

16 Geotermia

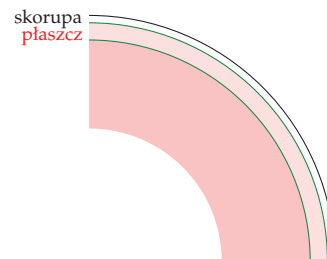
Energia geotermiczna pochodzi z dwóch źródeł: rozpadów radioaktywnych w skorupie ziemskiej oraz ciepła przesączającego się przez płaszcz z jądra Ziemi. Ciepło w jądrze jest pozostałością po powstawaniu Ziemi, która jeszcze do tej pory ochładza się i twardnieje. Ciepło wnętrza Ziemi jest też uzupełniane przez tarcie wywoływane przez siły pływowe: Ziemia odkształca się w reakcji na działanie pól grawitacyjnych Księżyca i Słońca w ten sam sposób, w jaki pomarańcza zmienia kształt, gdy ściskając, obracasz ją w dłoniach.

Geotermia jest atrakcyjnym źródłem energii odnawialnej: jest zawsze dostępna, niezależna od pogody, a wybudowane siłownie geotermiczne można bez trudności włączyć i wyłączać w zależności od zapotrzebowania.

Jaka ilość energii geotermicznej jest dziś dostępna? Możemy oszacować moc geotermiczną w dwóch przypadkach: moc dostępną w przeciętnej lokalizacji na powierzchni skorupy ziemskiej oraz w szczególnie gorących punktach, takich jak Islandia (rys. 16.3). Właściwym miejscem na budowę prototypowych siłowni są, bez wątpienia, owe szczególnie gorące punkty. Zamierzam pokazać, że większe zasoby energii geotermalnej mogą być dostępne w zwykłych lokalizacjach, gdyż są one po prostu liczniejsze.

Trudność w pozyskiwaniu tej energii w sposób *zrównoważony* polega na tym, że przewodzenie ciepła przez skały jest ograniczone. Wskutek tego nie możemy przez dłuższy czas zasysać z gorącego wnętrza ziemi dużych ilości energii. To trochę tak, jakbyśmy próbowali wyciągnąć przez słomkę płyn z pokruszonego lodu – wkładasz do szklanki słomkę, zasysasz i wciągasz do ust przyjemnie chłodny płyn, jednak po chwili ssania stwierdzasz, że teraz zasysasz już samo powietrze. Wyciągnąłeś cały płyn z okolic wlotu słomki i teraz będziesz musiał dość długo czekać, aż roztopi się więcej lodu. Twoje tempo pobierania płynu nie było zatem zrównoważone.

Jeśli zrobimy odwiert o głębokości 15 km, stwierdzimy, że jest tam bardzo ciepło, na tyle ciepło, żeby zagotować wodę. Możemy następnie wpuścić do otworu dwie rury, by do jednej z nich pompować zimną wodę, a przez drugą zasysać parę, która z kolei napędzi elektrownię. Czyżby to właśnie było źródło nieograniczonej mocy? Niezupełnie, bo po jakimś czasie odbieranie ciepła skałom spowoduje spadek ich temperatury. Nie wykorzystaliśmy energii w sposób zrównoważony i teraz będziemy musieli długo czekać, zanim skały na dnie otworu znowu się nagrzeją. Powinniśmy więc podejść do problemu wykorzystywania energii geotermalnej tak jak do paliw kopalnych i potraktować ją raczej jako zasób do krótkoterminowej eksploatacji niż jako sposób na zrównoważone pozyskiwanie energii. Oparcie się na eksploatowanych w sposób niezrównoważony zasobach geotermicznych mogłoby jednak okazać się lepsze dla planety niż niezrównoważona eksploatacja paliw kopalnych. Być może byłby to wówczas półśrodek dający nam kolejne 100 lat niezrównoważonego rozwoju. W tej książce skupiam się na zrównoważonym pozyskiwaniu energii odnawialnej, jak zresztą mówi sam tytuł. Wykonajmy pewne obliczenia.



Rys. 16.1. Ziemia w przekroju



Fot. 16.2. Granit



Fot. 16.3. Energia geotermiczna w Islandii. Średnia wytwarzana moc przez elektrownie geotermiczne w Islandii (której populacja wynosi 300 000) wynosiła w roku 2006 300 MW (24 kWh/d na osobę). Ponad połowa wytwarzanej tam elektryczności jest zużywana na produkcję aluminium.
Fot. Gretar Ívarsson

Zrównoważona na zawsze energia geotermiczna

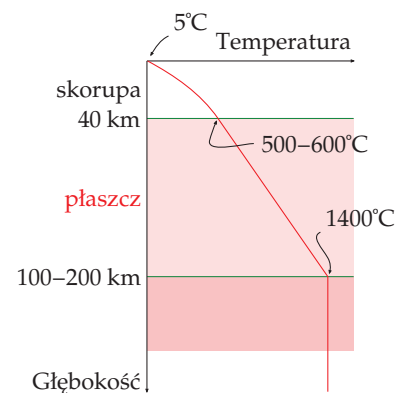
Rozważmy najpierw zrównoważone wykorzystanie energii geotermicznej, eksploatowanej poprzez wpuszczanie na odpowiednią głębokość rur i następnie powolne zasysanie. Jest ono na tyle powolne, że skały na dnie otworu nie ochładzają się, co oznacza pozyskiwanie energii na poziomie odpowiadającym naturalnemu przepływowi ciepła z wnętrza Ziemi.

Jak już wspomniałem, energia geotermiczna pochodzi z dwóch źródeł (rozpadów radioaktywnych w skorupie ziemskiej oraz ciepła przenikającego przez płaszcz z jądra Ziemi). Na typowej płycie kontynentalnej ciepło docierające przez płaszcz wynosi około $0,01 \text{ W/m}^2$. Przepływ ciepła na powierzchni wynosi $0,05 \text{ W/m}^2$, gdzie dodatkowe $0,04 \text{ W/m}^2$ pochodzi z rozpadu substancji radioaktywnych w skorupie ziemskiej.

Typowa lokalizacja dostarcza nam zatem maksymalną moc $0,05 \text{ W/m}^2$, przy czym nie jest to energia wysokiej jakości – jest to ciepło, czyli energia niższej klasy. My chcemy jednak wytwarzać elektryczność, co wiąże się z odwiertami na duże, głębokości, gdzie temperatura jest odpowiednio wysoka. Ciepło może bowiem służyć do wytwarzania prądu tylko wtedy, gdy źródło ma wyższą temperaturę od naszego otoczenia. Temperatura rośnie wraz z głębokością (jak pokazuje to rys. 16.4) i na 40 km osiąga $500\text{--}600^\circ\text{C}$. Pomiedzy głębokością 0 km, gdzie przepływ energii jest największy, lecz temperatura skał zbyt niska, a głębokością 40 km, gdzie temperatura jest wysoka, lecz przepływ energii 5 razy mniejszy (bo tracimy całe ciepło wytwarzane przez pierwiastki promieniotwórcze w skorupie ziemskiej), znajduje się nasza optymalna głębokość, z której powinniśmy pobierać energię.

Dokładna optymalna głębokość zależy od konkretnego sposobu wykorzystania energii i urządzeń, które zamierzamy zastosować w naszej elektrowni. Na razie oszacujmy możliwą do zrównoważonego pobierania moc maksymalną, dobierając głębokość przy założeniu, iż posiadamy idealną – pracującą z możliwie najwyższą termodynamicznie wydajnością – maszynę do zamiany

Jeden miliwat (1 mW) to 0,001 W



Rys. 16.4. Profil temperatur na typowym kontynencie

ciepła w elektryczność oraz że możemy mieć za darmo odwiert na dowolną głębokość.

Obliczyłem, że dla profilu temperatur pokazanego na rys. 16.4 optymalna głębokość wynosi 15 km. W tych warunkach idealna instalacja wytworzy 17 mW/m². Przy światowej gęstości zaludnienia na poziomie 43 osób na kilometr kwadratowy daje to 10 kWh na osobę dziennie, gdyby wykorzystać *wszystkie* tereny lądowe. W Wielkiej Brytanii, gdzie gęstość zaludnienia jest 5 razy wyższa, rozbudowa zrównoważonych siłowni geotermicznych na szeroką skalę pozwoliłaby pozyskać maksymalnie **2 kWh na osobę dziennie**.

Jest to wartość pozwalająca na bezterminową zrównoważoną eksploatację ciepła z wnętrza Ziemi. Pamiętajmy, że obliczenia ignorują gorące punkty, zakładają istnienie doskonałych instalacji, przyjmują wykorzystanie każdego metra kwadratowego terenu i prowadzonych za darmo odwiertów, a także, iż można wiercić dziury o głębokości 15 km.

Energia geotermiczna jako zasób nieodnawialny

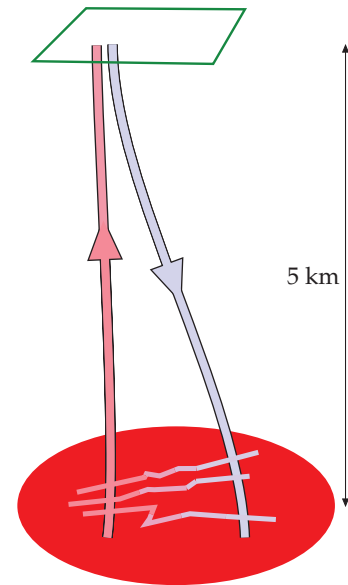
Inną strategią wykorzystania energii geotermicznej jest potraktowanie ciepła jako zasobu do eksploatacji niezrównoważonej, zalegającego w pokładach gorących suchych skał, zwanych niekiedy HDR (Hot Dry Rock). Są to położone na dużej głębokości (minimum 5 000 metrów) skały nieprzepuszczające wody (przede wszystkim granity) i przykryte skałami o słabym przewodnictwie ciepła. W „ulepszonej ekstrakcji geotermicznej” (rys. 16.5) wykonujemy najpierw odwiert o głębokości 5–10 km, a następnie, wpompowując do niego wodę, hydraulicznie kruszymy skały. Później do popękanej strefy przewiercamy się drugi raz. Teraz możemy już uruchomić proces: wpompowujemy wodę w jeden z odwiertów, a z drugiego odbieramy rozgrzaną parę wodną, którą możemy wykorzystać do produkcji elektryczności lub ogrzewania. Jak duże są zasoby HDR w Wielkiej Brytanii? Niestety, Wielka Brytania nie jest w nie szczególnie zasobna. Większość takich pokładów jest zlokalizowana w Kornwalii, gdzie w latach 80. XX wieku były prowadzone eksperymenty w zamkniętym obecnie ośrodku badawczym Rosemanowes. Konsultanci analizujący wyniki badań doszli do wniosku, że „wytworzenie energii elektrycznej z gorących suchych skał nie wydaje się być technicznie lub gospodarczo opłacalne, ani w Kornwalii, ani gdziekolwiek indziej w Wielkiej Brytanii, przynajmniej w krótkim i średnim horyzoncie czasowym”. A jakie są dokładne liczby? Najbardziej optymistyczne szacunki gorących suchych skał w Wielkiej Brytanii mówią o energii 130 000 TWh, co mogłoby dać **1,1 kWh energii elektrycznej na osobę dziennie** przez około 800 lat.

Inne miejsca na świecie mają bardziej obiecujące zasoby ciepła zgromadzonego w HDR, jednak w Wielkiej Brytanii geotermia pełnić będzie rolę co najwyżej marginalną.

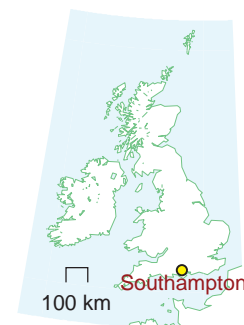
Czyż Southampton już dziś nie wykorzystuje energii geotermicznej?

Jak wiele jej jest?

System Ogrzewania Rejonowego w Southampton jest jedyną tego typu instalacją grzewczą w Wielkiej Brytanii. Dostarcza miastu ciepła grzewczego oraz ciepłej i zimnej wody, a także elektryczności do sieci. Wkład energii geotermicznej to około 15% z całości 70 GWh rozprowadzanego przez system ciepła.



Rys. 16.5. Ulepszona ekstrakcja geotermiczna ciepła z gorących suchych skał. Jeden odwiert jest wiercony i poddawany działaniu ciśnienia, które tworzy w skałe pęknięcia. Drugi odwiert jest wykonywany po drugiej stronie pokruszonej strefy. Następnie w jeden odwiert wpompowujemy zimną wodę, a z drugiego odbieramy gorącą parę.



Według ostatniego spisu Southampton ma 217 445 mieszkańców, tak więc dostarczana moc geotermiczna w tym przypadku wynosi **0,13 kWh/d na osobę**.

Polska ma dość dobre warunki geotermiczne. Problem w tym, że nie wiemy, jak dobre. Rozbieżności są zaskakujące.

Według materiałów Ministerstwa Środowiska potencjał eksploatacyjny wód geotermalnych na samym Niżu Polskim wynosi od 66 do 250 PJ/rok, czyli 1,5 – 5 kWh/d/o.

Z kolei opracowanie PAN mówi o 1 512 PJ/rok (30 kWh/o/d). To mniej więcej tyle, co w Pyrzycach, gdzie wody geotermalne dają 109 GWh/rok, czyli (przy 13 000 mieszkańców Pyrzyc) 23 kWh/d/o. W porównaniu z Southampton wychodzi rewelacyjnie.

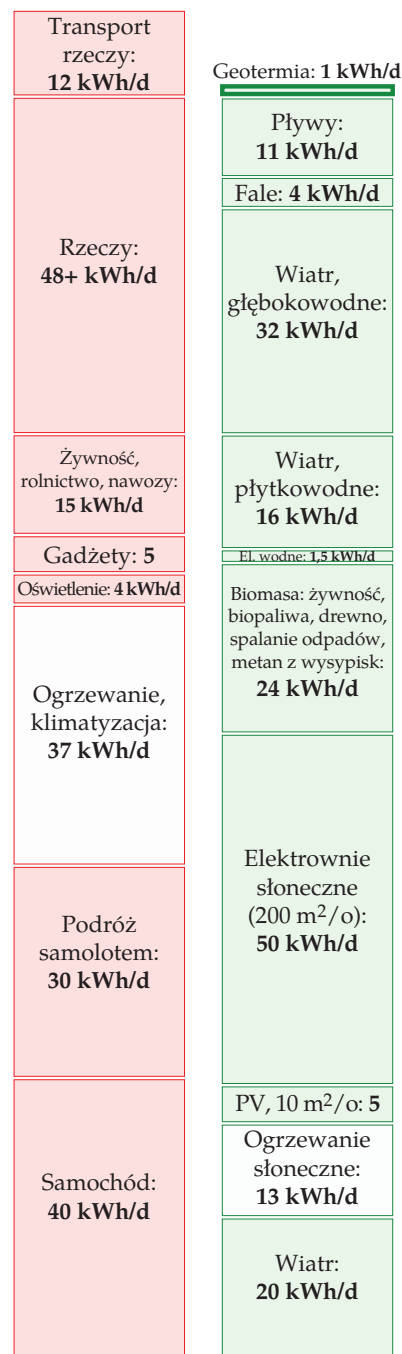
Ale to jeszcze nie wszystko. Według profesora Jacka Zimnego z AGH Kraków, Przewodniczącego Polskiej Geotermalnej Asocjacji: „Potencjał techniczny geotermii (25% szacunkowego potencjału) – wynosi 625 000 PJ/rok” [12 500 kWh/d/o – red.] Większość naukowców uważa jednak, że to zdecydowanie zawyżone, czysto teoretyczne i praktycznie nieosiągalne wartości, nieuwzględniające ograniczeń technicznych oraz braku możliwości wykorzystania ciepła o niskiej temperaturze poza rejonami dość ścisłej zabudowy, gdzie może być wykorzystane do ogrzewania za pomocą sieci ciepłowniczej.

Jaką wartość przyjąć? Przyjmijmy **20 kWh dziennie na osobę**, czyli trochę mniej niż w Pyrzycach. Ktoś powie, że powinno być 10 razy mniej, ktoś inny, że powinno być 10 razy więcej. W tym punkcie mamy największą niepewność – w zasadzie możemy tylko postulować dokładniejsze zbadanie zasobów geotermicznych Polski zarówno pod kątem wód geotermalnych, jak i możliwości eksploatacji gorących suchych skał, które według badań MIT mogą stać się czarnym koniem w wyścigu do nowych źródeł energii (patrz: przypisy).

Przypisy i zalecana literatura:

Numer strony:

- 105 Przepływ ciepła na powierzchni wynosi 0,05 W/m²... – MIT (2006) mówi o 0,059 W/m² średnio, w przedziale w USA od 0,025 W do 0,15. W. Shepherd (2003) daje oszacowanie 0,063 W/m².
- 106 ...wytwarzanie energii elektrycznej z gorących suchych skał nie wydaje się być technicznie lub gospodarczo opłacalne, ani w Kornwalii, ani gdziekolwiek indziej w Wielkiej Brytanii... – Źródło: MacDonald et al. (1992); patrz też: Richards et al. (1994).
- Najbardziej optymistyczne szacunki gorących suchych skał w Wielkiej Brytanii mówią o energii 130 000 TWh, co mogłoby dać 1,1 kWh energii elektrycznej na osobę dziennie przez około 800 lat. – Źródło: MacDonald et al. (1992).
 - Inne miejsca na świecie mają bardziej obiecujące zasoby ciepła zgromadzonego w HDR... – pod adresem: http://geothermal.inel.gov/publications/future_of_geothermal_energy.pdf dostępny jest raport MIT z 2006 roku, przedstawiający zasoby HDR w USA. MIT szacuje całkowite zasoby energii w warstwie 3–10 km na 3,6 mld TWh (140 tysięcy razy więcej niż wynosi roczne zużycie energii w USA), z czego 50 mln TWh możliwe do pozyskania (a przy odpowiednim rozwoju technologii do 500 mln TWh). We-



Rys. 16.6. Geotermia

dług raportu, przy nakładach na badania i rozwój na poziomie 1 mld USD (co odpowiada cenie jednej elektrowni węglowej), istnieją realne możliwości zainstalowania do roku 2050 elektrowni o mocy 100 GW. W dłuższym horyzoncie czasowym dostępna dla współczesnej technologii moc to nawet 1200–12 200 GW (dla założeń odpowiednio konserwatywnych i umiarkowanych). Dla porównania, całkowita moc elektrowni w USA w roku 2005 wynosiła 1075 GW.

Inny raport dotyczy teoretycznie możliwej do zastosowania technologii pozyskiwania energii bezpośrednio z magmy o temperaturze 600–1300 °C. Magma występuje na głębokości poniżej 15 km. Raport ów, przygotowany jeszcze w latach 70. XX w przez naukowców z Sandia National Laboratories (www.magma-power.com) szacuje, że technologia „magma power” pozwoliłaby na zaspokojenie potrzeb energetycznych przez 500 do 5000 lat, przy zachowaniu opłacalności ekonomicznej przedsięwzięcia.

- System Ogrzewania Rejonowego w Southampton... – www.southampton.gov.uk
- 107 Według materiałów Ministerstwa Środowiska potencjał eksploatacyjny wód geotermalnych na samym Niżu Polskim wynosi od 66 do 250 PJ/rok, czyli 1,5–5 kWh/d/o. – Źródło:
http://www.mos.gov.pl/g2/big/2009_04/5ed3a02647511fc576ec7bbfe8efcfefeb.pdf, str. 16.
- PAN mówi o 1512 PJ/rok (30 kWh/o/d).
– Źródło: http://www.paze.pfr.pl/pliki/Wykorzystanie_energii_geotermalnej.pdf, str. 5.
- Według profesora Jacka Zimnego z AGH Kraków [...] „Potencjał techniczny geotermii (25% szacunkowego potencjału) – wynosi 625 000 PJ/rok”. [12 500 kWh/d/o – red.]. – Źródło:
http://pga.org.pl/biblioteka/artykuly/Polska_moze_byc_samowystarczalna_energetycznie.pdf