

Ocena możliwości wykorzystania płytkich wód podziemnych kościerskiej wyspy morenowej do sezonowego magazynowania chłodu i ciepła

Gérard Lemoine¹



Assessment of the shallow groundwater potential of the Kościerzyna morainic island for cold and heat seasonal energy storage. Prz. Geol., 69: 697–701; doi: 10.7306/2021.38

Abstract. Low-temperature aquifer thermal energy storage (LT-ATES) is widely used on an industrial scale in the Netherlands. In Poland, where the Polish Lowlands were recently typed as a promising area in this respect, this method has not yet been tested. Because of the complex structure of subsurface geological formations of most parts of these lowlands, assessment of the technical and economic feasibility of this type of energy storage requires extensive investigations. In this study, the ATES potential of an area of a geodetic precinct size was assessed using the basic documentation, especially the “Hydrogeological Map of Poland” with explanations. As a study area, the Kościerzyna morainic island was selected which is the main pole of development of southern Kashubia. The results of the assessment show that, in addition to economic advantages, this area has favourable hydrogeological conditions for LT-ATES due to its location between the Kashubian Lake District morainic complex and the Tuchola Forest outwash plain. In this area, subject to appropriate engineering research, the investment of LT-ATES systems with a few megawatt cooling capacity is entirely possible. This paper presents the most important conclusions of the study which was submitted to the archives of the Polish Geothermal Association in Kraków at the beginning of June 2020 (Lemoine, 2020).

Keywords: aquifer thermal energy storage (ATES), groundwater heat pump, gross cooling power, Kościerzyna district.

W 2010 r. eksperci ds. rynku energetycznego prognozowali szybki wzrost światowego zapotrzebowania na energię rzędu 20–30% na dekadę (dokładnie 50–60% do roku 2030; Krawiec, 2010). Prognoza była uzasadniona ogromnym rozwojem gospodarczym w Chinach, od ponad 10 lat, jak również silnym impulsem ekonomicznym w nowo rozwijających się krajach Azji i w Afryki. Wśród klimatologów, którzy od dawna przestrzegają przed globalnym ociepleniem klimatu, taki scenariusz nie budził optymizmu. Rzeczywiście, na tle cyklicznych przyczyn wywołujących gwałtowne zmiany klimatu, wzrost emisji gazów cieplarnianych, który dotychczas towarzyszył rozwojowi gospodarczemu, pogłębia proces zatrzymania lub ograniczenia cyrkulacji termohalinowej. W efekcie, z powodu powiększającego kontrastu termicznego i higrometrycznego mas powietrznych między obszarami o wysokich szerokościach geograficznych a obszarami równikowymi, ekstremalne zjawiska pogodowe są coraz częstsze i mocniejsze (Feluch, 2011). W dłuższej perspektywie czasowej takie zjawiska (upały, susze, powódzie, nawałnice, gwałtowne burze i silne wiatry) mogą rujnować gospodarkę całych regionów, w tym regiony tradycyjnie kluczowe dla produkcji żywności i wody pitnej.

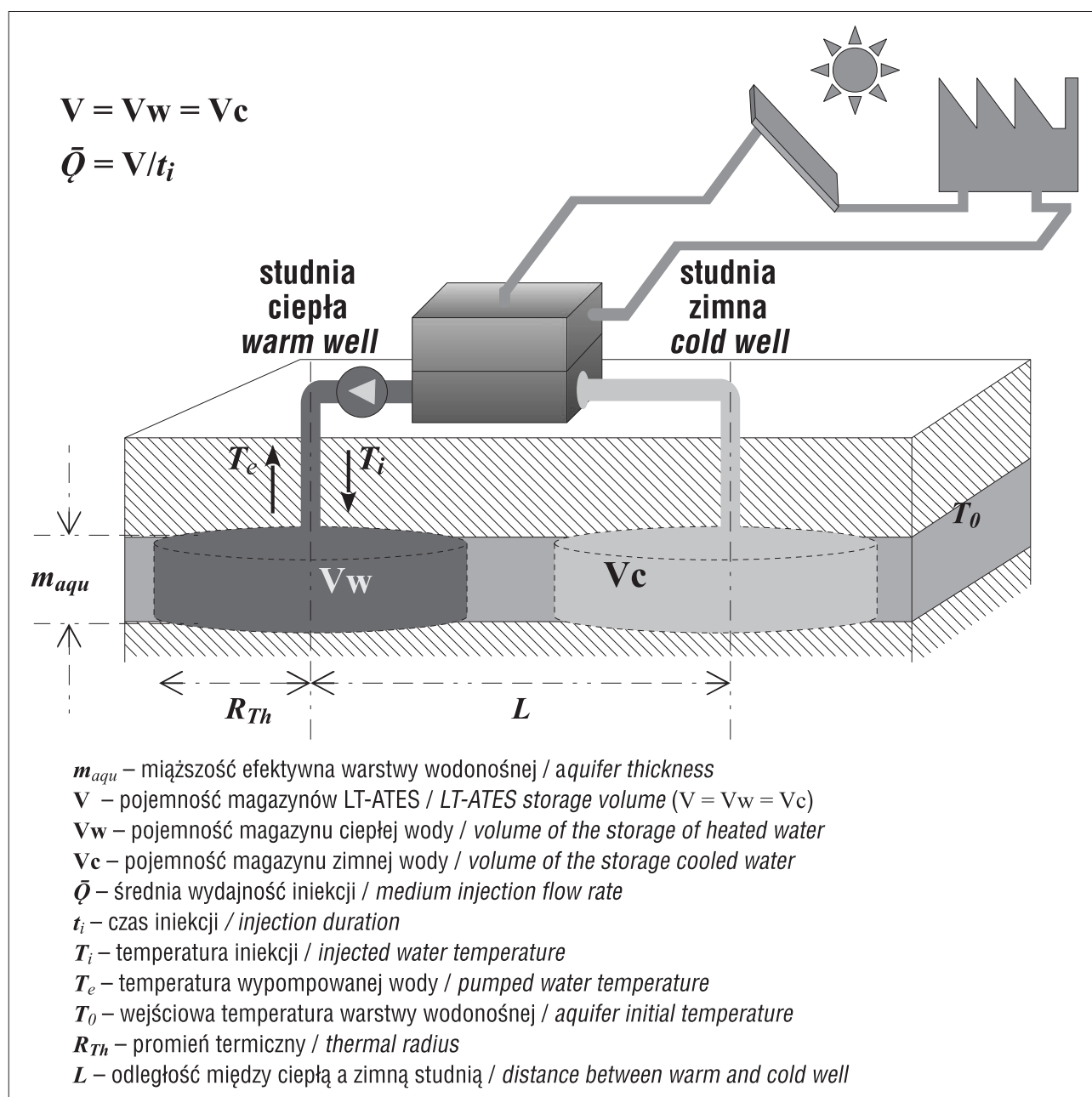
W obliczu już wyczuwalnych na obszarze Polski wyżej wspomnianych zagrożeń klimatycznych próbuje się obecnie ograniczyć emisję CO₂ w sektorze mieszkalnictwa, poprzez termomodernizację budynków i sieci ciepłowniczych, renowację miejskich i lokalnych ciepłowni, stopniową eliminację węgla z domowych instalacji grzewczych i promocję wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w ramach narodowego programu *Czyste Powietrze*. W porównaniu z innymi krajami Unii Europejskiej Polska ma jednak ograniczone pole manewru w zakresie ochrony klimatu, ponieważ jej bezpieczeństwo energetyczne opiera

się na krajowych źródłach węglowych i odpowiednio wyspecjalizowanych elektrowniach zawodowych. O tym świadczą szeroko dostępne dane Polskich Sieci Elektroenergetycznych: w roku 2020 najważniejszymi paliwami służącym do wytwarzania energii elektrycznej były nadal węgiel kamienny, którego udział wyniósł 47%, oraz węgiel brunatny – udział 29,0%.

Z powyższego powodu należy się spodziewać, że nadchodzący kryzys klimatyczny pociągnie za sobą niekorzystną koniunkturę dla energetyki w Polsce. W tej perspektywie, należy rozważyć priorytetowo najtańsze i nieemisyjne alternatywy energetyczne na najbliższe lata.

W ciepłownictwie i chłodnictwie, wśród konwencjonalnych, a więc sprawdzonych metod sezonowego magazynowania jawnego ciepła STES (*Seasonal Thermal Energy Storage*), magazynowanie ciepła w warstwie wodonośnej ATES (*Temperature Aquifer Thermal Energy Storage*) jest uznane jako najtańsza metoda (Gonda i in., 2011). Schmidt i Miedaner (2012) przeprowadzili porównawczą analizę ekonomiczną różnych systemów STES, opierając się na kosztach magazynowania ciepła na m³ zrównoważonej objętości wody. Analiza pokazała, że koszt stosowania metody ATES nie przekroczył kilkudziesięciu EUR/m³. W porównaniu z magazynowaniem ciepła w naziemnych zbiornikach TTES (*Terrestrial Tank Energy Storage*), której koszt kształtował się w granicach 450–500 EUR/m³, metoda ATES była więc ok. 10 razy tańsza. Okazała się ona nawet tańsza od metody BTES, tj. magazynowania ciepła za pomocą pionowych podziemnych wymienników ciepła (*Borehole Thermal Energy Storage*). W odróżnieniu od ATES jest natomiast raczej wymagająca jeśli chodzi o warunki środowiskowe. Kluczowymi parametrami do oceny przydatności terenu do rozwoju technologii ATES są właściwości warstwy wodonośnej (Miecznik, 2016).

¹ Nieetatowy konsultant ds. termogeologii, Członek Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego; lemoine.ger@gmail.com



Ryc. 1. Schemat ideowy Jednostkowego Modułu Cyklicznego LT-ATES (JMC LT-ATES) (Lemoine, 2016)

Fig. 1. Schematic diagram of Unitary Cyclic Module low-temperature aquifer thermal energy storage (LT-ATES) (Lemoine, 2016)

W Europie Holandia jest liderem branży ATES (Godschalk, Bakema, 2009). Polska dotychczas nie posiada instalacji tego rodzaju, mimo że Niż Polski jest wg badań Bloemendala i in. (2015) perspektywiczny pod kątem możliwości zastosowania ATES: tereny Niżu Polskiego, które reprezentują ok. 70% powierzchni kraju, uzyskały w 10-stopniowej skali klasy przydatności od 7 do 9. W bibliograficzno-abstraktowych bazach danych znaleziono tylko jedną publikację poświęconą tej tematyce w Polsce. Dzięki wykorzystaniu bazy danych sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB), analiza geostatystyczna prowadzona w Polsce przez Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk (IGSMiE PAN) potwierdziła perspektywiczność Polski pod względem wykorzystania ATES (Skrzypczak, Miecznik, 2019). Szczególnie przydatne do inwestycji tego rodzaju byłyby północne i zachodnie tere-

ny, z Warszawą, Gdańskiem, Wrocławiem i Bydgoszczą jako głównymi potencjalnymi odbiorcami tej technologii.

Zaprezentowana praca opiera się na założeniu, że na Niżu Polskim nawet mezoregiony o złożonej strukturze geologicznej posiadają lokalnie jednostki geomorfologiczne przyjazne systemom energetycznym wykorzystującym niskotemperaturową metodę (ryc. 1) w zakresie temperatur 5–25°C. To opracowanie wpisuje się w ciąg dwóch prac autora: podejścia metodologicznego do analizy potencjału energetycznego LT-ATES w skali Pojezierza Kaszubskiego (Lemoine, 2016) oraz oceny warunków fizykośrodowiskowych Rynny Słuszewskiej w obrębie Wysoczyzny Żarnowieckiej (Lemoine, 2018). W odróżnieniu od tych poprzednich artykułów, gdzie rozpatrywano przede wszystkim uwarunkowania fizjograficzne, uwzględniono tu również kryteria społeczno-ekonomiczne. Wybrano więc do analizy jednostkę geomorfologiczną perspektywiczną pod tym kątem dla rozwoju branży ATES. Kościerska wyspa more-

nowa spełnia to wymaganie. Po pierwsze, jako stolica powiatu, miasto Kościerzyna posiada odpowiednie zaplecze organizacyjne, aby nakreślić własną strategię rozwoju energii odnawialnych. Po drugie, jako biegun ekonomiczny południowych Kaszub, miasto staje w obliczu rosnącego zapotrzebowania na chłód i na ciepło w perspektywie najbliższych dekad.

METODYKA OCENY BUFOROWEGO POTENCJAŁU TERMICZNEGO PŁYTKICH WÓD PODZIEMNYCH

Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000 – ark. Kościerzyna, wraz z objaśnieniami (Kreczko, Kozerski, 2007) stanowi główne źródło danych terenowych. W przypadku kościerskiej wyspy morenowej analizowano opis czterech jednostek hydrogeologicznych i archiwalnych danych hydrogeologicznych z siedmiu otworów studziennych:

– w jednostce hydrogeologicznej 4aQII/Q (południowy końcowy fragment): otwory nr 15, 16 i 17 z MHP, odpowiednio 10091UW, 9905UW i 10091UW z banku HYDRO;

– w jednostce hydrogeologicznej 3bcQI (wschodni końcowy fragment): otwór nr 14 z MHP – 17/190 z banku HYDRO;

– w jednostce hydrogeologicznej 5cQI (zachodni końcowy fragment): otwory nr 12 i 13 z MHP – 8625PG i 17197 z banku HYDRO;

– w jednostce hydrogeologicznej 2aQII/Q (południowy fragment): otwór nr 11 z MHP, odpowiednio 17/348 z banku HYDRO.

Metodyka zastosowana do oceny ilościowej potencjału termicznego LT-ATES jest inspirowana poradnikiem opracowanym przez francuską służbę geologiczną BRGM w latach 80. XX w. (Gringarten i in., 1979; Ausseur, Sauty, 1982). Opiera się ona na symulacji komputerowej cyklicznej stymulacji termicznej magazynów w wybranym poziomie wodonośnym. W tym celu stosuje się prosty model tokowy przeniesienia ciepła.

Wstępnie wykonuje się ocenę poziomu wodonośnego, który powinien spełnić podstawowe wymagania geometryczne, hydrodynamiczne i izolacyjne:

– niska prędkość przepływu Darcy'ego: $v < 20$ m/rok

– warstwa naporowa o minimalnej miąższości efektywnej: $m_{\text{aqu}} \geq 12$ m;

– pokrywa warstwy wodonośnej półprzepuszczalnej lub słaboprzepuszczalnej o minimalnej miąższości: $m_{\text{cap}} \geq 16$ m.

Następny etap to charakterystyka geometryczna i termodynamiczna magazynów m.in. za pomocą bezwymiarowych liczb termodynamicznych Pe , Λ i ε . Pierwsza liczba – tj., Peclet, określa stosunek przepływu konwekcyjnego do przepływu dyfuzyjnego w stymulowanym magazynie. Druga wyraża relację między konwecją cieplą w warstwie wodonośnej a dyfuzją cieplą przez pokrywę tej warstwy. Trzecia, jako bezwymiarowa miąższość pokrywy, określa poziom ekranizacji termicznej warstwy wodonośnej od powierzchni. Wzory obliczeniowe wymienionych liczb zostały wspomniane w poprzedniej publikacji autora (Lemoine, 2018). Wspominano tutaj tylko dwa podstawowe parametry – są to promień cieplny R_{th} i objętość V magazynów, z uwzględnieniem zaleconej przez BRGM minimalnej wartości wymaganej dla komercyjnych instalacji LT-ATES (tab. 1).

Potencjał energetyczny wybranych do analizy poziomów wodonośnych obliczono, odnosząc się do Jednostkowego Modułu Cyklicznego (JMC) w rozumieniu podstawowego 2-otworowego układu hydraulicznego LT-ATES pracującego w sezonowym trybie cyklicznym (Lemoine, 2016, 2018), zaprezentowanego w rycinie 1. Jako wskaźnik potencjału energetycznego wprowadzono pojęcie surowego potencjału chłodniczego i surowej mocy chłodniczej modułu JMC. Przez surowy potencjał chłodniczy modułu rozumie się ilość chłodu, którą można przenieść, a nie całkowicie zmagazynować, do zimnej strefy w ciągu połowy cyklu termodynamicznego trwającego 6 miesięcy, przy różnicy temperatury 20 K (20°C) między ciepłą a zimną strefą. Surowa moc chłodnicza była obliczona od surowego potencjału.

NAJWAŻNIEJSZE WYNIKI

Główne wyniki analizy przedstawiono na rycinie 2. Przybliżony potencjał i surową moc chłodniczą JMC LT-ATES dla jednostek hydrogeologicznych kościerskiej wyspy morenowej oszacowano odpowiednio w granicach: 2,5÷25 TJ i 0,15÷1,50 MW. Zakładając współczynnik odzysku energii cieplnej równy 0,5 i w przypadku zachodniej części tego płatu morenowego, która jest najbardziej per-

Tab. 1. Parametry charakteryzacji geometrycznej magazynów LT-ATES z zaleconą minimalną wartością wymaganą dla komercyjnej instalacji (Gringarten i in., 1979; Ausseur, Sauty, 1982)

Table 1. Parameters for the geometrical characterisation of LT-ATES storages with the prescribed minimum value required for commercial installation (Gringarten i in., 1979; Ausseur, Sauty, 1982)

Objętość magazynów V Volume of the storages	Promień termiczny Thermal radius
$V = V_c = V_z = Q \cdot t_{c/2}$ [m ³]	$R_{\text{TH}} = \sqrt{\frac{C_{v-w}}{C_{v-aquif}} \cdot \frac{V_{inj}}{\pi \cdot m_{aquif}}}$ [m]
minimalna wartość / minimum value – 68 000 m ³	minimalna wartość / minimum value – 55 m

V_c – objętość zmagazynowanej ciepłej wody / volume of the warm stored water [m³];

V_z – objętość zmagazynowanej zimnej wody / volume of the cold stored water [m³];

Q – średnia wydajność studni podczas iniekcji / average well injection yield [m³/h];

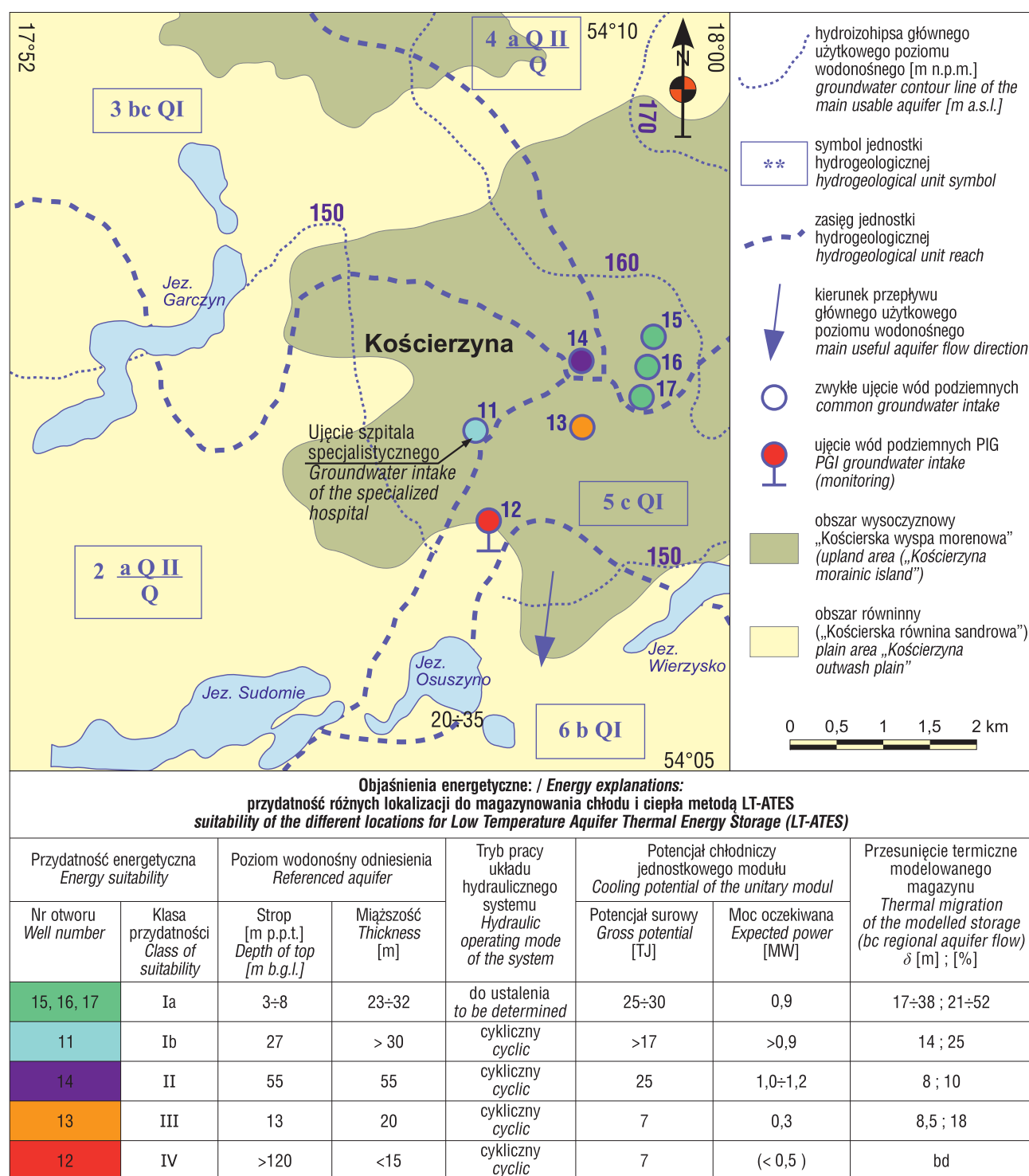
$t_{c/2}$ – czas pracy pompy głębinowej w trybie magazynowania podczas połowy cyklu rocznego / operating time of the submersible groundwater pump during a half annual cycle [h];

C_{v-w} – objętościowa pojemność ciepła wody / water's volumetric heat capacity [MJ · m⁻³ · K⁻¹];

V_{inj} – ilość wody tłocznej podczas połowy cyklu / volume of the water injected during a half annual cycle [m³];

m_{aquif} – miąższość efektywna warstwy wodonośnej / aquifer's effective thickness [m];

$C_{v-aquif}$ – objętościowa pojemność ciepła wodonośca / aquifer's volumetric heat capacity [MJ · m⁻³ · K⁻¹].



Ryc. 2. Przydatność różnych lokalizacji na kościerskiej wyspie morenowej do magazynowania ciepła i ciepła metodą LT-ATES (Kreczko, Kozerski, 2007; Lemoine, 2020)

Fig. 2. Suitability of various location zones within the Kościerzyna morainic island for LT-ATES applications (Kreczko, Kozerski, 2007; Lemoine, 2020)

spektywiczna, oszacowano rzeczywisty potencjał chłodniczy JMC-ATES na ok. 5 TJ, a moc chłodniczą na ok. 0,6 MW. Według holenderskiego schematu rozwojowego branży LT-ATES (Schmidt, Miedaner, 2012) optymalna efektywność ekonomiczna inwestycji tego rodzaju byłaby w tych warunkach osiągalna przez co najmniej 6-otworową instalację o łącznej mocy chłodniczej co najmniej 1,5 MW. W stosunku do zakresu mocy chłodniczej przedmiotowych systemów energetycznych, tj. od 1 do 20 MW, oszacowany tu potencjał jest raczej skromny. Kościerska wyspa more-

nowa byłaby raczej domeną dla małych instalacji LT-ATES. W analizie dokumentacji archiwalnej poszczególnych lokalizacji otworów studziennych reprezentatywnych dla przedmiotowego płata morenowego podkreślono wysoką zmienność pionową warunków hydrogeologicznych i wpływ rzeźby terenu na krążenie płytkich wód podziemnych. W zależności od położenia w stosunku do rzędnej ok. 175 m n.p.m. wyróżniono dwie kategorie terenów.

Pierwsza z nich to tereny wysoko położone, gdzie płat morenowy osiąga ponad 10-metrową grubość. Takie ob-

szary są korzystne dla lokalizacji typowych systemów LT-ATES (systemy pracujące w sezonowym trybie cyklicznym i przeznaczone do produkcji chłodu i ciepła) z dwóch głównych powodów. Po pierwsze, dobre ekranowanie termiczne najpłytszych wód podziemnych przez grubą pokrywę gliniastą ogranicza straty termiczne związane z przewodnością cieplną. Po drugie, konfiguracja geologiczna sprzyja występowaniu wód przeważnie naporowych o niewielkiej prędkości przepływu, co ogranicza straty termiczne związane z dyspersją hydrodynamiczną, która jest drugą składową dyspersji termicznej (Pawuła, 1993). Zachodnia dzielnica Kościerzyna, gdzie znajduje się szpital specjalistyczny i duża pływalnia, stanowi najbardziej perspektywiczny teren dla LT-ATES. W tej lokalizacji wartość surowego potencjału termicznego JMC może przekraczać 17 TJ, z rzeczywistą mocą chłodniczą rzędu 1 MW, przy umiarkowanym przesunięciu termicznym 14 m w stosunku do promienia termicznego zasobnika JMC rzędu 50 m.

Druga kategoria terenów to tereny nisko położone, gdzie miąższość płata morenowego nie przekracza 10 m. Cechują się one wysokim surowym potencjałem chłodniczym JMC LT-ATES, który sięga miejscami 30 TJ (np. północna i północno-wschodnia część kościerskiej wyspy morenowej). Mimo tego tereny te nie spełniają podstawowych warunków do magazynowania energii cieplnej LT-ATES typowymi systemami pracującymi w trybie cyklicznym z dwóch powodów: niskie ekranowanie termiczne i stosunkowo dużą prędkość przepływu pierwszego poziomu wodonośnego. W tych warunkach można rozpatrywać projektowanie systemów LT-ATES w trybie ciągłym (jednokierunkowym). Sensowne wydaje się również rozważenie możliwości skojarzenia LT-ATES z monitoringiem lub/i remediacją wód podziemnych w przypadku ich zanieczyszczenia (Malina, Bujak, 2017). Ta ostatnia opcja może znaleźć zastosowanie m.in. w południowym obniżeniu rynnowym, które przebiega w centrum omówionego płata morenowego. Z uwagi na lokalizację w centrum miasta, obniżenie to jest szczególnie wrażliwe na skażenia wód podziemnych.

UWAGI KOŃCOWE

Ocena możliwości wykorzystania płytkich wód podziemnych kościerskiej wyspy morenowej do sezonowego magazynowania chłodu i ciepła pozwala wyróżnić tę jednostkę geomorfologiczną jako obszar szczególnie perspektywiczny dla testowania metody LT-ATES w Polsce.

Z punktu widzenia metodologicznego *Mapa Hydrogeologiczna Polski* (MHP) okazuje się być przydatnym narzędziem na etapie wstępnej oceny potencjału termicznego płytkich wód podziemnych w skali obrębu geodezyjnego, mikroregionów lub jednostek geomorfologicznych. Słabym punktem tego narzędzia jest natomiast niska częstotliwość aktualizacji danych. W prezentowanej ocenie wykorzystana MHP została wydana ok. 15 lat temu, a informacje hydrogeologiczne w załączonych do niej objaśnieniach sięgają lat 50. XX w. Z tego powodu zaleca się również wykorzystanie danych z sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych PIG-PIB, z zastrzeżeniem, że dane te integrują warunki hydrogeologiczne w skali Jednolitych Części Wód Podziemnych, czyli w skali międzygminnej.

Wyniki analizy pokazują, że nawet w polskich mezoregionach pojeziernych, cechujących się wysoką złożonością utworów czwartorzędowych, można znaleźć lokalnie ko-

rzystne warunki hydrogeologiczne i ekonomiczne dla wykorzystania ATES. Potwierdzają w tym sensie wnioski przedstawione wcześniej nie tylko przez krajowych (Skrzypczak, Miecznik, 2019) ale również zagranicznych autorów (Bloemendal i in., 2015). Wydaje się zatem oczywiste, że Polska, a szczególnie Niż Polski, jest strefą perspektywną dla ATES. Brakuje tylko badań pilotowych, które pozwoliłyby to potwierdzić. Takie badania mogą również decydującym impulsem do powstania branży ATES w Polsce.

Autor pragnie serdecznie podziękować Panu prof. dr. hab. Grzegorzowi Malinie za wielce wnikliwą i pomocną recenzję niniejszej pracy.

LITERATURA

- AUSSEUR J.Y., SAUTY J.P. 1982 – Exploitation thermique des aquifères peu profonds- Manuel de préparation des pré-études de faisabilité technique. Rap. B.R.G.M. 82 SGN 023 EAU.
- BLOEMENDAL M., OLSTHOORN T., VAN DEN VEN F. 2015 – Combining climatic and geohydrological preconditions as a method to determine world potential for aquifer thermal energy storage. *Sci. Tot. Environ.*, 538: 621–633.
- GODSCHALK M., BAKEMA G. 2009 – 20,000 ATES Systems in the Netherlands in 2020 – Major step towards a sustainable energy supply, Effstock 2009 Conference Proceedings, 14–17.06.2009, Stockholm.
- GONDA A., LANCEREAU P., LE PIERRES N., LUO L., MANGIN D., MARTY P., MARVILLET C., N'TSOUKPOE K.E., PAULUS C., TANGUY G. 2011 — Procédé de stockage de chaleur solaire intersaisonnier par absorption LiBr-H₂O. 20eme Congres Français de Mécanique, Besançon (F), 29.08.2011–02.09.2011.
- GRINGARTEN A.C., LANDEL P.A., MENJOZ A., SAUTY J.P. 1979 – Stockage longue durée en nappe phréatique de calories a basse température pour l'habitat. Rap. BRGM n°79 SGN 683, HYD. – 1979 Paris, Plan Construction, F.
- FELUCH W.W. 2011 – Cykliczne przyczyny zagrożeń gwałtownymi zmianami klimatu. *Zesz. Nauk. SGSP*, 41: 55–79.
- KRAWIEC F. 2010 – Rola odnawialnych źródeł energii w rozwiązywaniu globalnego kryzysu energetycznego. [W:] Krawiec F. (red.), *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Wybrane problemy*. Wyd. Difin S.A., Warszawa.
- KRECKO A., KOZERSKI B. 2007 – Objasnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Kościerzyna. Państw. Inst. Geol., Oddz. Geologii Morza, Gdańsk.
- LEMOINE G. 2016 – Analiza niskotemperaturowego potencjału energetycznego obszarów młodoglacjalnych na przykładzie Pojezierza Kaszubskiego – Podejście metodologiczne. *Tech. Posz. Geol., Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 55 (1): 151–171.
- LEMOINE G. 2018 – Perspektywy międzysezonowego magazynowania ciepła w płytkich warstwach wodonośnych z obszarów młodoglacjalnych na przykładzie Rynny Słuszeńskiej (Wysoczyzny Żarnowieckiej). *Tech. Posz. Geol., Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 57 (2): 55–77.
- LEMOINE G. 2020 – Ocena potencjału energetycznego płytkich wód podziemnych „Kościerskiej Wyspy Morenowej” pod kątem sezonowego magazynowania chłodu i ciepła ATES. Rap. 92 s., Archiwum Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego. Niepublikowane.
- MALINA G., BUJAK I. 2017 – Ocena możliwości skojarzenia magazynowania energii cieplnej w warstwie wodonośnej z remediacją wód podziemnych. *Ochr. Środ.*, 39 (3): 9–18.
- MIECZNIK M. 2016 – Podziemne magazynowanie energii cieplnej – metody i zastosowania. *Prz. Geol.*, 64 (7): 464–471.
- PAWUŁA A. 1993 – Modelowanie procesu propagacji ciepła w ośrodku gruntowym. Referat wygłoszony na zebraniu naukowym Instytutu Geologii (27.05.1993 r.) UAM, Poznań.
- SKRZYP CZAK R., MIECZNIK M. 2019 – Initial assessment of the possibility of using ATES technology in Poland by low-temperature heat and cold consumers. *Polityka Energetyczna*, 22 (1): 39–58.
- SCHMIDT T., MIEDANER O. 2012 – Solar district heating guidelines – Storage. Ark. serii 7.2: 1–13. Rap. Solites (DE) dla Solar District Heating. Assessment of the shallow groundwater potential of the “Kościerzyna Morainic Island” for cold and heat seasonal energy storage.

Praca wpłynęła do redakcji 22.06.2021 r.
Akceptowano do druku 26.07.2021 r.