysunek 7.8.3.1.



Rys. 7.8.3.1. Kalibracja termiczna modelu na podstawie danych z otworu Stargard 1

Fig. 7.8.3.1. Thermal calibration of the model based on data from the Stargard 1 well

7.8.4. Program technologiczny zastosowania systemu binarnego

Zgodnie z informacją zawartą w rozdziale 7.8.2, w analizowanej strefie znajduje się wykonany w przeszłości odwiert Stargard 1. Jego lokalizacja i głębokość wskazują, że może być rozważany jako jeden z otworów dostarczających energię w systemie binarnym. Z uwagi na brak szczegółowych danych na temat stanu technicznego odwiertu, w niniejszym rozdziale nie dokonano analizy możliwości jego rekonstrukcji.

7.8.4.1. Modelowanie wpływu zmian parametrów eksploatacyjnych na uzyskiwane efekty pracy binarnej elektrociepłowni geotermalnej

Wyniki przeprowadzonej analizy doboru parametrów pracy systemu ORC, dla strefy Stargardu Szczecińskiego zaprezentowano w tabelach 7.8.4.1–7.8.4.3. Obliczenia wykonano dla trzech oczekiwanych temperatur końcowych wody termalnej (woda schłodzona w systemie energetycznym) T_{g2} :

- ♦ **wariant A** – woda termalna zasila tylko elektrownię geotermalną (po zasileniu elektrowni będzie kierowana do odwiertu chłonnego) – wybrano te parametry pracy elektrowni, przy których moc elektrowni jest najwyższa,

Tabela 7.8.4.1. Parametry termiczne i kaloryczne czynników roboczych oraz wyniki obliczeń dla wariantu A – maksymalizacja mocy elektrowni geotermalnej dla strefy STARGARD SZCZECIŃSKI
Table 7.8.4.1. Thermal and calorific parameters of the operating media, as well as calculation results for the option A – maximization of the geothermal plant power for the STARGARD SZCZECIŃSKI location

Lokalizacje STARGARD SZCZECIŃSKI: $T_{g1} = 89^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 275 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta T_1 = 5\text{K}$ $\Delta T_s = 3\text{K}$, wariant A																					
Woda termalna					Parametry charakterystyczne czynnika										Układ ORC						
czynnik roboczy	T_{g2}	T_{g3}	T_{g4}	ΔT_2	T_{n1}	h_{n1}	T_{n2s}	h_{n2s}	T_{n3}	h_{n3}	T_{n4s}	h_{n4s}	$T_{n5} = T_{n6}$	h_{n5}	h_{n6}	m_n	N_t	N_p	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kW	kW	kW	kW	%
R227ea	53,3	63,0	88,1	30,1	61,0	362,4	40,3	352,8	30,0	234,6	30,4	235,1	58,0	269,7	359,2	82,5	638,8	46,2	592,5	10 517,6	5,6
R1234ze	55,6	63,0	88,3	30,3	61,0	246,9	34,8	232,7	30,0	64,9	30,4	65,4	58,0	105,8	243,3	54,3	619,5	40,3	579,3	9 849,7	5,9
R236fa	57,5	65,0	88,4	28,4	63,0	402,7	40,0	389,3	30,0	237,3	30,2	237,6	60,0	277,0	399,6	56,3	602,5	24,8	577,7	9 282,5	6,2
Izobutan	56,7	63,0	88,4	30,4	61,0	637,3	37,6	608,7	30,0	271,2	30,2	272,0	58,0	343,3	631,0	26,0	597,3	27,4	569,8	9 512,6	6,0
MM	56,5	63,0	88,4	30,4	61,0	132,9	47,2	112,6	30,0	−141,1	30,0	−141,0	58,0	−86,4	128,1	34,9	566,0	1,4	564,6	9 565,2	5,9
Metanol	57,3	58,9	87,3	33,4	84,0	1 160,0	30,0	1 068,4	30,0	−92,8	30,0	−92,8	53,9	−29,5	1 091,4	7,4	546,6	0,5	546,1	9 345,6	5,8

Tabela 7.8.4.2. Parametry termiczne i kaloryczne czynników roboczych oraz wyniki obliczeń dla wariantu B dla strefy STARGARD SZCZECIŃSKI
Table 7.8.4.2. Thermal and calorific parameters of the operating media, as well as calculation results for the option B for the STARGARD SZCZECIŃSKI location

Lokalizacje STARGARD SZCZECIŃSKI: $T_{g1} = 89^{\circ}\text{C}$, $T_{g2} = 60^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 275 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta T_s = 3\text{K}$, wariant B																					
Woda termalna					Parametry charakterystyczne czynnika										Układ ORC						
czynnik roboczy	T_{g4}	ΔT_2	T_{g3}	ΔT_1	T_{n1}	h_{n1}	T_{n2s}	h_{n2s}	T_{n3}	h_{n3}	T_{n4s}	h_{n4s}	$T_{n5} = T_{n6}$	h_{n5}	h_{n6}	m_n	N_t	N_p	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kW	kW	kW	kW	%
R227ea	88,2	24,2	69,5	5,5	67,0	365,5	41,7	354,0	30,0	234,6	30,5	235,2	64,0	277,7	362,1	65,5	604,5	48,0	556,4	8 540,9	6,5
R1234ze	88,4	26,4	67,4	5,4	65,0	248,9	35,0	232,8	30,0	64,9	30,4	65,5	62,0	112,0	245,2	46,5	599,1	41,2	557,9	8 540,9	6,5
R236fa	88,5	26,5	66,4	4,4	65,0	642,5	38,4	610,1	30,0	271,2	30,3	272,2	62,0	354,1	636,0	23,1	598,1	28,9	569,1	8 540,9	6,7
Izobutan	88,5	26,5	66,4	4,4	65,0	642,5	38,4	610,1	30,0	271,2	30,3	272,2	62,0	354,1	636,0	23,1	598,1	28,9	569,1	8 540,9	6,7
MM	88,5	26,5	66,5	4,5	65,0	139,0	49,4	116,0	30,0	−141,1	30,0	−141,0	62,0	−78,4	134,2	30,5	561,5	1,3	560,2	8 540,9	6,6
Metanol	87,4	33,5	61,5	7,6	84,0	1 160,0	30,0	1 068,4	30,0	−92,8	30,0	−92,8	53,9	−29,5	1 091,4	6,8	499,6	0,5	499,1	8 540,9	5,8

Tabela 7.8.4.3. Parametry termiczne i kaloryczne czynników roboczych oraz wyniki obliczeń dla wariantu C dla strefy STARGARD SZCZECIŃSKI
Table 7.8.4.3. Thermal and calorific parameters of the operating media, as well as calculation results for the option C for the STARGARD SZCZECIŃSKI location

Lokalizacje STARGARD SZCZECIŃSKI: $T_{g1} = 89^{\circ}\text{C}$, $T_{g2} = 47^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 275 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta T_s = 3\text{K}$, wariant C																					
Woda termalna					Parametry charakterystyczne czynnika										Układ ORC						
czynnik roboczy	T_{g4}	ΔT_2	T_{g3}	ΔT_1	T_{n1}	h_{n1}	T_{n2s}	h_{n2s}	T_{n3}	h_{n3}	T_{n4s}	h_{n4s}	$T_{n5} = T_{n6}$	h_{n5}	h_{n6}	m_n	N_t	N_p	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kW	kW	kW	kW	%
R227ea	88,0	38,0	55,3	5,3	53,0	358,0	38,3	351,0	30,0	234,6	30,2	234,9	50,0	259,3	355,0	100,4	569,0	36,2	532,8	12 369,6	4,3
R1234ze	88,2	40,2	53,1	5,1	51,0	241,5	34,2	232,0	30,0	64,9	30,2	65,2	48,0	90,8	238,2	70,2	533,1	30,2	502,9	12 369,6	4,1
R236fa	88,2	40,2	53,2	5,2	51,0	395,0	37,2	386,7	30,0	237,3	30,1	237,5	48,0	260,8	392,1	78,6	522,6	17,8	504,8	12 369,6	4,1
Izobutan	88,3	40,3	52,4	4,4	51,0	624,2	35,8	605,3	30,0	271,2	30,1	271,7	48,0	316,8	618,2	35,0	531,4	21,5	509,8	12 369,6	4,1
MM	88,2	40,2	52,7	4,7	51,0	117,8	41,9	104,5	30,0	−141,1	30,0	−141,0	48,0	−106,1	113,1	47,8	506,3	1,3	505,0	12 369,6	4,1
Metanol	87,7	44,3	48,2	4,8	58,0	1 119,8	30,0	1 068,4	30,0	−92,8	30,0	−92,8	43,4	−57,8	1 081,5	10,3	419,4	0,3	419,1	12 369,6	3,4

- ♦ **wariant B** – woda termalna będzie wykorzystywana również na potrzeby ciepłownicze lub do innych procesów technologicznych – do obliczeń przyjęto $T_{g2}^B = 60^{\circ}\text{C}$,
- ♦ **wariant C** – woda termalna będzie wykorzystywana na potrzeby technologii basenowej i/lub cele balneologiczne – do obliczeń przyjęto $T_{g2}^C = 47^{\circ}\text{C}$.

Oznaczenia prezentowane w tabelach są zgodne z opisem przedstawionym w rozdziale 6.2 oraz ze schematem zaprezentowanym na rysunku 6.2.5.1.

Na podstawie analizy przedstawionej w tabeli 7.8.4.1, dla wody termalnej o temperaturze około 89°C , przy wydajności ujęcia na poziomie $275\text{ m}^3/\text{h}$ maksymalną moc elektrowni ($592,5\text{ kW}$) uzyskuje się przy zastosowaniu czynnika R227ea i temperaturze jego odparowania 58°C . Woda termalna schładzana jest w takim przypadku do temperatury $53,3^{\circ}\text{C}$. Przy założeniu, że woda termalna po zasileniu elektrowni zostanie schłodzona do temperatury 60°C (wariant B, tab. 7.8.4.2), najwyższą moc ($557,9\text{ kW}$) osiągnie się przy zastosowaniu czynnika R1234ze w temperaturze odparowania 62°C . Dla wariantu C (tab. 7.8.4.3) moc maksymalna elektrowni wyniosła $532,8\text{ kW}$, przy zastosowaniu czynnika roboczego R227ea, w temperaturze odparowania 62°C .

Rodzaj zastosowanego czynnika roboczego znacząco wpływa na wielkość mocy elektrowni, przy czym należy rozpatrywać zespół cech i właściwości czynnika roboczego zarówno termodynamicznych jak i eksploatacyjnych. Trudno jest określić, w jakim stopniu rodzaj czynnika pod kątem jego kształtu krzywych nasycenia (suchy, mokry) wpływa na efektywność pracy siłowni, gdyż tylko jeden z rozpatrywanych czynników zalicza się do grupy mokrych (metanol), natomiast zauważalny jest wpływ temperatury krytycznej czynnika. Dla czynników o niższych wartościach temperatury krytycznej zazwyczaj osiąga się lepszą efektywność pracy elektrowni geotermalnej.

7.8.4.2. Wyniki obliczeń wskaźników energetycznych

W tabeli 7.8.4.4 przedstawiono wartości maksymalnego strumienia ciepła i maksymalnych ilości ciepła możliwych do pozyskania w ciągu roku z ujęcia geotermalnego w strefie Stargard Szczeciński. Zestawienia dokonano przy założeniu, że system wykorzystania energii geotermalnej jest w stanie schłodzić wodę termalną do temperatury $T_{g2T} = 30^{\circ}\text{C}$. Jest to jednoznaczne z tym, że temperatura wody termalnej zatłaczanej do górotworu wynosi $T_{g2} = 30^{\circ}\text{C}$.

W obliczeniach tych, zgodnie z początkowym założeniem upraszczającym (por. rozdział 6.2), pominięto wielkość strat cieplnych związanych z przesyłem.

Tabela 7.8.4.4. Wartości maksymalnych strumieni ciepła i ilości ciepła możliwego do pozyskania w ciągu roku z ujęcia geotermalnego w strefie Stargardu Szczecińskiego

Table 7.8.4.4. Values of maximum heat fluxes and heat capacities available to be obtained annually from the geothermal source in Stargard Szczeciński area

Parametry ujęcia geotermalnego						Ilość ciepła		
Lokalizacja	$\dot{V}_g$	T_{g1}	ρ	$c_{p,g}$	$\dot{Q}_{g\max}$	$Q_{g\max}$	$Q_{g\max}$	$Q_{g\max}$
	m^3/h	$^{\circ}\text{C}$	kg/m^3	$\text{kJ}/(\text{kg K})$	kW	TJ	kWh	GWh
Stargard Szczeciński	275	89	1054,1	3,66	17410	549	152 511 600	153

Na podstawie przeprowadzonej ankietyzacji ustalono, że roczna rzeczywista produkcja ciepła w strefie Stargardu Szczecińskiego wynosi 618 TJ .

Niezbędnym parametrem do określenia wskaźników energetycznych instalacji geotermalnej jest całkowita produkcja ciepła w ciągu roku. W celu określenia zdefiniowanych wcześniej wskaźników (por. rozdział 6.2.) w obliczeniach przyjęto, że przekazywanie energii cieplnej z wody termalnej do wody sieciowej odbywa się z 10% stratami ciepła w wymienniku geotermalnym. Zatem sprawność wykorzystania pozyskanej energii geotermalnej w wymienniku ciepłowniczym wynosi 90%.

W pierwszej kolejności rozważono teoretyczny układ ciepłowni geotermalnej zakładając, że ciepłownia ta w ciągu całego roku wykorzystuje maksymalny strumień wody termalnej (stały, maksymalny strumień energii geotermalnej). W analizie uwzględniono następujące przypadki:

- ♦ pierwszy, kiedy w ciepłowni istnieje możliwość schłodzenia wody termalnej do temperatury granicznej wynoszącej $T_{g2} = T_{g2T} = 30^{\circ}\text{C}$,
- ♦ drugi, kiedy w ciepłowni istnieje możliwość schłodzenia wody termalnej do temperatury wynoszącej $T_{g2} = 40^{\circ}\text{C}$ (przypadek współpracy sieci ciepłowniczej z odbiornikami średnio- i niskotemperaturowymi lub podgrzew ciepłej wody użytkowej),
- ♦ trzeci, kiedy w ciepłowni istnieje możliwość schłodzenia wody termalnej do temperatury wynoszącej $T_{g2} = 75^{\circ}\text{C}$ (przypadek, kiedy temperatura powrotna z systemu grzewczego wynosi 70°C).

Wartości wskaźników dla potencjalnej ciepłowni w strefie Stargardu Szczecińskiego dla trzech powyższych przypadków zestawiono w tabeli 7.8.4.5.

Tabela 7.8.4.5. Wartości wskaźników dla ciepłowni w strefie Stargardu Szczecińskiego, dla przyjętych założeń upraszczających

Table 7.8.4.5. Index values for the heating plants in Stargard Szczeciński area, according to the accepted simplification assumptions

Lokalizacja	$\dot{V}_g$	T_{g1}	T_{g2}	Q_{co}	$Q_{g\max}$	Q_g	$Q_{co\,g}$	E_g	Z_g	ξ_g
	m^3/h	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	TJ	TJ	TJ	TJ	–	–	–
Stargard Szczeciński	275	89	30	618	549	549	494	1,000	0,799	0,900
			40			456	410	0,831	0,663	0,747
			75			130	117	0,237	0,189	0,213

W tabelach 7.8.4.6–7.8.4.8 przedstawiono wyniki oceny wskaźników energetycznych dla elektrociepłowni, przy założeniu dla trzech wariantów: A, B i C. Dla wszystkich wariantów elektrociepłowni przyjęto, podobnie jak dla ciepłowni, że w ciągu całego roku wykorzystywany jest stały strumień energii geotermalnej zarówno na cele produkcji elektrycznej jak i produkcji ciepła. W przypadku określania wskaźników energetycznych dla elektrociepłowni przyjęto dwie wartości temperatury wody termalnej opuszczającej wymiennik ciepłowniczy, tj. 75°C oraz 40°C .

7.8.5. Model numeryczny pracy dubletu geotermalnego

Głównymi poziomami wodonośnymi są warstwy radowskie i mechowskie leżące w części spągowej jury dolnej. Warstwy te zarazem charakteryzują się najwyższymi wartościami przepuszczalności oraz

Tabela 7.8.4.6. Wartości wskaźników energetycznych dla wariantu A – lokalizacja w miejscowości STARGARD SZCZECIŃSKI (na podstawie tabeli 7.8.4.1)
Table 7.8.4.6. Energy index values for the option A – STARGARD SZCZECIŃSKI location (based on Table 7.8.4.1)

Lokalizacja – STARGARD SZCZECIŃSKI: $T_{g1} = 89^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 275 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{CO} = 618\,031 \text{ GJ}$, wariant A															
Układ ORC						Q_g		Q_{COg}		Wskaźniki energetyczne					
Czynnik	T_{g2}	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}	E_{el}					E_g		Z_g		ξ_g	
–	$^{\circ}\text{C}$	kW	kW	%	TJ	40	75	40	75	40	75	40	75	40	75
R227ea	53,3	592,5	10 517,6	5,6	14,2	456	332	111	0	0,831	0,605	0,198	0,025	0,228	0,026
R1234ze	55,6	579,3	9 849,7	5,9	13,9	456	311	131	0	0,831	0,566	0,229	0,025	0,264	0,025
R236fa	57,5	577,7	9 282,5	6,2	13,9	456	293	147	0	0,831	0,534	0,255	0,025	0,293	0,025
Izobutan	56,7	569,8	9 512,6	6	13,7	456	301	140	0	0,831	0,548	0,243	0,024	0,280	0,025
MM	56,5	564,6	9 565,2	5,9	13,5	456	302	138	0	0,831	0,550	0,240	0,024	0,276	0,025
Metanol	57,3	546,1	9 345,6	5,8	13,1	456	295	145	0	0,831	0,537	0,251	0,023	0,288	0,024

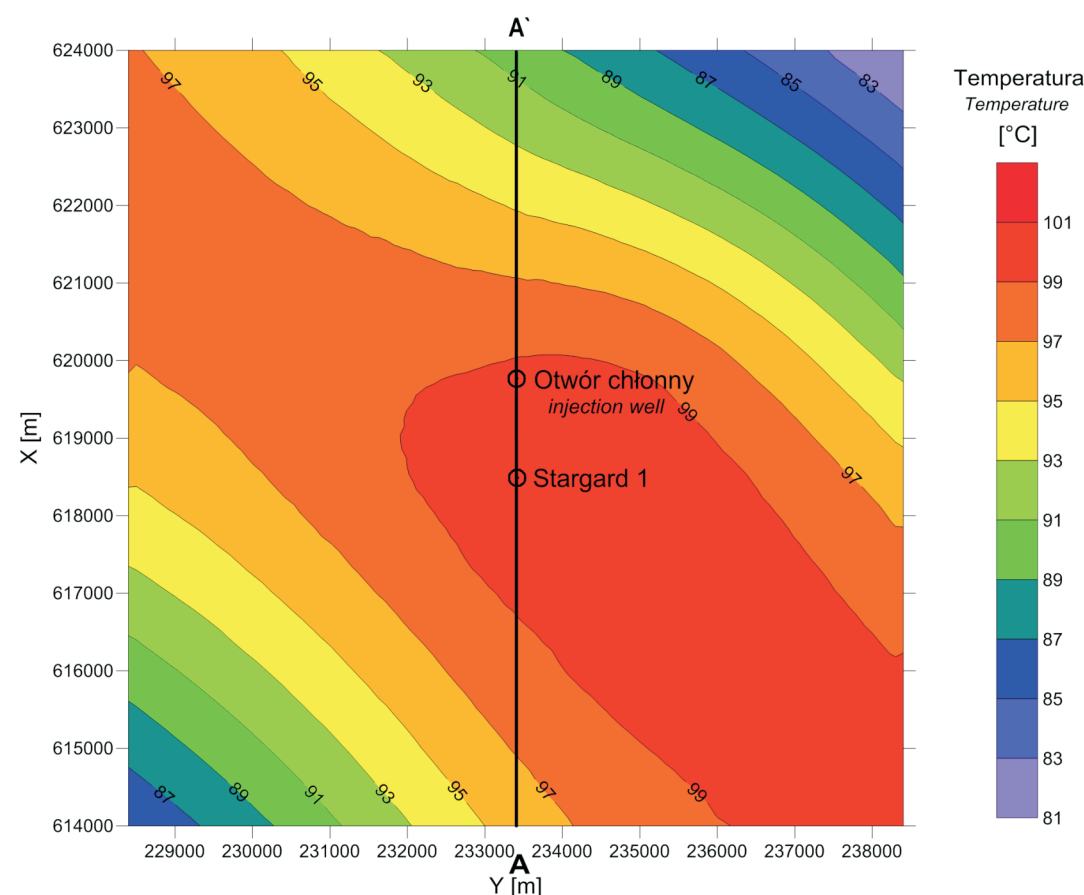
Tabela 7.8.4.7. Wartości wskaźników energetycznych dla wariantu B – lokalizacja w miejscowości STARGARD SZCZECIŃSKI (na podstawie tabeli 7.8.4.2)
Table 7.8.4.7. Energy index values for the option B – STARGARD SZCZECIŃSKI location (based on Table 7.8.4.2)

Lokalizacja – STARGARD SZCZECIŃSKI: $T_{g1} = 89^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 275 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{CO} = 618\,031 \text{ GJ}$, $T_{g2} = 60^{\circ}\text{C}$, wariant B															
Układ ORC						Q_g		Q_{COg}		Wskaźniki energetyczne					
Czynnik	T_{g2}	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}	E_{el}					E_g		Z_g		ξ_g	
–	$^{\circ}\text{C}$	kW	kW	%	TJ	40	75	40	75	40	75	40	75	40	75
R227ea	60	556,4	8 540,9	6,5	13,3	456	270	168	0	0,831	0,492	0,286	0,024	0,329	0,024
R1234ze	60	557,9	8 540,9	6,5	13,4	456	270	168	0	0,831	0,492	0,286	0,024	0,329	0,024
R236fa	60	569,1	8 540,9	6,7	13,6	456	270	168	0	0,831	0,492	0,287	0,024	0,330	0,025
Izobutan	60	569,1	8 540,9	6,7	13,6	456	270	168	0	0,831	0,492	0,287	0,024	0,330	0,025
MM	60	560,2	8 540,9	6,6	13,4	456	270	168	0	0,831	0,492	0,287	0,024	0,330	0,024
Metanol	60	499,1	8 540,9	5,8	12,0	456	270	168	0	0,831	0,492	0,285	0,021	0,327	0,022

Tabela 7.8.4.8. Wartości wskaźników energetycznych dla wariantu C – lokalizacja w miejscowości STARGARD SZCZECIŃSKI (na podstawie tabeli 7.8.4.3)
Table 7.8.4.8. Energy index values for the option C – STARGARD SZCZECIŃSKI location (based on Table 7.8.4.3)

Lokalizacja – STARGARD SZCZECIŃSKI: $T_{g1} = 89^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 275 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{CO} = 618\,031 \text{ GJ}$, $T_{g2} = 47^{\circ}\text{C}$, wariant B															
Układ ORC						Q_g		Q_{COg}		Wskaźniki energetyczne					
Czynnik	T_{g2}	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}	E_{el}					E_g		Z_g		ξ_g	
–	$^{\circ}\text{C}$	kW	kW	%	TJ	40	75	40	75	40	75	40	75	40	75
R227ea	47	532,8	12 369,6	4,3	12,8	456	391	59	0	0,831	0,712	0,113	0,023	0,130	0,023
R1234ze	47	502,9	12 369,6	4,1	12,1	456	391	59	0	0,831	0,712	0,112	0,021	0,129	0,022
R236fa	47	504,8	12 369,6	4,1	12,1	456	391	59	0	0,831	0,712	0,112	0,022	0,129	0,022
Izobutan	47	509,8	12 369,6	4,1	12,2	456	391	59	0	0,831	0,712	0,112	0,022	0,129	0,022
MM	47	505	12 369,6	4,1	12,1	456	391	59	0	0,831	0,712	0,112	0,022	0,129	0,022
Metanol	47	419,1	12 369,6	3,4	10,1	456	391	59	0	0,831	0,712	0,109	0,018	0,125	0,018

temperaturami złożowymi (odtworzonymi w modelu) w zakresie 92–101°C (rys. 7.8.5.1). Symulowaną eksploatację prowadzono z obu tych poziomów o łącznej miąższości 234 m. Pominięto poziom warstw komorowskich, dla których wymodelowana temperatura złożowa kształtowała się w zakresie 87–91°C.



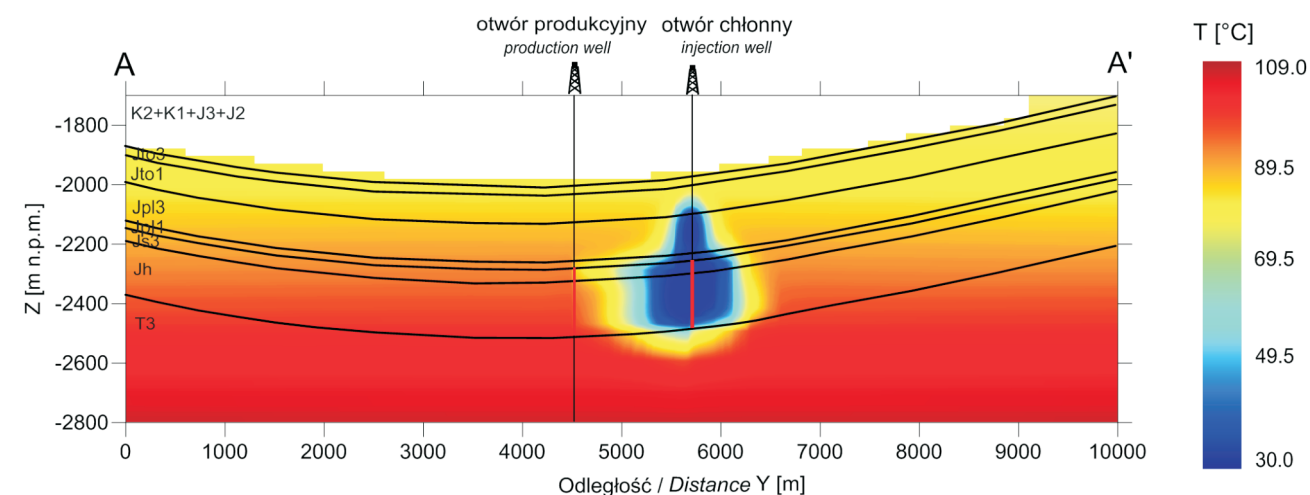
Rys. 7.8.5.1. Prognozowany rozkład temperatury w warunkach stacjonarnych w spągu warstw mechowskich (jura dolna)

Fig. 7.8.5.1. Forecasted temperature distribution in the steady state in the bottom of the lower Jurassic structures

W modelu przyjęto, że otwór Stargard 1 będzie pełnić rolę otworu produkcyjnego, natomiast hipotetyczny otwór chłonny umiejscowiono w odległości 1200 m na północ od otworu produkcyjnego. Przyjęto, że temperatura zatłaczanej solanki będzie wynosić 30°C, co pozwoliłoby na wykorzystanie ciepła wód termalnych zarówno do wytwarzania energii elektrycznej w układach binarnych jak i na zagospodarowanie pozostałego ciepła w systemie kaskadowym (cele grzewcze, rekreacja, balneologia, inne). Odległość między otworami została tak dobrana, aby wychłodzenie strefy okołowiertowej otworu produkcyjnego nie przekroczyło 5°C w ciągu 50 lat. Wydajność dubletu założono stałą w czasie o wartości 275 m³/h przez cały okres modelowania (50 lat).

Wyniki symulacji zastosowanego wariantu eksploatacji wskazują, że wychłodzenie wód złożowych w strefie okołowiertowej otworu Stargard 1 (miejsce dopływu medium do otworu) wyniesie zaledwie 2°C po 50 latach (zał. 7.8.3 – rys. 3a). Spadek ciśnienia złożowego w strefie otworu produkcyjnego wyniesie około 0,21 MPa (zał. 7.8.3 – rys. 3a i 4b). Wyznaczona represja wywołana zatłaczaniem solanki do otworu chłonnego wyniosła około 0,35 MPa (zał. 7.8.3 – rys. 3b i 4). Na

załączniku 7.8.3 – rys. 4 przedstawiono charakter wychłodzenia strefy dubletu otworów na fragmencie przekroju AA' (rys. 7.8.5.2). Symulacja wskazuje, że wychłodzenie złoża następuje tylko w obrębie otworu chłonnego oraz pomiędzy otworem chłonnym i produkcyjnym, a zasięg tych zmian zależy od czasu prowadzonej eksploatacji. Pierwsze objawy niewielkiego spadku temperatury są prognozowane po okresie około 25–30 lat.



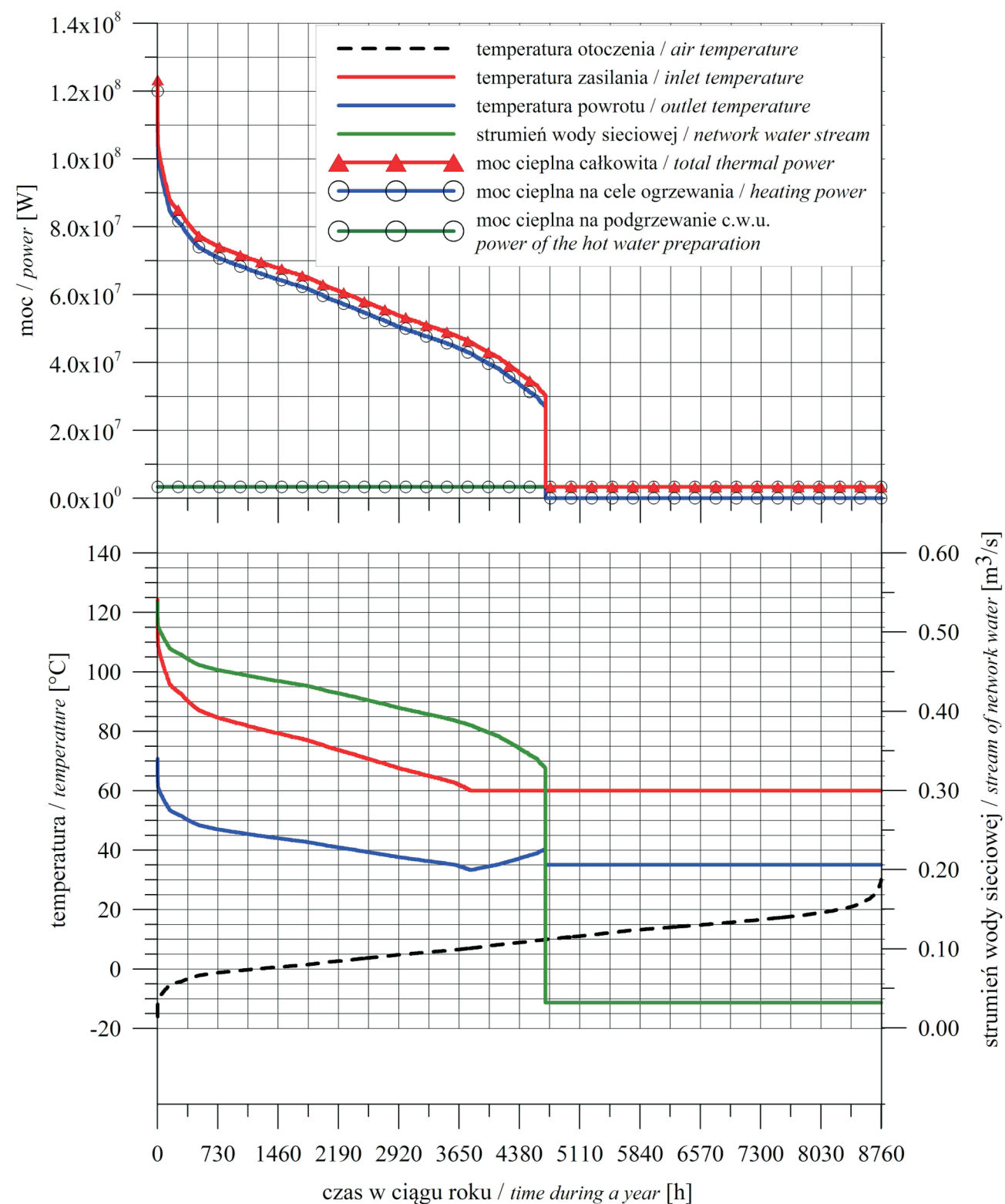
Rys. 7.8.5.2. Temperatura prognozowana w strefie Stargardu Szczecińskiego (przekrój AA') po 50 latach eksploatacji instalacji binarnej

Fig. 7.8.5.2. Forecasted temperature distribution in the Stargard Szczeciński region (AA' cross-section), after 50 years of binary installation operation

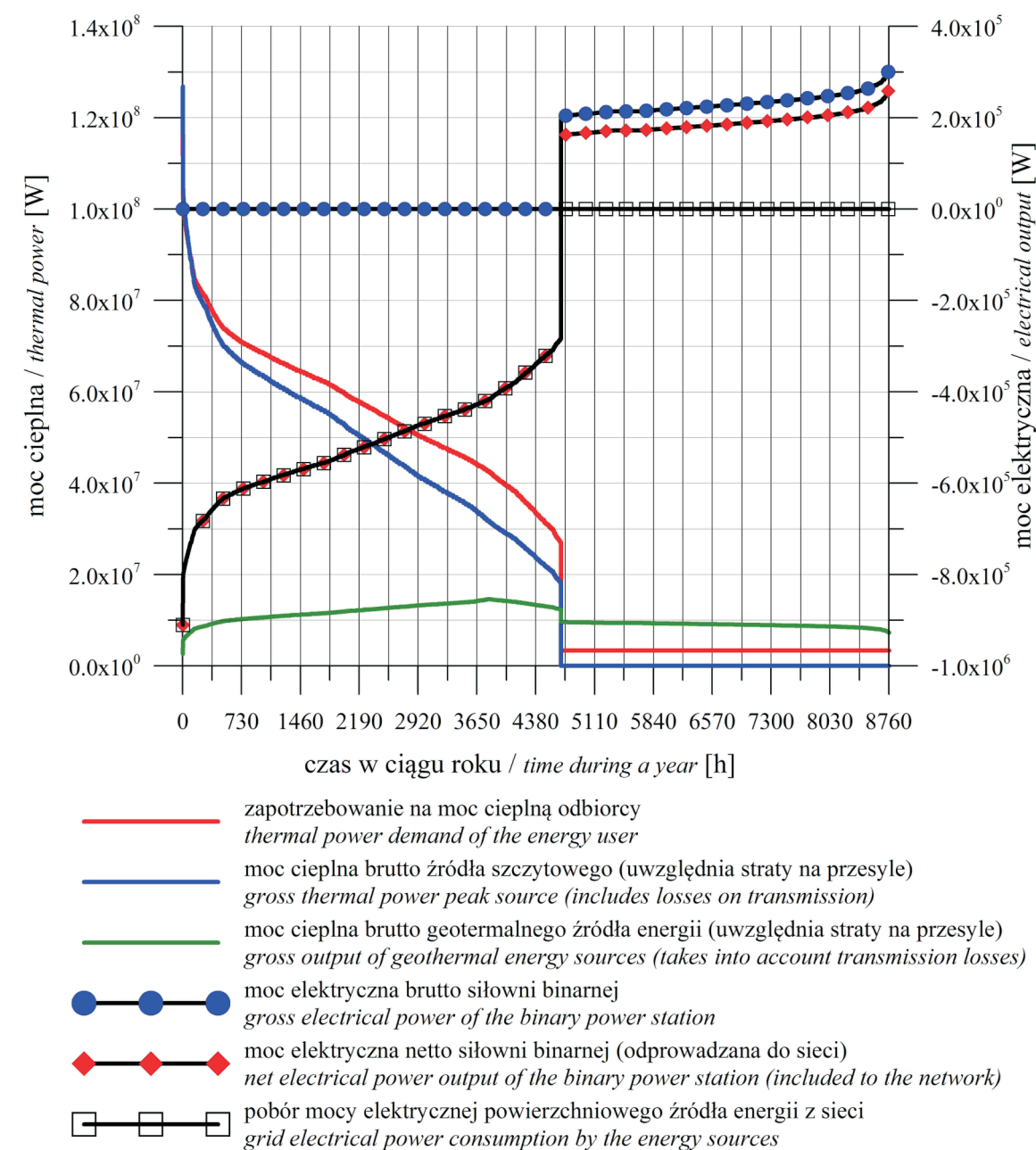
7.8.6. Prognoza efektów finansowych, energetycznych, ekologicznych i społecznych

Na terenie miasta Stargard Szczeciński eksploatowana jest miejska sieć ciepłownicza obsługiwana przez Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. Sieć ta zaspokaja około 70% zapotrzebowania na energię ciepłą w mieście (na podstawie rozdziału 7.8.1). Łączna moc zainstalowana w źródle energii obsługiwanych przez PEC wynosi 116,3 MW (por. rozdział 7.8.1). Przewidywaną charakterystykę odbiorcy energii współpracującego ze źródłem przedstawiono na wykresach zaprezentowanych na rysunku 7.8.6.1. Przewidywane parametry ujęcia geotermalnego pozwalają na osiągnięcie mocy maksymalnej na poziomie 14,1 MW (tab. 7.8.6.1). Atutem omawianej lokalizacji jest możliwość wykorzystania istniejącej sieci ciepłowniczej; powinno to zredukować poziom wymaganych nakładów inwestycyjnych oszacowanych na 94,7 mln zł (tab. 7.8.6.2). Poziom prognozowanej ceny sprzedaży energii ciepłej gwarantującej opłacalność ekonomiczną przedsięwzięcia wyniósł około 50,4 zł/GJ (tab. 7.8.6.2) – co jest wartością charakterystyczną dla energii ciepłej pochodzącej z węgla (Pająk, Bujakowski 2013a).

Maksymalna moc elektryczna instalacji binarnej, wykorzystującej wody termalne jako nośnik energii napędowej, wynosi około 306,6 kW (tab. 7.8.6.1), przy czym moc netto oddawana do sieci elektroenergetycznej oszacowana została na około 250 kW (rys. 7.8.6.2). Całkowitą ilość energii elektrycznej wprowadzanej do sieci oszacowano na 768 MWh/rok. Energia elektryczna wytwarzana byłaby w okresie lata – w warunkach gdy nie ma zapotrzebowania na pełną moc ciepłą ujęcia (rys. 7.8.6.2).



Rys. 7.8.6.1. Definicja odbiorcy energii dla lokalizacji Stargard Szczeciński
Fig. 7.8.6.1. Energy end-user characteristic for Stargard Szczeciński location



Rys. 7.8.6.2. Moc cieplna i elektryczna wytwarzana przez źródło energii dla lokalizacji Stargard Szczeciński
Fig. 7.8.6.2. Heat and electric power generated by the energy source in Stargard Szczeciński location

Ocenę redukcji emisji zanieczyszczeń do atmosfery związanej z eksploatacją ujęcia geotermalnego w kontekście produkcji energii cieplnej i elektrycznej przedstawia tabela 7.8.6.3.

Efekty społeczne wykorzystania wód termalnych w rejonie Stargardu Szczecińskiego wiązać się będą z powstaniem nowych miejsc pracy, w liczbie około 16, w rejonie uruchomienia inwestycji. Biorąc pod uwagę możliwość budowy na bazie występujących wód również obiektów balneo-rekreacyjnych, liczba miejsc pracy wzrosłaby znacząco. Miejsca, w których uruchomiono dotychczas instalacje geotermalne wykorzystujące wody termalne w celach balneo-rekreacyjnych, świadczą o dużym zainteresowaniu klientów tego typu usługami. Takie przedsięwzięcia stymulują lokalny rynek usług i znacząco wpływają na wzrost atrakcyjności turystycznej. Zyskuje na tym branża gastronomiczna, hotelarska, rozwija się rynek różnorodnych usług.

Tabela 7.8.6.1. Parametry techniczne źródła energii dla lokalizacji Stargard Szczeciński

Table 7.8.6.1. Technical parameters for the heat source installation in Stargard Szczeciński location

Parametr	Wartość
Lokalizacja	Stargard Sz.
Głębokość otworu produkcyjnego [m p.p.t.]:	2530
Średnica otworu produkcyjnego [m]:	0,244475
Stan otworu produkcyjnego:	rekonstrukcja
Strumień nominalny (maksymalny) wody termalnej [m ³ /h]:	275
Temperatura wody w warstwie wodonośnej [°C]:	90
Poziom zwierciadła statycznego w otworze produkcyjnym [m p.p.t.]:	100
Ciśnienie depresji [MPa]:	0,17
Głębokość otworu chłonnego [m p.p.t.]:	2500
Stan otworu chłonnego:	nowy
Poziom zwierciadła statycznego w otworze chłonnym [m p.p.t.]:	100
Ciśnienie represji [MPa]:	0,25
Projektowana temperatura schłodzenia wody termalnej w siłowni binarnej [°C]:	53,3
Projektowana temperatura wody termalnej na głowicy otworu produkcyjnego [°C]:	89,16
Temperatura minimalna (projektowa) powietrza zewnętrznego [°C]:	-16
Temperatura projektowa zasilania instalacji odbiorcy [°C]:	124,26
Temperatura projektowa powrotu z instalacji odbiorcy [°C]:	70,74
Nominalny (maksymalny) strumień czynnika dla instalacji odbiorcy [m ³ /h]:	1936,2
Moc cieplna całkowita odbiorcy [kW]:	123327,1
Moc cieplna centralnego ogrzewania dla odbiorcy [kW]:	120000
Moc cieplna przygotowania ciepłej wody użytkowej dla odbiorcy [kW]:	3327,1
Całkowite zapotrzebowanie na energię cieplną odbiorcy [GJ/rok]:	1001891,2
Całkowita moc cieplna zainstalowana w źródle energii (uwzględnia straty na przesyle) [kW]:	141425,3
Całkowita ilość energii cieplnej wytworzonej przez źródło energii (uwzględnia straty na przesyle) [GJ/rok]:	1165946,5
Całkowita moc cieplna zainstalowana w części geotermalnej [kW]:	14579,2
Całkowita ilość energii cieplnej wytworzonej z geotermii (uwzględnia straty na przesyle) [GJ/rok]:	334637,6
Całkowita moc cieplna zainstalowana w ciepłowni szczytowej [kW]:	126846,1
Całkowita ilość energii cieplnej wytworzonej przez kotłownię szczytową (uwzględnia straty na przesyle) [GJ/rok]:	831308,8
Całkowita moc elektryczna zainstalowana w geotermalnej siłowni binarnej [kW]:	306,5
Całkowita ilość energii elektrycznej wytworzonej przez siłownię binarną brutto (uwzględnia potrzeby całej własnej instalacji) [MWh/rok]:	938,3
Ilość energii elektrycznej wytworzonej przez siłownię binarną netto (po odjęciu potrzeb własnych instalacji = energia sprzedana) [MWh/rok]:	768,1
Długość całkowita rurociągu z wodą termalną (od głowic otworów do ciepłowni) [m]:	200
Średnica nominalna rury przewodowej dla rurociągu z wodą termalną (od głowic otworów do ciepłowni) [m]:	0,28469
Stan rurociągu z wodą termalną:	nowy
Długość całkowita rurociągu od ciepłowni geotermalnej do ciepłowni szczytowej [m]:	500
Średnica nominalna rury przewodowej dla rurociągu od ciepłowni geotermalnej do ciepłowni szczytowej [m]:	0,75543
Stan rurociągu od ciepłowni geotermalnej do ciepłowni szczytowej:	nowy
Długość całkowita rurociągu od ciepłowni szczytowej do odbiorcy energii cieplnej [m]:	60000
Średnica nominalna rury przewodowej dla rurociągu od ciepłowni szczytowej do odbiorcy energii [m]:	0,75543
Stan rurociągu od ciepłowni szczytowej do odbiorcy:	istnieje
Maksymalne opory przepływu na rurociągach ciepłowniczych przesyłowych (z wyłączeniem rurociągu z wodą termalną) [MPa]:	1,2927
Maksymalne opory przepływu na rurociągu z wodą termalną [MPa]:	0,0148
Maksymalne ciśnienie do pokonania przez pompy geotermalne (ciśnienie represji minus ciśnienie depresji) [MPa]:	0,42
Średnie roczne straty energii cieplnej na przesyle [ułamek energii cieplnej wytworzonej w źródle energii]:	0,16

Tabela 7.8.6.2. Zestawienie parametrów ekonomicznych dla instalacji powierzchniowego źródła energii dla lokalizacji Stargard Szczeciński

Table 7.8.6.2. List of the economic parameters for the surface energy source installation in Stargard Szczeciński location

Parametr	Wartość
Cena netto zakupu energii elektrycznej [zł/kWh]:	0,488
Cena netto sprzedaży energii elektrycznej [zł/kWh]:	0,24
Cena netto zakupu gazu ziemnego wysokometanowego [zł/m ³]:	1,626
Cena netto sprzedaży energii cieplnej gwarantująca finansową rentowność inwestycji [zł/GJ]:	50,42
Całkowite prognozowane nakłady inwestycyjne (główne komponenty zestawiono poniżej) [tys. zł]:	94728
Nakłady inwestycyjne na otwór produkcyjny [tys. zł]:	6215
Nakłady inwestycyjne na otwór chłonnny [tys. zł]:	18327
Nakłady inwestycyjne na siłownię binarną [tys. zł]:	2972
Nakłady inwestycyjne na szczytowe kotły gazowe [tys. zł]:	44396
Nakłady inwestycyjne na pompy geotermalne (głębiniowa i stacja pomp zatłaczania) [tys. zł]:	229
Nakłady inwestycyjne na pompy obiegowe [tys. zł]:	1757
Nakłady inwestycyjne na wymienniki ciepła [tys. zł]:	2233
Nakłady inwestycyjne na rurociągi połączeniowe [tys. zł]:	2305
Nakłady inwestycyjne na budynek ciepłowni geotermalnej i szczytowej [tys. zł]:	3721
Całkowite koszty obsługi instalacji (główne składniki kosztów zestawiono poniżej) [tys. zł/rok]:	50696
Amortyzacja środków trwałych [tys. zł/rok]:	5667
Koszty obsługi, remontów, konserwacji [tys. zł/rok]:	947
Koszty zakupu nośników energii [tys. zł/rok]:	44082
Przychody z tytułu sprzedaży energii (szczegółowo zestawiono poniżej) [tys. zł/rok]:	50696
Przychody z tytułu sprzedaży energii cieplnej [tys. zł/rok]:	50511
Przychody z tytułu sprzedaży energii elektrycznej [tys. zł/rok]:	184

Tabela 7.8.6.3. Zestawienie parametrów ekologicznych dla instalacji powierzchniowego źródła energii dla lokalizacji Stargard Szczeciński

Table 7.8.6.3. List of the ecological parameters for the surface energy source installation in Stargard Szczeciński location

Parametr	Wartość
Roczna emisja B(a)P dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0
Roczna emisja sadzy dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,043
Roczna emisja pyłu dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,915
Roczna emisja CO ₂ dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	73021,804
Roczna emisja CO dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	18,532
Roczna emisja NO _x w przeliczeniu na NO ₂ dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	50,039
Roczna emisja SO ₂ dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	15,524
Roczna emisja węglowodorów alifatycznych dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	6,347
Roczna emisja w. węglowodorów aromatycznych dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	1,451
Roczne ograniczenie emisji B(a)P [Mg/rok]:	1,166
Roczne ograniczenie emisji sadzy [Mg/rok]:	599,267
Roczne ograniczenie emisji pyłu [Mg/rok]:	2397,73
Roczne ograniczenie emisji CO ₂ [Mg/rok]:	51039,344
Roczne ograniczenie emisji CO [Mg/rok]:	6645,513
Roczne ograniczenie emisji NO _x w przeliczeniu na NO ₂ [Mg/rok]:	17,883
Roczne ograniczenie emisji SO ₂ [Mg/rok]:	841,755
Roczne ograniczenie emisji węglowodorów alifatycznych [Mg/rok]:	328,026
Roczne ograniczenie emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych [Mg/rok]:	332,101

Zał. 7.8.1

MAPA STROPU
UTWORÓW DOLNEJ JURY
W STREFIE STARGARDU
SZCZECIŃSKIEGO*

Encl. 7.8.1

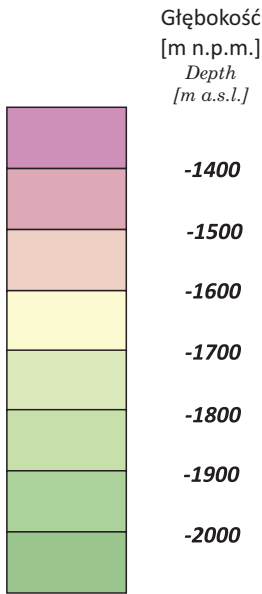
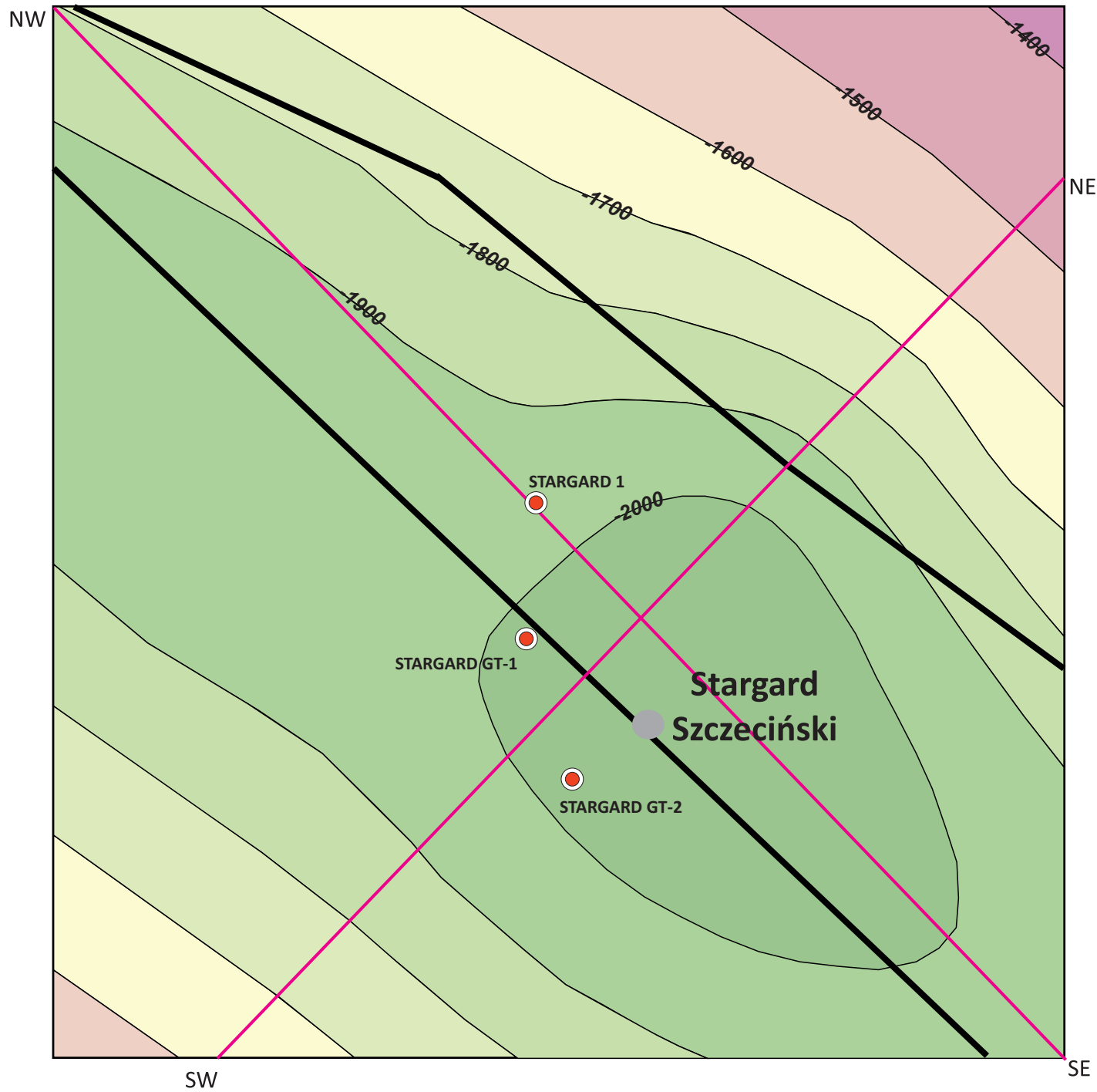
MAP OF THE TOP
OF LOWER JURASSIC
IN THE STARGARD
SZCZECIŃSKI AREA

*na podstawie: Dadlez i Franczyk, 1979;
Górecki (red.), 2006; Sowizdżał, 2012
(based on: Dadlez & Franczyk, 1979;
Górecki (ed.), 2006; Sowizdżał, 2012)

LEGENDA:
LEGEND:

- Główne miasto
Main city
- Otworki
Boreholes
- Uskoki
Faults
- Linie przekrojów geologicznych
(Zał. 7.8.2)
Cross-section lines (Encl. 7.8.2)
- Izohipsy stropu utworów
jury dolnej [m n.p.m.]
Isohypses of the top of Lower
Jurassic formation [m a.s.l.]

0 2 4 km



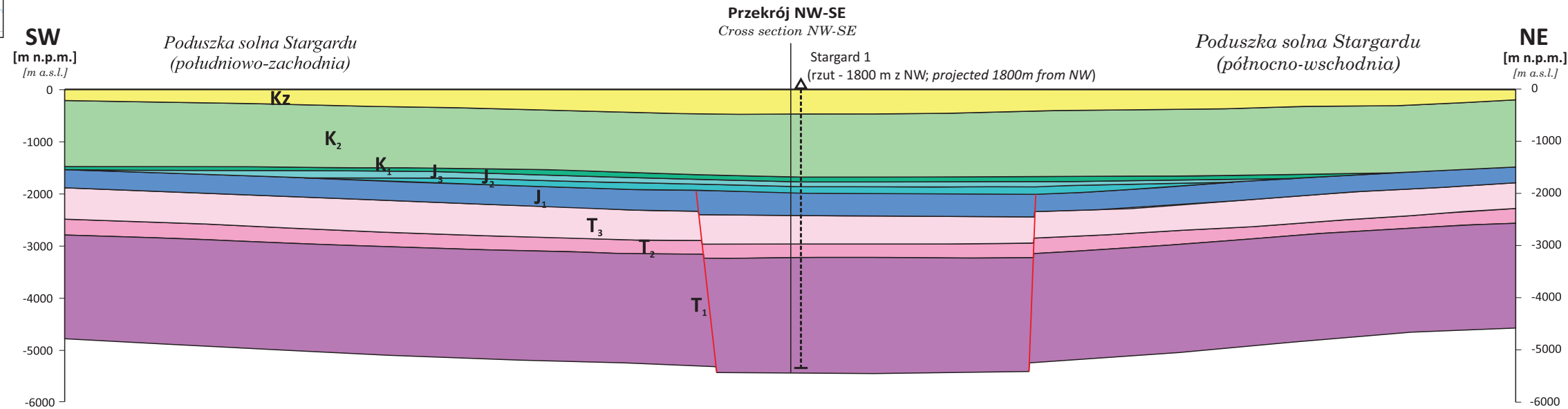


PRZEKROJE GEOLOGICZNE PRZEZ STREFĘ STARGARDU SZCZECIŃSKIEGO (przebieg na zał. 7.8.1)*

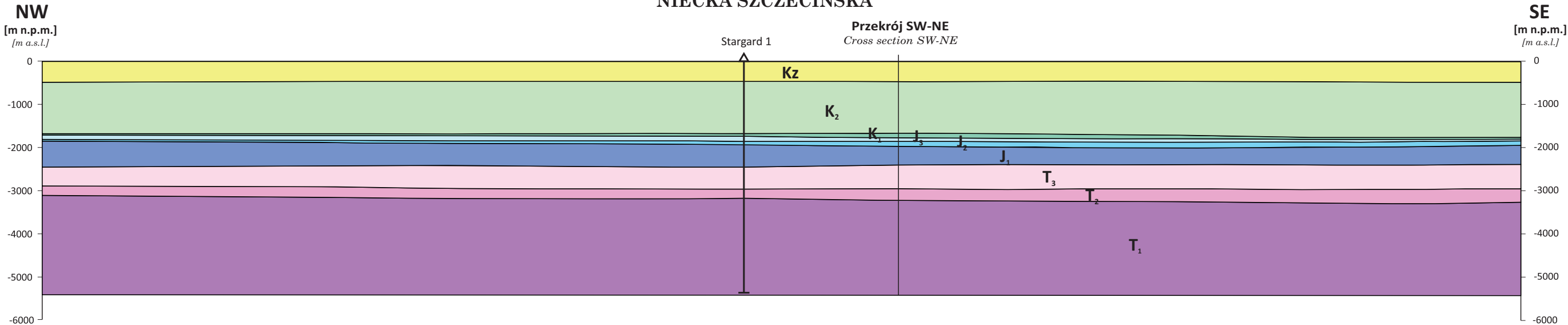
Zał. 7.8.2
Encl. 7.8.2

GEOLOGICAL CROSS-SECTIONS THROUGH THE STARGARD SZCZECIŃSKI AREA
(line at encl. 7.8.1)

NIECKA SZCZECIŃSKA



NIECKA SZCZECIŃSKA



Kz	Kenozoik Cenozoic	K₂	Kreda górna Upper Cretaceous	J₃	Jura górna Upper Jurassic	T₃	Trias górny Upper Triassic
		K₁	Kreda dolna Lower Cretaceous	J₂	Jura środkowa Middle Jurassic	T₂	Trias środkowy Middle Triassic
				J₁	Jura dolna Lower Jurassic	T₁	Trias dolny Lower Triassic

↑
↓
↑
↓
↑
↓

otwory
boreholes

otwory rzutowane
projected boreholes

uskoki
faults

0 1 2 km

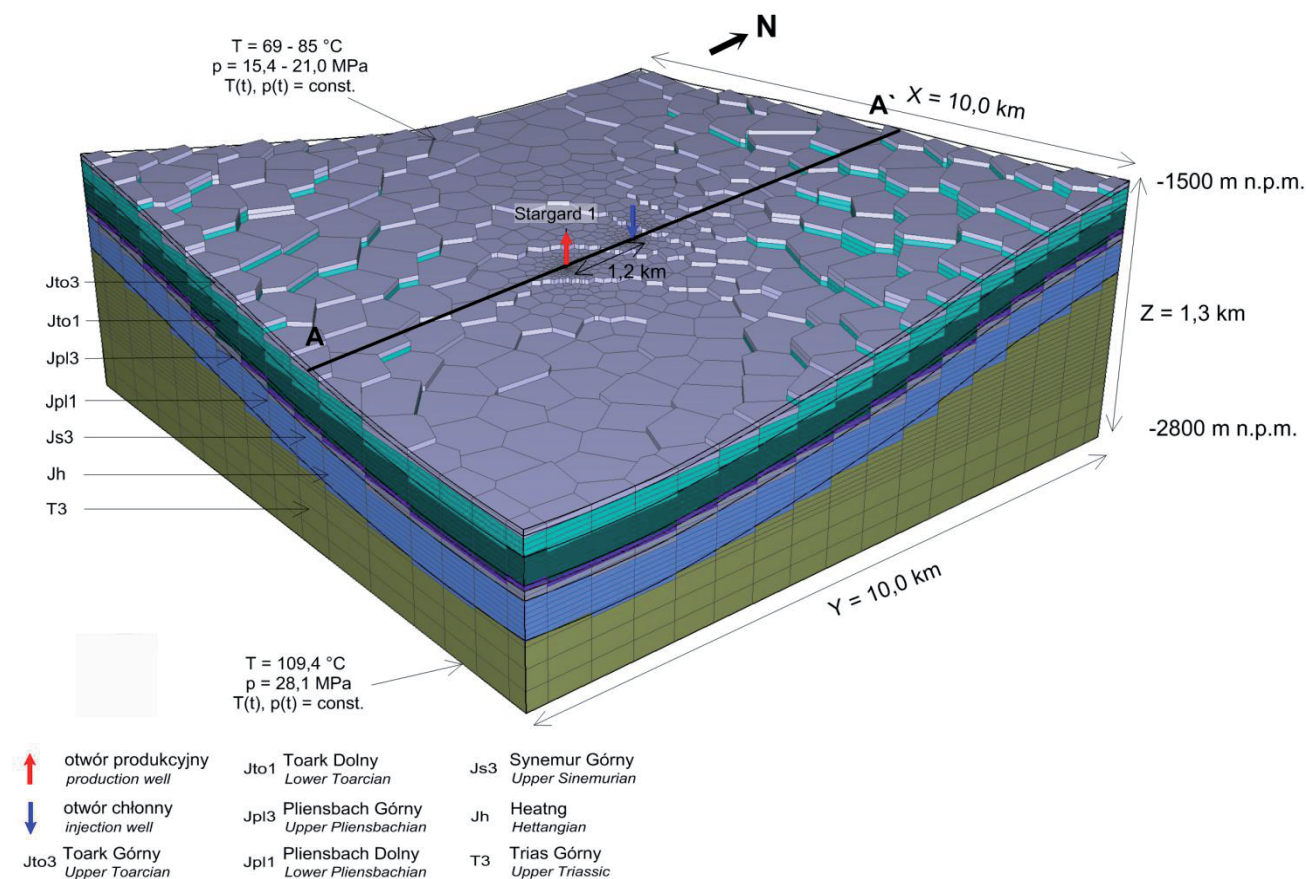
*na podstawie: Sowizdzał, 2012
(based on: Sowizdzał, 2012)

WYNIKI MODELOWANIA NUMERYCZNEGO W STREFIE STARGARDU SZCZECIŃSKIEGO

Załącznik 7.8.3

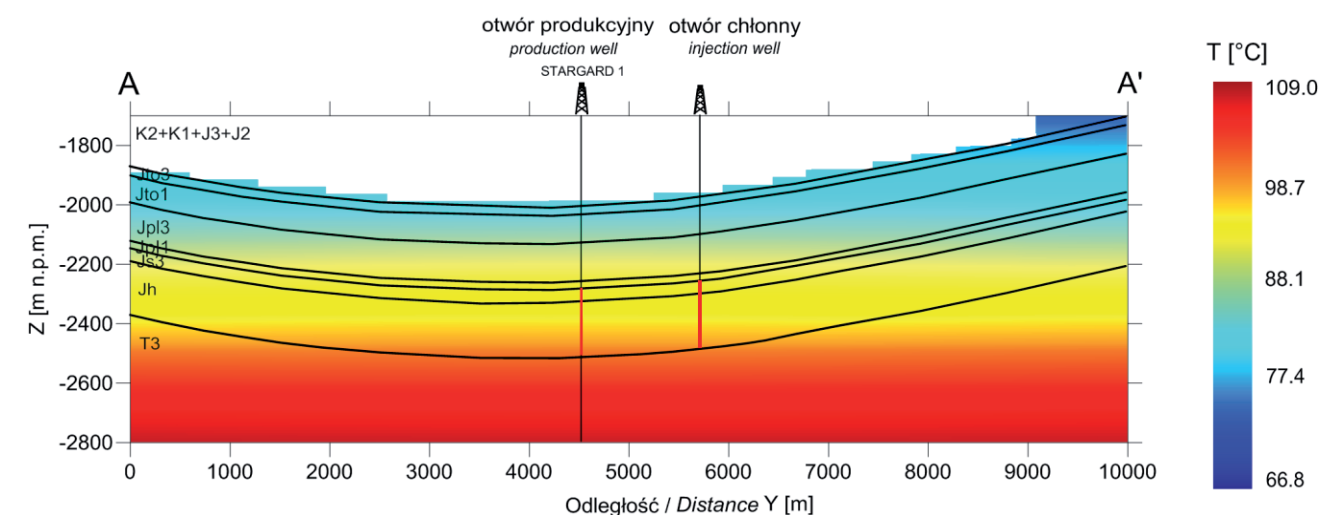
NUMERICAL MODELING RESULTS IN THE STARGARD SZCZECIŃSKI AREA

Encl. 7.8.3



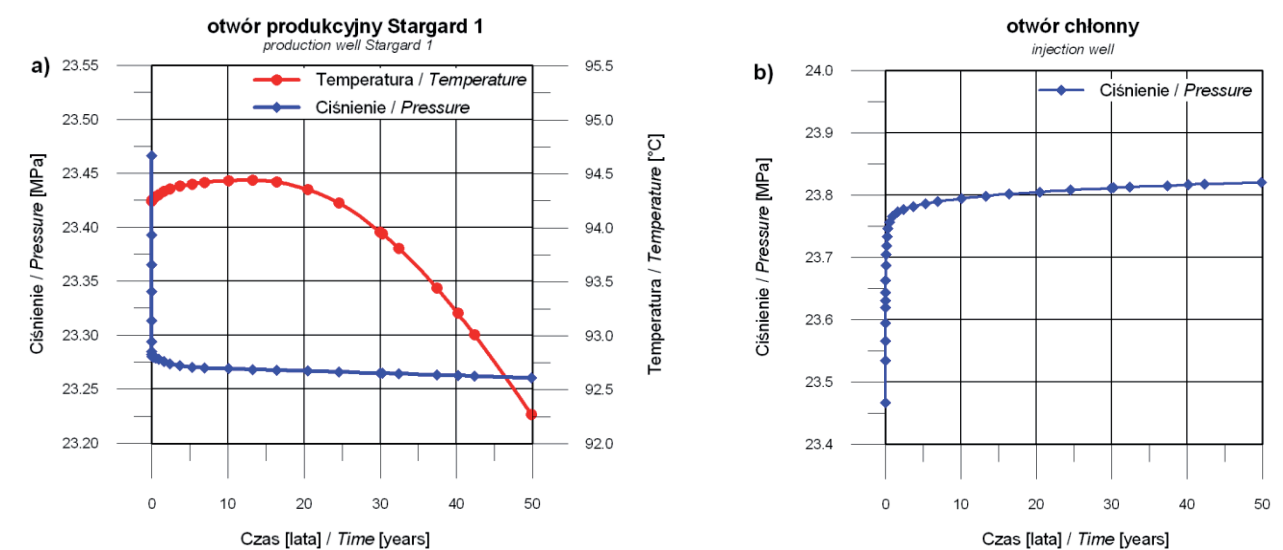
Rys. 1. Model numeryczny strefy Stargardu Szczecińskiego

Fig. 1. Numerical model of the Stargard Szczeciński area



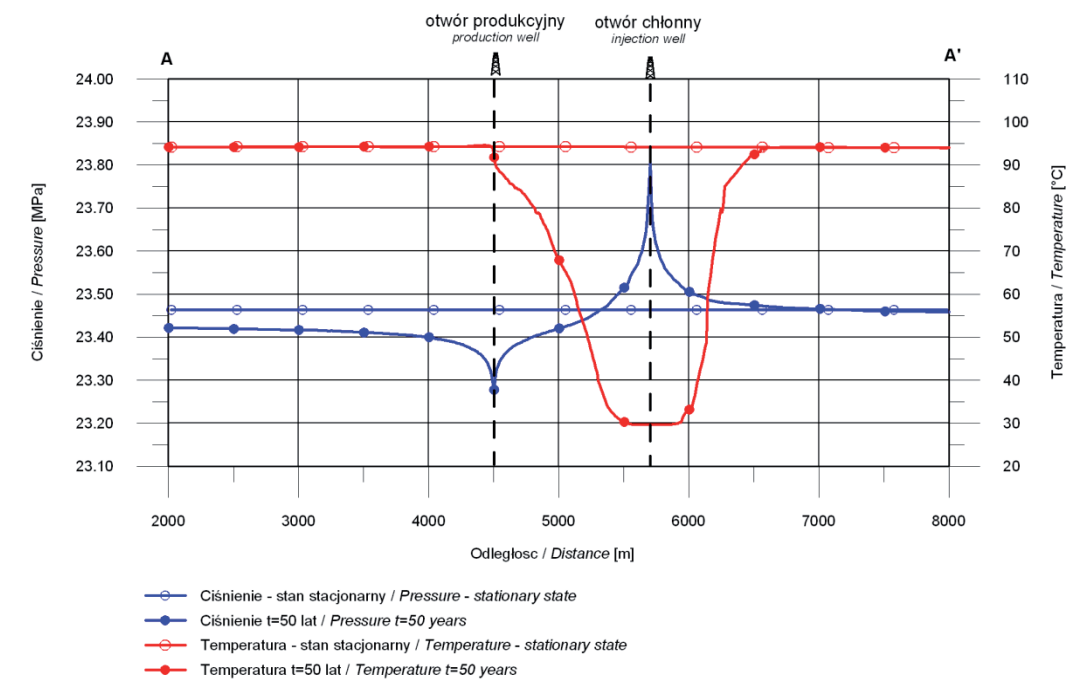
Rys. 2. Prognozowany rozkład temperatury w modelu stanu przedeksploatacyjnego wzdłuż przekroju AA'

Fig. 2. Forecasted temperature distribution prior to exploitation along the AA' cross section



Rys. 3. a) Zmiana temperatury i ciśnienia złożowego w funkcji czasu w otworze produkcyjnym, b) zmiana ciśnienia złożowego w otworze chłonnym na głębokości $z = -2313\text{ m n.p.m.}$ dla wydajności dubletu $Q = 275\text{ m}^3/\text{h}$

Fig. 3. a) Change of the reservoir temperature and pressure versus time in the production well, b) change of the reservoir pressure in the injection well at the depth $z = -2313\text{ m a.s.l.}$ for the doublet flow rate $Q = 275\text{ m}^3/\text{h}$



Rys. 4. Zmiana temperatury złożowej oraz ciśnienia złożowego wzdłuż fragmentu przekroju AA' na głębokości $z = -2313\text{ m n.p.m.}$ dla wydajności dubletu $Q = 275\text{ m}^3/\text{h}$

Fig. 4. Cross-sectional change of the reservoir temperature and pressure along part of the AA' cross section at the depth $z = -2313\text{ m a.s.l.}$ for the doublet flow rate $Q = 275\text{ m}^3/\text{h}$

7.9. Chociwel

7.9.1. Ogólna charakterystyka strefy

Chociwel leży na skraju Wyżyny Ińskiej, która stanowi jeden z najciekawszych regionów województwa zachodniopomorskiego. Miasto jest malowniczo usytuowane nad jeziorem Starzyc. Przez gminę przebiegają szlaki komunikacyjne – droga krajowa nr 20 relacji Stargard–Gdynia, drogi wojewódzkie Szczecin–Chociwel oraz Chociwel–Nowogard, szereg dróg powiatowych, a także magistrala kolejowa Szczecin–Gdańsk. Z Chociwla jest tylko 65 km do Szczecina i 25 km do Stargardu Szczecińskiego (<http://chociwel.pl>).

Obszar gminy wynosi 161 km², w tym miasto Chociwel w granicach administracyjnych zajmuje powierzchnię 3,7 km². Zamieszkuje je około 3,5 tys. mieszkańców, gminę zaś około 6,3 tys.

Chociwel uznawany jest za ośrodek przemysłu spożywczego i drzewnego. Ukształtowanie terenu sprzyja uprawianiu turystyki pieszej.

Zapotrzebowanie na moc cieplną na cele grzewcze (c.o.) i przygotowanie ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) na terenie miasta Chociwel w 20% zaspokajane jest przez przedsiębiorstwo ciepłownicze JAR-POL Sp. Zieleniewo (z siedzibą w Kołobrzegu), 80% to indywidualne instalacje grzewcze oparte na piecach węglowych, olejowych oraz gazowych (na podstawie wyników ankietyzacji – Urząd Miasta Chociwel).

JAR-POL Sp. Zieleniewo, ul. Rycerska 232, Kołobrzeg jest firmą prywatną. Wytwarzanie ciepła na potrzeby c.o. i c.w.u. odbywa się w źródłach o mocy 2,4 MW, zasilanych gazem (roczne zużycie 532 580 m³), produkcja ciepła wynosi około 17 753 GJ/rok.

Zastosowana sieć przesyłowa magistrala rozdzielcza o długości 1293 m, składająca się z 24 węzłów cieplnych. Parametry temperaturowe pracy: c.w.u. max. około 62°C, c.o. – max 75°C. Sieć wykonana jest z rur preizolowanych ułożonych w gruncie oraz rurociągów usytuowanych w kanałach betonowych/ceglanych z izolacją z waty mineralnej. Zastosowane węzły ciepłownicze są typu jednofunkcyjnego, bezpośredniego.

Odbiorcy ciepła scentralizowanego to budownictwo mieszkaniowe (16 budynków wielorodzinnych) oraz budynek szkoły i budynek hali sportowej, przy czym 5 z zasilanych budynków jest ocieplonych. W każdym obiekcie występuje instalacja dwururowa z grzejnikami żeliwnymi.

Główne zakłady pracy istniejące na terenie Chociwla posiadają własne źródło ciepła.

7.9.2. Koncepcyjny model geologiczny i parametry hydrogeotermalne

Model budowy geologicznej strefy Chociwla opracowano na podstawie danych archiwalnych i publikowanych (por. rozdz. 4.2.1 i 5.5), wykorzystując m.in. dokumentację wyników istniejących otworów.

Strefa Chociwla jest częścią niecki szczecińskiej – północnego fragmentu niecki szczecińsko-łódzko-miechowskiej, jednej z głównych jednostek strukturalnych Polski. W rejonie Chociwla odwiercono otwory: Chociwel 2, Chociwel 3, Chociwel IG-1 oraz Oświno IG-1 (zał. 7.9.1).

Elementy strukturalnego modelu geologicznego tej strefy zostały przedstawione na załącznikach 7.9.1 i 7.9.2.

Silnie wydłużony i sfałdowany obszar niecki szczecińskiej ma asymetryczne skrzydła: NE – bardziej strome, SW – łagodniejsze (Stupnicka 1997). Cechszyńsko-mezozoiczny kompleks osadowy niecki kształtowały zróżnicowane ruchy pionowe bloków podłoża podcechszyńskiego, głównie wzdłuż wglębnych płaszczyzn nieciągłości tektonicznych. Ruchy te, na ogół powolne i długotrwałe, powodowały zmiany tempa i rodzaju sedymentacji, wyrażające się zmiennymi miąższościami osadów, występowaniem utworów różnych facji oraz powstawaniem powierzchni erozyjnych. Powodowały także przebudowę strukturalną nadległego kompleksu osadowego w wyniku mechanicznej deformacji, której główny etap miał miejsce w najstarszym trzeciorzędzie (Pożaryski 1974).

Regionalna strefa dyslokacyjna Goleniów–Krzyż o kierunku NW-SE dzieli nieckę szczecińską na dwie jednostki. W jednej z nich, w jednostce Ińska, umiejscowiono analizowaną strefę Chociwla (na NE od w.w. strefy dyslokacyjnej). Występujący tu uskoki, równoległe do regionalnej strefy dyslokacyjnej, przypuszczalnie przecina dolną część utworów mezozoiku, lecz nie przemieszcza ich w sposób wyraźny (zał. 7.9.1 i 7.9.2).

Na NW od strefy Chociwla rozciąga się kolejna regionalna strefa dyslokacyjna – Stargard–Świdwin, prostopadła do poprzedniej, tj. o kierunku SW-NE (Dadlez, Franczyk 1979; Sowizdzał 2012).

Czynnikami kształtującym budowę tektoniczną niecki szczecińskiej były również poziome i pionowe przemieszczenia soli cechszyńskich, które począwszy od górnego triasu zachodziły z niewielkimi przerwami praktycznie przez cały czas sedymentacji kompleksu mezozoicznego. Przemieszczenia soli były inicjowane przez ruchy bloków podłoża serii solnej. Częściowo mogły być procesem autonomicznym, sterowanym przez różnice gęstości soli i mogły interferować z ruchami inicjalnymi (Jaskowiak-Schoeneich (red.) 1979). W związku z aktywną halotektoniką w spągu utworów kredy zaznaczają się osie synklin i antyklin o przeważającym przebiegu NW-SE, wskazujące jednocześnie na zróżnicowanie form lokalnej tektoniki. Strefa silnego oddziaływania tektoniki solnej wzdłuż niecki szczecińskiej obejmuje kilkanaście struktur solnych, uszeregowanych liniowo od strefy ryglowej Szamotuły-Oborniki po Kamień Pomorski-Międzyzdroje (Garlicki, Szybist 1986). W większości przypadków struktury te częściowo przebijają osady mezozoiku (Dadlez, Jaroszewski 1994). W pobliżu NW granicy strefy Chociwla, do wspomnianego uskoku o kierunku NW-SE od NE przylega słup solny Ińska przebijający utwory mezozoiku. W strefie Chociwla związana z nim poduszka solna wypiętrza utwory mezozoiczne. Słup Ińska stanowi SE biegun wydłużonej struktury solnej (jej biegun NE, również przebijający utwory mezozoiku, to słup solny Chociwla). Natomiast w SE części rejonu Chociwla niewielkie wypiętrzenie utworów mezozoiku ma zapewne związek z północno-wschodnią poduszką solną Stargardu (zał. 7.9.2).

Na obszarze tym, perspektywiczny zbiornik geotermalny dla lokalizacji systemów binarnych budują utwory jury dolnej. W strefie Chociwla tworzą one osiową część niecki szczecińskiej. Charakteryzują się naprzemianległym ułożeniem osadów, które powstały w środowiskach jeziornych i rzecznych (Deczkowski 1997). W utworach tych różnice facjalne są niewielkie, natomiast szczególnie wyraźnie zaznaczyły się w nich różnice w prędkości subsydencji osadów przy zasadniczo pełnym rozwoju piaszczysto-ilastych serii osadowych (Dadlez, Franczyk 1979). Występują tutaj największe miąższości osadów tworzących nieckę oraz największe pograżenie ich części stropowych. Profil rozpoczynają osady ilaste hetangu dolnego i górnego. Są to lądowe osady rozległych jeziorzysk oraz meandrujących rzek i ich równi zalewowych. Osady środkowej części jury dolnej to głównie piaskowce, a osady górnej części jury dolnej to łowce toarku dolnego oraz piaskowce toarku górnego. Najbardziej rozprzestrzenione są utwory piaszczyste – białe, szare i żółtawe, drobno- i średnio-

ziarniste (Deczkowski 1997). Ze względu na aktywność tektoniki solnej, miąższość utworów liasu niecki szczecińskiej jest bardzo zmienna i waha się od 500 do 1400 m, a strop tych utworów osiąga w części centralnej niecki – w strefie Chociwła maksymalną głębokość –2500 m n.p.m. (Sowiżdżał 2009a).

Wśród utworów dolnojurajskich najlepsze parametry zbiornikowe mają piaszczyste warstwy mechowskie (hetang-synemur dln.) zalegające w spągowej części zbiornika, a nieco gorsze – piaszczyste warstwy radowskie (synemur grn.), zawierające przewarstwienia utworów słabo przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych, wykształconych w postaci mułowców i iłowców. Gorszymi parametrami zbiornikovymi cechują się nadległe utwory warstw komorowskich (domer-dolna część toarku dln.) i kamieńskich (toark grn.). Natomiast kompleks izolujący w obrębie utworów dolnojurajskich stanowią utwory warstw łobeskich (karyks-domer) cechujące się najwyższymi wartościami zailenia (Sowiżdżał 2009a, 2012).

Na przełomie liasu i jury środkowej zaznaczyła się większa ruchliwość struktur solnych, o czym świadczy lokalny brak utworów górnego toarku (warstw kamieńskich) i częściowe usunięcie utworów dolnego toarku (warstw gryfickich).

W okresie środkowej jury miało miejsce kilka transgresji, przy czym najsilniejsza nastąpiła z początkiem górnego kujawu, kiedy to sedymентация morska wystąpiła również w strefach dotąd wyniesionych. W strefie Chociwła sedymентация przebiegała spokojnie, co znajduje odzwierciedlenie w pełnym profilu stratygraficznym (Dayczak-Calikowska 1979). Jednak po górnym kujawie zróżnicowanie sedymentacyjne zaznaczyło się znaczącymi redukcjami miąższości osadów. Niewielka jest tam również miąższość osadów górnej jury i dolnej kredy, kiedy to basen szczeciński był paleowyniesieniem i gdzie miała miejsce redukcja osadów oraz erozyjne ścięcie dużej ich części. Utwory kredy dolnej zachowały się jedynie w postaci cienkiej powłoki osadów albu (Górecki (red.) 1995). Przykrywają je osady górnej kredy o miąższości około 1200 m, na których spoczywają lądowe osady klastyczne trzeciorzędu i czwartorzędu. Łądogłód zlodowacenia południowopolskiego zaburzył osady trzeciorzędu, a niekiedy wycisnął je z pierwotnego położenia. Stąd wśród utworów czwartorzędowych zachowały się kry utworów mezozoicznych (Jaskowiak-Schoeneich (red.) 1979).

Zbiornik dolnojurajski podścielają słodkowodne utwory retyku. W skali regionalnej ich miąższość wykazuje bardzo duże wahania, na co między innymi miał wpływ ruch soli cechsztyńskiej, a w części SW niecki szczecińskiej dźwignięcie i nieznaczna denudacja, które poprzedziły sedymentację liasową (Dadlez, Franczyk 1979). Osady retyku leżą na utworach wapienia muszlowego o niewielkiej, lecz dość stałej miąższości (do 290 m), powstałych w strefie sublitoralnej płytkiego i rozległego morza epikontynentalnego (Gajewska 1997). Leżące pod nimi utwory triasu dolnego w skali regionalnej wykazują zmienną miąższość od 400 m do ponad 1000 m w osiowej części niecki szczecińskiej oraz tendencję wznoszenia się stropu ku brzeżnym strefom niecki.

Pod utworami mezozoicznymi występują salinarne utwory cechsztynu, a pod nimi piaskowce i eruptywne utwory czerwonego spągowca. Kompleks skał eruptywnych, który występuje w rejonie Gorzowa Wielkopolskiego (o miąższości ponad 1500 m), jest przypuszczalnie źródłem zwiększonej migracji ciepła z głębi ku powierzchni m.in. w strefie Chociwła (Sokołowski (red.) 1998). Utwory czerwonego spągowca w obrębie niecki szczecińskiej leżą na sfałdowanych i częściowo zerodowanych utworach dewońsko-karbońskich orogenu waryscyjskiego lub na utworach piaszczystych górnego karbonu, wypełniających obszar przedwaryscyjskiego zapadliska.

Spąg dolnojurajskiej serii perspektywicznej w strefie Chociwła stanowią utwory triasu górnego (iłowce, mułowce i piaskowce), które w otworze Chociwel 3 (Zboińska 1987) mają miąższość 500 m. Przepuszczalności w iłowcach pstrych kajpru i w iłowcach piaszczystych kajpru dolnego wynoszą tam 0,41 mD, a w iłowcach piaszczystych kajpru dolnego 42,3 mD.

Strop dolnojurajskiej serii perspektywicznej stanowią w otworze Chociwel 3 kolejno: mułowce i piaskowce doggeru, piaskowce i mułowce malmu oraz iłowce i mułowce kredy dolnej, odpowiednio o miąższości 70, 90 i 10 m. Przykrywa je 1460 m kompleks wapieni, margli i iłowców kredy górnej. Przepuszczalność serii piaskowców jury górnej oraz iłowców i mułowców kredy dolnej wynosi tutaj 4,5 mD.

Parametry hydrogeotermalne serii złożowej zestawiono na podstawie informacji zawartych w rozdziale 4.2.1 i publikowanych, m.in. Garlicki, Szybist (1986); Dadlez, Jaroszewski (1994); Szewczyk Hajto (2006) oraz dokumentacji wyników ww. otworów.

Strop utworów jury dolnej występuje w rejonie Chociwła na głęb. od –1900 m n.p.m. na zachodzie do –2500 m n.p.m. na wschodzie (zał. 7.9.1). Miąższość utworów jury dolnej wzrasta od poniżej 350 m na południu do ponad 650 m na północy. Temperatura wody w osiowej części niecki, w partii stropowej osiąga prawie 90°C. W otworze Chociwel 3 notowano 89°C.

Wartość gęstości strumienia ciepłego szacowana jest w strefie Chociwła na 72–77 mW/m³, natomiast średni gradient na 3,12°C/100 m (Szewczyk, Hajto 2006). Uwzględniając gradient oraz miąższość jury dolnej rzędu 450 m, w spągowej partii zbiornika w warstwach mechowskich temperatura może przekraczać 95°C.

Mineralizacja wody w strefie Chociwła kształtuje się na poziomie od poniżej 100 na SW do powyżej 125 g/dm³ na NE. Najwyższe wartości mają związek nie tylko z większą głębokością zbiornika, ale m.in. także z aktywnością i silnym oddziaływaniem utworów solnych (Garlicki, Szybist 1986). Słup solny Ińska (struktura solna Chociwła-Ińska), w wielu przypadkach przebija utwory mezozoiku przerywając osłonę zbiornika dolnojurajskiego (Dadlez, Jaroszewski 1994).

Parametry zbiornikowe piaskowców dolnojurajskich zestawiono poniżej na podstawie danych ujętych w rozdz. 5.4 oraz informacji archiwalnych i publikowanych (m.in. Sowiżdżał 2012).

W strefie Chociwła średnie zailenie piaskowców wynosi 19,57% (wg danych dla otworu Chociwel 3, w którym brak jest piaskowców wodonośnych warstw gryfickich). Najniższe jest w warstwach mechowskich – 11,50% i dość wysokie w warstwach kamieńskich (22,50%) i komorowskich (24,7%). Najkorzystniejsze wartości tego parametru występują w warstwach mechowskich. W strefie Chociwła, gdzie brak jest piaskowców wodonośnych warstw gryfickich, średnia wartość porowatości utworów jury dolnej wynosi 10–15%. Wartości uśrednione dla prób z otworów są jednak niższe. W otworze Chociwel 3 średnia porowatość piaskowców wynosi 13,2%. Najniższa jest w warstwach komorowskich – 11,4%, a wyższa w warstwach kamieńskich (13,5%) i mechowskich (14,7%).

W strefie Chociwła, w otworze Chociwel 3, uśredniona przepuszczalność piaskowców jury dolnej wynosi 1145,3 mD. Współczynnik filtracji utworów dolnojurajskich szacowany jest na $3,5-4 \cdot 10^{-5}$ m/s. W poszczególnych warstwach wynosi odpowiednio: gryfickich – $1 \cdot 10^{-10}$ m/s, komorowskich – $1 \cdot 10^{-5}$ m/s, łobeskich $1 \cdot 10^{-10}$ m/s, radowskich $2 \cdot 10^{-10}$ m/s, mechowskich $4 \cdot 10^{-5}$ m/s. Natomiast w warstwach kenozoicznych wynosi $1 \cdot 10^{-5}$ m/s.

W strefie Chociwła przewodność hydrauliczna utworów dolnojurajskich wynosi od 1 do $2,25 \cdot 10^{-2}$ m²/s, wzrastając ku NW. Korzystne parametry zbiornikowe przekładają się na wysokie wartości potencjalnych wydajności otworów, które w strefie Chociwła mogą przekraczać 250 m³/h.

Przedstawiony koncepcyjny model geologiczny strefy Chociwła, obejmujący mapę ukształtowania stropu zbiornika jurajskiego, przekroje geologiczne z oszacowanymi miąższościami utworów, prognozą parametrów hydrogeotermalnych oraz dane litostratygraficzne – stanowił podstawę dla opracowania numerycznego modelu przestrzennego rozkładu temperatur i ciśnień w analizowanej strefie.

7.9.3. Model numeryczny termiki górotworu

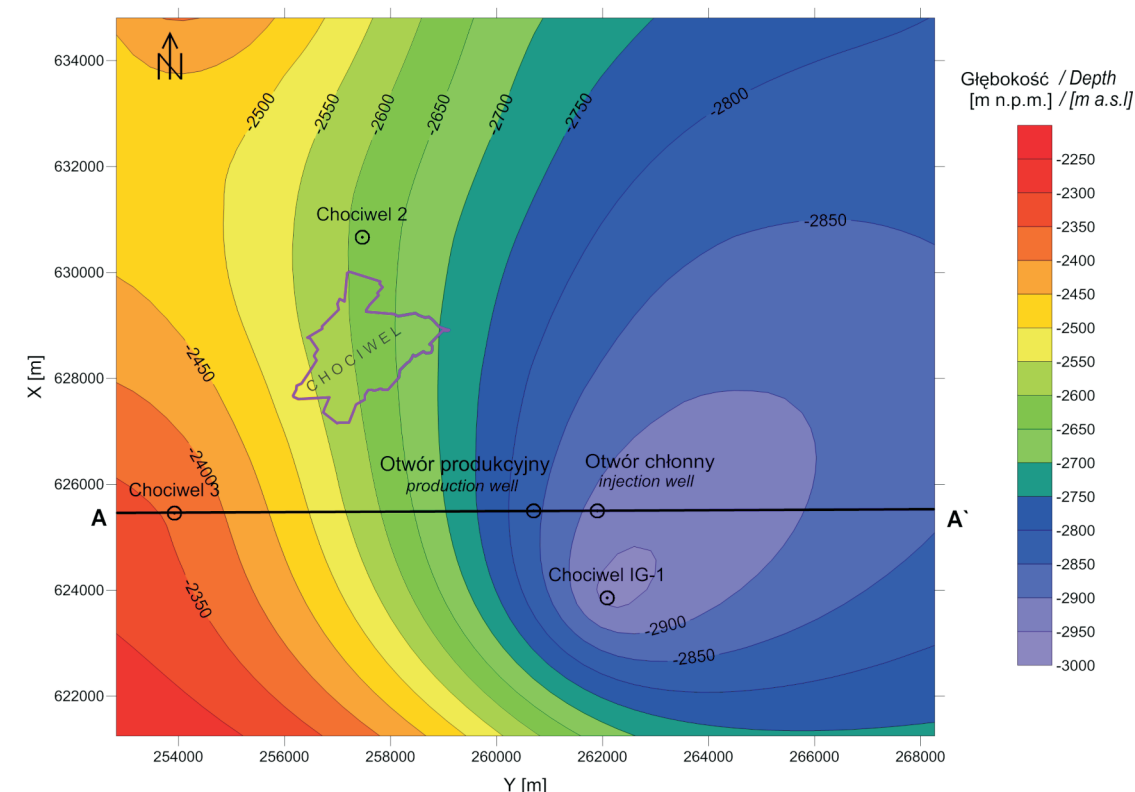
Model numeryczny dla strefy obejmującej miasto Chociwel ma wymiar powierzchniowy $15,44 \text{ km} \times 13,56 \text{ km}$, zawarty między współrzędnymi X: 621249–634805 oraz Y: 252828–268264 według notacji PUWG 1992 (rys. 7.9.3.1). Najwyższą warstwę modelu o rzędnej -1700 m n.p.m. stanowią osady kredy, jury górnej oraz jury środkowej (zał. 7.9.3 – rys. 1). Strop wodonośnych osadów jury dolnej zawiera się w przedziale głębokości od około -1800 m n.p.m. do około -2530 m n.p.m. Spąg modelu, znajdujący się w przeważającej części w obrębie triasu górnego oraz częściowo w triasie środkowym wyznacza rzędna -3300 m n.p.m. Model numeryczny został podzielony na 52 równoległe warstwy, z czego 48 warstw, każda o miąższości 25 m , obejmuje cały kompleks jury dolnej na obszarze modelu (zał. 7.9.3 – rys. 1).

Elementy obliczeniowe o kształcie nieregularnym są skoncentrowane w sąsiedztwie założonej lokalizacji nowych otworów: produkcyjnego i chłonnego. Najmniejsze komórki obliczeniowe mają powierzchnię około 100 m^2 oraz objętość około 2500 m^3 , podczas gdy elementy graniczne modelu zajmują powierzchnię około $1,3 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ oraz kubaturę około $1,3 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ (zał. 7.9.3 – rys. 1).

W modelu wykorzystano warunek brzegowy I rodzaju ($T(t), p(t) = \text{const.}$ – warunek Dirichleta) oraz warunek brzegowy II rodzaju (gęstość strumienia ciepła $q = \text{const.}$ – warunek Neumanna). W części stropowej modelu, którą stanowią osady kredowe oraz górnej i środkowej jury ustalono stałą w czasie wartość ciśnienia złożowego oraz temperatury. W najniższej warstwie modelu na głębokości -3250 m n.p.m. (centrum geometryczne warstwy) założono stały dopływ ciepła o gęstości strumienia w zakresie $72\text{--}77 \text{ mW/m}^2$. Gęstość strumienia ciepła na modelowanym obszarze rośnie z kierunku wschodniego na zachód (Szewczyk, Gientka 2009). Przyjęto, że wpływ eksploatacji złoża, tj. zmiana temperatury oraz ciśnienia złożowego warstw wodonośnych nie będzie zaznaczał się w warstwach granicznych modelu. Założenie to jest wynikiem uwzględnienia niskiej lub bardzo niskiej przepuszczalności warstw, które oddzielają warstwy wodonośne od granic modelu numerycznego.

Początkowy rozkład temperatury oraz ciśnienia w modelu przyjęto jako liniową aproksymację profilu termicznego oraz ciśnienia hydrostatycznego w otworze Chociwel 3 (Zboińska 1987).

Utwory jury dolnej na obszarze modelu „Chociwel” obejmują pięć wydzieleni litostratygraficznych (tab. 7.9.3.1). Począwszy od stropu ($z = -2013,5 \text{ m n.p.m.}$) w kierunku spągu jury dolnej ($z = -2353,5 \text{ m n.p.m.}$) są to kolejno: warstwy kamieńskie (miąższość $h = 10 \text{ m}$), warstwy gryfickie ($h = 18 \text{ m}$), warstwy komorowskie ($h = 142 \text{ m}$), warstwy łobeskie ($h = 17 \text{ m}$) oraz warstwy radowskie i mechowskie (łącznie $h = 153 \text{ m}$) (Zboińska 1987). Poza najbliższym sąsiedztwem otworu Chociwel 3, udział poszczególnych warstw w budowie litostratygraficznej modelu został interpolowany metodą krigingu na podstawie otworów znajdujących się w obszarze modelu (otwór Chociwel IG-1) oraz otworów leżących w niedalekim sąsiedztwie (Kania 1, Grzęzno 2, Dobrzany 1). Spąg jury dolnej zalega najgłębiej w okolicy otworu Chociwel IG-1, na głębokości około -2950 m n.p.m. (rys. 7.9.3.1).



Rys. 7.9.3.1. Spąg jury dolnej na obszarze modelu rejonu Chociwła wraz z zakładaną lokalizacją otworu eksploatacyjnego oraz chłonnego

Fig. 7.9.3.1. Bottom of the lower Jurassic structures in the modelled Chociwel region, including the assumed production and injection well locations

Poziomy wodonośne stanowią przede wszystkim kompleksy piaskowcowe leżące w dolnych warstwach jury dolnej, tj. warstwy mechowskie oraz radowskie. Przepuszczalność tych utworów w modelu wynosi średnio $1,13 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ (1145 mD, Sowizdzał 2009a). Nieznacznie gorszymi parametrami filtracyjnymi charakteryzują się warstwy komorowskie, zbudowane z piaskowców z wkładkami iłowców i mułowców ($k = 5,24 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$, ok. 531 mD) oraz warstwy kamieńskie ($k = 4,29 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$, ok. 435 mD). Warstwy łobeskie ($k = 1,0 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$, ok. 1 mD) oraz gryfickie ($k = 1,0 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$, ok. 0,01 mD), zbudowane w głównej mierze z iłowców stanowią warstwy słabo przepuszczalne lub nieprzepuszczalne. Utwory jury dolnej podścielają iłowce triasu górnego o znacznej miąższości ($h = 537 \text{ m}$ w otworze Chociwel 3). Spąg modelu ($z = -3300 \text{ m n.p.m.}$) znajduje się w całości w nieprzepuszczalnych utworach triasu górnego bądź środkowego (iłowce, mułowce, wapienie, dolomit). W modelu poszczególnym wydzieleniom przypisano gęstość właściwą szkieletu skalnego, porowatość, przepuszczalność, współczynnik przewodzenia ciepła oraz ciepło właściwe skał. Wartości te są zestawione w tabeli 7.9.3.1.

Kalibracja modelu polegała na wykonaniu szeregu symulacji, mających na celu odtworzenie w stanie stacjonarnym temperatur zbliżonych do profilu termicznego zmierzonego w otworze Chociwel 3. Znając gęstość powierzchniowego strumienia ciepła (warunek brzegowy zastosowany w najniższej warstwie modelu) oraz rozkład temperatury w otworze można z prawa Fouriera wyznaczyć przewodność cieplną poszczególnych warstw modelu. Parametr ten był poddawany niewielkim korektom w celu dopasowania profilu termicznego modelu z pomiarem wykonanym w otworze Chociwel 3. Jakość dopasowania przedstawia rysunek 7.9.3.2. Na rysunku 7.9.3.3 przed-

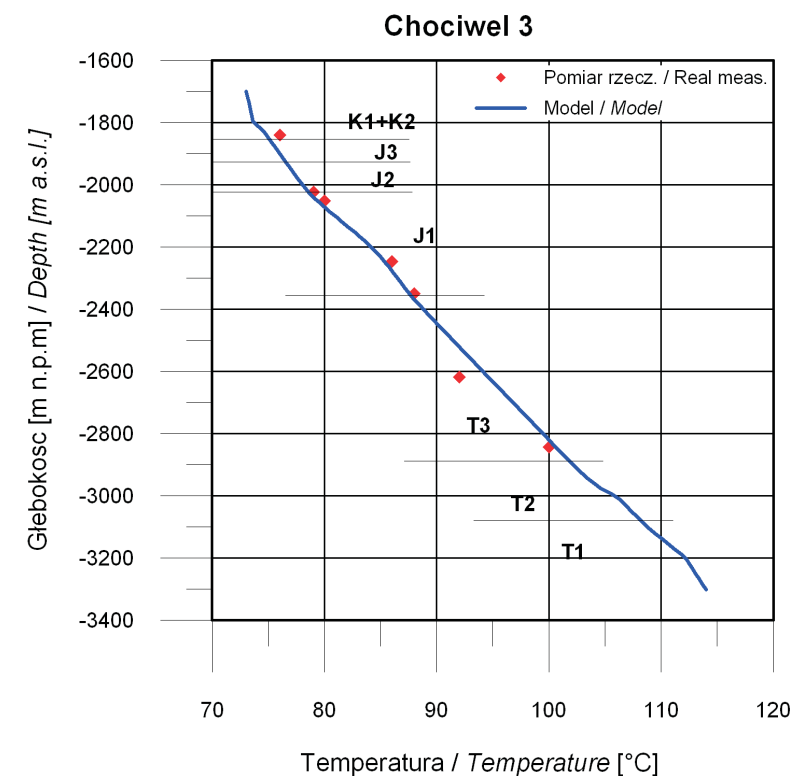
Tabela 7.9.3.1. Struktury geologiczne tworzące model i ich parametry geologiczne
Table 7.9.3.1. Geological structures constituting the model and their geological parameters

Nr	Formacja	Opis	Oznaczenie w modelu	Porowatość efektywna [%]	Gęstość [kg/m ³]	Przepuszczalność [mD]		Ciepło właściwe [J/(kg·K)]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/(m·K)]
						XY	Z		
1	T2	iłowce, mułowce oraz wapienie triasu środkowego		5	2600	0,01	0,01	900	2,2
2	T3	iłowce triasu górnego		15	2600	0,01	0,01	900	2,9
3	Jh+Js3	kompleksy piaskowców warstw radowskich i mechowskich jury dolnej		4,6	2600	1145	1000	850	3,5
4	Jpl1	iłowce z przekładkami piaskowców warstw łobeskich jury dolnej		13	2600	1	1	870	2,3
5	Jpl3	kompleksy piaskowców z warstwami iłowców i mułowców warstw komorowskich jury dolnej		11,4	2600	531	101	850	2,2
6	Jto1	kompleksy iłowców z wkładkami piaskowców warstw gryfickich jury dolnej		10	2600	0,01	0,01	900	2,5
7	Jto3	kompleksy piaskowców z wkładkami iłowców warstw kamieńskich jury dolnej		13,5	2600	435	101	870	2,7
8	K+J2+J3	warstwy kredy, jury górnej i środkowej		10	2600	10	1	850	3,7

stawiono prognozowany rozkład temperatury w spągu jury dolnej. Ze względu na głębokość zalegania, najwyższych temperatur należy spodziewać się w okolicy otworu Chociwel IG-1. Na załączniku 7.9.3 – rys.2 przedstawiono rozkład temperatury, w przekroju AA` (zaznaczony na zał. 7.9.3 – rys. 1 oraz na rys. 7.9.1 i rys. 7.9.3) dla modelu warunków przedeksploatacyjnych. Przekrój AA` przecina otwór Chociwel 3 oraz potencjalną lokalizację nowego odwiertu chłonnego i eksploatacyjnego.

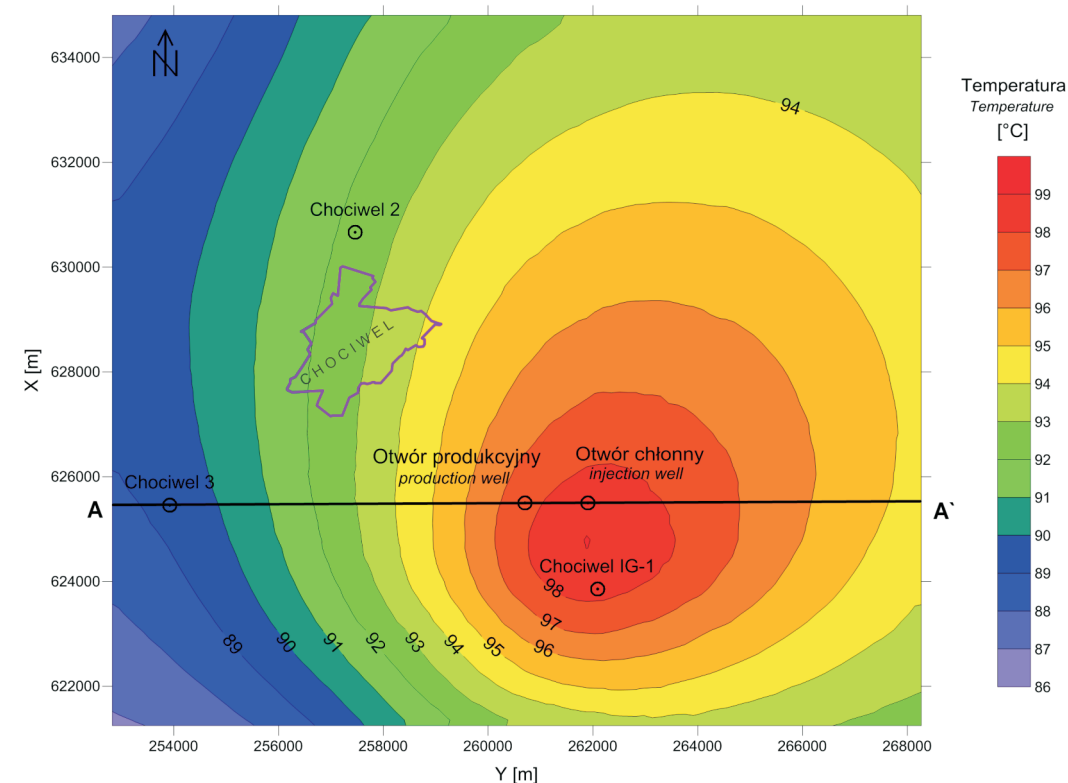
7.9.4. Program technologiczny zastosowania systemu binarnego

Przeprowadzona analiza dokumentacji wyników dla otworów występujących w strefie Chociwla wskazuje, że najlepszym rozwiązaniem dla tej strefy byłoby wykonanie nowych ujęć geotermalnych (stare otwory nie spełniają wymagań w kierunku rekonstrukcji). Zgodnie z danymi przedstawionymi



Rys. 7.9.3.2. Kalibracja modelu warunków przedeksploatacyjnych na podstawie danych z otworu Chociwel 3

Fig. 7.9.3.2. Thermal calibration of the model based on data from the Chociwel 3 well



Rys. 7.9.3.3. Prognozowana w modelu warunków stacjonarnych temperatura w spągu jury dolnej

Fig. 7.9.3.3. Forecasted temperature distribution in the steady state in the bottom of the lower Jurassic structures

w rozdziale 7.9.2. w wytypowanej strefie Chociwla. Uwzględniając głębokość zalegania głównego zbiornika hydrogeotermalnego jury dolnej w niniejszej strefie przyjęto głębokość otworu eksploatacyjnego – 2936 m n.p.m. i otworu chłonnego – 3009 m n.p.m.

7.9.4.1. Modelowanie wpływu zmian parametrów eksploatacyjnych na uzyskiwane efekty pracy binarnej elektrociepłowni geotermalnej

Wyniki przeprowadzonej analizy doboru parametrów pracy systemu ORC dla strefy Chociwla zaprezentowano w tabelach 7.9.4.1–7.9.4.3. Obliczenia wykonano dla trzech oczekiwanych temperatur końcowych wody termalnej (woda schłodzona w systemie energetycznym) T_{g2} :

- ♦ **wariant A** – woda termalna zasila tylko elektrownię geotermalną (po zasileniu elektrowni będzie kierowana do odwiertu chłonnego) – wybrano te parametry pracy elektrowni, przy których moc elektrowni jest najwyższa,
- ♦ **wariant B** – woda termalna będzie wykorzystywana również na potrzeby ciepłownicze lub do innych procesów technologicznych – do obliczeń przyjęto $T_{g2}^B = 60^\circ\text{C}$,
- ♦ **wariant C** – woda termalna będzie wykorzystywana na potrzeby technologii basenowej i/lub cele balneologiczne – do obliczeń przyjęto $T_{g2}^C = 47^\circ\text{C}$.

Oznaczenia prezentowane w tabelach są zgodne z opisem przedstawionym w rozdziale 6.2. oraz ze schematem zaprezentowanym na rysunku 6.2.5.1.

Na podstawie analizy przedstawionej w tabeli 7.9.4.1, dla wody termalnej o temperaturze około 89°C , przy wydajności ujęcia na poziomie $275\text{ m}^3/\text{h}$ maksymalną moc elektrowni ($592,5\text{ kW}$) uzyskuje się przy zastosowaniu czynnika R227ea i temperaturze jego odparowania 58°C . Woda termalna schładzana jest w takim przypadku do temperatury $53,3^\circ\text{C}$. Przy założeniu, że woda termalna po zasileniu elektrowni zostanie schłodzona do temperatury 60°C (wariant B, tab. 7.9.4.1), najwyższą moc ($557,9\text{ kW}$) osiągnie się przy zastosowaniu czynnika R1234ze w temperaturze odparowania 62°C . Dla wariantu C (tab. 7.9.4.1) moc maksymalna elektrowni wynosi $532,8\text{ kW}$, przy zastosowaniu czynnika roboczego R227ea i temperaturze odparowania 62°C .

Rodzaj zastosowanego czynnika roboczego znacząco wpływa na wielkość mocy elektrowni, przy czym należy rozpatrywać zespół cech i właściwości czynnika roboczego zarówno termodynamicznych jak i eksploatacyjnych. Trudno jest określić, w jakim stopniu rodzaj czynnika pod kątem jego kształtu krzywych nasycenia (suchy, mokry) wpływa na efektywność pracy siłowni, gdyż tylko jeden z rozpatrywanych czynników zalicza się do grupy mokrych (metanol), natomiast zauważalny jest wpływ temperatury krytycznej czynnika. Dla czynników o niższych wartościach temperatury krytycznej zazwyczaj osiąga się lepszą efektywność pracy elektrowni geotermalnej.

7.9.5. Model numeryczny pracy dubletu geotermalnego

Głównymi poziomami wodonośnymi są warstwy radowskie i mechowskie leżące w części spągowej jury dolnej. Warstwy te zarazem charakteryzują się najwyższymi wartościami przepuszczalności oraz temperaturami złożowymi (w sąsiedztwie dubletu) w zakresie $90\text{--}95^\circ\text{C}$. Symulowaną eksploatację prowadzono z obu tych poziomów o łącznej miąższości około 200 m . Pominięto poziom warstw komorowskich, dla których prognozowana temperatura złożowa w omawianej lokalizacji była w zakresie $85\text{--}88,5^\circ\text{C}$, w celu oceny eksploatacji wód geotermalnych o możliwie najwyższej temperaturze.

Przyjęto, że temperatura zatłaczanej solanki będzie wynosić 30°C , co pozwoliłoby na wykorzystanie ciepła wód termalnych zarówno do wytwarzania energii elektrycznej w układach binarnych, jak i na zagospodarowanie pozostałego ciepła w systemie kaskadowym (cele grzewcze, rekreacja, balneologia, inne). W modelu przyjęto, że odległość pomiędzy otworem produkcyjnym i chłonnym będzie wynosić 1200 m . Wobec wysokiej przepuszczalności wodonośnych piaskowców, dystans ten powinien być wystarczający dla uzyskania stabilnej temperatury na wypływie przez cały czas symulowanej eksploatacji (50 lat), natomiast spadek temperatury złożowej w otworze produkcyjnym nie powinien przekroczyć 5°C . Stałą wydajność dubletu równą $275\text{ m}^3/\text{h}$ przyjęto przez cały okres modelowania.

Wyniki symulacji zastosowanego wariantu eksploatacji wskazują, że wychłodzenie wód złożowych w strefie przyfiltrowej otworu produkcyjnego wyniesie zaledwie 2°C po upływie 50 lat (zał. 7.9.3 – rys. 3a). Spadek ciśnienia złożowego w strefie otworu produkcyjnego wyniesie natomiast około $0,16\text{ MPa}$ (zał. 7.9.3 – rys. 3a i 4). Wyznaczona represja ciśnienia wywołana zatłaczaniem solanki w otworze chłonnym wyniosła około $0,33\text{ MPa}$ (zał. 7.9.3 – rys. 3b i 4). Powyższe wartości zmian ciśnienia uwzględniają wyłącznie warunki przepływu przez warstwę złożową. Nie uwzględniają natomiast oporów przepływu w samym odwiercie, które przy dużych wydajnościach mogą przewyższać zmiany ciśnienia (depresja lub represja) wywołane przez eksploatację samego złoża. Na rysunku 7.9.5.1 przedstawiono charakter wychłodzenia strefy dubletu otworów na przekroju AA'. Symulacja wskazuje, że wychłodzenie złoża następuje tylko w obrębie otworu chłonnego oraz pomiędzy otworem chłonnym i produkcyjnym. Pierwsze objawy niewielkiego spadku temperatury są prognozowane po około 25 latach .

7.9.6. Prognoza efektów finansowych, energetycznych, ekologicznych i społecznych

Moc cieplna pojedynczego ujęcia geotermalnego w omawianej lokalizacji może zostać oszacowana na około $6,5\text{ MW}$ (tab. 7.9.6.1). Zapotrzebowanie na moc ciepłą lokalnych źródeł energii współpracujących ze znaczącymi odbiorcami energii (por. rozdz. 7.9.1) jest szacowana na poziomie $2,4\text{ MW}$. Ujęcie geotermalne cechuje się zatem znaczącą nadwyżką mocy cieplnej potencjalnie możliwej do zagospodarowania. Inwestycja związana z udostępnieniem energii geotermalnej będzie w analizowanym przypadku wymagała odwiercenia nowych otworów tworzących dublet geotermalny. Niestety w znaczący sposób wpłynie to na poziom nakładów inwestycyjnych (same otwory to ponad 46 mln zł – tab. 7.9.6.2)

Przyjęta do obliczeń charakterystyka odbiorcy energii cieplnej została zaprezentowana na rysunku 7.9.6.1. Przewidywana sprzedaż energii cieplnej została określona na około 20 TJ/rok (tab. 7.9.6.1). Na rysunku 7.9.6.2 zaprezentowano przewidywany harmonogram pracy źródeł energii gwarantujący zaspokojenie potrzeb cieplnych odbiorcy oraz harmonogram pracy siłowni binarnej. Z rysunku wynika, że moc wytwarzana przez siłownię binarną jest wyrównana w czasie – siłownia pracuje przez większą część roku. Wytwarzana moc elektryczna skutecznie redukuje energię elektryczną kupowaną z sieci elektroenergetycznej. Zakładając poprawność założeń można stwierdzić, że instalacja źródła energii jest niemal niezależna energetycznie od konwencjonalnych źródeł energii. W okresie szczytowego zapotrzebowania na moc cieplną pojawia się jedynie bardzo krótkotrwały deficyt zapotrzebowania na energię elektryczną (na poziomie 25 kW) (rys. 7.9.6.2).

Tabela 7.9.4.1. Parametry termiczne i kaloryczne czynników roboczych oraz wyniki obliczeń dla wariantu A – maksymalizacja mocy elektrowni geotermalnej dla strefy CHOCIWEL
Table 7.9.4.1. Thermal and calorific parameters of the operating media, as well as calculation results for the option A – maximization of the geothermal plant power for the CHOCIWEL location

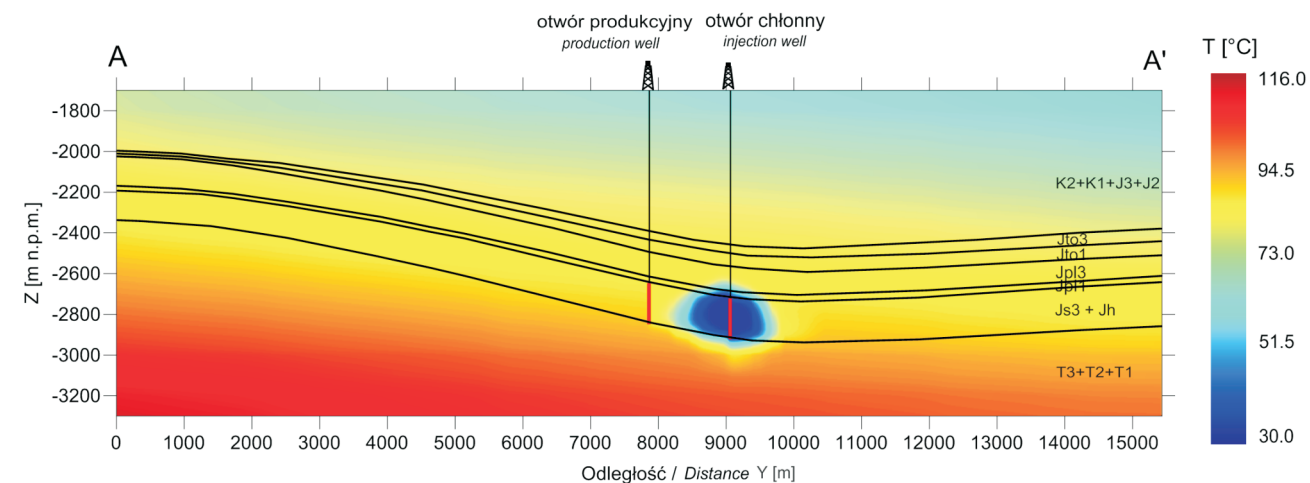
Lokalizacje CHOCIWEL: $T_{g1} = 89^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 275 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta T_1 = 5\text{K}$ $\Delta T_s = 3\text{K}$, wariant A																					
Woda termalna					Parametry charakterystyczne czynnika										Układ ORC						
czynnik roboczy	T_{g2}	T_{g3}	T_{g4}	ΔT_2	T_{n1}	h_{n1}	T_{n2s}	h_{n2s}	T_{n3}	h_{n3}	T_{n4s}	h_{n4s}	$T_{n5} = T_{n6}$	h_{n5}	h_{n6}	m_n	N_t	N_p	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kW	kW	kW	kW	%
R227ea	53,3	63,0	88,1	30,1	61,0	362,4	40,3	352,8	30,0	234,6	30,4	235,1	58,0	269,7	359,2	82,5	638,8	46,2	592,5	10 517,6	5,6
R1234ze	55,6	63,0	88,3	30,3	61,0	246,9	34,8	232,7	30,0	64,9	30,4	65,4	58,0	105,8	243,3	54,3	619,5	40,3	579,3	9 849,7	5,9
R236fa	57,5	65,0	88,4	28,4	63,0	402,7	40,0	389,3	30,0	237,3	30,2	237,6	60,0	277,0	399,6	56,3	602,5	24,8	577,7	9 282,5	6,2
Izobutan	56,7	63,0	88,4	30,4	61,0	637,3	37,6	608,7	30,0	271,2	30,2	272,0	58,0	343,3	631,0	26,0	597,3	27,4	569,8	9 512,6	6,0
MM	56,5	63,0	88,4	30,4	61,0	132,9	47,2	112,6	30,0	−141,1	30,0	−141,0	58,0	−86,4	128,1	34,9	566,0	1,4	564,6	9 565,2	5,9
Metanol	57,3	58,9	87,3	33,4	84,0	1 160,0	30,0	1 068,4	30,0	−92,8	30,0	−92,8	53,9	−29,5	1 091,4	7,4	546,6	0,5	546,1	9 345,6	5,8

Tabela 7.9.4.2. Parametry termiczne i kaloryczne czynników roboczych oraz wyniki obliczeń dla wariantu B dla strefy CHOCIWEL
Table 7.9.4.2. Thermal and calorific parameters of the operating media, as well as calculation results for the option B for the CHOCIWEL location

Lokalizacje CHOCIWEL: $T_{g1} = 89^{\circ}\text{C}$, $T_{g2} = 60^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 275 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta T_s = 3\text{K}$, wariant B																					
Woda termalna					Parametry charakterystyczne czynnika										Układ ORC						
czynnik roboczy	T_{g4}	ΔT_2	T_{g3}	ΔT_1	T_{n1}	h_{n1}	T_{n2s}	h_{n2s}	T_{n3}	h_{n3}	T_{n4s}	h_{n4s}	$T_{n5} = T_{n6}$	h_{n5}	h_{n6}	m_n	N_t	N_p	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kW	kW	kW	kW	%
R227ea	88,2	24,2	69,5	5,5	67,0	365,5	41,7	354,0	30,0	234,6	30,5	235,2	64,0	277,7	362,1	65,5	604,5	48,0	556,4	8 540,9	6,5
R1234ze	88,4	26,4	67,4	5,4	65,0	248,9	35,0	232,8	30,0	64,9	30,4	65,5	62,0	112,0	245,2	46,5	599,1	41,2	557,9	8 540,9	6,5
R236fa	88,5	26,5	66,4	4,4	65,0	642,5	38,4	610,1	30,0	271,2	30,3	272,2	62,0	354,1	636,0	23,1	598,1	28,9	569,1	8 540,9	6,7
Izobutan	88,5	26,5	66,4	4,4	65,0	642,5	38,4	610,1	30,0	271,2	30,3	272,2	62,0	354,1	636,0	23,1	598,1	28,9	569,1	8 540,9	6,7
MM	88,5	26,5	66,5	4,5	65,0	139,0	49,4	116,0	30,0	−141,1	30,0	−141,0	62,0	−78,4	134,2	30,5	561,5	1,3	560,2	8 540,9	6,6

Tabela 7.9.4.3. Parametry termiczne i kaloryczne czynników roboczych oraz wyniki obliczeń dla wariantu C dla strefy CHOCIWEL
Table 7.9.4.3. Thermal and calorific parameters of the operating media, as well as calculation results for the option C for the CHOCIWEL location

Lokalizacje CHOCIWEL: $T_{g1} = 89^{\circ}\text{C}$, $T_{g2} = 47^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}_g = 275 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta T_s = 3\text{K}$, wariant C																					
Woda termalna					Parametry charakterystyczne czynnika										Układ ORC						
czynnik roboczy	T_{g4}	ΔT_2	T_{g3}	ΔT_1	T_{n1}	h_{n1}	T_{n2s}	h_{n2s}	T_{n3}	h_{n3}	T_{n4s}	h_{n4s}	$T_{n5} = T_{n6}$	h_{n5}	h_{n6}	m_n	N_t	N_p	N_{ORC}	Q_d	η_{ORC}
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kW	kW	kW	kW	%
R227ea	88,0	38,0	55,3	5,3	53,0	358,0	38,3	351,0	30,0	234,6	30,2	234,9	50,0	259,3	355,0	100,4	569,0	36,2	532,8	12 369,6	4,3
R1234ze	88,2	40,2	53,1	5,1	51,0	241,5	34,2	232,0	30,0	64,9	30,2	65,2	48,0	90,8	238,2	70,2	533,1	30,2	502,9	12 369,6	4,1
R236fa	88,2	40,2	53,2	5,2	51,0	395,0	37,2	386,7	30,0	237,3	30,1	237,5	48,0	260,8	392,1	78,6	522,6	17,8	504,8	12 369,6	4,1
Izobutan	88,3	40,3	52,4	4,4	51,0	624,2	35,8	605,3	30,0	271,2	30,1	271,7	48,0	316,8	618,2	35,0	531,4	21,5	509,8	12 369,6	4,1
MM	88,2	40,2	52,7	4,7	51,0	117,8	41,9	104,5	30,0	−141,1	30,0	−141,0	48,0	−106,1	113,1	47,8	506,3	1,3	505,0	12 369,6	4,1
Metanol	87,7	44,3	48,2	4,8	58,0	1 119,8	30,0	1068,4	30,0	−92,8	30,0	−92,8	43,4	−57,8	1 081,5	10,3	419,4	0,3	419,1	12 369,6	3,4



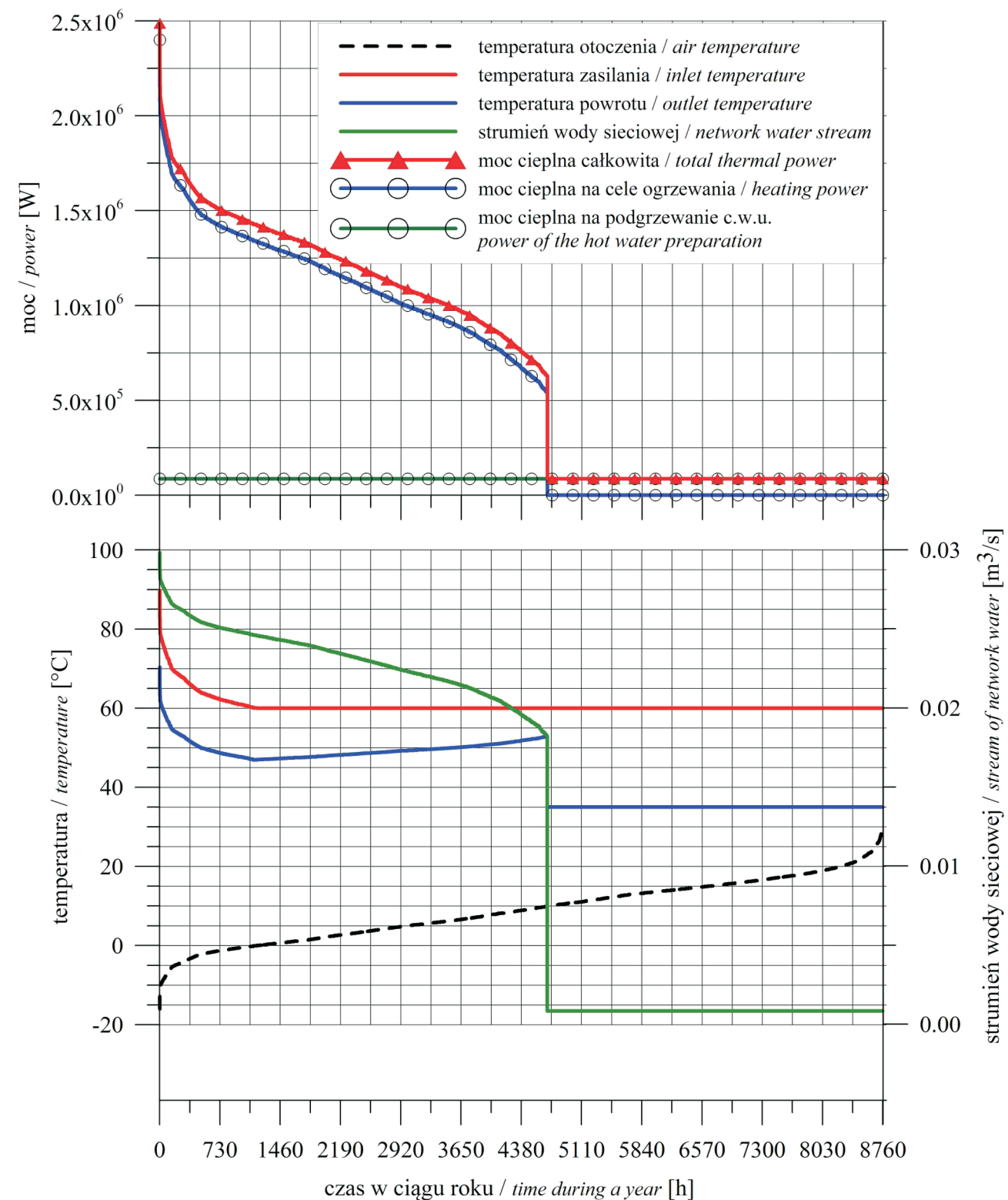
Rys. 7.9.5.1. Temperatura złożowa po 50 latach eksploatacji (przekrój AA')

Fig. 7.9.5.1. Forecasted temperature distribution along the AA' cross-section, after 50 years of operation

Niestety, wysoki poziom prognozowanych nakładów inwestycyjnych (ponad 57 mln zł – wg tab. 7.9.6.2) nie pozwala osiągnąć zadowalającej ceny sprzedaży energii cieplnej gwarantującej finansową rentowność inwestycji. Cena ta jest oszacowana na około 110 zł/GJ netto (ab. 7.9.6.2) i odpowiada mniej więcej energii pochodzącej z oleju opałowego (Pająk, Bujakowski 2013a).

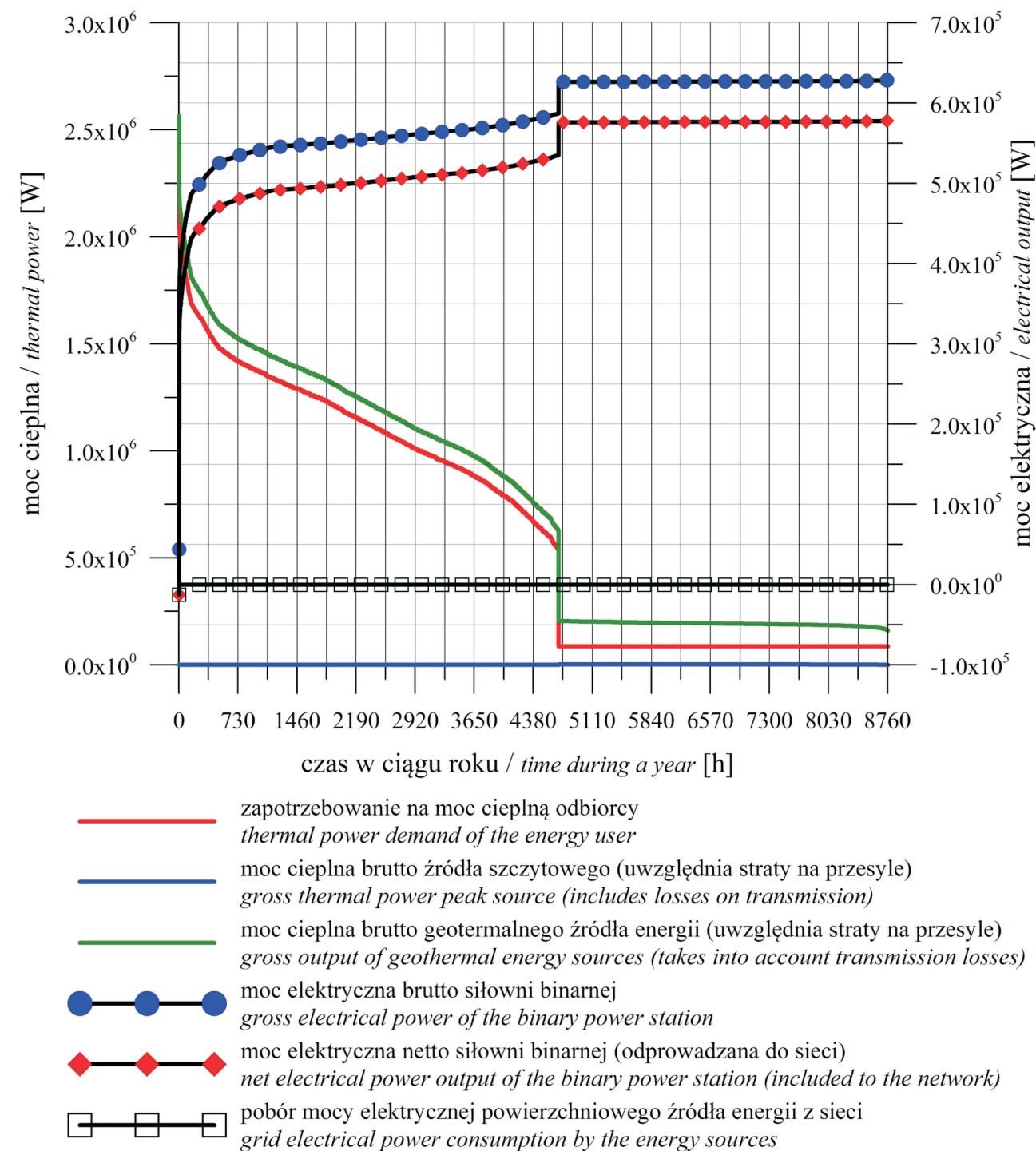
Efekt ekologiczny związany z redukcją emisji zanieczyszczeń zestawiono w tabeli 7.9.6.3.

Efekty społeczne wykorzystania wód termalnych w rejonie Chociwla wiązać się będą z powstaniem nowych miejsc pracy, w liczbie około 8, w rejonie uruchomienia inwestycji. Biorąc pod uwagę możliwość budowy na bazie analizowanych wód również obiektów balneo-rekreacyjnych, liczba miejsc pracy wzrosłaby znacząco. Miejsca, w których uruchomiono dotychczas instalacje geotermalne wykorzystujące te wody w celach balneo-rekreacyjnych, świadczą o dużym zainteresowaniu klientów tego typu usługami. Takie przedsięwzięcia stymulują lokalny rynek usług i znacząco wpływają na wzrost atrakcyjności turystycznej. Zyskuje na tym branża gastronomiczna, hotelarska, rozwija się rynek różnorodnych usług.



Rys. 7.9.6.1. Definicja odbiorcy energii dla lokalizacji Chociwel

Fig. 7.9.6.1. Energy end-user characteristic for Chociwel location



Rys. 7.9.6.2. Moc cieplna i elektryczna wytwarzana przez źródło energii dla lokalizacji Chociwel

Fig. 7.9.6.2. Heat and electric power generated by the energy source in Chociwel location

Tabela 7.9.6.1. Parametry techniczne dla instalacji źródła energii dla lokalizacji Chociwel

Table 7.9.6.1. Technical parameters for the heat source installation in Chociwel location

Parametr	Wartość
Lokalizacja	Chociwel
Głębokość otworu produkcyjnego [m p.p.t.]:	2936
Średnica otworu produkcyjnego [m]:	0,244475
Stan otworu produkcyjnego:	nowy
Strumień nominalny (maksymalny) wody geotermalnej [m ³ /h]:	275
Temperatura wody w warstwie wodonośnej [°C]:	90
Poziom zwierciadła statycznego w otworze produkcyjnym [m p.p.t.]:	100
Ciśnienie depresji [MPa]:	0,16
Głębokość otworu chłonnego [m p.p.t.]:	3009
Stan otworu chłonnego:	nowy
Poziom zwierciadła statycznego w otworze chłonnym [m p.p.t.]:	100
Ciśnienie represji [MPa]:	0,33
Projektowana temperatura schłodzenia wody geotermalnej w siłowni binarnej [°C]:	53,3
Projektowana temperatura wody termalnej na głowicy otworu produkcyjnego [°C]:	89,03
Temperatura minimalna (projektowa) powietrza zewnętrznego [°C]:	-16
Temperatura projektowa zasilania instalacji odbiorcy [°C]:	89,65
Temperatura projektowa powrotu z instalacji odbiorcy [°C]:	70,35
Nominalny (maksymalny) strumień czynnika dla instalacji odbiorcy [m ³ /h]:	107,4
Moc cieplna całkowita odbiorcy [kW]:	2486,8
Moc cieplna centralnego ogrzewania dla odbiorcy [kW]:	2400
Moc cieplna przygotowania ciepłej wody użytkowej dla odbiorcy [kW]:	86,8
Całkowite zapotrzebowanie na energię cieplną odbiorcy [GJ/rok]:	20334
Całkowita moc cieplna zainstalowana w źródle energii (uwzględnia straty mocy na przesyle) [kW]:	2568,6
Całkowita ilość energii cieplnej wytworzonej przez źródło energii (uwzględnia straty na przesyle) [GJ/rok]:	23577,6
Całkowita moc cieplna zainstalowana w części geotermalnej [kW]:	2566
Całkowita ilość energii cieplnej wytworzonej z geotermii (uwzględnia straty na przesyle) [GJ/rok]:	23549,6
Całkowita moc cieplna zainstalowana w ciepłowni szczytowej [kW]:	2,6
Całkowita ilość energii cieplnej wytworzonej przez kotłownię szczytową (uwzględnia straty na przesyle) [GJ/rok]:	28,0
Całkowita moc elektryczna zainstalowana w geotermalnej siłowni binarnej [kW]:	628,4
Całkowita ilość energii elektrycznej wytworzonej przez siłownię binarną brutto (uwzględnia potrzeby całej własnej instalacji) [MWh/rok]:	5131,9
Ilość energii elektrycznej wytworzonej przez siłownię binarną netto (po odjęciu potrzeb własnych instalacji = energia sprzedana) [MWh/rok]:	4676
Długość całkowita rurociągu z wodą termalną (od głowic otworów do ciepłowni) [m]:	500
Średnica nominalna rury przewodowej dla rurociągu z wodą geotermalną (od głowic otworów do ciepłowni) [m]:	0,28469
Stan rurociągu z wodą geotermalną:	nowy
Długość całkowita rurociągu od ciepłowni geotermalnej do ciepłowni szczytowej [m]:	200
Średnica nominalna rury przewodowej dla rurociągu od ciepłowni geotermalnej do ciepłowni szczytowej [m]:	0,17789
Stan rurociągu od ciepłowni geotermalnej do ciepłowni szczytowej:	nowy
Długość całkowita rurociągu od ciepłowni szczytowej do odbiorcy energii cieplnej [m]:	1300
Średnica nominalna rury przewodowej dla rurociągu od ciepłowni szczytowej do odbiorcy energii [m]:	0,17789
Stan rurociągu od ciepłowni szczytowej do odbiorcy:	istnieje
Maksymalne opory przepływu na rurociągach ciepłowniczych przesyłowych (z wyłączeniem rurociągu z wodą geotermalną) [MPa]:	0,1697
Maksymalne opory przepływu na rurociągu z wodą geotermalną [MPa]:	0,0363
Maksymalne ciśnienie do pokonania przez pompy geotermalne (ciśnienie represji minus ciśnienie depresji) [MPa]:	0,49
Średnie roczne straty energii cieplnej na przesyle [ułamek energii cieplnej wytworzonej w źródle energii]:	0,14

Tabela 7.9.6.2. Zestawienie parametrów ekonomicznych dla instalacji powierzchniowego źródła energii dla lokalizacji Chociwel

Table 7.9.6.2. List of the economic parameters for the surface energy source installation in Chociwel location

Parametr	Wartość
Cena netto zakupu energii elektrycznej [zł/kWh]:	0,488
Cena netto sprzedaży energii elektrycznej [zł/kWh]:	0,24
Cena netto zakupu gazu ziemnego wysokometanowego [zł/m ³]:	1,626
Cena netto sprzedaży energii cieplnej gwarantująca finansową rentowność inwestycji [zł/GJ]:	110,2
Całkowite prognozowane nakłady inwestycyjne (główne komponenty zestawiono poniżej) [tys. zł]:	57443
Nakłady inwestycyjne na otwór produkcyjny [tys. zł]:	23005
Nakłady inwestycyjne na otwór chłonnny [tys. zł]:	23802
Nakłady inwestycyjne na siłownię binarną [tys. zł]:	6100
Nakłady inwestycyjne na szczytowe kotły gazowe [tys. zł]:	1
Nakłady inwestycyjne na pompy geotermalne (głębina i stacja pomp zatłaczania) [tys. zł]:	267
Nakłady inwestycyjne na pompy obiegowe [tys. zł]:	15
Nakłady inwestycyjne na wymienniki ciepła [tys. zł]:	479
Nakłady inwestycyjne na rurociągi połączeniowe [tys. zł]:	1539
Nakłady inwestycyjne na budynek ciepłowni geotermalnej i szczytowej [tys. zł]:	799
Całkowite koszty obsługi instalacji (główne składniki kosztów zestawiono poniżej) [tys. zł/rok]:	3363
Amortyzacja środków trwałych [tys. zł/rok]:	2787
Koszty obsługi, remontów, konserwacji [tys. zł/rok]:	574
Koszty zakupu nośników energii [tys. zł/rok]:	1
Przychody z tytułu sprzedaży energii (szczegółowo zestawiono poniżej) [tys. zł/rok]:	3363
Przychody z tytułu sprzedaży energii cieplnej [tys. zł/rok]:	2241
Przychody z tytułu sprzedaży energii elektrycznej [tys. zł/rok]:	1122

Tabela 7.9.6.3. Zestawienie parametrów ekologicznych dla instalacji powierzchniowego źródła energii dla lokalizacji Chociwel

Table 7.9.6.3. List of the ecological parameters for the surface energy source installation in Chociwel location

Parametr	Wartość
Roczna emisja B(a)P dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0
Roczna emisja sadzy dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0
Roczna emisja pyłu dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0
Roczna emisja CO ₂ dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	1425,859
Roczna emisja CO dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,259
Roczna emisja NO _x w przeliczeniu na NO ₂ dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,92
Roczna emisja SO ₂ dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0
Roczna emisja węglowodorów alifatycznych dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,071
Roczna emisja w. węglowodorów aromatycznych dla wariantu z wykorzystaniem geotermii [Mg/rok]:	0,024
Roczne ograniczenie emisji B(a)P [Mg/rok]:	0,024
Roczne ograniczenie emisji sadzy [Mg/rok]:	12,203
Roczne ograniczenie emisji pyłu [Mg/rok]:	50,283
Roczne ograniczenie emisji CO ₂ [Mg/rok]:	5962,697
Roczne ograniczenie emisji CO [Mg/rok]:	145,59
Roczne ograniczenie emisji NO _x w przeliczeniu na NO ₂ [Mg/rok]:	9,329
Roczne ograniczenie emisji SO ₂ [Mg/rok]:	47,502
Roczne ograniczenie emisji węglowodorów alifatycznych [Mg/rok]:	12,228
Roczne ograniczenie emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych [Mg/rok]:	7,275

MAPA STROPU
UTWORÓW DOLNEJ JURY
W STREFIE CHOCIWLA*

Encl. 7.9.1

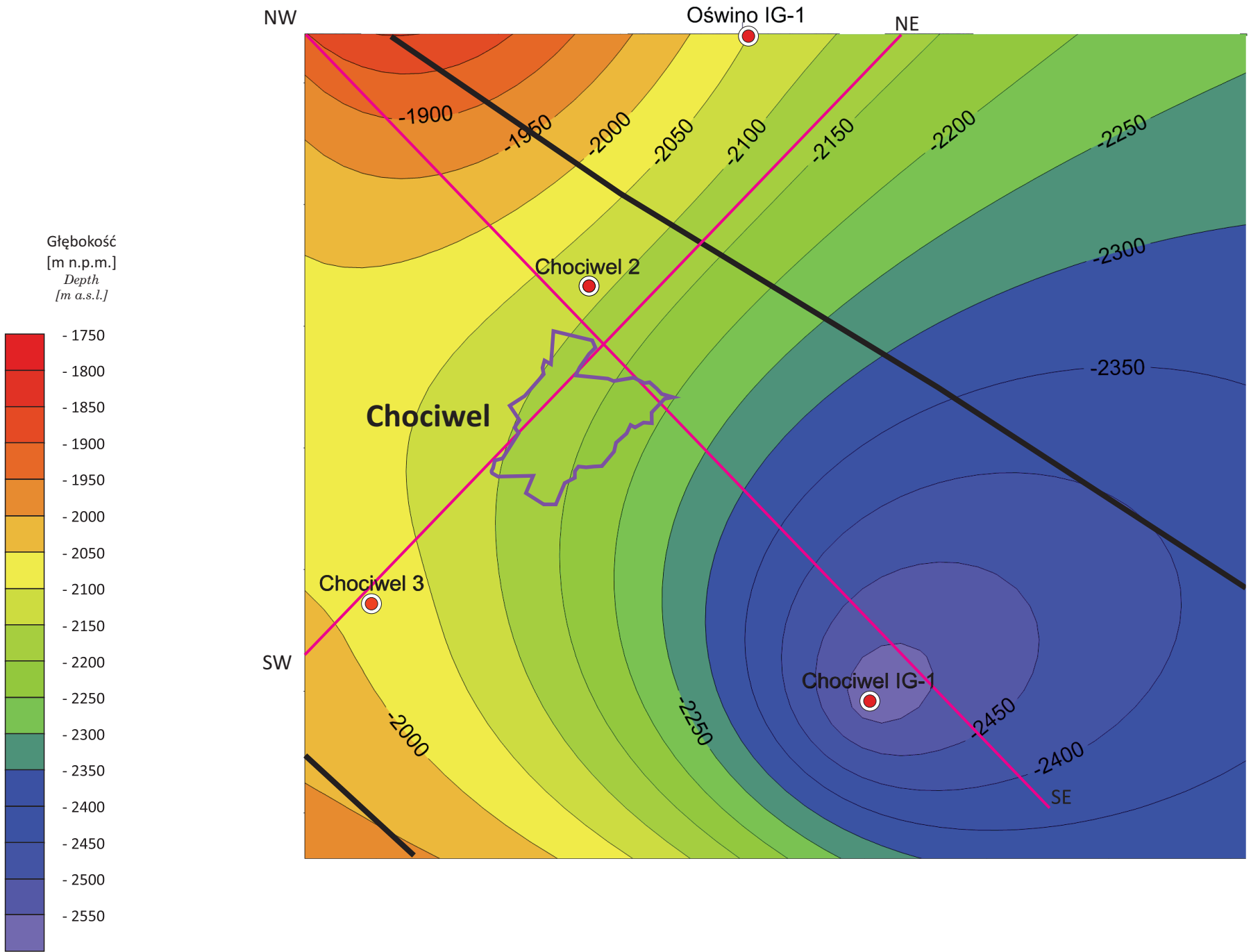
MAP OF THE TOP
OF LOWER JURASSIC
IN THE CHOCIWEL AREA

*na podstawie: Dadlez i Franczyk, 1979;
Górecki (red.), 2006; Sowiżdżał, 2012
(based on: Dadlez & Franczyk, 1979;
Górecki (ed.), 2006; Sowiżdżał, 2012)

LEGENDA:
LEGEND:

-  Główne miasto
Main city
-  Otwory
Boreholes
-  Uskoki
Faults
-  Linie przekrojów geologicznych
(Zał. 7.9.2)
Cross-section lines (Encl. 7.9.2)
-  Izohipsy stropu utworów
jury dolnej [m n.p.m.]
Isohypes of the top of Lower
Jurassic formation [m a.s.l.]

0 2 4 km

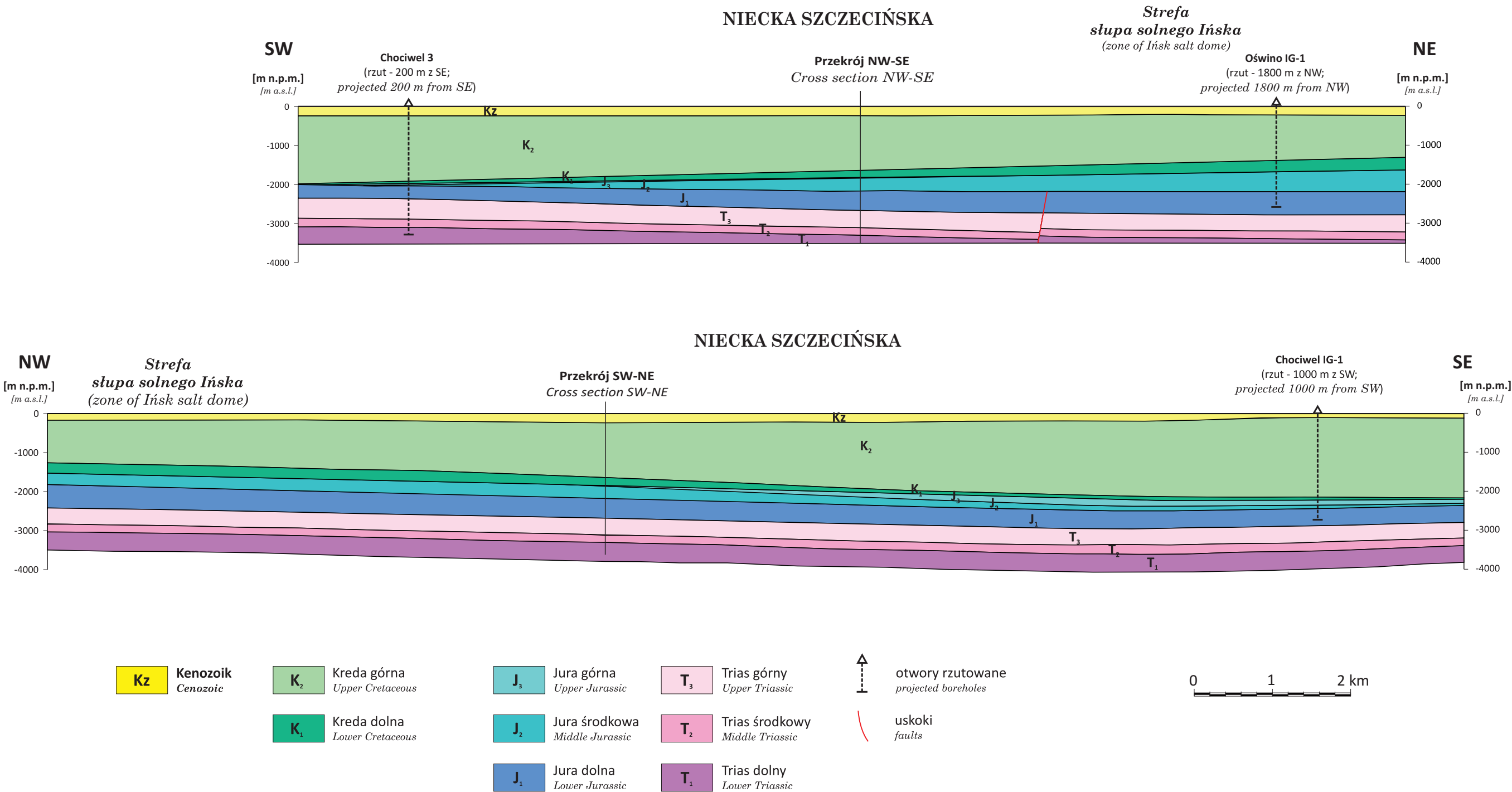




PRZEKROJE GEOLOGICZNE PRZEZ STREFĘ CHOCIWŁA
(przebieg na zał. 7.9.1)*

GEOLOGICAL CROSS-SECTIONS THROUGH THE CHOCIWEL AREA
(line at encl. 7.9.1)

Zał. 7.9.2
Encl. 7.9.2



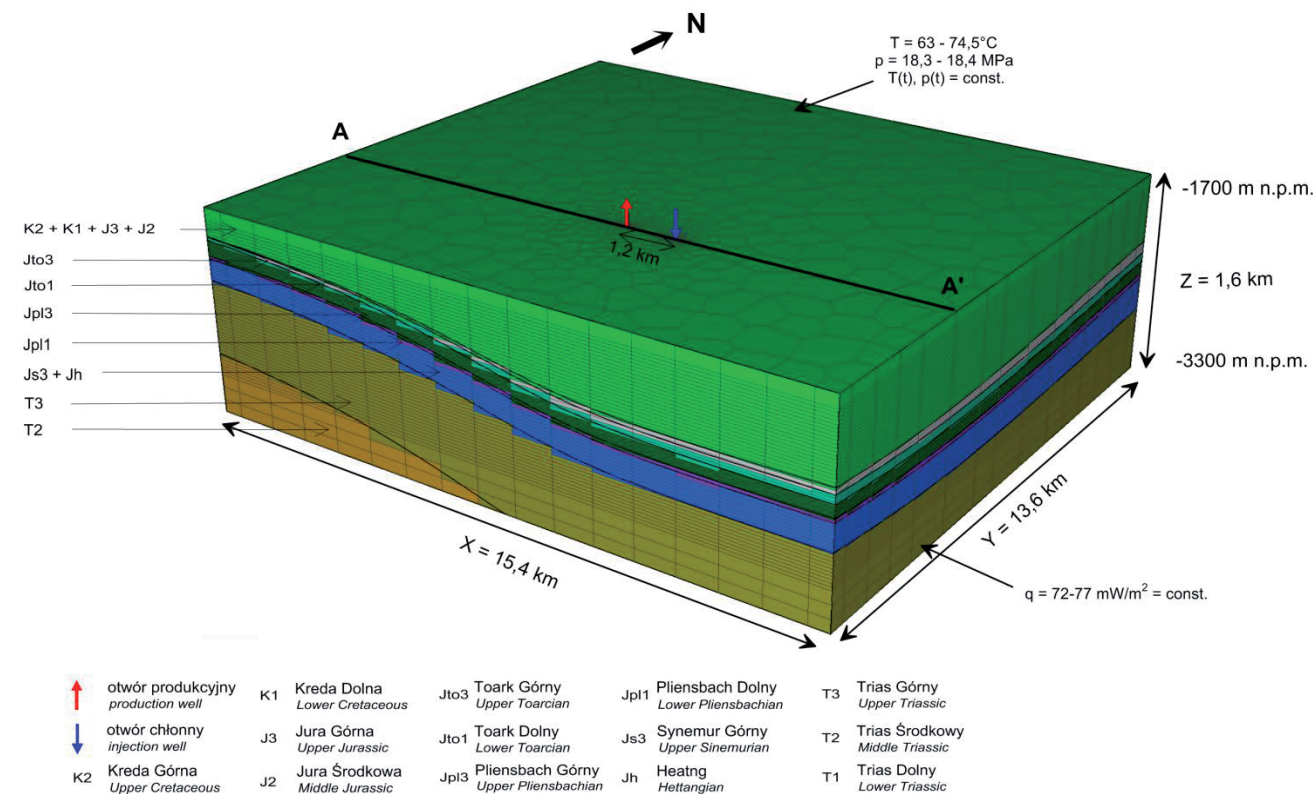
*na podstawie: Zboińska, 1987; Górecki (red.), 2006; Sowizdżał, 2012
(based on: Zboińska, 1987; Górecki (ed.), 2006; Sowizdżał, 2012)

WYNIKI MODELOWANIA NUMERYCZNEGO W STREFIE CHOCIWŁA

NUMERICAL MODELING RESULTS IN THE CHOCIWEL AREA

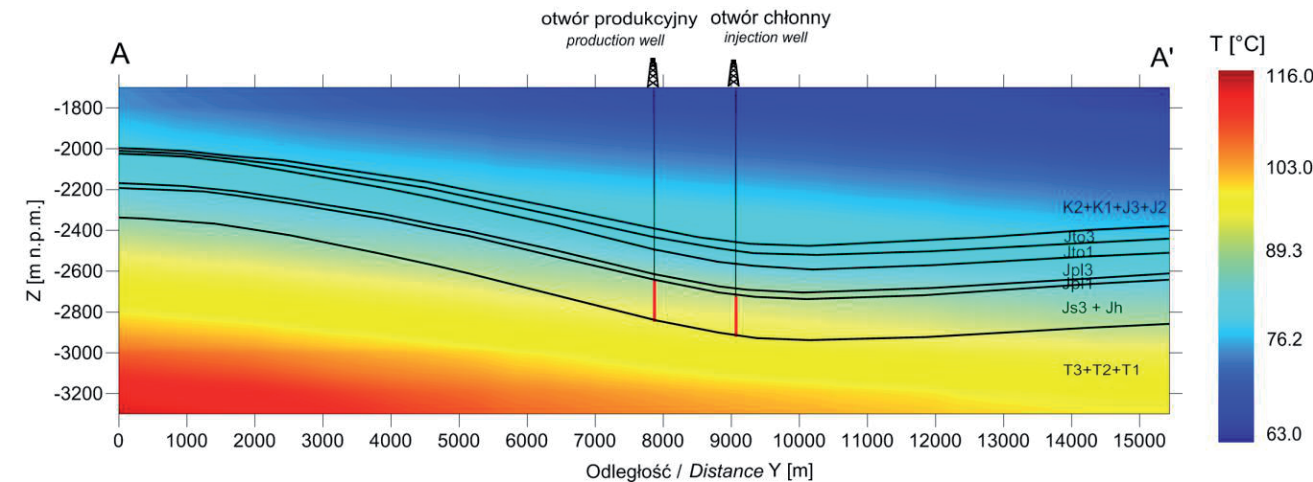
Zał. 7.9.3

Encl. 7.9.3



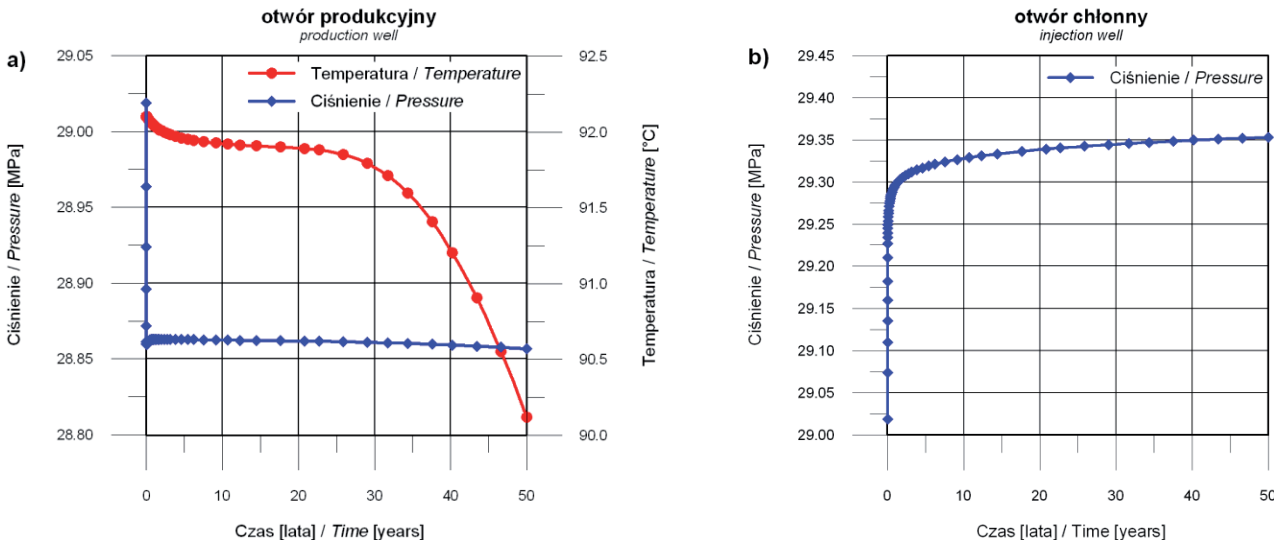
Rys. 1. Model numeryczny strefy Chociwła

Fig. 1. Numerical model of the Chociwel area



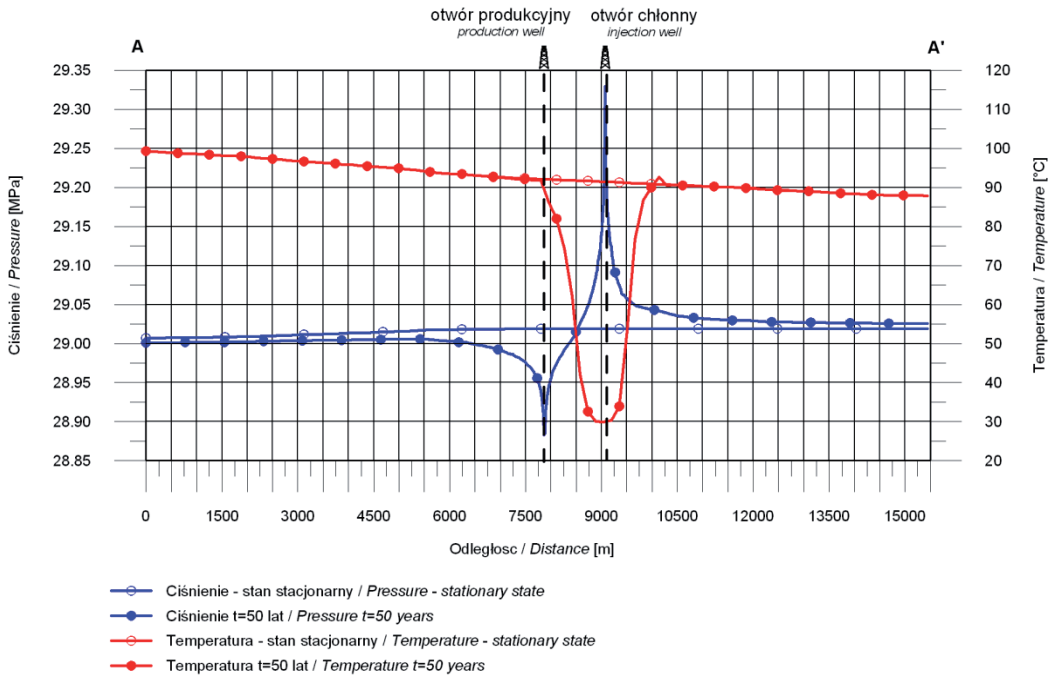
Rys. 2. Prognozowany rozkład temperatury w modelu stanu przedeksploatacyjnego wzdłuż przekroju AA'

Fig. 2. Forecasted temperature distribution prior to exploitation along the AA' cross section



Rys. 3. a) Zmiana temperatury i ciśnienia złożowego w funkcji czasu w otworze produkcyjnym, b) zmiana ciśnienia złożowego w otworze chłonnym na głębokości $z = -2762$ m n.p.m. dla wydajności dubletu $Q = 275$ m³/h

Fig. 3 a) Change of the reservoir temperature and pressure versus time in the production well, b) change of the reservoir pressure in the injection well at the depth $z = -2762$ m a.s.l. for the doublet flow rate $Q = 275$ m³/h



Rys. 4. Zmiana temperatury złożowej oraz ciśnienia złożowego wzdłuż przekroju AA' na głębokości $z = -2762$ m n.p.m. dla wydajności dubletu $Q = 275$ m³/h

Fig. 4 Cross-sectional change of the reservoir temperature and pressure along the AA' cross section at the depth $z = -2762$ m a.s.l. for the doublet flow rate $Q = 275$ m³/h