ZAGOSPODAROWANIE ZWYKŁYCH
WÓD PODZIEMNYCH
CELEM ENERGETYCZNYM

Praca autorstwa
na rzecz rozwoju termogeologii
na Niżu Polskim

Ocena potencjału płytkich wód podziemnych "kościerskiej wyspy morenowej" pod kątem sezonowego magazynowania chłodu i ciepła ATES

Kartuzy, 4 sierpnia 2020 r,

Gérard lemoine
Kartuzy, Polska
22.07 .2020

GERARD LEMOINE

Drzeworyt cyklu *Taniec Smierci* Hansa Holbien'a (1525)

Wykorzystując drzeworyt niemieckiego malarza Hansa Holbien'a (1497 lub 1498–1543) w przedmowie powieści *Diabelski Staw* (fr: *La mare au diable*, 1846) francuska pisarka George Sand (1804 -1876) chciała ilustrować chorobliwy pesymizm panujące w XIX-ego , w tym makabryczny obraz kondycji wiejskiej. Według kochanki Fryderyka Chopina, życie na wsi nie było tylko bolesnym i beznadziejnym marszem ku śmierci, jak mawiano w owych czasach w miastach.

Patrząc z tej perspektywy na teraźniejszą rzeczywistość, myślę dalej, że nie jest tak źle, tym razem w miastach, mimo pandemii. Sam dziękuje niebu za to, że pozwoliło mi zakończyć tą pracę.

Niniejsze opracowanie jest dedykowane żonie Maria, Donacie i Sewerynowi, i wnuce Almirze, która, która jest już szczepiona przeciwko geotermioliozie.

Gérard lemoine
Kartuzy, 22.07 .2020

Streszczenie / Abstract / résumé

Gérard lemoine
Kartuzy, 04.08 .2020

Ocena potencjału energetycznego płytkich wód podziemnych "kościerskiej wyspy morenowej" pod kątem sezonowego magazynowania chłodu i ciepła ATES

Niskotemperaturowe magazynowanie ciepła w warstwach wodonośnych (LT-ATES) jest szeroko stosowane na skalę przemysłową w Holandii do produkcji chłodu i ciepła za pomocą pomp ciepła. W Polsce, Niż Polski został nie dawno temu wytypowany jako obszar perspektywiczny pod tym kątem. W tym kraju metoda nie została dotychczas testowana. Złożona struktura przypowierzchniowych utworów geologicznych większość terenów tego obszaru utrudnia ocenę wykonalności technicznej i ekonomicznej systemów energetycznych tego rodzaju.

W niniejszej pracy wykorzystano podstawową dokumentację szczególnie Mapy Hydrogeologicznej Polski z objaśnieniami, w celu oceny potencjału chłodniczego ATES terenów na skalę obrębu geodezyjnego. Wybrano w tym celu Kościerską wyspę morenową jako główny biegun rozwoju południowych Kaszub.

Wyniki oceny, pokazują, że na dodatek atutów ekonomicznych, ten teren posiada wyjątkowo korzystne warunki hydrogeologiczne dla magazynowania ciepła omówioną metodą, jako fragment strefy kontaktu między kompleksem morenowym Pojezierza Kaszubskiego a równiną sandrową Borów Tucholskich. W tym terenie, z zastrzeżeniem odpowiednich badań inżynierskich, lokalizacja systemów LT- ATES o kilku-megawatowej mocy chłodniczej jest perspektywą zupełnie realną.

Słowa kluczowe : magazynowanie ciepła w warstwie wodonośnej (ATES), termogeologia, gruntowe pompy ciepła woda-woda , surowa moc chłodnicza, wzgórze morenowe, sandr, Kościerzyna, Polska.

Evaluation du potentiel énergétique des aquifères peu profonds de "l'île morainique de Kościerzyna" pour le stockage saisonnier de froid et de chaleur ATES

Le stockage de chaleur aquifère basse température (LT-ATES) est largement utilisé à l'échelle industrielle aux Pays-Bas pour la production de froid et de chaleur à l'aide de pompes à chaleur. En Pologne, bien que la méthode en question n'ait pas encore été testée, la Plaine Polonaise a été récemment identifiée comme prometteuse à cet égard. Mais la structure complexe des formations géologiques de subsurface qui caractérise la majeure partie de terrains de cette vaste dépression rend difficile l'évaluation de la faisabilité technique et économique de ce type de systèmes énergétiques.

Dans cette étude, comme documentation de base, la carte hydrogéologique de Pologne avec sa notice explicative a principalment a été utilisée pour évaluer le potentiel de refroidissement ATES des zones à l'échelle de la localité (n.t. district/arrondissement). A cet effet, l'"île morainique de Kościerzyna" (nt: accumalation morainique sur sandur) a été sélectionnée comme pôle principal de développement de la Cachoubie Méridionnale.

Les résultats de cette évaluation montrent qu'en plus d'attrais économiques, la zone géografique étudiée a des conditions hydrogéologiques exeptionnelles pour le stockage de la chaleur selon la méthode considérée, en tant que fragment de la zone de contact entre les moraines du Pojezierze Kaszubskie et le sandur des Bory Tucholskie. Dans ce domaine, sous réserve d'étude d'ingénierie appropriées, l'installation de systèmes LT-ATES avec une capacité de refroidissement de l'ordre de quelque mégawatts est tout-à-fait envisageable dans cette zone.

Keywords : stockage de chaleur en aquifère (ATES), thermogéologie, pompe à chaleur géothermique eau-eau, puissance brut de rafraichissement, colline morainique, sandur, Kościerzyna, Pologne.

Assessment of the shallow groundwater potential of the " Kościerzyna morainic island" in terms of cold and heat seasonal energy storage ATES

Low-temperature aquifer heat storage (LT-ATES) is widely used on an industrial scale in the Netherlands for cold and heat production using heat pumps. In Poland, the Polish Lowlands were recently typed as a promising area in this respect. But this method has not yet been tested in this country. Because of the complex structure of subsurface geological formations of most fieds belonging to these lowlands, assessment of the technical and economic feasibility of this type of energy storage requires in this case extensive investigation.

In this study, the basic documentation, especially the Hydrogeological Map of Poland with explanations, was used in order to assess the ATES cooling potential of the areas on the scale of the geodetic area. For this purpose, the" moraine island of Kościerzyna" was selected as the main pole of the development of southern Kashubia.

The results of the assessment show that, in addition to economic advantages, this area has favorable hydrogeological conditions for thermal energy storage with the discussed method, due to its location between the Kashubian Lake District morainic complexe and the Tuchola Forest outwash plain. In this area, subject to appropriate engineering research, the inwestiment of LT-ATES systems with few megawatt cooling capacity is entirely possible.

Keywords : aquifer thermal enrergy storage, (ATES), thermogeology, ground water heat pump, gross cooling power, morainic hills, outwash plain, Kościerzyna , Poland

§

Spis treści

Wstęp ..... str. 7

I – Uwarunkowań rozwoju termogeologii w Kościerzynie i okolicy

1 - Położenie geograficzne ..... str. 10
2 - Położenie fizycznogeograficzne ..... str. 11
3 - Warunki geomorfologiczne ..... str. 12
4 - Warunki hydrologiczne
4.1 - Na skalę arkuszu mapy hydrograficznej Polski ..... str. 16
4.2- W kościerskiej wyspie morenowej ..... str. 16
4.3- W kościerskiej równinie sandrowej ..... str. 18
4.4- Jakość wód powierzchniowych ..... str. 20
5 - Warunki hydrogeologiczne
5.1 - Regionalizacja hydrogeologiczna ..... str. 22
5.2- Regionalizacja gospodarki wodnej ..... str. 23

II -Możliwości wykorzystania ciepła Ziemi konwencjonalnymi metodami niskotemperaturowymi

1 - Warunki geotermiczne ..... str. 26
2 -Metoda oceny płytkiego potencjału termicznego ..... str. 26
3 - Moc poboru GPC typu GSHP (ZO) ..... str. 27
3 - Moc poboru GPC typu GWHP (OG) ..... str. 32

III -Możliwości magazynowania energii cieplnej w Ziemi metodą niskotemperaturową ATES

1 - Opis metody
1.1 - Zarys historyczny ..... str. 38
1.2 - Typologia i zasada działania systemów ..... str. 39
1.3. - Pojęcie Jednostkowego Modułu Cyklicznego LT-ATES ..... str. 41

2 - Ocena potencjału buforowego terenów
2.1 - Na bazie danych krajowej sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych ..... str. 44
2.2 - Na bazie danych Mapy Hydrogeologicznej - arkusz Kościerzyna
2.2.1 - Stosowana metoda ..... str. 47
2.2.2 - Przydatność terenów do magazynowania chłodu (i ciepła) metodą LT-ATES
2.2.2.1 - Przydatność jednostek hydrogeologicznych ..... str. 56
2.2.2.2 - Przydatność poszczególnych lokalizacji studni ..... str. 64

Wnioski ..... str. 73

Literatura ..... str. 78

Aneks wnioski analizy SMGP i MHP ..... str. 83

Lista rysunków

Rys. 1 : Położenie geograficzne analizowanej strefy
Rys. 2 : Położenie fizyko-geograficzne przedmiotowej strefy
Rys. 3 : Szkic morfologiczny wzdłuż pokroju A-B (Kościerzyna – Korne)
Rys. 4 : Przekrój AB : (Kościerzyna – Korn)
Rys. 5 : Szkic morfologiczny i związany z nim przekrój CDEF Kościerzyna – Jezioro Radolne
Rys. 6 : Konceptualny model kaskady ośrodków retencji.
Rys. 7 : Położenie przedmiotowej strefy w obrębie regionu hydrogeologicznego Dolnej Wisł y
Rys. 8 : Mapa lokalizacji Jednolitej Części Wód Podziemnych nr 28
Rys. 9 : Profil litologiczny reprezentatywny przypowierzchniowych utworów geologicznych kościerskiej wyspy morenowej
Rys. 10: Profil litologiczny reprezentatywny z przypowierzchniowych utworów geologicznych kościerskiej równiny sandrowej
Rys. 11: Lokalizacja analizowanych otworów studziennych dla oceny przypowierzchniowej zasobności w wodę Kościerskiej Równiny Sandrowej
Rys. 12: Metoda obliczenia jednostkowej moc grzewcza instalacji GWHP w stosunku do strumienia objętości pobieranej wody w warunkach Niżu Polskiego
Rys. 13 : Podstawowe pojęcia projektowe instalacji ATES
Rys. 14 : Schemat ideowy Jednostkowego Modułu cyklicznego LT-ATES
Rys. 15 : Rozmieszczenia otworów sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych wraz z informacją o głębokości zalegania stropu ujętej warstwy wodonośnej w obrębie JCWPd nr 28
Rys. 16 : Rozmieszczenia otworów sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych wraz z informacją o typie skał budujących ujętą warstwę wodonośną i typie zwierciadła ujętej warstwy wodonośnej w obrebie JCWPd nr 28
Rys.17 : Lokalizacja badanej strefy w obrębie MHP arkusza Kościerzyna (0080) na tle jednostek hydrogeologicznych
Rys. 18 : Lokalizacja ujęć wód podziemnych w obrębie kościerskiej wyspy morenowej na tle jednostek hydrogeologicznych arkusza Kościerzyna (0080)
Rys. 19: Bilans energetyczny trzeciego cyklu (trzeciego roku) sezonowego magazynowania ciepła w warstwie wodonośnej - zasobnik ze strony cieplnej studni.
Rys. 20 : Spadek względnej efektywności energetycznej zasobnika jednostkowego modułu cyklicznego systemu LT-ATES w zależności od przesunięcia termicznego
Rys. 21: Przydatność energetyczna różnych lokalizacji w kościerskiej wyspy morenowej do magazynowania chłodu i ciepła metodą LT-ATES

Lista tabeli

Tab. 1 : Główny spadek hydrauliczny tafli jeziornej w równinie sandrowej.
Tab .2 ; Główna charakterystyka morfometryczna największych jezior na obszarze mapy hydrograficznej Polski - Arkusz Kościerzyna
Tab. 3 : Główna charakterystyka hydrologiczna JCWPd nr 28
Tab .4 : Najbardziej reprezentowane geotypy w południowej części gminy Kościerzyna.
Tab. 5 : Orientacyjna moc poboru ciepła górotworu w dwóch głównych jednostkach geomorfologicznych
Tab. 6: Zasobność w wodę przypowierzchniowych utworów czwartorzędowych w Kościerskiej Równiny Sandrowej
Tab. 8: Etapy selekcji stosowanej przez IGSMiE przynoy ocenie przydatności terenów do magazynowania ciepła metodą LT-ATES na bazie danych sieci obswerwacyjno-badawczej wód podziemnych PIG-PIB
Tab. 9- a : Warunki eksploatacyjne studni w obrębie kościerskiej wyspy morenowej
Tab. 9- b : Warunki eksploatacyjne studni w obrębie kościerskiej wyspy morenowej
Tab. 10a : Referencyjna efektywność energetyczna zasobnika ATES w zależności od Pe Λ przy ε ∞ (głęboka warstwa wodonośna)
Tab. 10b : Referencyjna efektywność energetyczna zasobnika ATES w zależności od Pe i Λ przy ε 1- 4 (płytka warstwa wodonośna)
Tab. 11- a : Przydatność jednostek hydrogeologicznych do inwestycji LT- ATES - Profil geometryczny i termodynamiczny zasobnika JMC
Tab. 11- b : Przydatność jednostek hydrogeologicznych do inwestycji LT- ATES - surowy potencjał energetyczny zasobnika JMC
Tab. 11- c : Przydatność jednostek hydrogeologicznych do inwestycji LT- ATES : - wpływ hydrodynamiki podziemnej na efektywność energetycznej systemu
Tab. 12- a : Przydatność poszczególnych lokalizacji studni do inwestycji LT- ATES : - profil geometryczny i termodynamiczny zasobnika JMC
Tab. 12- b : Przydatność poszczególnych lokalizacji studni do inwestycji LT- ATES : - surowy potencjał energetyczny zasobnika JMC
Tab. 12- c : Przydatność poszczególnych lokalizacji studni do inwestycji LT- ATES : - wpływ hydrodynamiki podziemnej na efektywność energetycznej systemu

Wstęp

W nadchodzących dekadach magazynowanie energii cieplnej stanie się prawdopodobnie popularnym tematem rozmów w środowiskach energetyki z wielu powodów, wśród których można wymienić coraz droższy dostęp do kurczących się paliw kopalnych, rosnące obciążenia fiskalne lub ograniczenia prawnych dla konsumentów tych kopalin pod tytułem ochrony klimatu, rosnąca niechęć państw z regionów ubogich w kopalne zasoby gazu i ropy do dalszego uzależnienia energetyczna wobec innych państw, poszukiwanie alternatywnych i nie emisyjnych źródeł energii, w trwałej w perspektywie długoterminowej, mianowicie odnawialnych źródeł energii. Rozwój technologii Odnawialnych Źródeł Energii (OŹE) od lat 70-tych ub.w. w świecie pokazywał jednak, że nie są te źródle energii nie zawsze energie tak i że przemysł z nimi związane nie jest łagodne dla środowiska, jak wyglądają. Dotyczy to m.in. branży fotowoltaicznej i energetyki wiatrowej z uwagi na to, że wymagają one dla fabrykacji ich urządzeń kosztownych metali ziem rzadkich, których pozyskiwania jest na dodatek bardzo polutogene. Z tej perspektywy bezwzględny rozwój OZE-ów na wszelką ceną nie ma ogólnie sensu. W obliczu nowych wyzwań bezpieczeństwa energetycznego związanych z globalną zmianą klimatu, lepiej kierować się zdrowym rozsądkiem i pamiętać, że najtańszą energią będzie zawsze tą, która nie jest zużyta. W tym sensie magazynowanie energii powinno być głównym filarem przyszłych polityk energetycznych. Wśród energii, które można magazynować, energia cieplna w rozumieniu ciepła i chłodu, jest pierwsza, która przychodzi na myśl, ponieważ codziennie magazynuje się tą energię w gospodarstwach domowych za pomocą rolet żaluzji lub okiennic. Energię cieplną można również magazynować latem, aby ją wykorzystać zimą i symetrycznie zimą, aby latem ją wykorzystać latem. Na tym polega między-sezonowego magazynowanie energii cieplnej STES (Seasonal Thermal Energy Storage).

W niniejszej pracy rozważane będą możliwości stosowania między-sezonowego magazynowanie chłodu i ciepła w warstwach wodonośnych na typowym obszarze młodo glacjalnym południowych Kaszub, "kościerska wyspa morenowa", gdzie znajduje się miasto Kościerzyna, tj stolica powiatowa a jednocześnie biegun ekonomiczny tego regionu Pomorza. Między-sezonowego magazynowanie chłodu i ciepła w warstwach wodonośnych tzw ATES (ang.: Aquifer Thermal Energy Storage) można uznać najtańszą medodą STES. W stosunku do kosztu magazynowania ma metr sześcienny równoważonej objętości wody metoda jest co najmniej 10 raz wiele tańsza - ok. 50 €/m^3 niż np TTES — tj magazynowanie ciepła w naziemnych zbiorniach: od 450 od 500 €/m^3 (Schmidt i Miedaner, 2012). Metoda jest również tańsza niż inna podziemna metoda BTES wykorzystująca pionowe wymienniki ciepła podziemne(ang.: Borehole Thermal Energy Storage: magazynowanie ciepła za pomoca), ale z zastrzeżeniem istnienia na miejscu odpowiednich warunków hydrogeologicznych.

Na skalę światową leaderem branży ATES jest Holandia. Mając w swoim terytorium ok. 2,5 tys. instalacji tego rodzaju, tj ok. 90% instalacji świata, ten kraj od ponad 30 lat wykosztuje bardzo korzystne warunki hydrogeologiczne występujące w regionie Europy dla rozwoju tej branży. Wśród warunków można wymienić prostota geologiczna terenów osadowych, rozbudowany system wodonośny, wysoką wodonośność i niską prędkość przepływu regionalnego w płytkich wodonoścach. Posiadając silne zaplecze naukowe w termogeologii, Holandia jest zainteresowana rozwojem branży ATES na skalę światowa. Badania naukowe prowadzone w tym kierunku przez ekipę Uniwersytetu Technicznego w Delft wskazały, że Polska, a szczególnie Niż Polski, jest krajem bardzo perspektywiczny dla magazynowa ciepła właśnie metodą ATES : w dziesięciostopniowej skali Bloemendal'a i in. (2015), tereny Niżu

Polskiego, które reprezentują ok. 70 % powierzchni kraju, posiadają przydatność klasy od 7 a do 9. Z mało rozumianego powodu żadna typowa, niskotemperaturowa, instalacja energetyczna ATES nie została dotychczas projektowana w Polsce. Jest to tym bardziej zaskakujące, że położona za Bałtykiem Szwecja, z przydatność klasy 5 — we tym kraju tylko 15 % terenów wykazują korzystne warunki do magazynowania ciepła tą metodą ATES, posiada ponad 200 instalacji tego rodzaju na jej terytorium.

Nieobecność branży LT-ATES w Polsce świadczy przede wszystkim o braku zainteresowania tą metodą z strony władz publicznych. W końcu, nad Wisła, tylko wąska grupa specjalistów, przeważnie geologów i hydrogeologów, zainteresuje się tą metodą. Pierwsze zebranie poświęcone tej tematyce miała miejsce dwa lat temu — dokładnie 19.04.2018, w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W nim udział wzięło 11 osób reprezentujących wiodące krajowe ośrodki naukowe: AGH-WGGiOŚ, AGH-Wydz.WNiG, PAN-IGSMiE i PIG-PIB*. Pod koniec tego spotkania uczestnicy zdecydowali o utworzeniu grupy roboczej w celu przegotowania karty programowej pod egidą PAN-IGSMiE w Krakowie. Nastąpiła konsultacja, która trwała 6 miesięcy pod koordynacji dr Macieja Miecznika z ww instytutu. Dnia 12 października 2018 karta programowa pt. *„Kompleksowa ocena możliwości i warunków magazynowania niskotemperaturowego ciepła i chłodu w warstwach wodonośnych do głębokości 200 m (technologia ATES) na obszarze Polski”* została wysłana do Ministerstwa Ochrony środowiska i do wiadomości Głównego Geologa Kraju. Z ostatniej wiadomości koordynatora konsultacji z 5 czerwca ub.r , wynika, że los, który spotkał karta jest nadal nie znany. Od tego czasu, prawdopodobnie z powodu braku motywacji finansowej, zanotowano tylko jedna publikacja poświęcona na ten temat Polsce w bibliograficzno-abstraktowych bazach danych. Publikacja ta przestawia wyniki badania geostatycznego prowadzonego przez Skrzypczaka i Miecznika (2019) na skalę terytorium krajowym na bazę danych sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych Polskiego Instytutu Geologicznego i statystyki demograficznej. Wyniki potwierdzają perspektywiczność Polski dla magazynowanie ciepła metodą ATES. Szczególnie przydatne do inwestycji tego rodzaju byłyby północne i zachodnie tereny, z Warszawą, Gdańskiem, Wrocławiem Bydgoszczą jako głównymi potencjalnymi odbiorcami tej technologii. Według ww autorów wykonalność inwestycji ATES w tych terenach, ma być jednak zatwierdzona na bazie wyczerpującej analizy warunki zbiornikowych i hydrodynamicznych wykorzystania w tym celu zidentyfikowanych wodonośców.

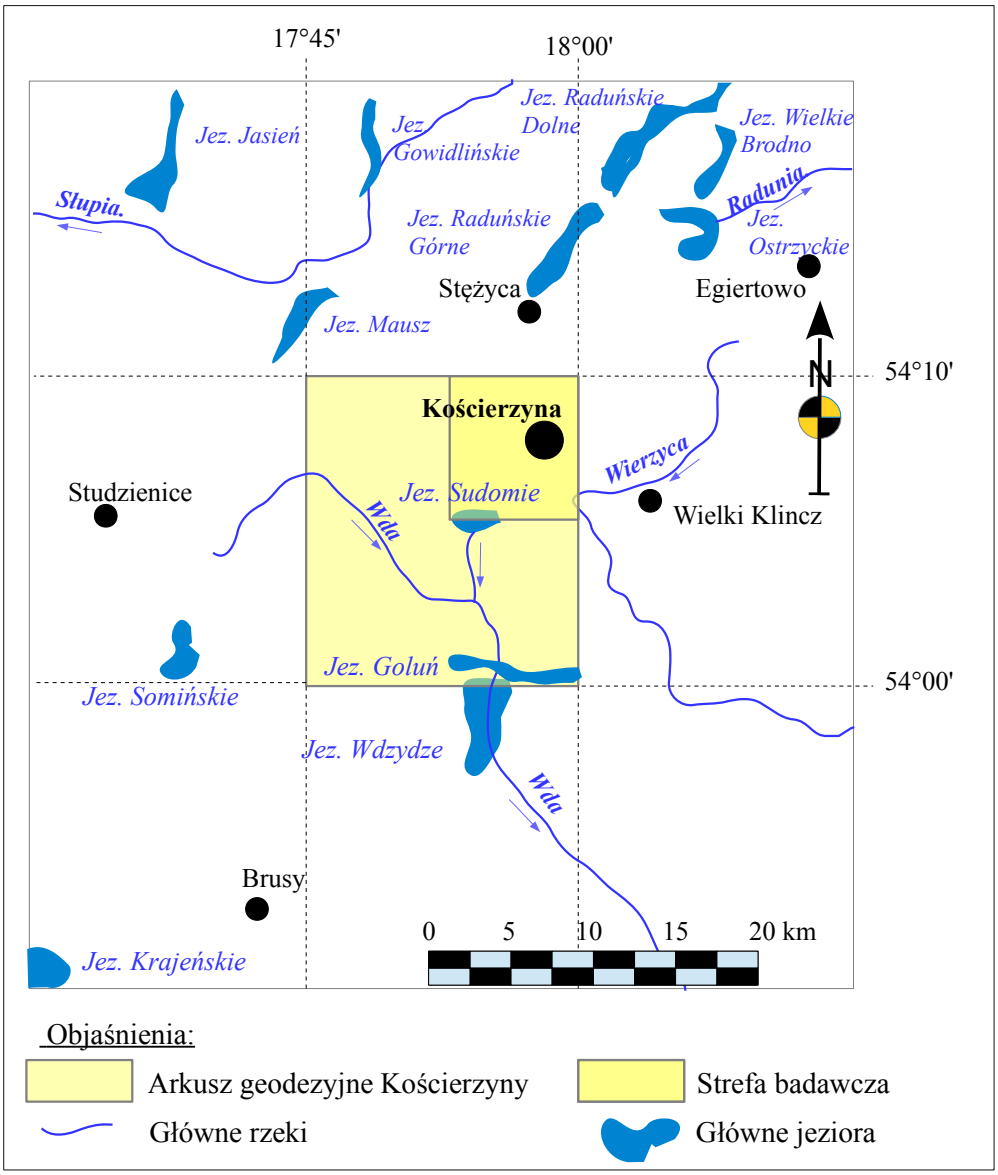
Jeśli branża ATES ma powstać w Polsce, to nie będzie z pewnościach na bazie kilkanaście publikacji referowanych dotychczas w bazach danych. Jako kolejny krok ku poznaniu możliwości stosowania tę metodę na Niżu Polskim, niniejsza pracę udowodni, że nawet w mezoregionach o złożonej strukturze geologicznej, istnieją w niżu jednostki geomorfologiczne, gdzie omówione systemy energetyczne mogą działać z dobrymi wynikami. W odróżnieniu od poprzedniej pracy poświęconej Rynnie Słuszewskiej we obrębie Wysoczyzny Żarnowieckiej, gdzie skupiono się na warunki fizyko-środowiskowe (Lemoine, 2018), w niniejszej ocenie ukierunkowano się również kryteriami socio-ekonomicznymi na etapie selekcji badanej strefy. Jako strefa o wysokim potencjale rozwojowym położona w Kaszubach południowych kościerska wyspa Morenowa, jest w tym sensie obszarem strategicznym.

I

Uwarunkowań rozwoju termogeologii w Kościerzynie i okolicy

1. - Położenie geograficzne

Znajdując się w południowej części województwa pomorskiego,w powiecie kościerskim, analizowana strefa zajmuje północno-wschodnią ćwiartkę arkusza geodezyjnego Kościerzyny (rys. 1). Jest to obszar o powierzchni ok. 70 tys. km^2 zawarty pomiędzy 17°52' a 18°00' długości geograficznej wschodniej i 54°05' a 54°10' szerokości geograficznej północne.

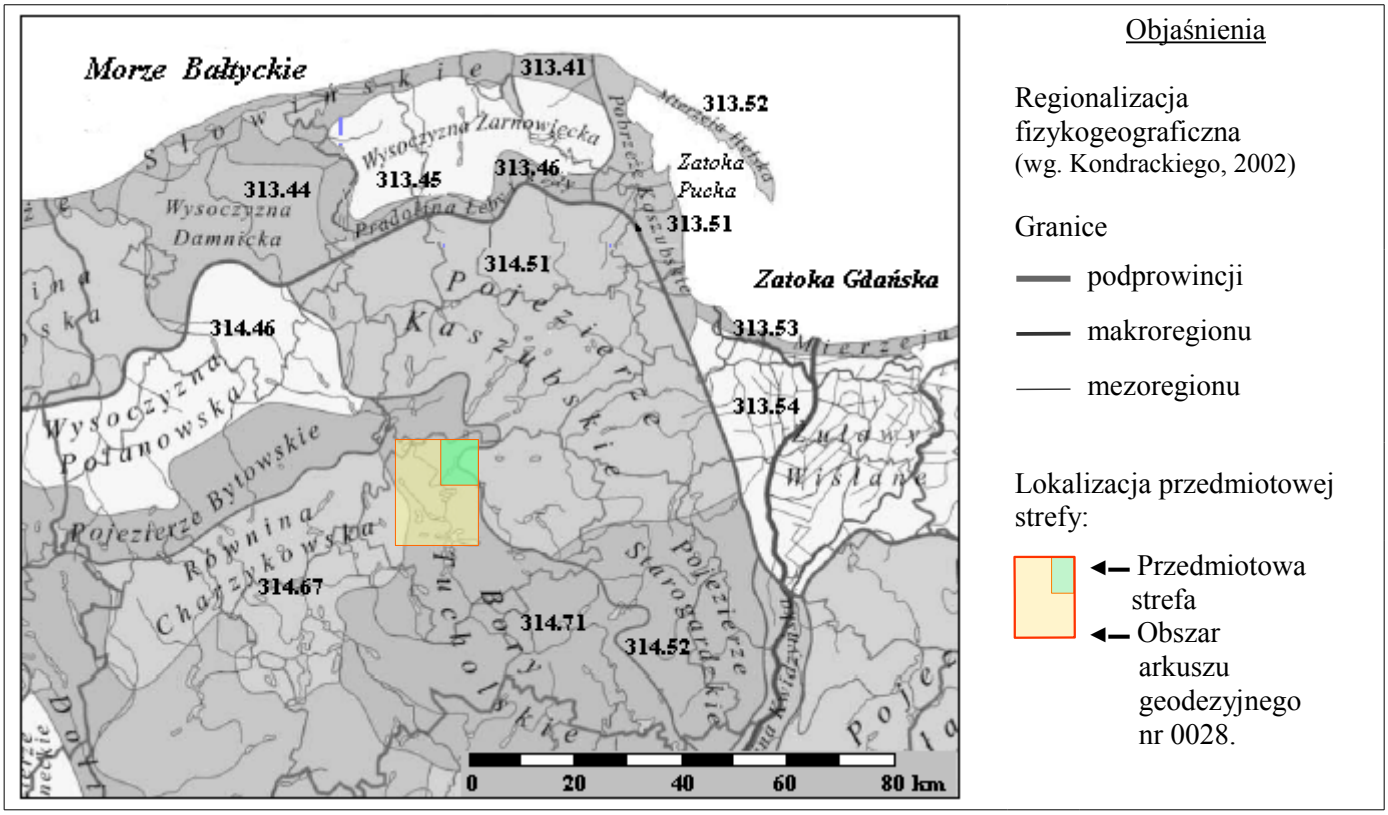


Rys.1: Położenie geograficzne analizowanej strefy

2. - Położenie fizycznogeograficzne

Według klasyfikacji Kondrackiego (2002) i zgodnie ze schematem poniżej, przedmiotowy obszar jest położony na północy prowincji Nizina środkowoeuropejskiej w strefie kontaktu dwóch makroregionów podprowincji Pojezierzy Południowobałtyckich, a jednocześnie do dwóch mezoregionów (rys. 2), zgodnie z regionalizacją poniżej:

- **Prowincja: Nizina Środkowoeuropejska:**
  - Podprowincja: **Pojezierza Południowo-bałtyckie**
    - Makroregion : **Pojezierze Wschodniopomorskie**
      - Mezoregiony: 314.51 **Pojezierze Kaszubskie** : tylko odnośnie skrajnego fragmentu południowo-zachodniego tego mezoregionu reprezentowanego w rogu północno-wschodnim arkuszu geodezyjnego nr 0088, pojezierny fragment ten obejmuje zaledwie 90% powierzchni arkusza , mniej niż 25% przedmiotowego obszaru.
    - Makroregion : **Pojezierze południowopomorskie**
      - Mezoregiony: 314.71: **Bory Tucholskie:** odnośnie ponad 90% powierzchni arkusza geodezyjnego nr 0088, i 75% przedmiotowego obszaru.



Rys.2 Położenie fizyko-geograficzne przedmiotowej strefy
(Wg klasyfikacji Kondrackiego, 2002)

3. - Warunki geomorfologiczne

W analizowanym regionie niziny dominujące procesy morfogenetyczne należą do dwóch kategorii stratygraficznych:

- plejstocen : działalności lądolodu i wód roztopowych w fazie pomorskiej stadiału głównego zlodowacenia północnopolskiego, oraz początek wytapiania wytapianie się pogrzebanych brył martwego lodu ;
- Holocen : dalsze ciąg wytapiania się pogrzebanych brył martwego lodu w późnym, erozja i procesy osuwiskowe.

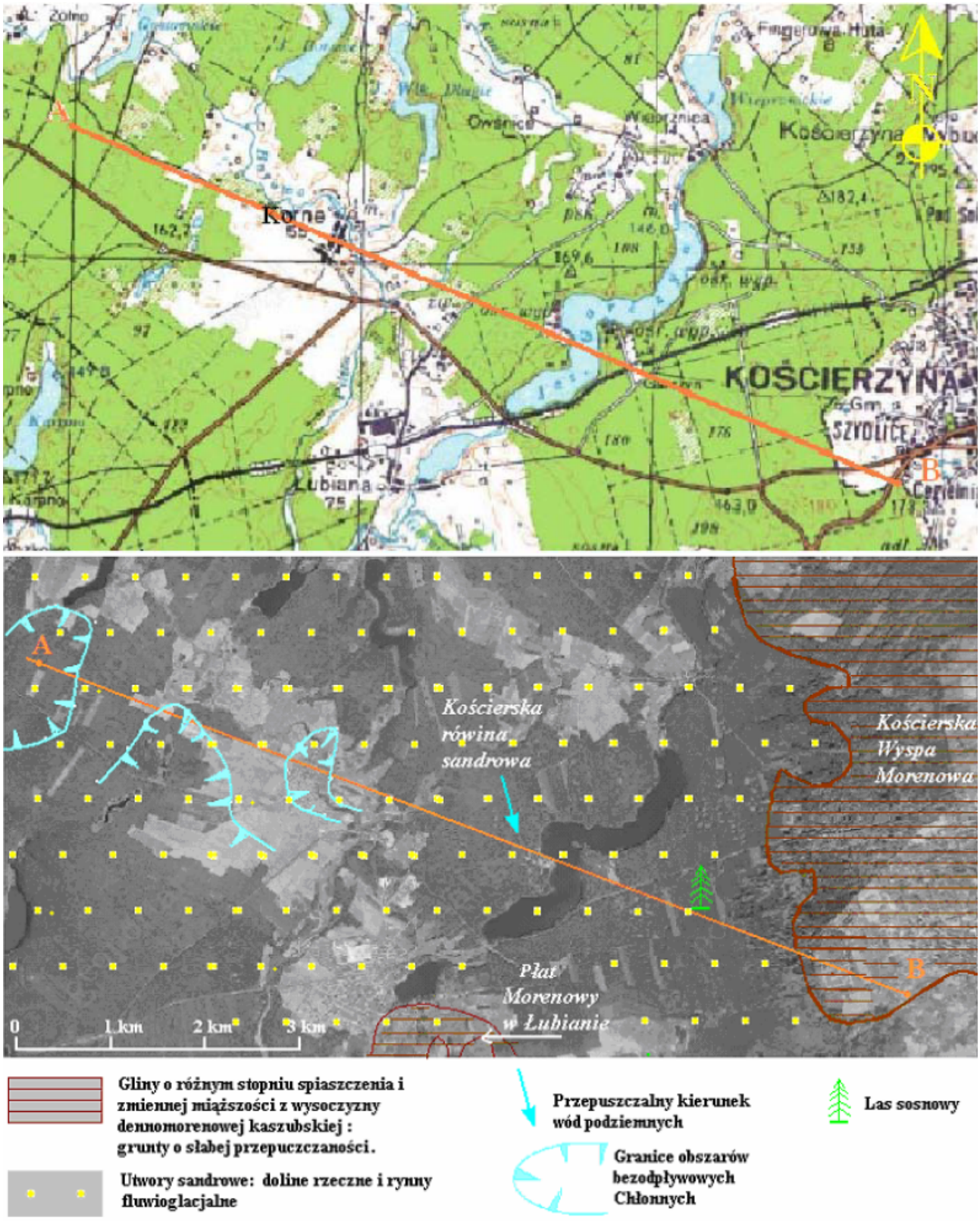
Warunki geomorfologiczne cechują strefie kontaktu między Pojezierzem Kaszubskim a Borami Tucholskimi zaprezentowane są w następujące grafiki (źródło: Lemoine, 2010) :

- szkic morfologiczny wzdłuż pokroju A-B Kościerzyna – Korne (rys. 3) ;
- przekrój AB : Kościerzyna – Korne (rys. 4)
- szkic morfologiczny i związany z nim przekrój CDEF Kościerzyna – Jezi.Radolne (rys. 5)

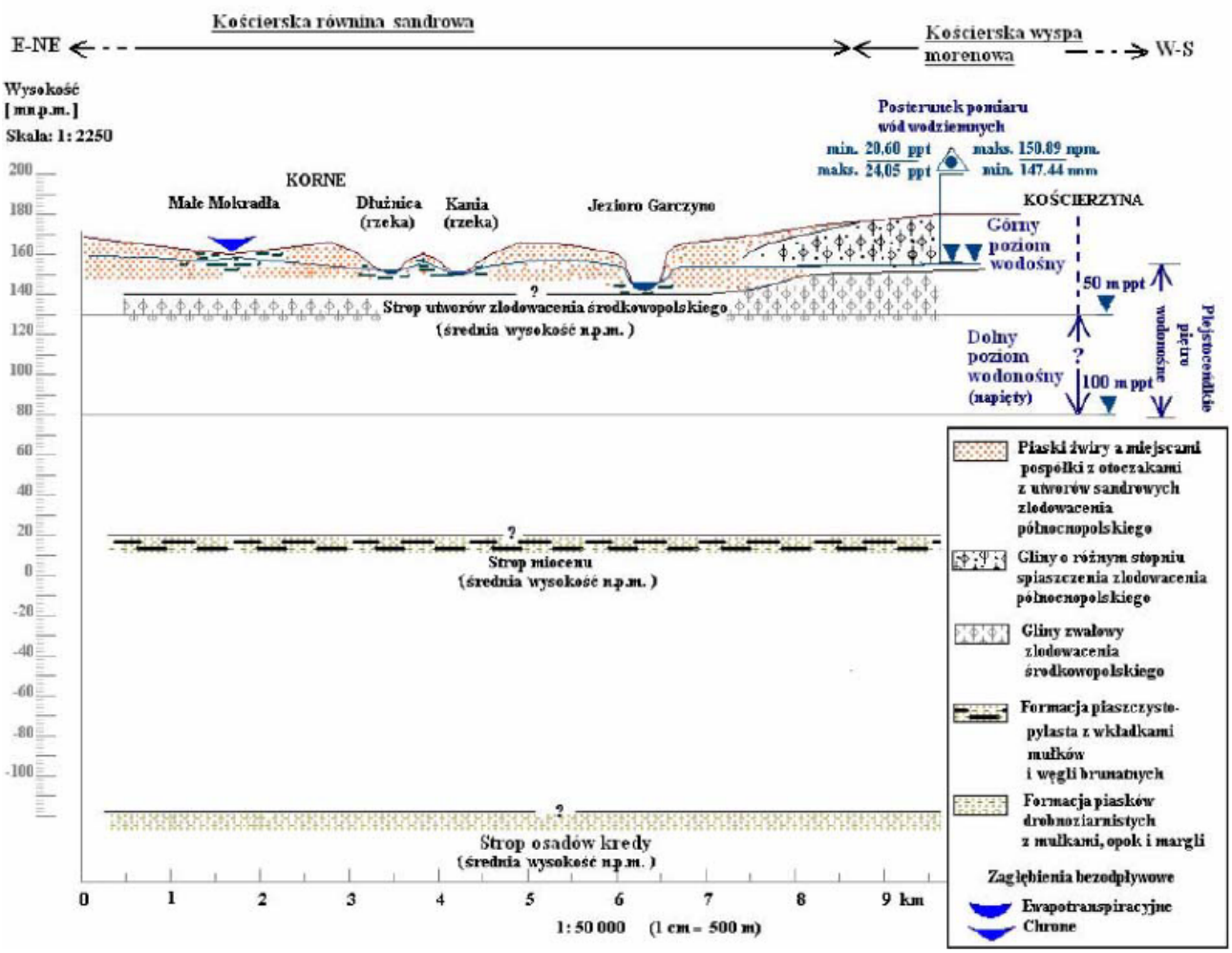
Spotykane formy należą do dwóch kategorii genetyczne (Leśniak, 2002):

- płaską a miejscami falistą moreną, która zajmuje około 15 % powierzchni arkusza geodezyjnego Kościerzyny. Ta kategoria jest reprezentowana przez:
  - tzw. „kościerską wyspę morenową” w północno-wschodniej części arkuszu, która będzie tu szczególnie analizowana.
  - niewielkie rozproszone wpłaty morenowe m.in. na wschód Lipusza.

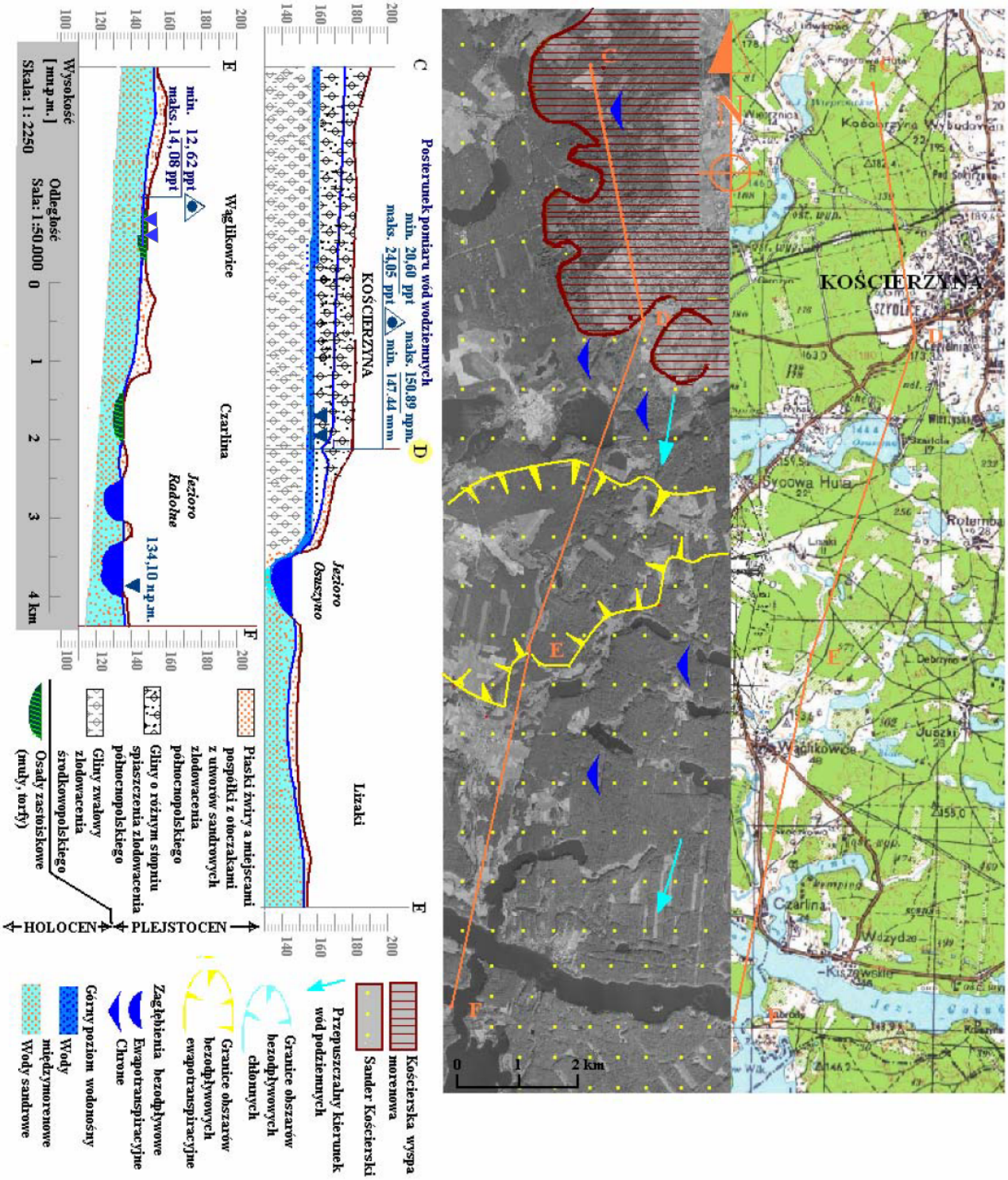
  Formy, należą do końcowej południowo-zachodniej części wysoczyzny denno-morenowej kaszubskiej. Wysokości bezwzględne spotykane w nim wahają się w zakresie 180-190 m n.p.m.. Tereny te są utworzone z glin o różnym stopniu spiaszczenia i zmiennej miąższości. Powierzchniowe poziomy wytopisk rynien i dna oczek wodnych są zwykle zajęte przez osady holoceńskie w postaci torfów i utworów mułowo-torfowych. W zależności od miejscowej hydrodynamiki późno-plejstoceńskiej mogą również występować miejscami formy kemowe zbudowane z piasków średnich i drobnych.
- Sander i związany z nim kompleks erozyjny rynien i szlaków wodnych. Zespól ten zajmuje około 85 % powierzchni arkusza geodezyjnego Kościerzyny. Występują w nim:
  - Stożki napływowe i równina kościerskiego kompleksu sandrowego. Formy te pojawiły się na przedpolu bramy stężyckiej podczas deglacjacji frontalnej u schyłku plejstocenu. Występują one w centralnej, południowo-zachodniej części omówionego arkusza geodezyjnego. W profilu te utwory fluwioglacjalne są złożone z serii piaszczystych i żwirowych, miejscami z pospółkami i otozakami. W porównaniu wyżej opisanych moren utwory sandrowe są niżej położne w stosunku do bezwzględnych wysokości w zakresie 140÷170 m n.p.m. Powierzchnia sandrowa jest lekko nachylona w kierunku południu, zgodnie z kierunkiem odpływu dawnych wód rzecznolodowcowych. niższymi różnicami wysokości względnych w przedziale rzędu 5÷10 m. Na skarp otaczających rynny glacjalne jezior i doliny rzeczne, gdzie różnice w wysokościach względnych mogą sięgać do 20 m.
  - kompleksowy system erozyjny rynien i szlaków wodnych w części południowej i zachodniej. Formy te kształtowała potężna erozja spowodowana przez marginalne odpływy wód roztopowych na przedpolu lądolodu podczas deglacjacji frontalnej.



Rys. 3: Szkic morfologiczny wzdłuż pokroju A-B (Kościerzyna – Korne)
(źródło: Lemoine, 2010)



Rys.4: Przekrój AB : (Kościerzyna – Korne) (źródło: Lemoine, 2010)



Rys. 5: Szkic morfologiczny i związany z nim przekrój CDEF Kościerzyna – Jezioro Radolne (źródło: Lemoine, 2010)

§

4. - Warunki hydrologiczne

4.1 - Na skalę arkuszu mapy hydrograficznej Polski

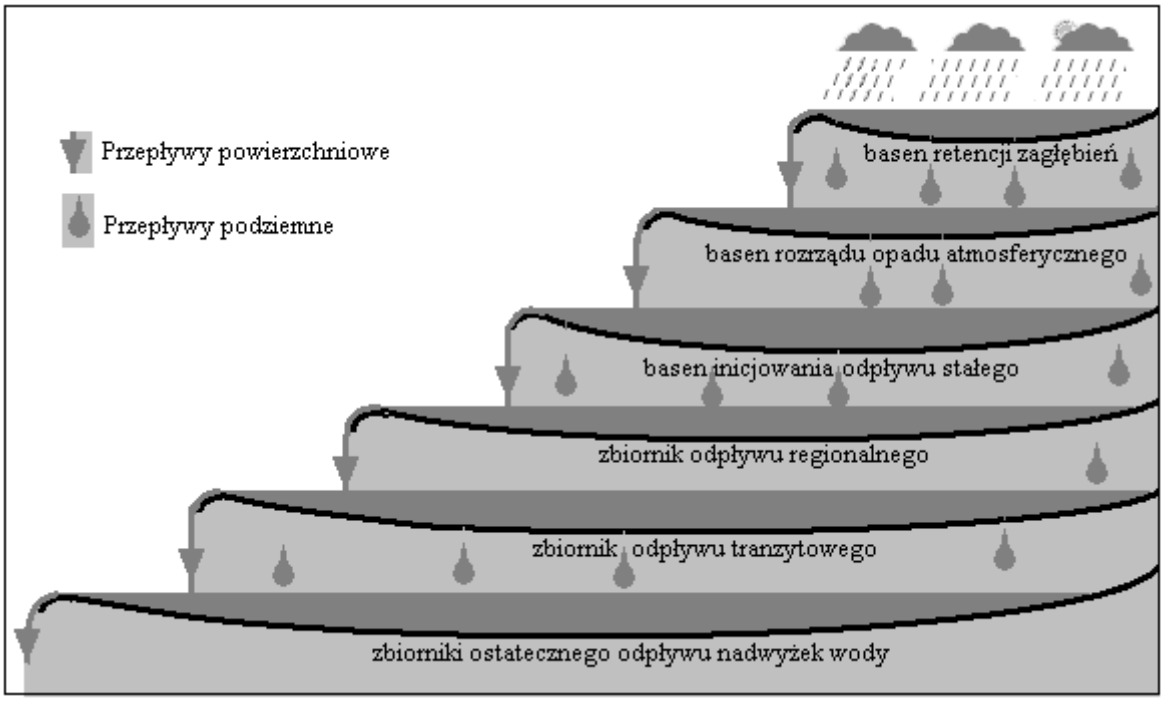
Analiza arkusza Kościerzyny mapy hydrograficznej Polski (arkusz N-33-72-D, Staszek, 2006) dostępna również na stronie internetowej Geoportal[1] wskazuje następujące uwarunkowania badanej strefy:

- Sieć hydrograficzna różnorodna, z gęstością cieków rzędu wielkości 100 km/km^2, strefami jeziornymi i wodno-błotnymi zajmującymi odpowiednio 7% i 5% powierzchni.
- Podział wodny w trzech dorzeczach:
  - dorzecze Wdy, która jako główna rzeka odprowadza w kierunku Wisły wód powierzchniowych z 94% powierzchni jest to główna rzeka omówionego arkusza mapy hydrograficznej.
  - dorzeczy Wierzycy i Brdy, które odprowadzają pozostające wód powierzchniowych również w kierunku Wisły.
- Główny kierunek przepływu wód powierzchniowych następujący z północnego-zachodu na południowy- wschód

4.2 - W kościerskiej wyspie morenowej

a) Siec hydrograficzna

Kościerska wyspa morenowa jest terenem pagórkowaty posiadający naturalnie siec hydrograficzną o różnicowanym stanie ewolucji. Za pomocą konceptualnego modelu kaskadowego



Rys. 6. : Konceptualny model kaskady ośrodków retencji.
(Woźniak 2008, na podst. Drwal, Hryniszak 2003, zmienione)

1: link https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp_2.html?gpmap=gp1

zastosowanego przez Woźniaka (2008) i Drwal & Hryniszak (2003) do ośrodków retencji w obszarach młodoglacjalnych (rys. 6), można odróżnić 5 jednostek hydrograficznych w omówionym tu mikroregion fizyko-geograficznym:

- jednostka północno-zachodnia wykazująca lokalnie cechy basenu retencji zagłębień z strony wewnętrznej wyspy morenowej w postaci kliku izolowanych zagłębień bezodpływowych chłonnych, ale przeważnie cechy basenu rozrządu opadu atmosferycznego z strony zewnętrznej — jednostka rozciąga się między miejscowościami Skorzewo Wybudowanie i Kościerzyna wybudowanie.
- jednostka północna-centralna o jednolitej facji typu basenu retencji zagłębień, w której znajdują się miejscowości Nowa Wies Kościerska i Wybudowawie pod Skorzewo. Będąc ujęta w obszarze bezodpływowym ewapo-transpiracyjnym o powierzchni ok 4 tys. km^2 ta jednostka jest reliktem sieci hydrograficzną zorganizowanej wokół odcinka południkowej rynny strukturalnej . Założone w tej rynnie jeziorka — jeż. Wrzesionek, jez. Wielkie Świniebudy jez. Gałęźne, o powierzchni odpowiednio ok. 7 ha 4 ha i 8 ha., wskazują poziom wewnętrzną bazę drenażu.
- jednostka wschodnia o dwudzielnych warunkach retencyjnych terenów:
  - facja antropogeniczna basenu retencji zagłębień rozrządu opadu atmosferycznego cechująca się skupiskami sztucznych zbiorników wodnych w międzyrzecznych terenach gliniastych występujących na północy i na południu jeziora Bibrowskiego, odpowiednio między Wybudowaniem pod Skorzewo i Nową Wsią Kościerską, oraz między Wybudowaniem pod Skorzewo a Nowym Klinczem.
  - typ basenu inicjowania odpływu stałego w obniżeniach piaszczystych.
- jednostka południowa-centralna obejmująca ujęty w zasięgu kanalizacji obszar miejski Kościerzyna. Grunty tej jednostki, które były pierwotnie gliniaste, zostały w wielu miejscach zmienione i wykazują różnicowaną przepuszczalność. Tylko fragmenty jednostki położone na południu dzielnicy Szydlice nie ulegały antropopresji. Zaznaczają się w topografii kilkoma izolowanymi zagłębieniami bezodpływowymi ewapo-transpiracyjnymi.
- jednostka południowo-zachodnia o jednolitych warunkach retencyjnych cechujących basen rozrządu opadu atmosferycznego.

b) - Stosunki wodne

- Przepuszczalność gruntów:

W omówionym mikroregionie fizykogeograficznym przepuszczalność gruntów jest przeważnie słaba z współczynnikami filtracji granicach $10^{-5}\,m\cdot s^{-1} \div 10^{-8}\,m\cdot s^{-1}$. Jednolite są pod tym kątem tereny położone:

- na północnym-schodzie miasta, gdzie występują liczne sztuczne zbiorniki wodne, i terenów położonych
- na południu dzielnicy Ciegielnia, gdzie są zakonserwowane izolowane zagłębienia bezodpływowych ewapotranspiracyjne.

W innych rejonach kościerskiej wyspy morenowej, mimo że nadal dominują grunty słabo przepuszczalne, grubość pokrywy gliniastej może mieć lokalnie wyraźnie wpływać na stosunki wodne. Na północnym-zachodzie miasta Kościerzyna, w obrębie Kościerzyna Wybudowanie, grunty są sporadycznie chłonne w zagłębieniach bezodpływowych, z powodu brak tej pokrywy. Z tego samego powodu, w subpołudnikowej rynnie strukturalnej przebiegającej przez środku miasta, grunty wykazują przepuszczalność średnia, z

współczynnikami filtracji granicach 10^{-3} $m \cdot s^{-1}$ ÷ $10^{-5} m \cdot s^{-1}$. Omówiona rynna strukturalna, gdzie są założone są jezioro Wrzesionek, jez. Bibrowskie, jez. Wielkie Świniebudy, jeż. Gałężne, jeż. Kaplic kształtuje bazę drenażu dużego obszaru bezodpływowego ewapotranspiracyjnego o powierzchni ok. 4km^2 obejmujące miejscowości Nowa Wieś Kościerska i Wybudowanie pod Korzewo na północy Koscierzyna.

Na obszarze Miasta zdecydują wpływ na stosunków wodnych stan antropopresji terenów. Grunty antropogeniczne wykazują przepuszczalność różnicowana.

- Zwierciadło wód podziemnych:

Na przekrojach A-B Kościerzyna – Korne i CDEF Kościerzyna – Jezioro Radolne (rys. **), umieszczone informacje pozwalają podać orientacyjne parametry hydrostatyczne wód gruntowych w obrębie w strefy wewnętrznej kościerskiej wyspy morenowej poza ww. radialnym obniżeniem rynnowym:

- wysokość n.p.m. zwierciadła w granicach 145÷150 m n.p.m ;
- głębokość zwierciadło w granicach 20÷25 m n.p.m. ;
- zwierciadło lekko napięty

4.3 - W kościerskiej równiny sandrowej

a) Siec hydrograficzna

W omówionym arkuszu mapy hydrograficznej Polski, główne jeziora udokumentowane są położone w równinie sandrowej Są to jeziora przepływowe o powierzchni przekraczającej 20 ha i głębokości w przedziale 4÷20 m. Akweny te wykazują i następujące cechy:

- Wysokość bezwzględna tafli jeziornej mało zróżnicowana z uwagi na charakter przepływowy głównych jezior: w granicach 146÷133 m n.p.m. (tab. 1)
- Facja morfometryczna głównych jezior (tab. 2) przeważnie jedno rynnowa odnośnie wskaźnika wydłużenia wyższego niż 2 (Lang, 1993), z różnicowaniem genetycznym związanym z typem rynnowym założenia :
  - Typ radialny strukturalny na północy obszaru arkuszu (na zachodzie kościerskiej wyspy morenowej) na przekładzie rynny jeż. Garczyn.
  - Typ marginalny w centrum i w południu obszaru na przykładzie jeziora Sudomie.

Tab.1 : Główny spadek hydrauliczny tafli jeziornej w równinie sandrowej.
(Mapa hydrograficzna Polski - Arkusz Kościerzyna)

Jezioro 1	Wysokość n.p.m	Jezioro 2	Wysokość n.p.m	Δ (z) [m]	Δ (L) [m]	Spadek [‰, kierunek]
Garczyn	146	Sudomie	144	2	3650	0,55, N->S
Wierzysko	146	Osuszno	144	2	3340	0,60, ENE->WSW
Sudomie	144	Radolne	133	9	9000	1,00 , N->S

Tab. 2 : Główna charakterystyka morfometryczna największych jezior na obszarze mapy hydrograficznej Polski - Arkusz Kościerzyna (Źródło:Staszek W., 2006)

	Powierzchnia [ha]	Głębokość maks., [m]	Długość *L*, [m]	Szerokość maks. *l*, [m]	Wskaźnik wydłu--żenia $\lambda = L/l$, [-]	Orientacja osi	
						głównej	2-rzęd.
Gołuń	238	18	5350	1150	4,65	WNW-ESE	N-S
Sudomie	168,0	13,0	3180	725	4,39	ENE-WSW	NNW-SSE
Radolne	127,9	-	2860	630	4,54	E-W	-
Garczyn	111,0	13,4	3410	480	7,10	NE-SW	N-S
Osuszno	81,8	16,6	1640	1050	1,56	ENE-WSW	NNW-SSE
Słupinko	57,4	4,2	2765	270	10,24	WNW-ESE	N-S
Wierzysko	47,1	x	2240	350	6,39	ENE-WSW	-

b) Stosunki wodne

- Wody gruntowe

Na obszarach powierzchni sandrowych wody gruntowe są zgromadzone na dnach dolin, rynien polodowcowych, ale również w obniżeniach wytopiskowych. Są one w kontakcie w wodami górnego poziomu wodonośnego, z którym tworzą wspólne zwierciadło.

Przedstawione na przekrojach A-B Kościerzyna – Korne i CDEF Kościerzyna – Jezioro Radolne (rys. 5) oraz arkusz mapa hydrograficzna polski pokazują że, poza obniżeniami jeziornymi, zwierciadło omówionych wód sandrowych jest stosunkowo płytki w granicach ok. 5÷15 m p.p.t., przeważnie 5÷10 m p.p.t., przy orientacyjnej rzędnej 145÷135 m n.p.m. Zwierciadło, które jest swobodne, obniża się w kierunku południowy-zachodnim. Odnośnie wysokości bezwzględnej lustra jezior Garczyn Wierzysko i Sudomie (tab. 1) szacuje się jego spadek hydrauliczny w przedziale 0,5÷1,0‰

- Przepuszczalność gruntów:

W przedmiotowej równinie, przepuszczalność gruntów jest jednolita w kategorii średniej z współczynnikami filtracji w granicach 10^{-3} m·s^{-1} ÷ 10^{-5}m·s^{-1}, oprócz w sporadycznych strefach zabudowanych (przepuszczalność różnicowana). Na północy Jeziora Osuszno, położone pod krawędziami kościerskiej wyspy morenenowej stożki sandrowe wykazują miejscami fację zagłębień bezodpływowych chłonnych. Na południu Jeziora Osuszno, poza zasięgiem cieków stałych z przepływowej sieci zagłębień rynnowych, rozciąga się duży obszar bezodpływowy ewapo-transpiracyjny o powierzchni 13 km^2.

4.4 - Jakość wód powierzchniowych

Z analizy Mapy Hydrograficznej Polski wynikają następujące wnioski:

- W obrębie kościerskiej wyspy morenowej, wody podziemne są lepiej ekranowane od powierzchni niż w równinie sandrowej pod warunkiem, że znajdują się one poza zasięgiem wpływu śródmiejskiego odcinka rynny strukturalnej, gdzie spotykane grunty, sprzyjają migracji zanieczyszczeń w kierunku wód podziemnych. Pod tym względem wody podziemne z zachodniej części wyspy morenowej są mniej podatne

do są stosunkowo mało podatne na degradacji antropogeniczne.

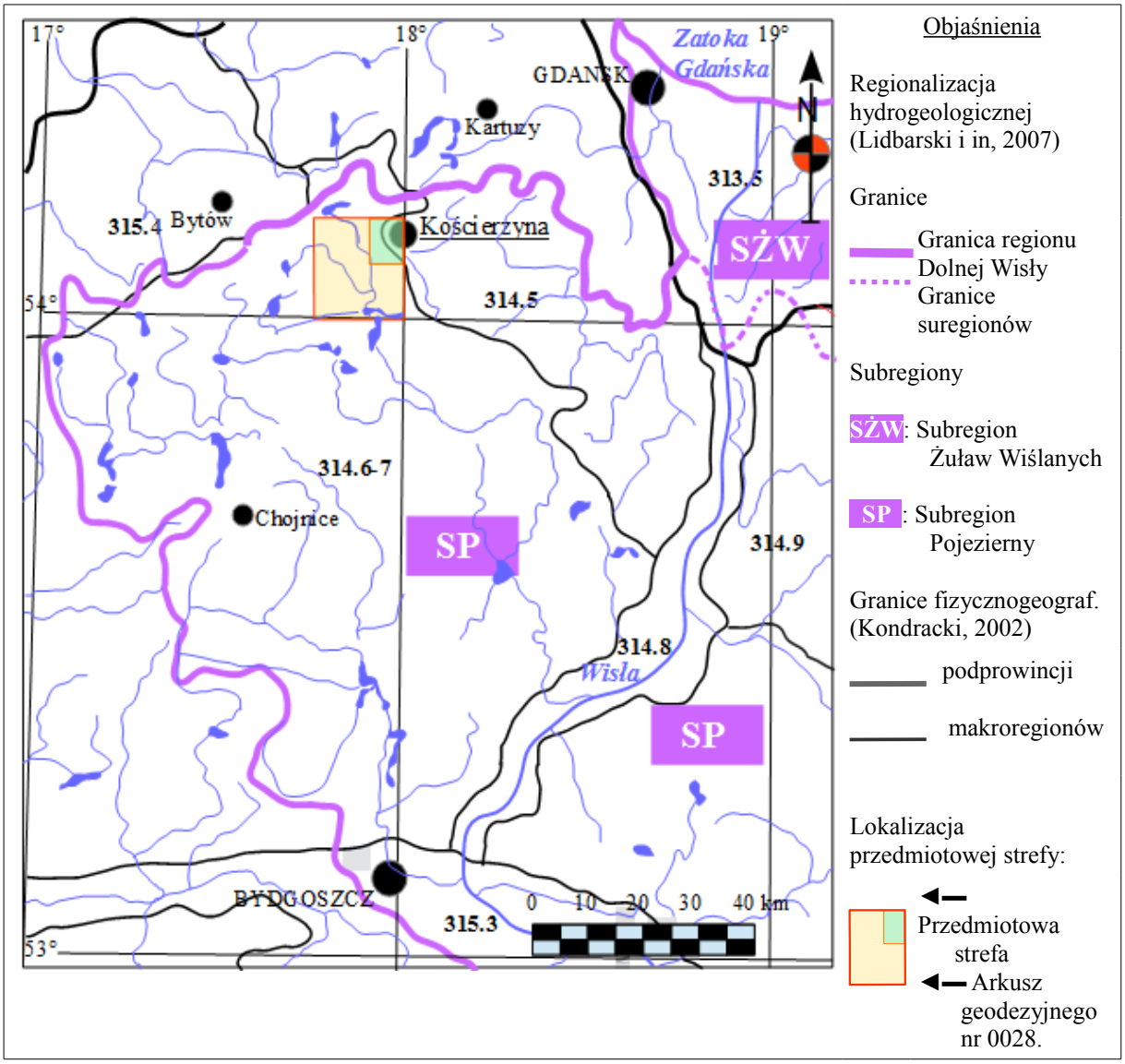
- Z uwagi na dominującą słabą przepuszczalność gruntów, gęstość zaludnienia ponad 1500 mieszk./km^2 obszaru miejskiego i wysoką proporcją terenów objętych w sieci kanalizacyjnej kościerska wyspa morenowa a szczególnie obszar miejski Kościerzyny stanowi na skalę międzygminną głównym ogniwo zanieczyszczeń a jednocześnie główną strefą tranzytową zanieczyszczeń.
- W normalnych warunkach pogodowych oczyszczone ścieki komunalne produkowane w kościerskiej wyspie morenowej wody jak również wody deszczowe zagospodarowane w tym obszarze są doprowadzone do Jeziora Wierzysko jest szczególnie narażone na przewlekłe zanieczyszczenia spowodowane przez ulewnych epizodów deszczowych, kiedy oczyszczalna komunalna nie nadąża z przerobem dowożonych ścieków. Głównym skutkiem zanieczyszczeń jest wysoki ładunek materii organicznej w osadach dennych a związane z degradacją tej materii, wysokie stężenie biogenów w kolumnie wodnej. O tych niekorzystnych warunkach świadczą wody poza klasowe akwenu.
- Z powyższego wynika, że Jezioro Wierzysko spełnia funkcję głównej strefy buforowej między będącym głównych ogniskiem zanieczyszczeń miastem Kościerzyna i sąsiadującą z nim od południa i zachodu równiną sandrową. Drugim jeziorem spełniającym tą funkcję jest jezioro Garczyn, które zostało zdegradowany z II na III klasy czystości między 1997 i 2006 r. oczyszczalni komunalnej w Kościerzynie.

§

5. - Warunki hydrogeologiczne

5.1- Regionalizacja hydrogeologiczna

Według podziału regionów hydrogeologicznych Polski, przedmiotowa strefa sąsiaduje z północną granicą zachodniej części subregionu Pojeziernego regionu Dolnej Wisły (rys.7). Granica ta, która jest zaznaczona wododziałem I rzędu, oddziela dorzecze Wisły od bezpośredniego zlewiska morza Bałtyckiego. Przebieg wododziału pokazuje, że w tym rejonie niżu polskiego, północną granicę hydrogeologicznego regionu Dolnej Wisły jest kształtowana przez maksymalny zasięg fazy pomorskiej zlodowacenia Wisły. Granica przebiega przez ciąg wniesień morenowych Szymbarku z punktem kulminacyjnym w Wieżycy (329 m n.p.m.). Na północy przedmiotowej strefy wniesienia przekraczają wysokość bezwzględną 200 m n.p.m.. Dominują położone ponad 50 m poniżej tafle jeziorne mezoregionów po obu stronach.



Rys.7 : Położenie przedmiotowej strefy w obrębie regionu hydrogeologicznego Dolnej Wisły
(Źródło : Lidbarski i in., 2007)

Z powodu położenia w strefie kontaktu między Pojezierzem Kaszubskim a Borami Tucholskimi przedmiotowy teren wykazuje wysoką różnorodność hydrogeologiczną. Co się tyczy pierwszego poziomu czwartorzędowego piętra wodonośnego, słaba lub zerowa izolacja dominujących tu wód sandrowych, kontrastuje z znaczną izolacją wód międzymorenowych występujących w obrębie kościerskiej wyspy morenowej. W omówionym terenie najbardziej spotykane cechy warunków hydrogeologicznych są następujące:

- odnośnie poziomu wód sandrowych :
  - nieciągłość i niewysoką grubość (oprócz w strefach obniżenia podłoża morenowego) ;
  - zwierciadło swobodne ;
  - znaczny gradient hydrauliczne :
- odnośnie pierwszego poziomu wodonośnego międzymorenowego:
  - niska dostępność i niewysoką grubość (oprócz w obrębie kościerskiej wyspy morenowej)
  - Główny kierunek przepływu wód N-NE-> SSE.

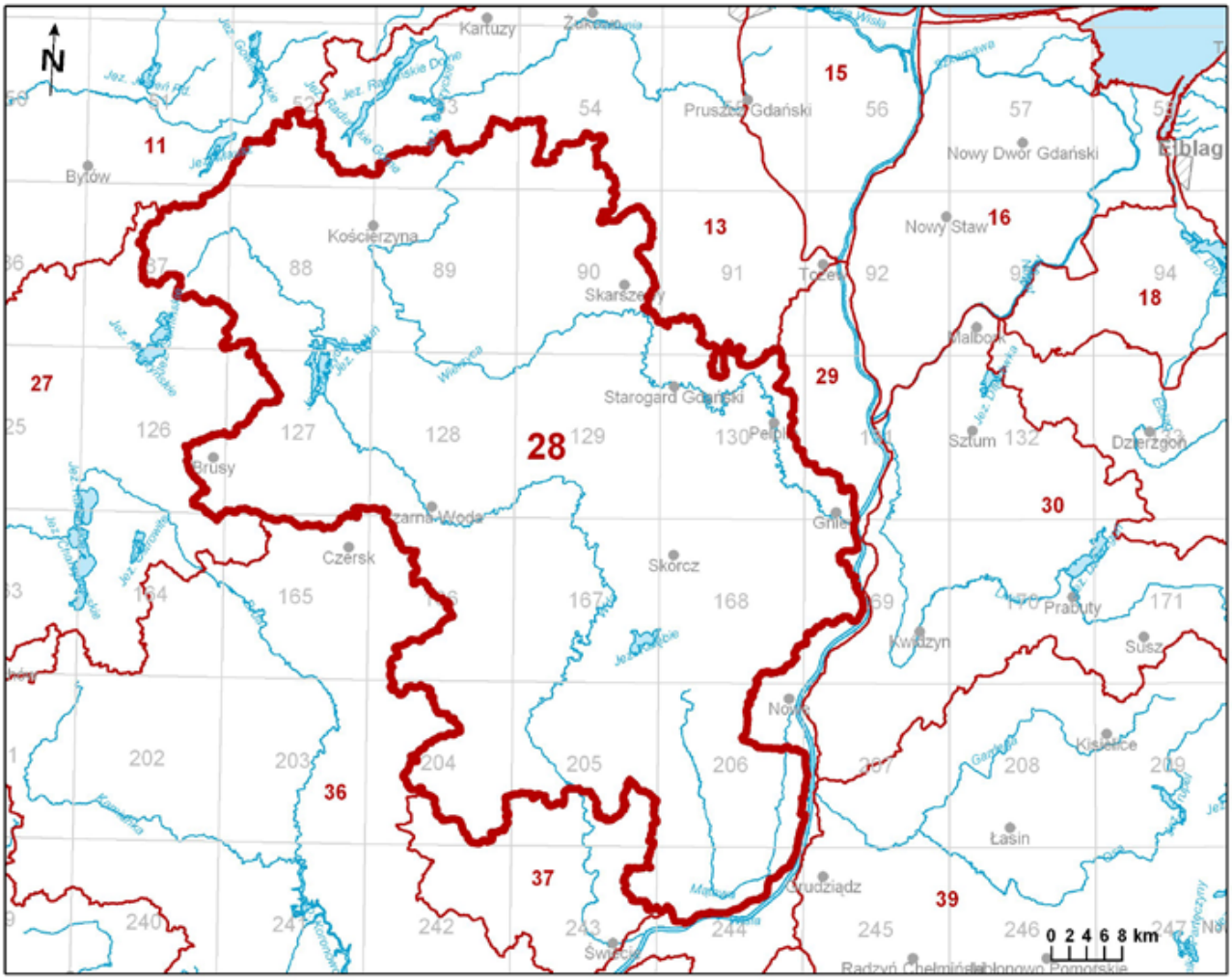
Powyższe dominujące warunki wynikają przede wszystkim z wysokiej miąższości akumulacji rzecznolodowcowych. Dotyczą one szczególnie północnych wzgórz dolin Wdy i Wierzycy występujących w północnej części sandru Kościerskiego W tym rejonie, na przekładzie stożku w miejscowości Szarlota, grubość stożkowych utworów sandrowych sięga 50 m (Numer na SMGP: 13, stratygrafia: $^{fg}_{pż2}Q_{p4}^{B3}$, litologia: piaski i żwiry wodnolodowcowe).

Warunki nie są ogólnie korzystne dla magazynowania ciepła w Ziemi metodą ATES.

§

5.2 - Regionalizacja gospodarki wodnej

Odniesienie regionalizacji gospodarki wodnej przedmiotowy obszar zajmuje północny kraniec Jednolitej Części Wód Podziemnych nr 28 (rys.8). Główna charakterystyka tej jednostki jest podsumowana w tab. 3.



Rys. 8 : Mapa lokalizacji Jednolitej Części Wód Podziemnych nr 28

Tab. 3: Główna charakterystyka hydrologiczna JCWPd nr 28

KOD UE: PLGW200028	Dorzecze: Wisła	Region wodny: Dolnej Wisły
Powierzchnia JCWPd [km2]: 4057.40		RZGW: RZGW w Gdańsku
Główne zlewnie w obrębie JCWPd (rząd zlewni)		Zlewnia Wda (II) i Wierzyca (II)
Obszar bilansowy: G-11 Mątawa ; G-12 Wierzyca ; G-9 Wda		Region Hydrogeologiczny IV-gdański ; V-pomorski
Stan chemiczny: dobry	Stan ilościowy: dobry	Ocena stan: dobry
Cel st. chemiczny: dobry stan chemiczny		Cel st. Ilościowy: dobry stan ilościowy
Użytkowanie: rolniczo-leśny		Ryzyko: niezagrożona

Odnośnie jej położenia hydrologicznego i hydrogeologicznego omówiona JCWPd jest złożona z trzech pięter wodonośnych o następujących charakterystykach:

- Piętro czwartorzędowe:
  - Poziom wód gruntowych **Q_g** (holocen & plejstocen)
    - Litologia: piaski, żwiry (przepuszczalność porowa)
    - Zwierciadło wód podziemnych swobodne na głębokość w przedziale 5÷30 m p.p.t.,
    - Miąższość poziomu : 5÷25 m,
    - Współczynnik filtracji w przedziale 0,1÷2,0 m/h, ($2{,}8\cdot10^{-5}\,m\cdot s^{-1} \div 5{,}6\cdot10^{-4}\,m\cdot s^{-1}$)
    - Przewodność w przedziale 5÷20 m^2/h
  - Poziom międzymorenowy górny **Q_{mI}** (plejstocen)
    - Litologia: piaski, piaski+żwiry, żwiry (przepuszczalność porowa)
    - Zwierciadło wód podziemnych napięte na głębokość w przedziale 10÷50 m p.p.t.,
    - Miąższość poziomu : 5÷20 m,
    - Współczynnik filtracji w przedziale 0,1÷5,0 m/h, ($2{,}8\cdot10^{-5}\,m\cdot s^{-1} \div 1{,}4\cdot10^{-3}\,m\cdot s^{-1}$);
    - Przewodność w przedziale 5÷40 m^2/h;
  - Poziom międzymorenowy dolny **Q_{mII}** (plejstocen)
    - Litologia: piaski, piaski+żwiry, żwiry (przepuszczalność porowa)
    - Zwierciadło wód podziemnych napięte na głębokość w przedziale 20÷120 m p.p.t.,
    - Miąższość poziomu : 5÷50 m,
    - Współczynnik filtracji w przedziale 0,1÷5,0 m/h, ($2{,}8\cdot10^{-5}\,m\cdot s^{-1} \div 1{,}4\cdot10^{-3}\,m\cdot s^{-1}$);
    - Przewodność w przedziale 5÷30 m^2/h;
- Typ chemiczny wód podziemnych:
  - typy naturalne: - HCO_3-Ca (wody wodorowęglanowo-wapniowe);
    - HCO_3-Ca-Mg (wody wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe);
  - typy odbiegające od naturalnych: HCO_3-Cl-Ca-Mg (wody wodorowęglanowo -chlorkowo -wapniowo-magnezowe);
- Piętro neogeńskie:
  - Poziom wód gruntowych **M**, (miocen)
    - Litologia: piaski (przepuszczalność porowa)
    - Zwierciadło wód podziemnych napięte na głęb.w przedziale 80÷120 m p.p.t.,
    - Miąższość poziomu : 5÷20 m,
    - Współczynnik filtracji w przedziale 0,01÷0,1 m/h, ($2{,}8\cdot10^{-6}\,m\cdot s^{-1} \div 2{,}8\cdot10^{-6}\,m\cdot s^{-1}$)
    - Przewodność w przedziale 1÷10 m^2/h
- Typ chemiczny wód podziemnych:
  - typy naturalne: HCO_3-Ca (wody wodorowęglanowo-wapniowe);
    -chlorkowo -wapniowo-magnezowe);
- Piętro paleogeńsko-kredowe
  - Poziom wód gruntowych **Pg** (paleogen), **K** (kreda)
    - Litologia: margle, piaski, piaski+piaskowce, piaskowce, wapienie

(przepuszczalność porowo-szczelinowa)
- Zwierciadło wód podziemnych napięte na głęb.w przedziale 100÷130 m p.p.t.,
- Miąższość poziomu : ok. 20 m,
- Współczynnik filtracji w przedziale 0,05÷0,5 m/h, ($2{,}8\cdot10^{-6}\ m\cdot s^{-1} \div 2{,}8\cdot10^{-6} m\cdot s^{-1}$)
- Przewodność w przedziale 2÷10 m^2/h

- Typ chemiczny wód podziemnych:
  - typy naturalne: HCO_3-Ca (wody wodorowęglanowo-wapniowe);

II
Możliwości wykorzystania ciepła Ziemi konwencjonalnymi metodami niskotemperaturowymi

1. - Warunki geotermiczne

Średnio- i wysokotemperaturowe warunki geotermiczne przedmiotowego regionu zostały analizowane w wcześniejszej publikacji poświęconej Pojezierzu Kaszubskiemu (Lemoine, 2016). Ze względu na jej położenie w Południowo-zachodniej części syneklizy pery-bałtyckiej południowa część gminy Kościerzyna należy do stref, gdzie duża miąższość pokrywy osadowej (w Kościerzynie miąższość wynosi ok. 5 tys. m) kojarzy się z słabym zaangażowaniem tektonicznym. Z tego powodu średnio- i wysoko-temperaturowe potencjał geotermiczny terenów tego regionu nie jest perspektywiczny. Zatem, będzie rozpatrywane tu tylko potencjał termiczny niskiej entalpii.

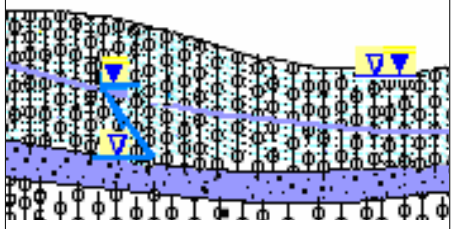
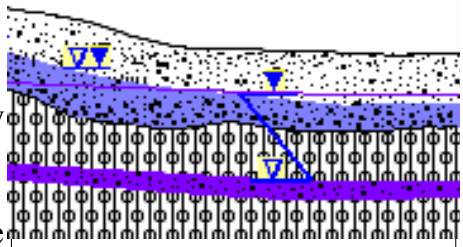
Jako północny fragment niżu Polskiego, południowa część gminy Kościerzyna należy do stref gdzie strumień ciepła z wgłębi Ziemi ku powierzchni jest silnie zaburzony paleoklimatycznymi śladami plejstoceńskich zlodowaceń. Zaburzenia, które sięgają kilka tysięcy metrów głębokości pod powierzchnią Ziemi (Szewczyk, 2002, 2005) są szczególnie wyraźne w terenów, gdzie utwory czwartorzędowe osiągają dużą miąższość. Północne pojezierze, które zostały głęboko chłodzone podczas fazy pomorskiej zlodowacenia Wisły są pod tym kątem nadal objęte w regionalnych anomaliach geotermicznych paleoklimatycznych negatywnych. Pojezierze Kaszubskie i sąsiadujących z nim mikroregiony, gdzie miąższość osadów plejstoceńskich przekracza 150 m i sięga miejscami kilkaset metrów należą pod tym kątem do regionów chłodnych. Dotyczy to, więc, południowej części gminy Kościerzyny, gdzie grubość utworów czwartorzędowych waha się w granicach 225 m w równinie sandrowej i 275 m we wyspie morenowej. Na bazie danych z Atlasu Zasobów Geotermicznych Polski (Górecki i in 2006) szacuję się na 60 m $\cdot$ K^{-1} stopień geotermiczny od powierzchni do głębokości 1000 m dla tego fragmentu Niżu Polskiego (gradient geotermiczny ok. 16 K $\cdot$ km^{-1}).

2. - Metoda oceny płytkiego potencjału termicznego

Przy ocenie potencjału termicznego płytkich poziomów Ziemi w danej lokalizacji, wykorzystuje się przeważnie dane geologiczne i hydrogeologiczne skojarzone z już znanych właściwości termicznych różnych skał budujących poziomy w profilu. Taką metodę szeroko znaną polecali min. Lemalle i in. (2008) dla wymiarowania polu piononych wymienników ciepła, jak również Bianchetti i in, (2003) dla oceny przydatności gruntów do poboru ciepła geostrukturami energetycznymi. Przy ocenie przypowierzchniowego potencjału termicznego południowej części gminy Kościerzyna — potencjał został badany dziesięć lat temu (Lemoine, 2010) i zaprezentowany przez Kubskiego i Lemoine (2011), stosowano zbliżoną do wyższej metodę na skalę obszarową. Metoda typowo empiryczna polegał najpierw na

inwentaryzacji geotypów w rozumieniu głównych profilów geologicznych występujących na obszarze do głębokości maks. 100 m, a potem na ocenie potencjalu termicznego tych geotypów w zależności od warunków technicznych wykorzystania ciepła Ziemi metodą niskotemperaturową. W ten sposób, wymnienili autorzy wytypowali w ten sposób 17 termo-geotypów w przedmiotowym obszarze: 9 termo-geotypów w kościerskiej morenowej, 8 w sąsiadującej z nią równinie sandrowej. Najbardziej reprezentowane geotypy w obrębie jednostek geomorfologicznych odniesienia — odpowiednio M1 i S1, są opisane w tab. 4, profile geologiczne referencyjne w rys. 9 i 10. W w tab.5 obliczono orientacyjną moc poboru ciepła górotworu termo-geotypu dla obu jednostek geomorfologicznych.

Tab.4 : Najbardziej reprezentowane geotypy w południowej części gminy Kościerzyna.

Geotyp M1 (morenowy główny) Litologia od stropu do spągu: • Gliny przewarstwione piaskiem (gliny spływowe) • Piaski i żwiry międzymorenowe, (fragment kopalny sandru kościerskiego) • Gliny zwałowe (subglacjalne gliny bazalne)	
Geotyp S1 (sandrowy główny) Litologia od stropu do spągu: • Piaski i żwiry rzeczolodowcowe (utwory sandrowe) • Gliny zwałowe (subglacjalne gliny bazalne) • Piaski i żwiry rzeczolodowcowe (międzymorenowe) • Gliny zwałowe (subglacjalne gliny bazalne)	

3. - Moc poboru GPC typu GSHP (ZO)

Przez pionowe instalacje GPC typu GSHP (ang. vertical Grunt Source Heat Pumps) rozumie się Gruntowe Pompy Ciepła pobierające energię cieplną płytkich poziomów Ziemi za pomocą pionowych wymienników ciepła. Te instalacje są potocznie zwane pionowymi PC solanka/woda, ponieważ krążącym pierwotnym obiegu nośnikiem ciepła jest solanka glikolowa. W typologii stosowanej przez Kapuścińskiego i Rodzocha (2010) stosuje skrót *GPC ZO* (Gruntowe Pompy Ciepła Zamknięte Otworowe) dla pompy ciepła tego rodzaju.

W ciągu ostatnich dekad pionowe GSHP znalazły dużo zastosowań w tzw. geotermii indywidualnej. Będąc obecnie najbardziej rozpowszechnione i popularne niskotemperaturowe systemy pompy ciepła mają dużo znaczenie w termogeologii w rozumieniu Banks (2012), gdzie są one podstawowe systemy energetyczne referencyjne dla oceny mocy poboru ciepła górotworu na bazie dokumentacji geologicznej archiwalnej.

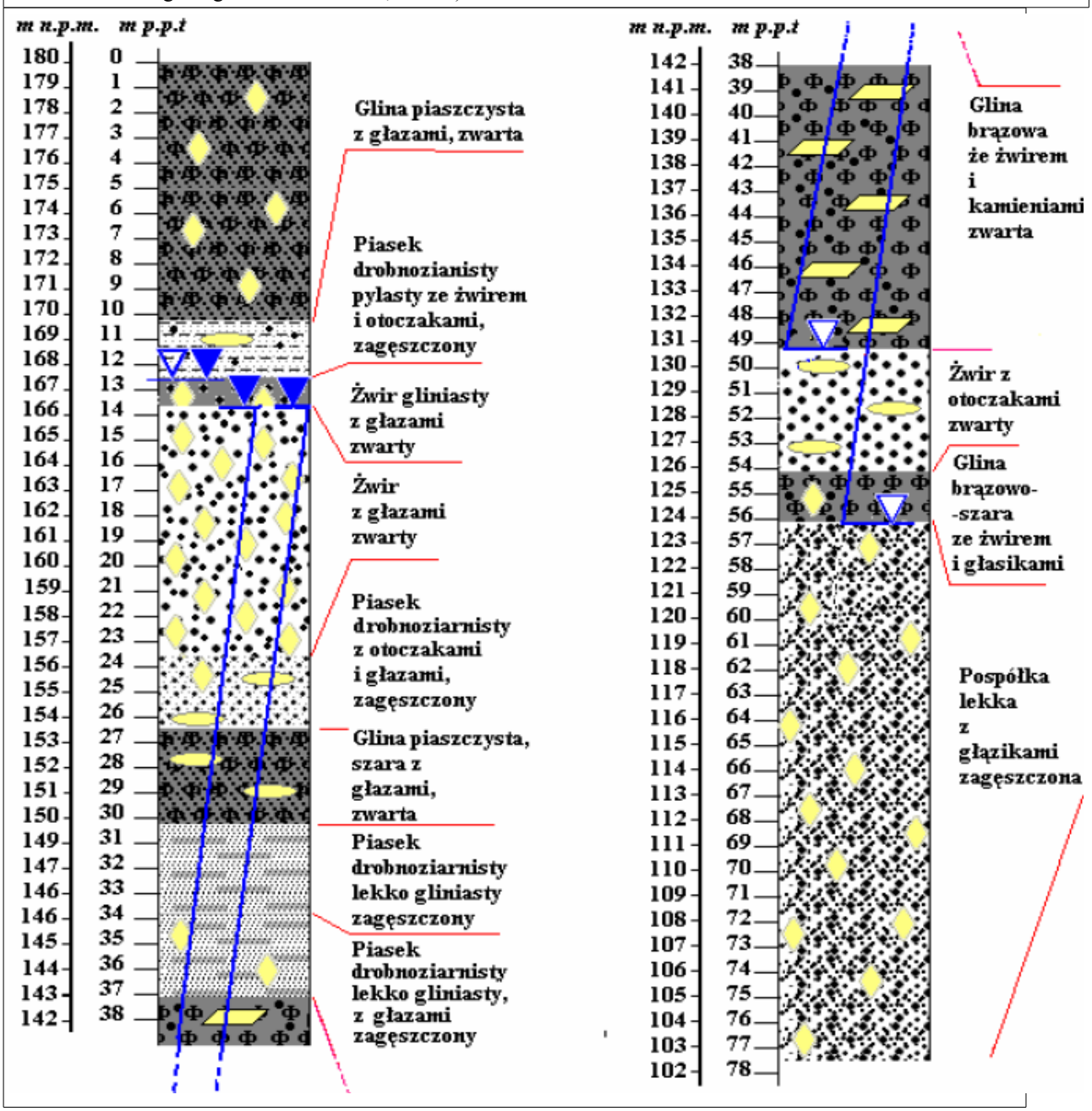
Co się tyczy terenów moreny dennej kościerskiej wyspy morenowej, wspominane wcześniej warunki geotermiczne *sensu stricto* uznano jako nie tak korzystne do wykorzystania energii cieplnej Ziemi metodą niskotemperaturową w trybie ogrzewania. Skoro większość projektowanych pionowych instalacji GPC typu GSHP są przeznaczone do pracy w tym trybie nie zaleca się w tym przypaku systematycznego wymiarowania sond do 100 m p.t.t. (n.p. upierając się na średnim gradiencie geotermicznych ok. 1,6 K · 10^{-2} m) jako

maksymalnej dopuszczalnej głębokości w zwykłych projektach robotach geologicznych poza obszarami górniczymi (odnośnie stanu na rok 2013 Prawa Geologicznego i Górniczego). Lepiej w tych terenach wykorzystać wyraźny do głębokości do 60-80 m p.p.t. geosolarny potencjał termiczny i prowadzić latem regenerację termiczną gruntów, np. w pasywnym trybie chłodzenia, aby zmniejszyć spadek rocznej efektywności SPF (ang. Seasonal Performance Factor) instalacji GPC z upływem lat eksploatacji (Pełka i inni, 2011). W tych warunkach eksploatacyjnych szacowano 35÷45 $W \cdot mb^{-1}$ moc poboru ciepła, której można oczekiwać w omówionej wyspie morenowej (Lemoine, 2010). Mając jednostkową moc poboru ciepła ok. 40 $W \cdot mb^{-1}$ odnośnie grunty nawiercone do głębokości 77,5 m w otworze nr 130 w dzielnicy ul. Targowisko (tab.**) są pod tym kątem reprezentatywne z niskotemperaturowego potencjału termicznego rozpatrywanego mikroregionu fizykogeograficznego. W tym przypadku uzna się jako średni obliczony potencjał.

Nie poleca się natomiast wykorzytania ciepła Ziemi za pomocą rozpatrywanych tu systemów GPC w kościerskiej równiny sandrowej z dwóch powodów: po pierwsze budujące serie rzecznolodowcowe osady piaszczysto-żwirowe mają kiepskie właściwości termiczne w stanie nienawodnionym, po drugie głębokość zwierciadła wód podziemych jest najczęściej co najmniej 10-metrową. Z tego powodu, bazując się jak poprzednio na trybie grzewczym, średnia jednostkowa moc poboru ciepła gruntów nie może w tym przypadku przekraczać 35 $W \cdot mb^{-1}$ oprócz w obniżeniach rynnowych i zagłębieniach bezodpływowych. Reprezentatywna jest pod tym kątem obliczona moc poboru ciepła przypowierzchniowych gruntów nawierconych do głębokości 38 m p.p.t. w otworze nr 47 w Garczynie (tab. **).

§

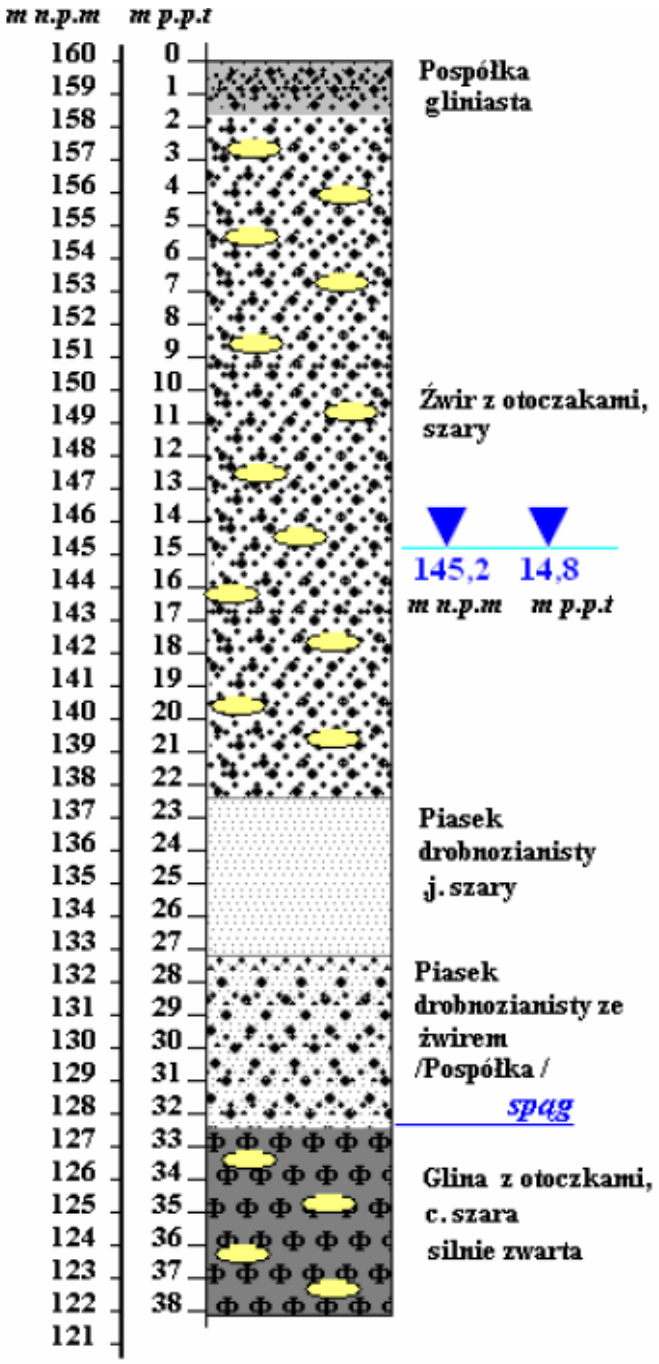
Mikroregion odniesienia: Kościerska wyspa morenowa		
Typ otworu wiertniczego : ujęcie wód podziemnych	Głębokość p.p.t., [m] : 77,5 m	wysokość n.p.m. [m] : 180 m
Lokalizacja: Miasto Kościerzyna, ul. Targowisko n1	Rok wykonania otworu: 1957	Nr arch. : 130
Reprezentowane termo-geotypy : M1, M6, M9	Facje: gliny spływowe, piaski i żwiry sandrowe, gliny bazalne	
Źródło: Archiwum Urzędu Marszałkowskiego Województwa Pomorskiego (były U. W. - Oddział Geologii Gdańsk), nr arch. geolog. 4455-3534-7621, nr 130)		



Rys. 9 Profil litologiczny reprezentatywny przypowierzchniowych utworów geologicznych kościerskiej wyspy morenowej

(Lemoine, 2010, na bazie dokumentacji archiwalnej U. W. - Oddział Geologii Gdańsk)

Mikroregion odniesienia: Kościerska równina sandrowa		
Typ otworu wiertniczego : ujęcie wód podziemnych	Głębokość p.p.t., [m] : 38	wysokość n.p.m. [m] : 160
Lokalizacja: Garczyn, gmina Kościerzyna	Rok wykonania otworu: 1971	Nr archiwalny : 47
Reprezentowane termo-geotypy : S1	Facje : piaski i żwiry sandrowe, gliny bazalne	
Źródło: Archiwum Urzędu Marszałkowskiego Województwa Pomorskiego (były U. W. - Oddział Geologii Gdańsk), nr arch. geolog. 4696, nr 47)		



Rys. 10 : Profil litologiczny reprezentatywny z przypowierzchniowych utworów geologicznych kościerskiej równiny sandrowej
(Lemoine, 2010, na bazie dokumentacji archiwalnej U. W. - Oddział Geologii Gdańsk)

Tab. 5: Orientacyjna moc poboru ciepła górotworu w dwóch głównych jednostkach geomorfologicznych

Kościerska wyspa morenowa							
Otwór odniesienia się : ujęcie wód podziemnych				Głębokość p.p.t., [m] : 77 m		Nr archiwalny : 130	
Lokalizacja: Miasto Kościerzyna, ul. Targowisko					Rok wykonania otworu: 1957		
Reprezentowane termo-geotypy : M1				Data obliczenia : 12.11.2010			
Poziom [-]	Spąg, [m p.p.t.]	Miąższość, [m]	Rodzaj i stan gruntu (s : suchy w : wilgotny)	Jednostkowa moc poboru ciepła , [W·m^{-1}]		Moc poboru ciepła , poziomu, [W]	
				Min.	Maks.	Min.	Maks.
1	10	10	$G(Q)_w$	34	46	340	460
2	13	3	$FG\ (Q)_s$	19	21	57	63
3	14	1	$G(Q)_w$	34	46	34	46
4	27	13	$FG\ (Q)_s$	42	56	546	728
5	30	3	$G(Q)_s$	20	22	60	66
6	37	7	$LG\ (Q)_w$	36	48	252	336
7	49	12	$G(Q)_w$	20	22	240	264
8	54	5	$FG\ (Q)_w$	42	56	210	280
9	56	2	$G(Q)_w$	34	46	68	92
10	77	21	$FG\ (Q)_w$	42	56	882	1176
Zakres sumarycznej mocy poboru ciepła górotworu, [W]						2689	3511
Zakres jednostkowej mocy poboru ciepła górotworu, [W·mb^{-1}]						34,92	45,6
Średnia jednostkowa moc poboru ciepła górotworu, [W·mb^{-1}]						40,26	
Orientacyjna ilość pionowych wymienników ciepła potrzebnych do instalacji Gruntowej Pompy ciepła mocy 8 kW						2	
Kościerska równina sandrowa							
Otwór odniesienia się : ujęcie wód podziemnych				Głębokość p.p.t., [m] : 38 m		Nr archiwalny : 47	
Lokalizacja: Garczyn, gmina Kościerzyna					Rok wykonania otworu: 1971		
Reprezentowane termo-geotypy : S1				Data obliczenia : 12.11.2010			
Poziom [-]	Spąg, [m p.p.t.]	Miąższość, [m]	Rodzaj i stan gruntu (s : suchy w : wilgotny)	Jednostkowa moc poboru ciepła , [W·m^{-1}]		Moc poboru ciepła , poziomu, [W]	
				Min.	Maks.	Min.	Maks.
1	15	15	$FG\ (Q)_s$	19	21	285	315
2	32	17	$FG\ (Q)_w$	42	56	714	952
3	38	6	$G(Q)_s$	20	22	120	132
Zakres sumarycznej mocy poboru ciepła górotworu, [W]						1119	1399
Zakres jednostkowej mocy poboru ciepła górotworu, [W·mb^{-1}]						29,45	36,82
Średnia jednostkowa moc poboru ciepła górotworu, [W·mb^{-1}]						33,13	
Orientacyjna ilość pionowych wymienników ciepła potrzebnych do indywidualnej instalacji Gruntowej Pompy ciepła (GPC)						5	
*: Objaśnienie: oparto się w tym przypadku do przydomowej instalacji GPC mocy 8 kW z współczynnikiem efektywności (seasonal COP) 4 (moc zużywana przez samą pompę 2 kW, moc pobrana z górotworu 6 kW).							

4. - Moc poboru typu GWHP (OG)

Przez instalacje GPC typu GWHP (ang. Grunt Water Heat Pumps) rozumie się Pompy Ciepła pozyskujące energii cieplnej Ziemi za pomocą ujęc wód podziemnych i naziemnych wymienników ciepła. Takie instalacji potocznie zwane pompami ciepła woda/woda sa również wymienione pod skrótem *GPC OG* (Gruntowe Pompy Ciepła Otwarte Gruntowe) w typologii Kapuścińskiego i Rodzocha (2010). Podczas lat 80-tych ub. wieku, stanowiły one główne instalacji GPC w fazie początkowej branży pomp ciepła w kilku krajach europejskich min. w Francji na przykładzie doliny Renu, gdzie zalegające na głębokości kilka metrów p.p.t. wody gruntowe o stałej temperaturze 11°C tworzą przyjazne warunki otwartym systemom GPC.

W porównaniu z systemami GSHP, systemy GWHP posiadają efektywność energetyczna wyraźnie wyższą o jeden rząd wielkości (Lemale i in. 2008). Pomimo tego są one coraz rzadziej stosowane w wielu krajach, a szczególnie w Polsce, z dwóch różnych powodów. Po pierwsze uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego do ujmowania wód podziemnych wiąże się z uciążliwą procedurą. Po drugie, szczególnie na Niżu Polskim, efektywność ekonomiczna tych systemów typowo studziennych nie została zatwierdzona w wielu przypadkach po kilku latach eksploatacji z powodu kosztu utrzymania podziemnych urządzeń hydraulicznych, a szczególnie mających bezpośredni kontakt z wodami obsypek filtracyjnych, które ulegały szybkiemu zatkaniu Kapuścińskiego i Rodzocha (2010). Zatem, w porównaniu z "suchymi" systemami GSHP, "mokre" systemy GWHP są prawie nie konkurencyjne rynku tzw. geotermii indywidualnej. Na rynku instalacji średniej i dużej mocy systemy GWHP mają natomiast nadal pewny odbiór, pod warunkiem lokalizacji instalacji w terenach zasobnych w wody podziemne, jako podstawowe wymaganie. Na obszarach młodoglacjalnych, perspektywiczne są pod tym kątem mikroregiony hydrogeniczne typu dolinnych i rynnowych, gdzie płytkie wody podziemne są ogólnie łatwo dostępne i płynące, z naturalną roczną prędkością przepływu Darcy'ego rzędu 100-500 $m.r^{-1}$ Kangas i Lund (1994). Rzeczywiście, sprzyjając naturalnej regeneracji termicznej strefy w zasięgu tzw. dublety geotermalnego,hydrodynamika, te warunki krążenia wód gruntowych wpływają na efektywności energetycznej systemów GPC typu GWHP. Natomiast mikroregiony litogeniczne na przykładzie wysoczyzn morenowych nie są szczególnie przydatne dla lokalizacji systemów GPC typu GWHP, ponieważ najpłytsze wody podziemne są w tych terenach stosunkowo średnio dostępne. Poza tym z doświadczenia instalatorów, wiadomo że wysokie stężenie żelaza i manganu tych wód międzymorenowych obniża efektywność ekonomiczną otwartych instalacji GPC.

Sandry, które należąc do mikroregionów typowo litogenicznych z względu na dominujące procesy akumulacyjne w ich morfogenezy (Kistowski, 2018), nie są tereny szczególnie przydatne dla inwestycji w instalacjach GPC niezależnie od rodzaju - GSHP lub GWHP , z dwóch powodów:

- ograniczoną zasobność strefy wód zawieszonych np. z zwierciadłem w przedziale 2-5 m p.p.t., są to wody zawieszone na soczewkach gliniastych lub ilasto-mulistych z zagłębień bezodpływowych ewapotranspiracyjnych.
- średnia lub niska dostępność strefy saturacji, jako cecha związana z wyżej wspominanym charakterem akumulacyjnym i znaczną przepuszczalnością rozpatrywanych utworów .

Zatem efektywność energetyczna systemów GPC w tych terenach zależy w dużym stopniu od zasobności pierwszego poziomu wodonośnego typowo sandrowego o zwierciadle swobodnym, lub ewentualnie zasobności najpłytszych poziomów wód naporowych. Co się tyczy efektywności ekonomicznej, zakłada się, że systemy tzw. otwarte, mianowicie GPC

typy GWHP zapewniają optymalne wykorzystanie ciepła tych wód. W przypadku Kościerskiej Równiny Sandrowej, szacowano tą zasobność na bazie danych archiwalnych z objaśnień Mapy Hydrogeologicznej Polski - Arkusz Kościerzyna (Kreczko i i Kozerski, 2007. Dane obejmują północną połową równiny (rys. 11). Są one wystawione w tab. 6), razem z charakterystyką otworów i testowanymi poziomami wodonośnymi. Jako głównymi wskaźnikami zasobności wybrano miąższość i zasoby eksploatacyjne 8 otworów studziennych. Przegląd tego materiału pozwala sformułować następujące obserwacje:

- dot. sandrowych wodonośców piaszczystożwirowych o zwierciadle wód gruntowych swobodnym lub lekko napiętym, które występują na głębokości od 2 do ponad 40 m p.p.t.:
  - Wydajność eksploatacyjna studni jest bardzo różnicowana. Będąc przeważnie uwarunkowana właściwości filtracyjnymi serii piaszczystożwirowych wydajność mieści się w przedziale ok. 5÷35 m^3/h, a depresja w studni w granicach ok. 1,5 ÷ 10 m.
  - Najbardziej zasobne są wodonośce eksploatowane w rejonie Rybaki, z względu na współczynniki filtracji sięgające lokalnie rząd wielkości blisko 10^{-3} m/s (przepuszczalność na granicy dobra-bardzo dobra).
- dot. międzymorenowych wodonośców piaszczystożwirowe o zwierciadle napiętym, które występujących na głębokości od 20 do ponad 80 m p.p.t.:
  - Wydajność eksploatacyjna studni lekko mniej różnicowana niż poprzednia — w granicach ok 15÷70 m^3/h, ale, w zamian, depresja w studni bardziej zróżnicowana w przedziale 1÷25 m.
  - Znacznie zasobne są wodonośce udokumentowane w miejscowościach Grzybowo i Płocicy. Zasobność można skojarzyć z współczynnikami filtracji w przedziale ok. $1 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-4}$ m/s (przepuszczalność dobra). Najbardziej atrakcyjny pod tym kątem jest wodonosiec rozpoznane w Płocicach gdzie wydajność eksploatacyjna studni wynosiła w 1981 45 m^3/h, przy tylko 3 m depresji, mimo skromnej miąższości warstwy wodonośnej (8 m).

Na bazie wspominanych powyżej warunków hydrogeologicznych, oceniono niskotemperaturowy potencjał termiczny panujących w północnym fragment kościerskiej równiny sandrowej. Przy ocenie stosowano metodę własną oparta na strumieniu grzewczy górnego źródła ciepła trój-otworowej mikro-instalacji typu GWHP ujmującej wody gruntowe z wydajnością 1m^3/h, jako podstawa obliczeniowa. Schemat instalacji razem z omówioną metodą obliczeniową przedstawiono tys. 12. W praktyce można określić obliczone tu potencjał energetyczny jako moc cieplna instalacji GWHP ujmującej wód gruntowych zgodnie z wydajnością eksploatacyjna studni w danej lokalizacji. W przypadku północnej części kościerskiej równiny sandrowej, potencjał jest różnicowany : waha się od kilkudziesięciu kilowatów do pół megawata w zależności od miejscowościach i testowanych poziomów wodonośnych (tab.7). W porównaniu z poziomem wód sandrowych, gdzie potencjał wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset kilowatów, poziomy międzymorenowe wykazują wyższy potencjał rzędu 100÷500 kW.

Wykonalność i zasadność ekonomiczna wyżej omówionych studziennych instalacji energetycznych nie zależy tylko od obecnych warunków środowiskowych ale również od długoterminowych perspektyw zagospodarowania obszaru. Wiadomo, że obszary wiejskie jak Bory Tucholskie wykazują warunki niezbyt korzystne dla rolnictwa z uwagi niską klasę ich gleb. Natomiast wysoka wartość krajobrazową różnorodność biologiczną i zasoby dziedzictwa kulturowego są często wymienione jako główne atuty dla waloryzacji turystyko-krajoznawczo-zdrowotnej tych obszarów. Doświadczenie branży turystycznej i agroturystycznej pokazuje, że dostęp do wody jest istotny dla rozwoju branży. Nie dotyczy to

wyłącznie wód powierzchniowych, które przyciągają turystów w sezonie letnim, ale również wód podziemnych, dla turystyki zdrowotnej typu *Sana Per Aquam* (spa) poza tym sezonem. W odróżnieniu od terenów wiejskich Pojezierza Kaszubskiego a szczególnie tzw. Szwajcarii Kaszubskiej, kościerska równina sandrowa, jako mikroregion raczej suchy, nie jest naturalnie przydatna ani do turystyki wodnej, ani do turystyki zdrowotnej typu spa. Wyjątkiem stanowią pod tym kątem fragmenty po-wykopaliskowe tej równiny. Z zastrzeżeniem odpowiedniej rekultywacji, te obszary powstałe w tym przypadku z dawnych żwirowni wykazują wyjątkowo korzystne warunki geologiczne, hydrogeologiczne dla rozwoju turystyki typu spa:

- lepsza dostępność wód podziemnych wynikająca z obniżenia powierzchni topograficznej ;
- poprawienie wodne stosunki wodne i wzbogacenie różnorodności ekologicznej wynikającej z budowy zbiorników małej retencji (Kamiński i in., 2010)
- dobry parametry zbiornikowe i filtracyjne pierwszego poziomu wodonośnego wykształcony w piaskach i żwirach.

Bardzo obiecujące pod tym kątem są na przykład wyrobiska pokopalniane powstałe z eksploatacji kruszywa w Rybaki. W tej miejscowości moc poboru ciepła pionowej instalacji GPC typu GSHP ujmującej wód tego wodonośca mogłaby sięgać ok 240 kW, czyli moc samą wielkość, co moc znamionowa wzorowej instalacji geotermalnej termów uzdrowiska Cieplice Śląskie — tj ok. 300 kWth (Kępińska 2011).

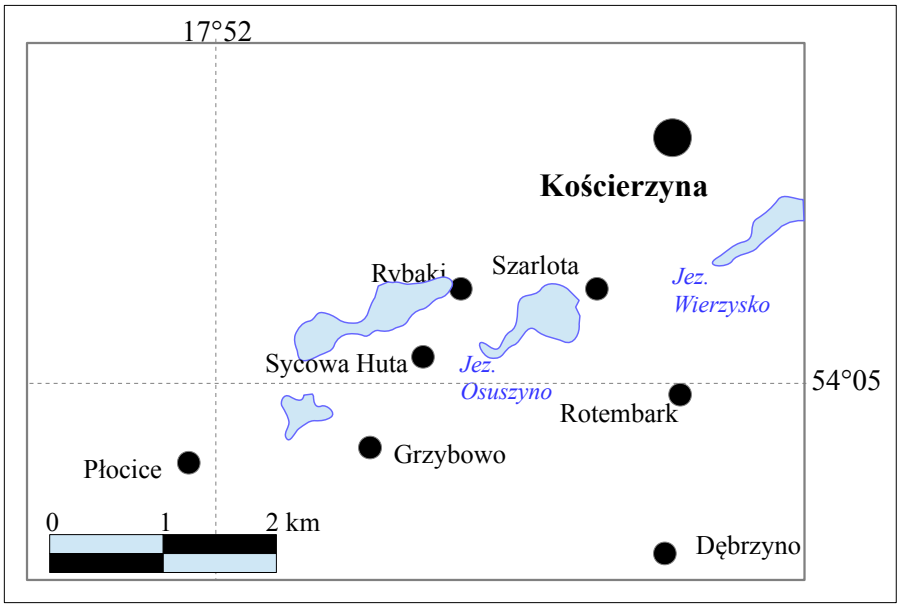
Perspektywiczne dla rozwoju turystyki typu spa są również tereny, gdzie drugi poziom wodonośny jest bardzo zasobne. Dotyczy to szczególnie miejscowości Płocice. W tej lokalizacji, moc instalacji GPC wyżej omówionego rodzaju może osiągnąć 300 kW, z wydajnością studni ok. 35 m3/h przy tylko 3 m depresji. Tak jak potencjał energetyczny z obniżeń rynnowych Pojezierza Kaszubskiego, który mieści w granicach 200÷475 kW (Lemoine, 2016), oszacowane tu potencjał wód wgłębnych może pokryć np. zapotrzebowanie na ciepło dużych obiektów hotelarskich wyposażonych w baseny kąpielowe.

Z punktu widzenia efektywności ekonomicznej, i z szczególniej uwagi na dostępność wód gruntowych, wyżej omówione obszary po-wykopaliskowe można uznać za najbardziej przydatne tereny dla rozwoju turystyki typu spa w kościerskiej równinie sandrowej. Wnioskuje się, że kopalnictwo okrywowe i turystyczna zdrowotna mogą zaistnieć w samym miejscu jedna po drugiej. Kompatybilność geograficzna między oba działalnościami można rozumieć w tym przypadku jako podwójną przydatność przypowierzchniowych ośrodków skalnych kolejno jako

- surowce dobrej jakości do produkcji kruszywa ;
- ośrodki wysoko-przypuszczalne sprzyjające naturalnej regeneracji termicznej ujmowanych wód gruntowych do produkcji ciepła, lub chłodu w zależności od sezonowych zapotrzebowań.

odpowiednio w pierwszym i w drugim etapie zagospodarowania terenu.

§



Rys. 11: Lokalizacja analizowanych otworów studziennych dla oceny przypowierzchniowej zasobności w wodę Kościerskiej Równiny Sandrowej

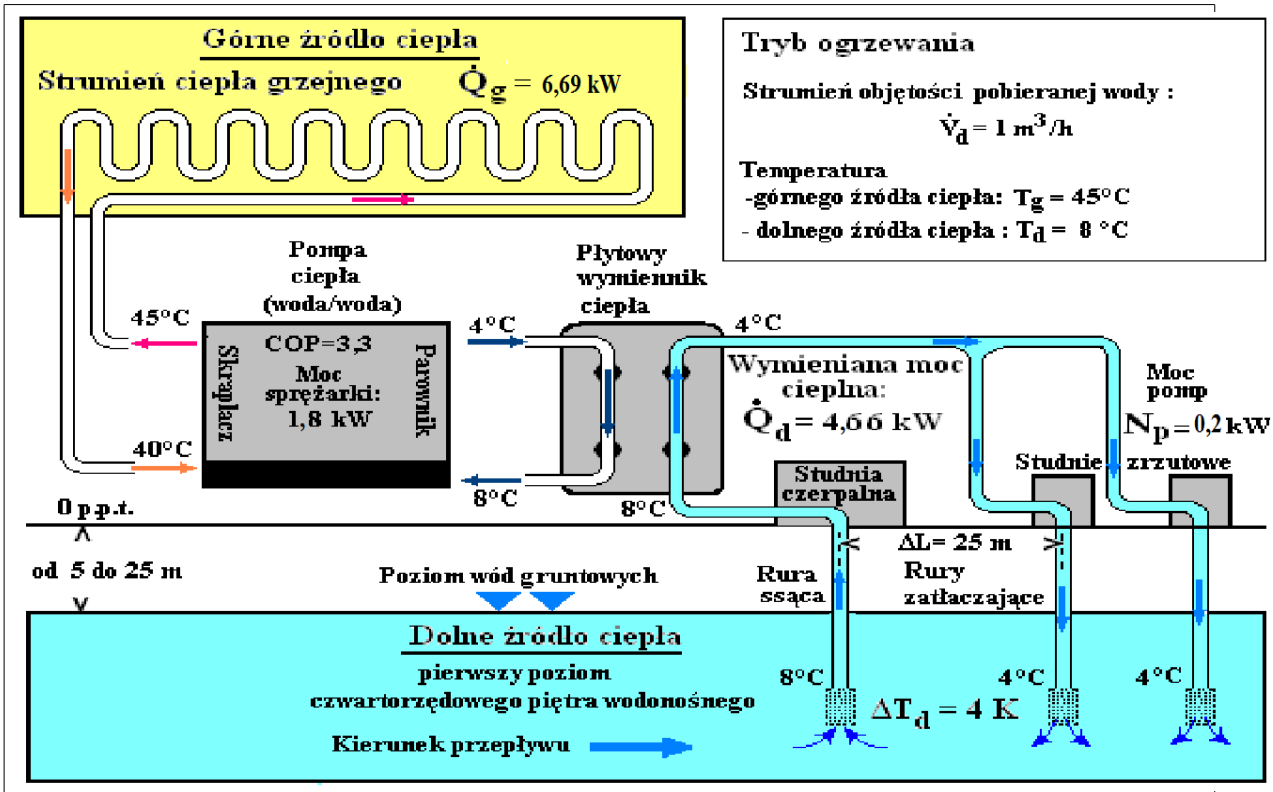
Tab. 6: Zasobność w wodę przypowierzchniowych utworów czwartorzędowych Kościerskiej Równiny Sandrowej

(źródło: KRECZKO A,. KOZERSKI B., 2007— Objaśnienia do MHP w skali 1: 50 000 - Arkusz Kościerzyna [0088]. Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Geologii Morza, zmodyfikowane)

Numer Otworu		**Miejscowość** ***Użytkownik***	Otwór			Testowany poziom wodonośne			Filtr	Pompowanie pomiarowy (4): **Wydajność, [m³/h]** *Depresja* [m]	**Współ-czynnik filtracji [10^{-5} m/s]** *[m/d]*	**Zatwier-dzone zasoby** (5)
z MHP	z bazy HYDRO		**Rok wyk.**	**Głęb. p.p.t. [m]**	**Wysokość n.p.m [m] (1)**	**Strop** *Spąg* [m p.p.t.]	**Miąż. efekty.** [m] (2)	Ustalony **z .w.g., [m] n.p.m.** *p.p.t* (3)	**Ø, [mm]** *od - do -* [m]			
20	**17 /223**	**Sycowa Huta** ***Ośrodek Wypoczynk. "Kormoran"***	**1974**	**40.1**	**149,5**	**5,6** *>40.1*	**> 31,6**	**143,9** 5,6	**299** *35-39,6*	**9,4** *18,6*	**1,9** *1,6*	**4,4** *9* 1974
21	**17 /215**	**Rybaki** ***Zakład Eksploatacji Kruszywa Rybaki***	**1978**	**41,7**	**159,3**	**14,5** *41,17*	**>27,2**	**144,8** *14,5*	**407** *33-39*	**36,3** *1,4*	**89,1** *76,8*	**36** *1,4* 1978
22	**17/ 217**	**Szarlota,** *Ośrodek Wypoczynkowy (d.PLO)*	**1966**	**18**	**148,3**	**2,8** *>18*	**>14,2**	**146,4** *1,9*	- *11-17*	**7** *4,8*	**2,9** *2,5*	**8,2** *5,2* 1967
23	**17/ 224**	**Rotenbark** ***Osada Pracowników Leśnych***	**1971**	**77**	**160,0**	**58,5** *77*	**>18,6**	**148,3** *11,7*	245 69,7-75,5	15 14,5	**2,9** *2,5*	**14** *13,6* 1972
25	**17 /150**	**Płocice** ***Ujęcie wiejskie- punkt czerpalny***	**1981**	**32**	**143,5**	**21** *29*	**8**	**136,7** *6,8*	**356** *21,5-29*	**45,2** *3,1*	**54,1** *46,7*	**45** *3* 1981
26	**17 /375**	**Grzybowo** ***Szkoła Podstawowa***	**1990**	**44,5**	**156,6**	**26,5** *>44,5*	**>17,3**	**144,3** *12,3*	**356** *37,2-42,1*	**20,9** *3*	**25,2** *21,8*	**20** *2,3* 1990
27	**17 /226**	**Grzybowo** ***Ujęcie wiejskie- UG Kościerzyna***	**1978**	**70**	**158,0**	**54,5** *68,5*	**11,5**	**144,0** *14,0*	**457** *54,2-68,2*	**32** *15,5*	**9** *7,8*	**70** *10* 1996
28	**17 /229**	**Debrzyno** ***Ośrodek Wypoczyn. "Baustral"***	**1976**	**45**	**156,0**	**11,6** *>45*	>29,4	**144,4** *11,6*	299 33-43	**25,1** *3,9*	**7,1** ***6,1***	**26** *4* 1976

Objaśnienia: 1 - Wysokość n.p.m. powierzchni terenu ;

2 - Miąższość bez przewarstwień słabo-przepuszczalnych ;
3 - Ustalony z.w.g.: ustalony zwierciadło wóg gruntowych ; 4 : Pompowanie pomiarowe końcowego stopnia ;
5 - Wydajność eksploatacyjna [m³/h], *Depresja [m]*.rok zatwierdzenia.



Poziom temperatury górnego źródła ciepła: T_g = 45 °C	Efektywność energetyczna chłodniczego obiegu Carnota (COP teoretyczny) ε_c = (8 + 273) : [45 + 273 – (8 + 273)] = 7,59
Poziom temperatury dolne źródła ciepła: T_d = 8 °C	Efektywność samej Pompy Ciepła (COP po uwzględnieniu współczynnika sprawności 0,5) **COP ≈ 3,8**
Różnica: ΔT_{g-d} = 37 K	Efektywność całej instalacji Gruntowej Pompy Ciepła (GPC), włącznie z pompą wody podziemnej: **COP ≈ 3,3**

Strumień objętości pobieranej wody $\dot{V}_d$ = 1 m³/h	Strumień masy wody podziemnej : $\dot{m}_d$ = 0,278 kg · s⁻¹
Strumień dolnego źródła ciepła przy ΔT_d = 4 K: $\dot{Q}_d$ = 4,66 kW [$\dot{Q}_d$ = 0,278 kg/s · 4,19 kJ/(kg K) · 4 K]	Strumień ciepła grzejnego górnego źródła ciepła $\dot{Q}_g$ = 6,69 kW [wg wzoru Q_g : Q_d = COP : (COP – 1)]
Zapotrzebowanie mocy elektrycznej N_{el} = 2,03 kW, (E_{el} = Q_g : COP)	Zapotrzebowanie mocy elektrycznej (*) N_{el} = $N_{p.\ ciepła}$ + $N_{p\ studni}$ + $E_{p.\ cyrkulacyjnych}$ = 1,8 + 0,2 + 0,03 = **2,03 kW** Oszacowano $E_{p\ studni}$ na 0,2 kW

Rys 12 : Metoda obliczenia jednostkowej moc grzewcza instalacji GWHP w stosunku do strumienia objętości pobieranej wody w warunkach Niżu Polskiego

Tab. 7 : Niskotemperaturowy potencjał energetyczny wód gruntowych Kościerskiej Równiny Sandrowej

Nr Otworu		**Miejscowość** ***Użytkownik***	Testowany poziom wodonośny			**Zatwierdzone zasoby w wodę** (3)	**Lokalny potencjał energetyczny poziomu wodonośnego [kW]** (4)
M H P	w bazie HYDR O		**Strop** *Spąg* [m p.p.t.]	**Miąższość efektywna** [m] (1)	**Ustalony z.w.g. [m n.p.m.]** *[m p.p.t .]* (2)		
20	**17/223**	**Sycowa Huta** ***Ośrodek Wypoczynk. "Kormoran"***	**5,6** *>40.1*	**> 31,6**	**143,9** 5,6	**4,4 -** *9* - 1974	**29**
21	**17/215**	**Rybaki** ***Zakład Eksploatacji Kruszywa Rybaki***	**14,5** *41,17*	**>27,2**	**144,8** *14,5*	**36 -** *1,4* - 1978	**241**
22	**17/217**	**Szarlota** Ośrodek Wypoczynkowy(d.PLO)	**2,8** *>18*	**>14,2**	**146,4** *1,9*	**8,2 -** *5,2* - 1967	**55**
23	**17/224**	**Rotenbark** ***Osada Pracowników Leśnych***	**58,5** *77*	**>18,6**	**148,3** *11,7*	**14 -** *13,6* - 1972	**94**
25	**17/150**	**Plocice** ***Ujęcie wiejskie- punkt czerpalny***	**21** *29*	**8**	**136,7** *6,8*	**45 -** *3* - 1981	**302**
26	**17/375**	**Grzybowo** ***Szkoła Podstawowa***	**26,5** *>44,5*	**>17,3**	**144,3** *12,3*	**20 -** *2,3* - 1990	**134**
27	**17/226**	**Grzybowo** ***Ujęcie wiejskie- UG Kościerzyna***	**54,5** *68,5*	**11,5**	**144,0** *14,0*	**70 -** *10* - 1996	**468**
28	**17/229**	**Debrzyno** ***Ośrodek Wypoczyn. "Baustral"***	**11,6** *>45*	>29,4	**144,4** *11,6*	**26 -** *4* - 1976	**174**

Objaśnienia

: Pierwszy poziom wodonośny o zwierciadle swobodnym (wody sandrowe)
: Pierwszy poziom wodonośny o zwierciadle lekko napięty (wody sandrowe)
: Inne poziomy wodonośne o zwierciadle napięty (wody międzymorenowe)

(1) Miąższość bez przewarstwień słabo-przepuszczalnych.
(2) Ustalony z.w.g.: ustalony zwierciadło wód gruntowych.
(3) Wydajność eksploatacyjna [m^3/h], *Depresja [m]*.rok zatwierdzenia.
(4) Potencjalny strumień grzewczy górnego źródła ciepła instalacji GPC rodzaju GWHP (OG) przy
-temperaturze warstwy wodonośnej 8°C
-średniej temperaturze użytkowej np. ogrzewania podłogowego ok. 42,5 °C ((45 + 40)/2)
-Δ T równym do 4 K w dolnym źródle ciepła, między strefą studni czerpiącej i strefą studni zrzutowych
- Sezonowy współczynnik efektywności instalacji (SPF) 3,3.

Źródło danych hydrogeologicznych:

Kreczko, A,. Kozerski B. 2007— Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1: 50 000 - Arkusz Kościerzyna [0088]. Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Geologii Morza.

§

III
Możliwości magazynowania energii cieplnej w Ziemi metodą niskotemperaturową ATES

1. - Opis metody

1.1- Zarys historyczny

Pierwsze czynności magazynowania energii cieplnej we warstwach wodonośnych (po ang. Aquifer Thermal Energy Storage ATES) udokumentowano w Szanghaju w Chinach w latach 60. ub. w.. Wtedy możliwość stosowania tej metody została przypadkowo wykryta podczas testów sztucznego zasilania wód podziemnych. Głównym wyznaczonym celem tych przedsięwzięć, które miały miejsce w strefach przemysłowych wyspecjalizowanych w włókiennictwie, nie było wzbogacenie zasobów wód podziemnych, ale zapobieganie osiadaniu terenów na efekt niekontrolowanej eksploatacji tych zasobów. W tym celu wprowadzono iniekcje wody poprzez wielootworowe instalacje studziennych. To po obserwacji temperatur wody na głowicy studni, rozpatrywano pierwszy raz możliwość magazynowania ciepła wyżej omówioną metodą (Luxiang i Manfang, B. 1984). Możliwość wykorzystano potem na wyższą skale do produkcji wody schłodzonej.

W Europie pierwsze projekty badawcze w dziedzinie magazynowanie ciepła w Ziemi metodą ATES sięgają lat 70-80 ub. w.. Były to projekty pilotażowe zainspirowane z nisko- lub średnio-temperaturowych metod geotermicznych. Pojawiły się one w krajach najbardziej dotkniętych pierwszym kryzysem naftowym, m.in. w Niemczech i Francji, gzie powstały nieliczne piloty doświaczalne. W Stanach Zjednoczonych na początku lat 80-ych testowano średnio-temperaturowe piloty ATES w ramach projektów uniwersyteckich. Z upływem czasu, tylko powstałe w Chinach niskotemperaturowe metody ATES faktycznie rozwijały się. Prawdopodobnie z tego powodu, w dzisiejszych czasach, standardowa moc instalacji ATES jest moc chłodnicza wyrażona w megawatów (Snijders i Aarssen, 2003). W większość przypadków dotyczy ona wielootworowych systemów.

Z perspektywy ostatnich dekad, rozwój technologii ATES w świecie okazuje się bardzo nierównoważony geograficznie. Wg statystyki z 2018 r., wśród 2800 systemów energetycznych tego rodzaju, miażdżąca większość - ok. 90%, jest zlokalizowana w Holandii. Co się tyczy kategorii temperaturowych systemów, rozwój jest natomiast jednolity: prawie wszystkie systemy — 99%, są niskotemperaturowymi systemami (Fleuchaus i in. 2018). Aby wytłumaczyć fenomenalny dynamizm branży LT-ATES (Low Temperatur Aquifer Thermal Energy Storage) w Holandii, która zalicza ok. 2,5 tys. instalacji, często przytacza się wyjątkowo korzystne warunki hydrogeologiczne wynikające z prostoty strukturalnej płytkich utworów geologicznych i rozbudowanego systemu wodonośnego. Z niedawnej perspektywy historycznej spotkane sukces systemów LT-ATES w tym kraju może mieć jako drugą przyczynę ich korzystny wpływ na jakość wód podziemnych w strefach niedegradowanych (Sommer, 2015). Co się tyczy stref degradowanych, zrealizowane z sukcesem projekty naukowe „Sanergy" w Eindhoven w 2009 r. i „Bio-washing machine" w Utrechtu (oba w Holandii) udowodniły, że wieloletnie zabiegi remediacji wód podziemnych mogą być stosunkowo tańsze, kiedy są prowadzone razem z magazynowaniem

ciepła metodą LT-ATES, anie oddzielnie. W przypadku drugiego wspominanego programu, gdzie stosowano jaką metodę remediacji kontrolowane samooczyszczanie MNA (Monitored Natural Attenuation) szacowano, że wyżej omówione hybrydowe rozwiązanie może obniżyć koszty remediacji wód podziemnych — w tym przypadku wody były zanieczyszczone głównie chlorowanymi węglowodorami, mogą być zredukowane o co najmniej jeden rząd wielkości (Slenders i in., 2016).
Z powyższego wynika, że warunki hydrogeologiczne, nawet bardzo korzystne, nie wpływają jednoznacznie na rozwój metody LT-ATES. Duże znaczenie mogą mieć również inne zapotrzebowania, nie koniecznie energetyczne. W przypadku Holandii, nie można wykluczać, że to konieczność ochrony zasobów wodnych, a szczególnie wód podziemnych, oraz remediacja tych wód w przypadków obszarów zdegradowanych, dały decydujący impuls dla powstania prawdziwej branży LT-ATES (G. Malina: inf. ustna Kraków, 19.04. 2018).

W Polsce, od kilku lat, magazynowanie ciepła w Ziemi metodą ATES budzi zainteresowania geologów i hydrogeologów komunikujących między sobą w wąskim gronie. O tym świadczą udokumentowane w bazach danych nieliczne publikacje poświęcone tej tematyce (Lemoine, 2016, 2018 ; Miecznik, 2016 ; Bujakowski Bielec i Skrzypczak, 2016 ; Skrzypczak Kasztelewicz Lankof i Miecznik, 2017 ; Malina i Bujak, 2017 ; Miecznik i Skrzypczak, 2019). Z tego wspólnego zainteresowania, dwa lata temu, powstał projekt badawczy pt. "*Kompleksowa ocena możliwości i warunków magazynowania ciepła i chłodu w płytkich warstwach wodonośnych (technologia ATES) na obszarze Polski"* pod pilotażem IGSMiE PAN w Krakowie. Odnośnie tej metody, zaproponowana przedsięwzięcie ma być kompleksowa analiza krajowych warunków hydrogeologicznych w płytko zalegających warstwach wodonośnych (do głębokości ok. 200 m). Celem przedsięwzięcia jest ocena wykonalności technicznej, jak i również ekonomicznej, sezonowego magazynowania magazynowania niskotemperaturowego ciepła i chłodu w zakresie od ok. 5 do ok. 25°C omówioną metodą w krajowych warunkach. Od złożenia karty programowej do Ministerstwa Środowiska dnia 12 października 2018 r., ten projekt badawczy nie spotkał się ani z aprobatą ani z odrzuceniem. Z punktu widzenia geografa i ekonomista sytuacja ta nie jest ani zrozumiała ani korzystna z dwóch głównych powodów. Po pierwsze, analiza przeprowadzona przez naukowców z Delft University of Technology (Bloemendahl i. 2015), pokazuje że ok. 70 % terytorium Polski posiada bardzo korzystne warunki klimatyczne i hydrogeologiczne dla rozwoju systemów ATES, warunki te istnieją szczególnie na Niżu Polskim. Po drugie w sąsiadującej z Polską przez Bałtyk Szwecji istnieją już 220 systemów tego rodzaju (Fleuchaus i in. 2018) mimo, że zaledwie 15 % terytorium tego kraju skandynawskiego posiada odpowiednie warunki.

1.2 -Typologia i zasada działania systemów

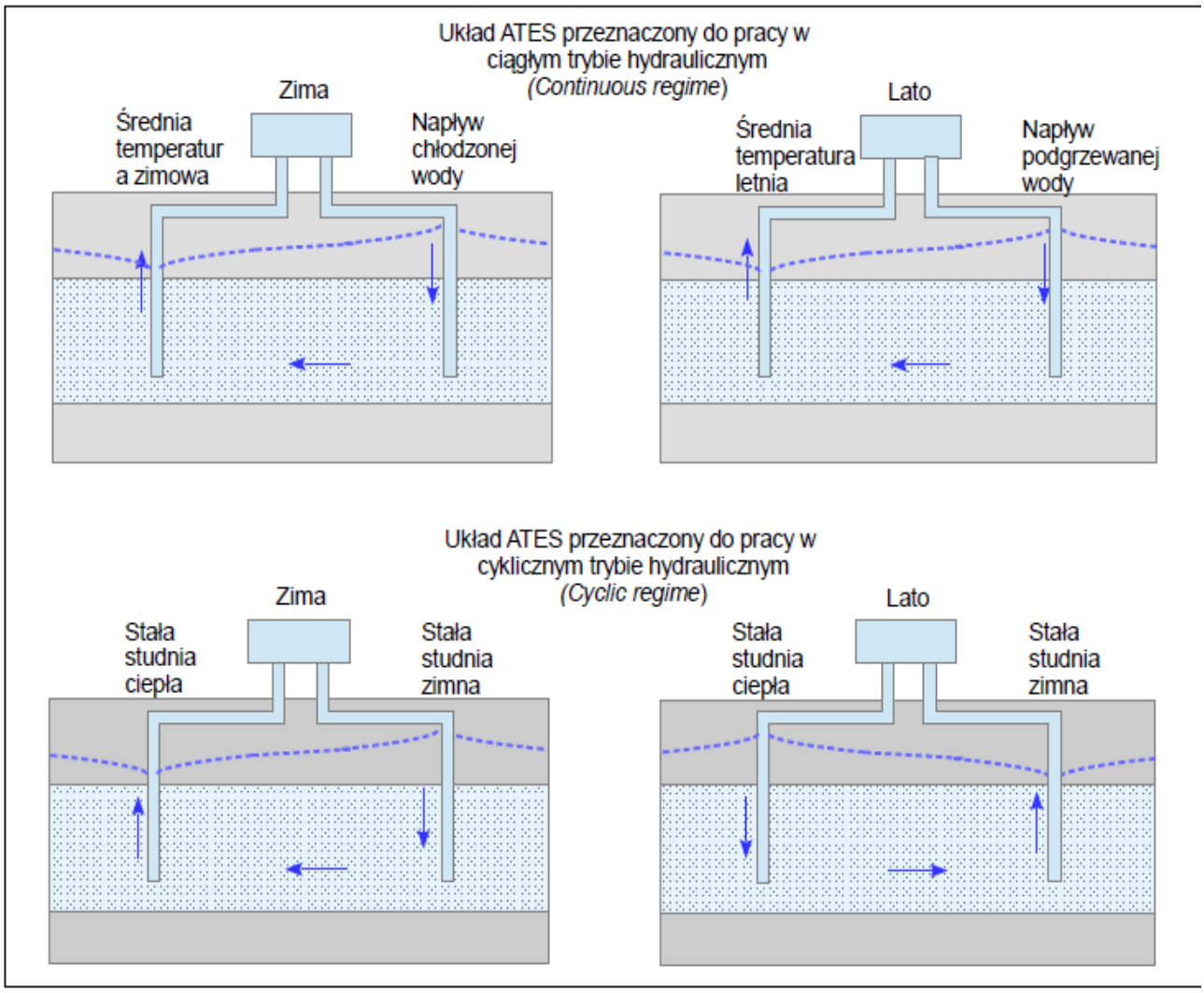
Pierwsze kryterium klasyfikacji systemów ATES jest znamionowy tryb hydrauliczny działania instalacji studziennych. Nielsen (2003) odróżnia pod tym kątem systemy projektowane do pracy w cyklicznym trybie — zwane również dwu-kierunkowymi systemami, od systemów pracujących wyłącznie w ciągłym trybie — zwane również jedno-kierunkowymi systemami (rys. 13). Posiadając stosunkowo wyższą efektywność energetyczną systemy należących do pierwszej kategorii (Ausseur i Sauty 1982), są obecnie najbardziej rozpowszechnione w świecie. Rzadko spotykane systemy z drugiej kategorii mogą jednak znaleźć zastosowania w warunkach hydrogeologicznych mało korzystnych min. w przypadku zbyt wysokiej prędkości przepływu warstwy wodonośnej wykorzystanej do magazynowania ciepła i chłodu — np prędkość przepływu ponad 50 m/r, lub kiedy istnieje ryzyko rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w warstwie wodonośnej. W tym drugim

przypadku metoda jednokierunkowe systemy ATES może również znaleźć dodatkowe lub nawet główne zastosowanie w remediacji wód podziemnych (Malina i Bujak, 2017). Symulacje komputerowe prowadzone w krajach skandynawskich w podziemnym magazynowaniu ciepła sugeruja, że wielootworowe systemy ATES mogą dać nawet dobry wyniki nawet w terenach mało przydatnych dla stosowania tej metody, na przykładzie w formacji ozowych, gdzie założone warstwe wodonośne są typowo płynące z prędkościami przepływu wielkości 0,7÷ 1 km/r (Kangas i in. 1985).

Jako drugie kryterium klasyfikacji uwzględnia się poziom energetyczny magazynowanej energii. Wyróżnia się wtedy dwie kategorie termiczne systemów ATES:

- niskotemperaturowe systemy LT-ATES (Low Temperature Aquifer Thermal Energy Storage) przeznaczone do magazynowania wody w temperaturze w przedziale 4 ÷ 40 °C
- wysokotemperaturowe systemy HT-ATES (High Temperature Aquifer Thermal Energy Storage) zaprojektowanych do magazynowania wody w temperaturze ponad 40°C.

W niniejszej pracy skupi się głównie na magazynowanie ciepła niskotemperaturową metodą, w zakresie temperature ok. 5-25 °C, za pomocą systemów LT-ATES zaprojektowanych do sezonowego magazynowania ciepła STES (Seasonal Thermal Energy Storage). Takie instalacje pracują w trybie trybie cyklicznym.



Rys. 13 : Podstawowe pojęcia projektowe instalacji ATES

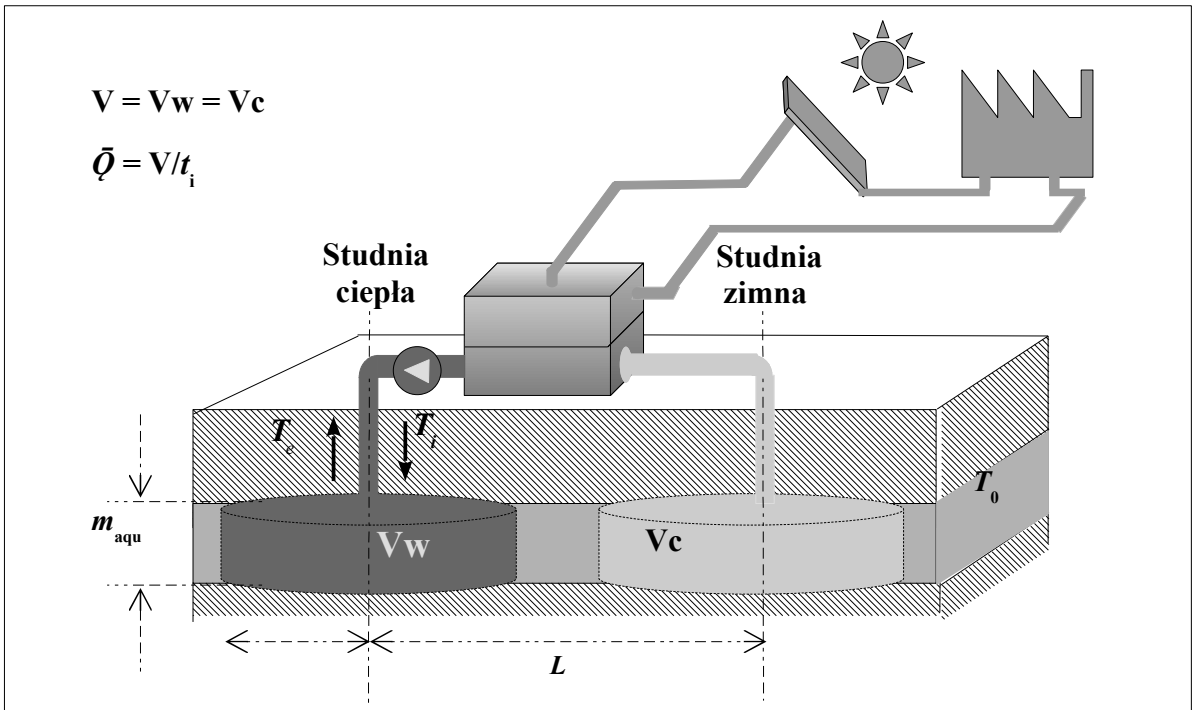
(Źródło: Nielsen k., 2003. Thermal energy storage, a state-of-the-art. NTNU: Trondheim, Norway)

1.3. - Pojęcie Jednostkowego Modułu Cyklicznego LT-ATES

Obliczając w przybliżeniu buforowy potencjał termiczny wybranych warstw wodonośnych w perspektywie magazynowania ciepła metodą LT-ATES można oprzeć Jednostkowego Modułu Cyklicznego (JMC LT-ATES). Przez Jednostkowy Moduł Cykliczny LT-ATES rozumie się podstawowy dwu-otworowy układ LT-ATES pracujący w sezonowym trybie cyklicznym. Jako podstawowe moduł wielootworowej instalacji, układ posiada jedną stałą studnię cieplną i jedną stałą studnię ziemną. Schemat ideowy modułu przedstawiono w rys.14. Eksploatacja tego systemu bywa się symetrycznie z równą pojemność magazynu ciepłego i magazynu zimnego.

Bazując się na modułu LT-ATES w rozumieniu powyższym, można ocenić buforowy potencjał energetyczny płytkich warstw wodonośnych za pomocą tłokowego modelu stymulacji termicznej.

Pojęcie Jednostkowego Modułu Cyklicznego LT-ATES wprowadzono Polsce w ramach oceny możliwości magazowania ciepła omówioną metodą w obniżeniu Chmieleńskim Pojezierza Kaszubskiego (Lemoine, 2016) i w rynnie Słuszewskiej Wysoczyzny Żarnowieckiej (Lemoine, 2018).



Objaśnienie:

m_{aqu} - Miąższość efektywna warstwy wodonośnej
$\bar{Q}$ - Średnia wydajność iniekcji
t_i - Czas iniekcji
T_i - temperatura iniekcji
T_e - temperatura wypompowanej wody
V - Pojemność magazynów LT-ATES
Vw - Pojemność magazynu ciepłej wody
Vc - Pojemność magazynu zimnej wody
L - Odległość między ciepłą a zimną studnią.
R_{Th} - Promień cieplny

Rys. 14 : Schemat ideowy Jednostkowego Modułu cyklicznego LT-ATES (źródło: Lemoine, 2016)

Efektywność energetyczna systemu LT-ATES zależy w dużym stopniu od charakterystyki geometrycznej i termodynamicznej zasobników omówionego modułu. Zestawione w tab. 8 wzory obliczeniowe zostały zaczerpnięte z prac Ausseur'a i Sauty-ego (1982) z służby geologicznej Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM,F). Autorzy zaproponowali również wstępną ocenę przydatności terenów do lokalizowania magazynów LT-ATES typu cyklicznego (dwukierunkowego), na bazie podstawowych wymagań:

- niska prędkość wód podziemnych
- warstwa wodonośna naporowa o miąższości efektywnej co-najmniej ≥ 12 m;
- pokrywa warstwy wodonośnej półprzepuszczalnej lub słabo przepuszczalnej o miąższości m_{cap} co-najmniej 16 m ;
- promień cieplny zasobników wody podgrzewanej lub chłodzonej $R_{th} \geq 55$ m ;
- objętość minimalna zbiorników cieplnych $\bar{Q} \geq 68.000$ m3 ;
- odległość minimalna między otworami $L \geq 140$ m, dla $m_{aqu} = 12$ m.

Kościerska równina sandrowa, z uwagi na niską ekranizację hydrogeologiczną i wynikającą z niej słabą izolację termiczną jej pierwszego poziomu wodonośnego nie jest obszarem szczególnie przydatny do magazynowania ciepła i chłodu metodą LT-ATES. Lepsze warunki wykazuje pod tym katem kościerską wyspą morenową. W związku z tym, dalszy ciąg oceny przypadłości do inwestycji w przedmiotowych systemach energetycznych będzie skupiona na drugą jednostkę geomorfologiczną.

§

Tab. 8 : Wytyczne dla charakteryzacji geometrycznej termodynamicznej zasobników JMC LT-ATES (Źródło : Lemoine, 2018, na bazie prac Ausseur'a i Sauty-ego. 1982)

Cechy geometryczne		Charakterystyka termodynamiczna			
m_{aquif} Miąższość [m]	V (Objętość hydrauliczna) [m^3]	R_{TH} Promień termiczny [m]	**Liczba *Pe*** (stosunek konwekcja/ dyfuzja) [-]	**Liczba *Λ*** (wymiany ciepła zasobniki/ pokrywa) [-]	**Liczba *ε*** (bezwymiarowa miąższość pokrywy) [-]

Objaśnienia:

V : Objętość wody, którą można technicznie ująć lub tłoczyć w obiegu w ciągu pół cycka termodynamicznego (6 miesięcy w przypadku sezonowych LT-ATES). Ta ilość zależy od efektywnego czasu pracy urządzeń hydraulicznych i wydajności studni w warunkach zrównoważonej eksploatacji. Jest ona obliczona za pomocą wzoru:

$$V = V_c = V_z = Q \cdot t_{c/2} \ , \ [m^3]$$

gdzie: V_c - Objętość zmagazynowanej ciepłej wody, [m^3]; V_z - Objętość zmagazynowanej zimnej wody, [m^3],
Q - Średnia wydajność studni podczas iniekcji, [m^3/h], $t_{c/2}$ - Czas pracy pompy głębinowej w trybie magazynowania podczas pół cyklu rocznego, [h]

R_{TH} **:** Promień termiczny właściwy podziemnych zasobników, tj orientacyjny zasięg podziemnych zasobników. Przy obliczeniu tego wskaźnika wykorzystuje się tu wzór Ausseur'a i Sauty'ego (1982) odnośnie do tłokowego (cylindrycznego) modelu stymulacji hydrotermicznej warstwy wodonośnej

$$R_{TH} = \sqrt{\frac{C_{v\text{-w}}}{C_{v\text{-aquif}}} \cdot \frac{V_{inj}}{\pi \cdot m_{aquif}}} \ , [m]$$

gdzie: $C_{v\text{-w}}$ – objętościowa pojemność ciepła wody [MJ· m^{-3}·K^{-1}]; V_{inj} – Ilość wody tłoczonej podczas pół cycku [m^3];
T_i – temperatura iniekcji wody, [C°]; m_{aquif} – miąższość efektywna warstwy wodonośnej [m];
$C_{v\text{-aquif}}$ – objętościowa pojemność ciepła warstwy wodonośnej [MJ· m^{-3}·K^{-1}].

***Pe, Λ i ε* :** wzory zaproponowane przez Ausseur i Sauty(1982) w „Table des Symboles" w przypadku „ układ ATES pracującym w trybie cyklicznym:

$$Pe = \frac{Q_f}{2\pi \cdot m_{aquif}} \cdot \frac{C_{v\text{-w}}}{\lambda_{aquif}} \ , \ \Lambda = \frac{C_{v\text{-w}} \cdot C_{v\text{-aquif}}}{\lambda_{cap} \cdot C_{v\text{-cap}}} \cdot \frac{Q_f \cdot m_{aquif}}{\pi \cdot R_{TH}^{\ 2}} \ , \quad \varepsilon = \frac{m_{cap}}{d_{DTH\text{-cap}}} = \frac{m_{cap}}{\sqrt{\frac{\lambda_{cap}}{C_{v\text{-cap}}} \cdot \tau}}$$

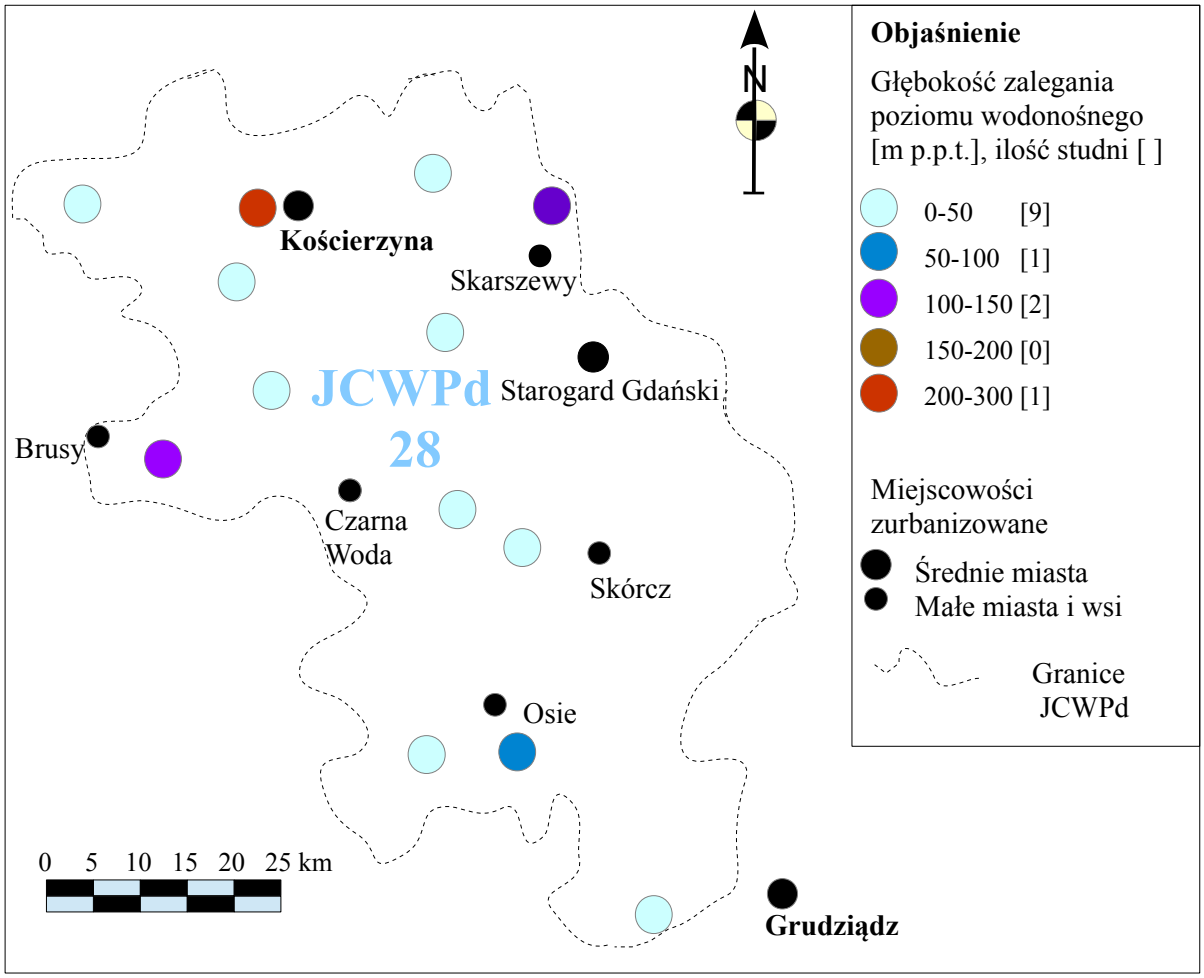
Parametry potrzebne do obliczeń (z wartościami przyjęte jako stałe)

m_{aquif}	- Miąższość poziomu wodonośnego , [m]	m_{cap}	- Miąższość pokrywy warstwy wodonośnej , [m]
Q_f	- Wydajność fikcyjna studni [m^3/h]	λ_{cap}	- Przewodność cieplna właściwa pokrywy: (w przypadku pokrywy gliniastej: λ_{cap} = 2,00 W· m^{-1}· K^{-1})
R_{TH}	- Promień termiczny, [m]		
$C_{v\text{-W}}$	- Objętościowa pojemność wody: 4,187·10^6 J·m^{-3} ·K^{-1}	$C_{v\text{-cap}}$	- Objętościowa pojemność cieplna pokrywy (w przypadku pokrywy gliniastej: $C_{v\text{-cap}}$ = 2,00·10^6 J/(m^3·K)
$C_{v\text{-aquif}}$	- Objętościowa pojemność cieplnej poziomu wodonośnego (2,67·10^6 J·m^{-3} ·K^{-1})	$d_{DTH\text{-cap}}$	- Głębokość wnikania sygnału dyfuzji wodonośnej cieplnej w pokrywie [m]
$\lambda_{\text{-aquif}}$	- Przewodność cieplna cieplnej poziomu wodonośnego (2,5 W· m^{-1}· K^{-1})	τ	- Czas fikcyjny iniekcji: pół cykl termodynamiczny: (6 miesięcy lub 1,5552·10^7 s).

2. - Ocena potencjału buforowego terenów

2.1 - Na bazie danych krajowej sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych

W 2019 r. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN (IGSMiE PAN) wykonał pierwszą ocenę warunków magazynowania ciepła w metodą LT-ATES istniejących na skalę terytorium Polski (Skrzypczak i Miecznik, 2019). Analiza, która obejmowała 172 Jednolitych Części Wód Podziemnych (JCWPd), wykorzystała bazę danych pobranych z 1324 otworów studziennych z krajowej sieci obserwacyjno-badawczej Polskiego Instytutu Geologicznego. Zagęszczenie tych obiektów hydrogeologicznych — wynosi średnio ok. 0,0042 otw./km^2 (ok. 1,7 otw./400 km^2).

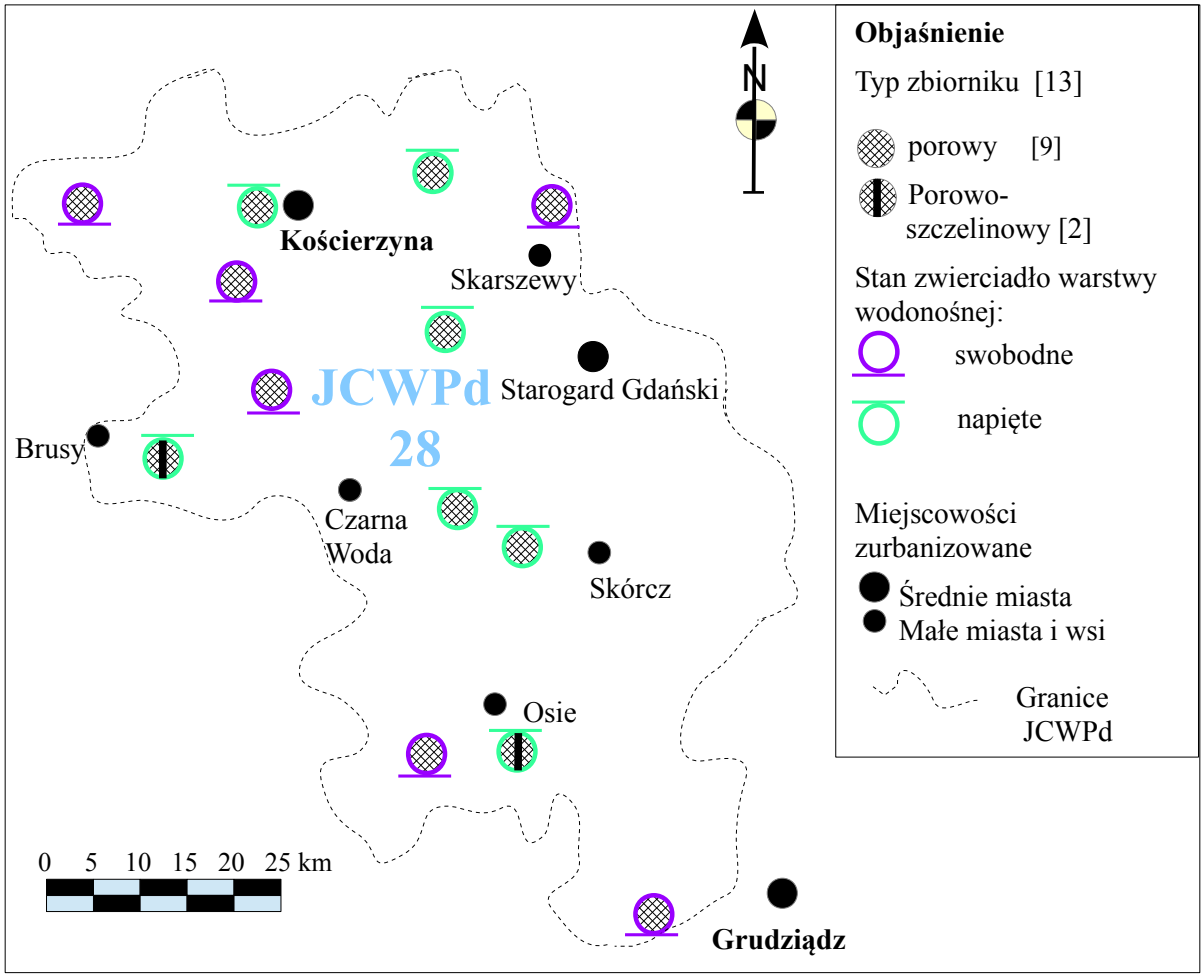


Rys. 15: Rozmieszczenia otworów sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych wraz z informacją o głębokości zalegania stropu ujętej warstwy wodonośnej w obrebie JCWPd nr 28
(Źródło: Skrzypczak i Miecznik, 2019)

Odnośnie omówionej tu części wód podziemnych - tj JCWPd nr 28, ocena może oprzeć się na 13 otworów studziennych rozproszonych na powierzchni 4057.40 Km^2. Wynosząc ok. 0,0035 otw./km^2, zagęszczenie tych obiektów hydrogeologicznych jest trochę mniejsze niż ww średnie krajowe. Na tym obszarze ponad dwie trzeci otworów sieci obserwacyjno-badawczej dotyczy płytkich poziomów wodonośnych zalegających na głębokości do 50 m p.p.t. (rys. 15). Poniżej tej głębokości i aż do 300 m p.p.t., poziomy wodonośne są

sporadycznie obserwowane w jednym lub dwóch studniach, oprócz poziomy wodonośny z przedziale 150-200 m, które nie są obserwowane w obrębie tej JCWPd.

Poziom ekranowania od powierzchni i typ skał budujących monitorowaną warstwę wodonośną zależą od głębokości zalegania tej warstwy. Wśród 13 omówionych punktów sieci obserwacyjnej 6 dotyczą płytkich studni o głębokości nie przekraczającej 50 m p.p.t. (rys. 16). Te otwory nawiercone przeważnie do wód sandrowych cechują się z reguły zwierciadłem swobodnym. Przepuszczalność cechująca te utwory jest porowa. W 7 pozostających studniach, gdzie głębokość ujętych warstw wodonośnych może przekraczać 150 m p.p.t., a nawet 200 m p.p.t. na przykładzie otworu w Kościerzynie o głębokości całkowitej 275 m p.p.t. (otwór nr 880122 wg numeracji CBDH), wody są naporowe. Są to przeważnie wody międzymorenowe kształtowane w zbiornikach porowatych należących drugiego poziomu czwartorzędowego piętra wodośnego. Tylko dwa głębokie otwory ujmują wody napięty z zbiorników przedczwartorzędowych. W tym przypadku zbiorniki są porowo-szczelinowe.

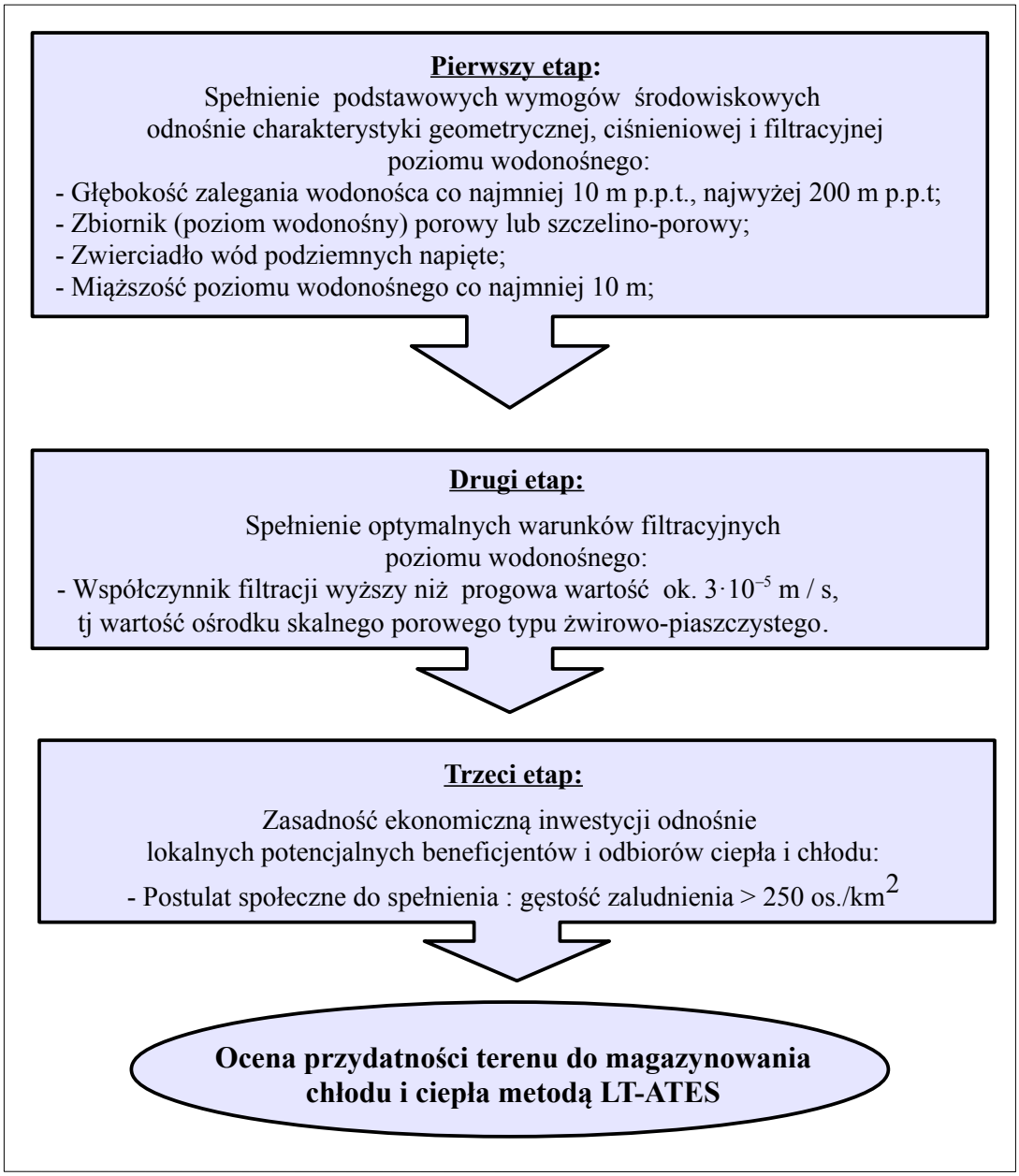


Rys.: 16 : Rozmieszczenia otworów sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych wraz z informacją o typie skał budujących ujętą warstwę wodonośną i typie zwierciadła ujętej warstwy wodonośnej w obrebie JCWPd nr 28 (Źródło: Skrzypczak i Miecznik, 2019)

Przy ocenie przydatności terenów, gdzie są zlokalizowane omówione odwierty obserwacyjno-badawcze, do niskotemperaturowego magazynowania ciepła metodą ATES, IGSMiE stosowała selekcję składającą się z trzech etapów. Etapy te uwzględniają w kolejności podstawowe wymagania środowiskowe, zalecone właściwości zbiornikowe poziomu wodonośnego, i zasadność ekonomiczna inwestycji w terenach, gdzie znajdują się referencyjne studnie (tab. 8).

Zastosowanie powyższą metodykę do pojedynczych JCWPd jest oczywiście obarczone dużym marginesem nieprecyzyjności z uwagi na wysoką dyspersja geograficzną punktów obserwacyjnych odniesienia się. Dotyczy to szczególnie JCWPd ujętych w obszarach młodoglacjalnych, gdzie kompleksowa morfogeneza plejstoceńska skutkowała wysoką zmiennością przestrzenną i nierównomierną rozmieszczenie wód podziemnych w obrębie czwartorzędowego piętra wodonośnego (Lemoine, 2016).

Tab.8: Etapy selekcji stosowanej przez IGSMiE przynoy ocenie przydatności terenów do magazwania ciepła metodą LT-ATES na bazie danych sieci obswerwacyjno-badawczej wód podziemnych PIG-PIB ((Źródło: Skrzypczak i Miecznik, 2019)



W niniejszym przypadku, zastosowanie wyżej wspominanej selekcji do oceny JCWPd nr 28 nr dało następujące wyniki:

- pierwsze etap: podstawowe warunki środowisko są spełnione w północno-wschodniej części obszaru w jednym otworze obserwacyjno-badawczym ujmującym naporowy poziom wodonośny miąższości ponad 10 m, Poziom zalega na głębokości p.p.t. w przedziale 10÷50 m p.p.t..

- drugi etap: optymalny warunki filtracyjne zbiorniku są spełnione w północno-wschodniej części obszaru w wyżej wyselekcjonowanym otworze obserwacyjno-badawczym.
- trzeci etap: inwestycja nie jest ekonomicznie uzasadniona , z uwagi na brak potencjalnych odbiorców i beneficjentów chłodu i ciepła.

Co się tyczy kościerskiej wyspy morenowej, nie byłaby ona terenem przydatnym do inwestycji w systemach LT-ATES. Fakt, że Kościerzyna spełnia ogólne ekonomiczne warunki: w mieście gęstość zaludnienia wynosi ok. 1500 os./km^2, tj 6 raz więcej niż minimalna wartość tego parametru — 250 os. km^2 wg ustaleń Skrzypczaka i Miecznika (2019). Natomiast podstawowe warunki hydrogeologiczne nie byłyby spełnione. Rzeczywiście, jedyna znacząca warstwa wodonośna udokumentowana w karcie jednego otworu z sieci obserwacyjnej w strefie— tj otwór badawczy PIG nr 8625 PG otworu badawczy PIG nr 8625 PG i nr 12 na mapie, leży zdecydowanie za głęboko i za jest cienka z głębokością 231 m p.p.t. i miąższość 7 m (odpowiednio maks. 200 m wg. i min. 10 m wg ustaleń wymienionych autorów). Należy tu doprecyzować, że ten otwór odniesienia, który jest położony w południowej strefy krawędziowej charakteryzuje jednostkę hydrogeologiczną mało zasobna, mało reprezentatywna z warunków hydrogeologicznych wysoczyzny.

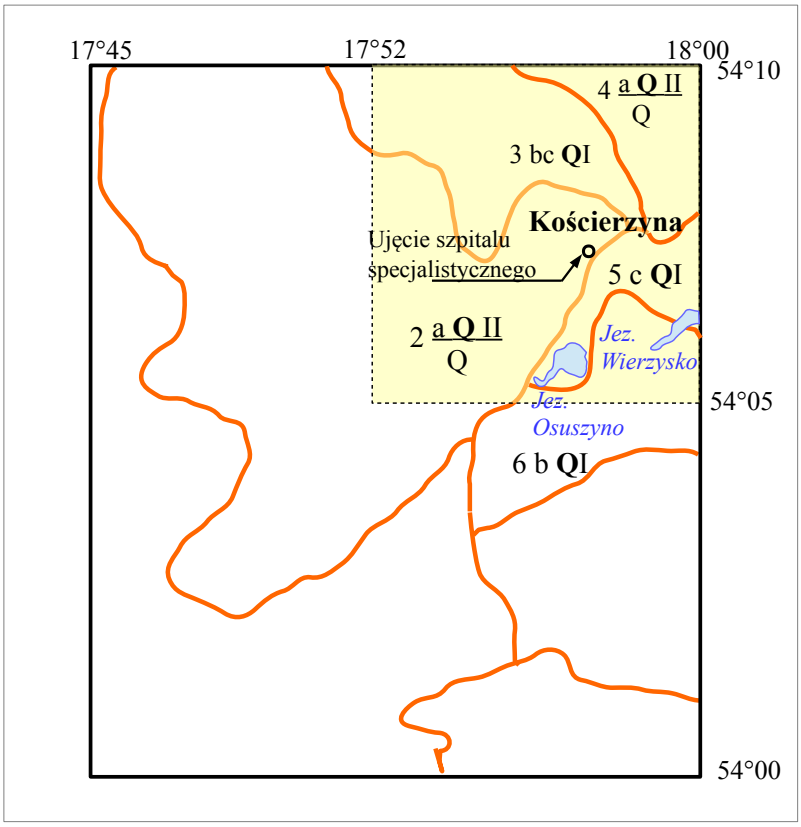
2.2 - Na bazie danych Mapy Hydrogeologicznej - arkusz Kościerzyna

2.2.1 - Stosowana metoda

Ocenę możliwości magazynowania ciepła metodą LT-ATES w przedmiotowym obszarze wykonano na bazie analizy MHP arkusz Kościerzyna nr 0088 i załączonych do niej objaśnień (Kreczko i Kozerski 2007).

Ocenę wprowadzono na dwie skali:

- Skala jednostki hydrogeologicznej (szkic na rys. 17).
  Wtedy wykorzystano podane przez autorów objaśnień MHP najbardziej reprezentatywne wydajności potencjalnej studni w jednostce i skojarzono minimalną, średnią i maksymalną wartość tego parametru odpowiednio do minimalnej, średniej i maksymalnej miąższości górnego lub dolnego poziomu czwartorzędowego piętra wodonośnego w jednostce.



Rys.17 : Lokalizacja badanej strefy w obrębie MHP arkusza Kościerzyna (0080)
na tle jednostek hydrogeologicznych

- Skala pojedynczych otworów studziennych

Wtedy wykorzystano podane ww autorów dane geologiczne i hydrogeologiczne reprezentatywnych otworów studziennych w określonych lokalizacjach w obrębie kościerskiej wyspy morenowej. Panujące warunki hydrogeologicznych w tym mikroregionie geomorfologicznym zestawiono w tab.9 a i b . Rys. 18 pokazuje lokalizację reprezentatywnych otworów studziennych na tle jednostek hydrogeologicznych.

Tab. 9- a : Warunki eksploatacyjne studni w obrębie Kościerskiej Wyspy morenowej
(Źródło danych: Kreczko, A,. Kozerski B. 2007— *Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1: 50 000* - Arkusz Kościerzyna [0088]. PIG)

Lokalizacja obszaru referencyjnego : **Granicy NE miasta Kościerzyna**

Jednostka hydrogeologiczna (MHP) : **4aQII/Q**

Poziom wodonośny : nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej : 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe

Litologia i stratygrafia : fgpż1Qp4B3

Ogólna charakterystyka poziomu wodonośnego w jednostce hydrogeologicznej

Stan zwierciadła :	Ekranizacja od powierzchni	Głęb. stropu [m p.p.t]	Miąższość [m]			Wydajność eksploat. [m3/h]		
			min.	maks.	śred.	min.	maks.	śred.
Swobodna lub lekko naporowa	Bardzo słaba	3÷15	12	32	22	50	100	75

Charakterystyka otworu wiertniczego					Charakterystyka poziomu wodonośnego								
Numer otworu		Data wyko-nania	Nazwa otworu	Wysok. terenu [m n.p.m.]	Strop [m n.p.m.]	Strop [m p.p.t.]	Głębok. zwierc. wody [m p.p.t]	Stan zwierc. wody [m p.p.t]	Miąż-szość [m]	Wyniki pompowania pomiarowego			
Z mapy MHP	z banku hydro									Wydajność [m3/h]	Depresja [m]	Współczynnik filtracji [m3/24h]	[m3/s]
15	10091UW	1988	Ujęcie miejskie	160,8	152,8	8,0	1,8	napięty	23,5	108,3	6,5	15,2	1,76E-004
16	9905UW	1983	Ujęcie miejskie	159,5	152,5	7,0	0,6	napięty	26,0	109,3	6,4	19,6	2,27E-004
17	10091UW	1988	Ujęcie miejskie	163,1	159,8	3,3	3,3	swobodny	31,7	121,2	4,9	33,7	3,90E-004

Lokalizacja obszaru referencyjnego : **NW miasta Kościerzyna**

Jednostka hydrogeologiczna (w MHP) : **3bcQI**

Poziom wodonośny : nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej : 29 ? : piaski i żwiry wodnolodowcowe

Litologia i stratygrafia : FgpQp3W1 ?

Ogólna charakterystyka poziomu wodonośnego w jednostce hydrogeologicznej

Stan zwierciadła :	Ekranizacja od powierzchni	Głęb. stropu [m p.p.t]	Miąższość [m]			Wydajność eksploat. [m3/h]		
			min.	maks.	śred.	min.	maks.	śred.
Naporowa	Słaba	>50	5	28	16,5	10	70	40

Warunki eksploatacyjne poszczególnych ujęć wód podziemnych :

Charakterystyka otworu wiertniczego					Charakterystyka poziomu wodonośnego								
Numer otworu		Data wyko-nania	Nazwa otworu	Wysok. terenu [m n.p.m.]	Strop [m n.p.m.]	Strop [m p.p.t.]	Głębok. zwierc. wody [m p.p.t]	Stan zwierc. wody [m p.p.t]	Miąż-szość [m]	Wyniki pompowania pomiarowego			
Z mapy MHP	z banku hydro									Wydajność [m3/h]	Depresja [m]	Współczynnik filtracji [m3/24h]	[m3/s]
14	17/190	1977	Zakłady mięsne	175,3	119,3	56,0	16,8	napięty	> 29,1	105,8	5,4	13,8	1,60E-004

Tab. 9- b : Warunki eksploatacyjne studni w obrębie Kościerskiej Wyspy morenowej

Lokalizacja obszaru referencyjnego : Dzielnicy S i SE miasta Kościerzyna

Jednostka hydrogeologiczna (w MHP) : 5cQI

Poziom wodonośny : nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej : 20 : piaski i żwiry wodnolodowcowe

Litologia i stratygrafia : różne opróbowane poziomy wodonośne (pomiary PIG)

Ogólna charakterystyka poziomu wodonośnego w jednostce hydrogeologicznej

Stan zwierciadła :	Ekranizacja od powierzchni	Głęb. stropu [m p.p.t]	Miąższość [m]			Wydajność eksploat. [m3/h]		
			min.	maks.	śred.	min.	maks.	śred.
	dobra	Brak danych(ujęcia zlikwidowane lub nieczynne)						

Warunki eksploatacyjne poszczególnych ujęć wód podziemnych :

Charakterystyka otworu wiertniczego					Charakterystyka poziomu wodonośnego								
Numer otworu		Data wyko-nania	Nazwa otworu	Wysok. terenu [m n.p.m]	Strop [m n.p.m]	Strop [m p.p.t.]	Głębok. zwierc. wody [m p.p.t]	Stan zwierc. wody [m p.p.t]	Miąż-szość [m]	Wyniki pompowania pomiarowego			
Z mapy MHP	z banku hydro									Wydajność [m3/h]	Depresja [m]	Współczynnik filtracji [m3/24h]	[m3/s]
13	17197	1962	Wytwórnia Win	174,0	161,3	12,7	12,7	swobodny	20,1	32,0	7,3	9,9	1,15E-004
13	17197	1962	Wytwórnia Win	174,0	54,3	119,7	14	napięty	29,3	50,1	10,7	4,7	5,44E-005
12	8625PG	1986	PIG	171,1	48,7	122,4	42,0	napięty	12,6	_	_	_	_
12	8625PG	1986	PIG	171,1	20,7	150,4		napięty	14,6	_	_	_	_
12	8625PG	1986	PIG	171,1	-60,7	231,8	23,5	napięty	7,2	3,0	27,3	_	_

Lokalizacja obszaru referencyjnego : Dzielnicy SW miasta Kościerzyna

Jednostka hydrogeologiczna (w MHP) : **2aQII/Q**

Poziom wodonośny : nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej : 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe

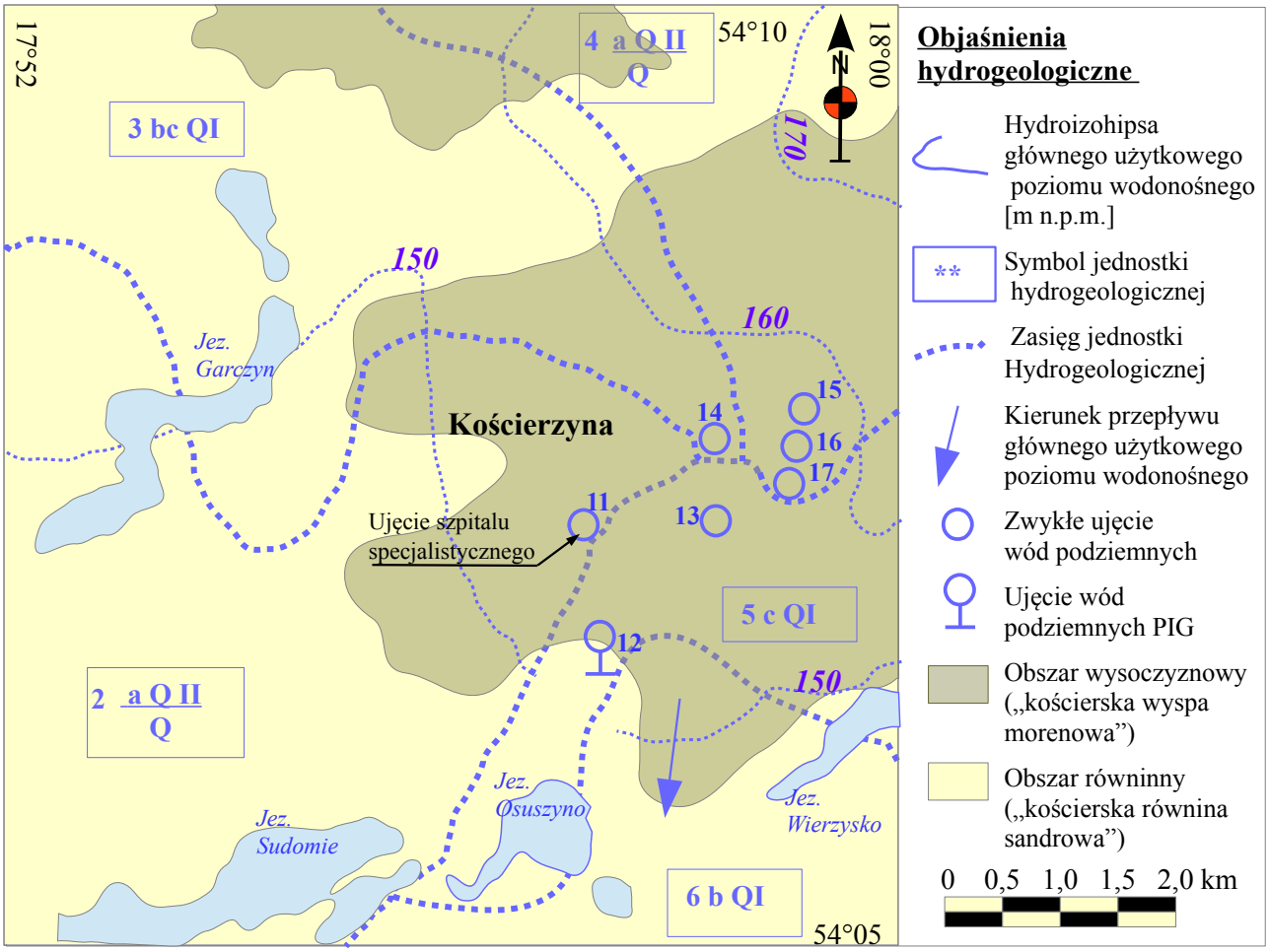
Litologia i stratygrafia : fgpż1Qp4B3

Ogólna charakterystyka poziomu wodonośnego w jednostce hydrogeologicznej

Stan zwierciadła :	Ekranizacja od powierzchni	Głęb. stropu [m p.p.t]	Miąższość [m]			Wydajność eksploat. [m3/h]		
			min.	maks.	śred.	min.	maks.	śred.
Swobodna lub lekko naporowa	Słaba	5÷27	10	25	17,5	30	50	40

Warunki eksploatacyjne poszczególnych ujęć wód podziemnych :

Charakterystyka otworu wiertniczego					Charakterystyka poziomu wodonośnego								
Numer otworu		Data wyko-nania	Nazwa otworu	Wysok. terenu [m n.p.m]	Strop [m n.p.m]	Strop [m p.p.t.]	Głębok. zwierc. wody [m p.p.t]	Stan zwierc. wody [m p.p.t]	Miąż-szość [m]	Wyniki pompowania pomiarowego			
Z mapy MHP	z banku hydro									Wydajność [m3/h]	Depresja [m]	Współczynnik filtracji [m3/24h]	[m3/s]
11	17/348	1987	Szpital – ZOZ 1	186,6	159,3	27,3	27,3	swobodny	> 33,3	70,0	4,4	16,4	1,90E-004



Rys. 18 : Lokalizacja ujęć wód podziemnych w obrębie kościerskiej wyspy morenowej na tle jednostek hydrogeologicznych arkusza Kościerzyna (0080) (źródło: KRECZKO A,. KOZERSKI B., MHP, PIG, 2007)

Analiza powyższych materiały wykonano na dwóch poziomach:

- **Ocena jakościowa terenów** zgodnie z opisanej wcześniej uproszoną metodą zaproponowaną przez francuską służbę geologiczną Bureau de Recherches Géologiques Ausseur'a i Sauty-ego (1982), przeważnie na bazie charakterystyki geometrycznej warstwy wodonośnej.
- **Ocena ilościowa terenów na bazie fikcyjnej stymulacji zasobnika** Jednostkowego Modułu Cyklicznego LT-ATES (JMC LT-ATES) w wybranych poziomów wodonośnych. Zasobnik został ocenione w stosunku do 4 kryteriów :

  - Charakteryzacja geometryczna i termodynamiczna (wg wcześnie podanych wskazówek)

    Przypomina się tylko zwory obliczeniowe parametrów charakteryzacji
    - ***R_{TH}*** **:** Promień termiczny:

$$R_{TH} = \sqrt{\frac{C_{v\text{-w}}}{C_{v\text{-aquif}}} \cdot \frac{V_{inj}}{\pi \cdot m_{aquif}}} \text{, [m]}$$

- Liczby bezwymiarowe ***Pe, Λ i ε*** :

$$Pe = \frac{Q_f}{2\pi \cdot m_{aquif}} \cdot \frac{C_{v\text{-w}}}{\lambda_{aquif}}, \quad \Lambda = \frac{C_{v\text{-w}} \cdot C_{v\text{-aquif}}}{\lambda_{cap} \cdot C_{v\text{-cap}}} \cdot \frac{Q_f \cdot m_{aquif}}{\pi \cdot R_{TH}^{2}}, \quad \varepsilon = \frac{m_{cap}}{d_{DTH\text{-cap}}} = \frac{m_{cap}}{\sqrt{\frac{\lambda_{cap}}{C_{v\text{-cap}}} \cdot \tau}}$$

- <u>Ocena potencjału energetycznego</u>

Zamiast stosowanej w Rynnie Słuszewskiej symulacji komputerowej obejmującej sześć rocznych cyklów hydraulicznych (Lemoine, 2018) oceniono tylko tu surowy potencjał energetyczny zbiornika JMC LT-ATES za pomocą dwóch parametrów :

- **E_{pc} :** <u>ilość magazynowanego chłodu</u>, w rozumieniu ilość chłodu wprowadzonego do poziomu wodonośnego w ciągu pół-cyklu termodynamicznego:

$$E_{pc} = C_{v\text{-w,}} \cdot V_{inj} \cdot \Delta T, \text{ [J]}$$

gdzie :

$C_{v\text{-w,}}$ - objętościowa pojemności cieplna wody ($4{,}187 \cdot 10^6$ J·m^{-3}·K^{-1}) ;
V_{inj} - ilość wody tłoczonej podczas pół cycku [m^3];
ΔT - różnica temperatury między dolnym i górnym źródłem ciepła, [K] ;

- **P_{pc} :** surowa moc chłodnicza (P_{pc}) zasobnika LT-ATES**,** w rozumieniu fikcyjna moc chłodnicza zasobnika w trybie eksploatacji :

$$P_{pc} = C_{v\text{-w,}} \cdot Q_f \cdot \Delta T, \text{ [W]}$$

gdzie :

$C_{v\text{-w,}}$ - objętościowa pojemności cieplna wody ($4{,}187 \cdot 10^6$ J·m^{-3}·K^{-1}) ;
Q_f - fikcyjna (średnia) wydajność studni w ciągu pół cycku dynamicznego [m^3·s^{-1}];
ΔT - różnica temperatury wody między zasobnikiem ze strony cieplnej studni a zasobnikiem ze strony zimnej studni [K]
(ustalona tu na średnio 20 K)

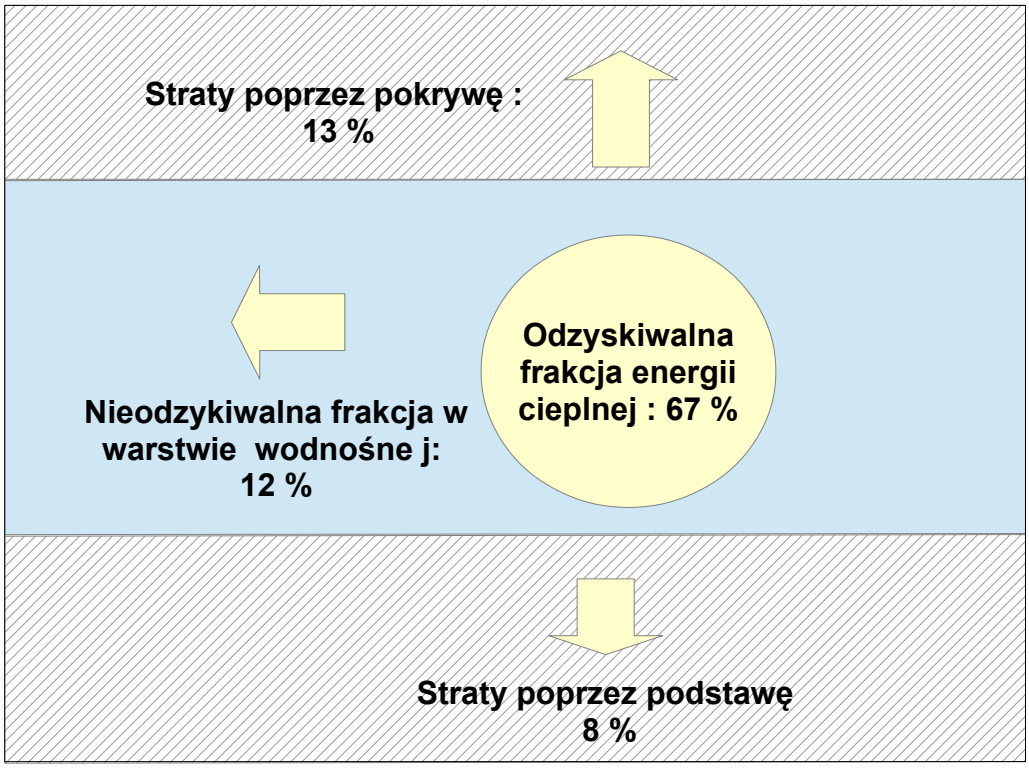
Należy tu podkreślić, że, w powyższym podejściu do potencjału surowego, traktuje się ośrodek otaczający podziemny zasobnik chłodu jako ośrodek adiabatyczny. Z względu na to, że takie warunki nie istnieją w naturze, potencjał, o której mowa, ma tylko znaczenie orientacyjne.

Co się tyczy referencyjnego trybu eksploatacji dla oceny potencjału energetycznego uwzględniono tu stosunkowo wyższą efektywność energetyczną trybu chłodzenia niskotemperaturowych systemów ATES. Potencjał energetyczny został oszacowany na bazie ilości magazynowego chłodu i mocy chłodniczej zasobnika (bez pomocniczego sprzętu termodynamicznego.

Co się tyczy różnicy temperatury między zasobnikiem ze strony cieplnej studni a zasobnikiem ze strony zimnej studni, uznano wartość 20 K jako optymalna dla niskotemperaturowych systemów ATES odnośnie zakresu temperatur pracy 5°C ÷25°C.

- <u>Ocena strat termicznych poprzez granic zasobnika</u>

Na tym etapie wykorzystano wyniki badań modelowania prowadzonych w Francji przez Gringaten'a i in. (19790 z BRGM w końcu lat 70-tych ub.w. w zakresie długoterminowego magazynowanie ciepła w wodach gruntowych w zakresie temperatur 5÷29 °C. W przypadku stojących wód podziemnych oszacowano straty przez pokrywę, podstawę i powierzchni walcowej w zasięgu promienia termicznego (thermal screen). Straty, które bywają drogą przewodności i dyfuzji cieplnej, są stosunkowo wysokie podczas pierwszego i drugiego cyklu termodynamicznego, kiedy pokrywę i podstawę pochłaniają znaczą ilość przynoszonej energii cieplnej po warstwy wodonośnej. Potem maleją aż do sytuacji równowagi termodynamicznej, z optimum w siódmym cyklu. Odnośnie trzeciego cyklu straty zostały oszacowane na wysokości 33%. Bilans energetyczny magazynowania ciepła w tym cyklu (rys. 19) pokazuje, że większość strat zachodzi poprzez pokrywę. Wyniki te dotyczą jednak zasobnika z strony cieplnej studni. Ze strony zimnej studni efektywność energetyczna magazynowania jest natomiast wyższa, ponieważ stosunkowo niski gradient termiczny w strefie kontaktu między zasobnikiem i pokrywą, jak również z podstawą, ogranicza straty termiczne. W niniejszej pracy, odnosząc się do zimnej studni szacowano strat termicznych podczas trzeciego cyklu w zakresie 27÷33%, jako baza obliczeniowa przy hipotezie stojącej warstwy wodonośnej. Zmienność strat w tych granicach zależy, więc od wartość bezwymiarowych liczb termodynamicznych Pe Λ i ε.



Rys. 19: Bilans energetyczny trzeciego cyklu (trzeciego roku) sezonowego magazynowania ciepła w warstwie wodonośnej - zasobnik ze strony cieplnej studni. (źródło : Gringarten i in., 1979)

Z powyższego wynika, że optymalna i referencyjna efektywność energetyczna zasobnika (stojącego) chłodnej wody LT-ATES waha się w przedziale 67÷73% w

zależności od warunków termodynamicznych. Odnośnie bezwymiarowych liczb termodynamicznych *Pe* *Λ* i *ε* przedstawiono w tab. 10a i tab.10b wyniki prac modelowania przeprowadzonych przez ww. autorów. Wyniki pokazują wpływ owówionych liczb na efektywność zasobnika na etapie 5-tego cyklu termodynamicznego. Z uwagi na decydujący wpływ grubość pokrywy na efektywność autorzy analizowali oddzielnie konfiguracją głębokiego i płytkiego zasobnika. Efektowność przestawili w kolejności malejącej;

Tab. 10a : Referencyjna efektywność energetyczna zasobnika ATES w zależności od Pe Λ przy ε ∞ (głęboka warstwa wodonośna) (źródło: Gringarten i in.,1979)

Pe	*Λ*	Efektywność energetyczna 5-ego cyklu [-]		*Pe*	*Λ*	Efektywność energetyczna 5-ego cyklu [-]
100	100	0,90 [uw. 1]		1	100	0,47 [uw. 3]
10	100	0,80		1	10	0,40 [uw. 3]
100	10	0,75		10	1	0,24 [uw. 3]
10	10	0,69 [uw. 2]				

Uwagi:
1 : Wartość fikcyjna opisująca warunki adiabatyczny pokrywy i podstawy.
2 : Wartość *Pe* i *Λ* odniesienia dla sezonowego magazynowania w warstwie wodonośnej pojedynczą studnią z miąższością warstwy wodonośnej co najmniej 10 m, najwyżej 50 , i wydajnością co najmniej 10 m^3/h jako podstawowe wymagania.
3 : Wartość *Pe* i *Λ* opisujące niekorzystne warunki termodynamiczne.

Tab. 10b : Referencyjna efektywność energetyczna zasobnika ATES w zależności od Pe i Λ przy ε 1- 4 (płytka warstwa wodonośna) (źródło: Gringarten i in.,1979)

ε	*Pe*	*Λ*	Efektywność energetyczna 5-ego cyklu ,		ε	*Pe*	*Λ*	Efektywność energetyczna 5-ego cyklu
∞	10	10	0,69		∞	10	100	0,80
4	10	10	0,67		1	10	100	0,69
2	10	10	0,61		∞	10	1	0,34
1	10	10	0,47		1	10	1	0,20

- <u>Wpływ hydrodynamiki podziemnej na efektywność energetycznej</u>

Z uwagi na charakter mało stojące lub lekko płynące płytkich wód podziemnych w przedmiotowym obszarzeobliczono również bezwymiarowego przesuniecie termicznego *δ , zgodnie z* wzorem obliczeniowym podanym poniżej. Liczba ta wyraża stosunek naturalnego`1 przemieszczenia frontu termicznego — to jest przemieszczenie wywołane przez przepływ warstwy wodonośnej, do promienia termicznego wywołanego przez iniekcję zimnej (lub cieplnej).

- $$\delta = \frac{d_{TH}}{R_{TH}} \quad , [-]$$

z d_{TH} – odległością termiczną właściwą i R_{TH} – promieniem termicznym właściwym:

$$d_{TH} = v_{TH} \cdot \tau = v \cdot \frac{C_{v\text{-w}}}{C_{v\text{-aquif}}} \cdot \tau \quad , [\text{m}], \qquad R_{TH} = \sqrt{\frac{C_{v\text{-w}}}{C_{v\text{-aquif}}} \cdot \frac{V_{inj}}{\pi \cdot m_{aquif}}} \quad ,$$

[m]

gdzie:

v_{th} – Prędkość przemieszczenia frontu termicznego, [m · s^{-1}] ;
v – Prędkość Darcy'ego przepływu warstwy wodonośnej, [m·s^{-1}] ;
$C_{v\text{-w}}$ – Objętościowa pojemność ciepła wody, [MJ· m^{-3}·K^{-1}] ;
$C_{v\text{-aquif}}$ – Objętościowa pojemność ciepła wody, [MJ· m^{-3}·K^{-1}] ;
τ – Pół cykl pracy określonego urządzenia hydraulicznego, [s] ;
V_{inj} – Kubatura wody tłoczonej podczas pół cycku , [m^3] ;
m_{aquif} – Miąższość efektywna warstwy wodonośnej , [m].

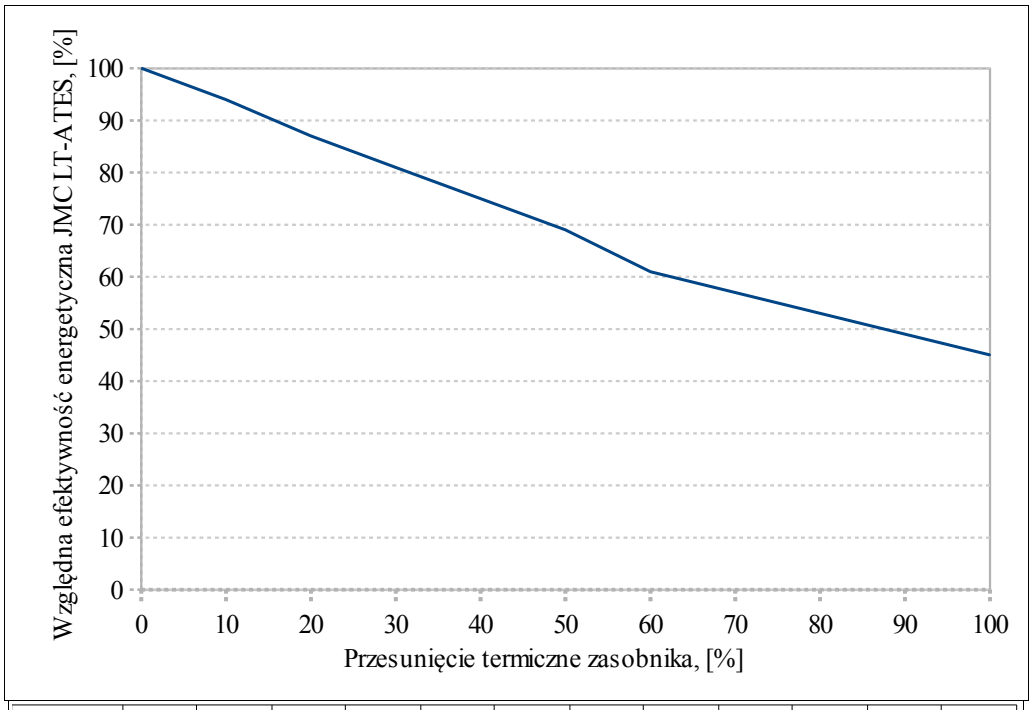
Przy oszacowaniu prędkości Darcy'ego przepływu warstwy wodonośnej stosowano szeroko zwany wzoru :

- $v = k \cdot i$, [m·s^{-1}]

gdzie:

k – Współczynnik filtracji warstwy wodonośnej, [m · s^{-1}] ;
i – gradient hydrauliczny warstwy wodonośnej [-].

Gradienty hydrauliczne obliczono graficznie na MHP na bazie lokalnych hydroizohips Głównego Poziomu Wodonośnego. W przypadku głębokości warstwy wodonośnej zalegającej poniżej 50 m i 100 m, przyjęto wartość odpowiednio wartość 2 ‰ i 1 ‰. Spadek względnej efektywności energetycznej zasobnika jednostkowego modułu cyklicznego systemu LT-ATES w zależności od przesunięcia termicznego przedstawiono w rys. 20.



(δ, [%]	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
f_n, [%]	100	97	94	87	81	75	69	61	57	53	49	45

Rys. 20 : Spadek względnej efektywności energetycznej zasobnika jednostkowego modułu cyklicznego systemu LT-ATES w zależności od przesunięcia termicznego (Źródło: Gringarten i in., 1979)

2.2.2 - Przydatność terenów do magazynowania chłodu (i ciepła) metodą LT-ATES

2.2.2.1 - **Przydatność jednostek hydrogeologicznych**

a) ***Ocena jakościowa***

Jednostka hydrogeologiczna 4aQII/Q

W tej jednostce pierwszy poziom wodonośny cechuje się wysoką wydajnością eksploatacyjną w zakresie 50÷100 $m^3 \cdot h^{-1}$. Posiadając cienką pokrywa o miąższości w granicach 3÷15 m (tab.9 a), poziom jest bardzo dostępny. Z punktu widzenia magazynowania ciepła omówioną metodą, ta druga charakterystyka jest raczej niekorzystna, ponieważ kojarzy się z niskim topniem ekranowania wodonośca od powierzchni, a więc topniem izolacji termicznej. W perspektywie wykorzystania ciepła Ziemi konwencjonalną metodą niskotemperaturową druga charakterystyka jest natomiast bardzo niekorzystna, ponieważ umożliwia skuteczna regeneracja termiczna gruntów i wód gruntowych.

Jednostka hydrogeologiczna 3bcQI

Analizowany poziom wodonośny występuje kilkudziesięciu metrów głębiej niż poprzednio z miąższość pokrywy ponad 55 m (tab. 9a). Będąc zatem bardzo dobrze izolowany od powierzchni poziom na dodatek wykazuje dobre parametry zbiornikowe i filtracyjne. Wydajność eksploatacyjnej pojedynczej studni jest zmienna. Mieszcząc się najczęściej w przedziale 10÷70 $m^3 \cdot h^{-1}$ i sięga lokalnie 106 $m^3 \cdot h^{-1}$ na przykładzie studni zakładów mięsnych

(nr 14 na mapie, 17/190 w bazach Hydro). W perspektywie inwestycji LT-ATES niska dostępność wybranego poziomu nie powinna być problematyczna z zastrzeżeniem wyczerpującej analizy terenu na bazie przedprojektowego badania geofizycznego.

Jednostka hydrogeologiczna 5cQI

W obrębie kościerskiej wyspy morenowej i sąsiadujących z nią na południu sandrowych stożków napływowych pierwszy poziomy wodonośne ujęte w tej jednostce zostały ponad 15 lat temu wycofane z Głównego Użytkowego Poziomu Wodonośnego z powodu złej jakości wody. Z tego wynika, że tereny jednostka jest mało udokumentowana. W oparciu o dokumentacji dwóch otworów studziennych — pierwsza z byłej wytworni win i druga z PIG w tab. 9b, można stwierdzić, że odnośnie standardu instalacji ATES pracujących w trybie cyklicznym jednostka mało spełnia warunków do inwestycji w magazynowanie chłodu (i ciepła) w Ziemi. Pierwszy poziom wodonośny nie posiada pokrywy zapewniającej optymalnej izolacji termicznej. Na dodatek nie będąc napięty jest prawdopodobnie mało stojący, raczej płynący. Drugi poziom wodonośny, który wykazuje lepsze nie pierwszy parametry hydrodynamiczne, natomiast zalega na głębokości ponad na głębokości ponad 100 metrów i jest mało dostępny.

Jednostka hydrogeologiczna 2aQII/Q

W tej jednostce, która zawiera południowo-zachodni fragment Kościerskiej wyspy morenowej, pierwsze poziom wodonośny wykazuje dobre parametry zbiornikowe: regularną miąższość, która wynosi średnio co najmniej 17,5 m i wydajność eksploatacyjną,, która wynosi średnio o najmniej 40 $m^3 \cdot h^{-1}$ (tab 9b). Natomiast słaba izolacja termiczna poziomu na skalę jednostki, jak również charakter nie naporowy zwierciadła nie są korzystne dla magazynowania chłodu i ciepła przedmiotową metodą, szczególnie w strefie kontaktu między Pojezierzem Kaszubskim a Borami Tucholskimi

b) Ocena ilościowa

Profil geometryczny i termodynamiczny zasobnika

Profil geometryczny i termodynamiczny fikcyjnego zasobnika Jednostkowego Modułu Cyklicznego LT-ATES modelowany w zależności od jednostek hydrogeologicznych przedstawiono w tab. 11a. Najpierw wspomina się minimalne wymagania środowiskowe i techniczne zaproponowane przez Ausseur'a i Sauty'ego (1982) dla lokalizacji systemów energetycznych tego rodzaju :

- miąższość warstwy wodonośnej:.....$m_{aquif} \geq 12$ m ;
- Objętość hydrauliczna:..... $V \geq 68$ tys. m^3 ;
- promień termiczny:..... $R_{TH} \geq 55$ m.
- bezwymiarowa miąższość pokrywy....$\varepsilon \geq 4$.

Jednostki hydrogeologiczne 4aQII/Q i 2aQII/Q spełnia ww. dwie pierwsze wymagania. Jednostka 3bcQI wykazuje lokalnie bardzo niekorzystne warunki, tam gdzie miąższość warstwy wodonośnej jest zredukowana do 5 metrów. Objętość hydrauliczna zasobnika LT-ATES, który można stymulować w tych terenach, mieści się granicach ok. 30.000÷300.000 $m^{3,}$ z najbardziej reprezentatywnym przedziałem 100÷300 tys. m^3.

Trzecie wymaganie jest prawie spełnione w wszystkich jednostkach, z R_{TH} wahającym się od ok. 50 do ok. 80 m.

Czwarte wymaganie nie może być powszechnie spełnione z uwagi na wysoką zmienność przestrzenną pokrywy pierwszego poziomu wodonośnego — ε waha się między 0,7÷6,8. Większość terenów wytypowanych pod jednostkami hydrogeologicznymi 3bcQI i 2aQII/Q kwalifikuje się do magazynowania ciepła metodą ATES. To dotyczy terenów gdzie miąższość

poziom wód gruntowych przekracza 15 m. Natomiast jednostka 4aQII/Q jest ogólnie mało przydatna pod tym kątem z uwagi na zbyt słabiej izolacji termicznej wód gruntowych.

Co się tyczy bezwymiarowych liczb termodynamicznych *Pe* i *Λ,* one charakteryzują w niniejszym przypadku raczej płaskie zasobniki, gdzie w obrębie warstwy wodonośnej wymiany ciepła mają miejsce przeważnie drogą przewodności cieplna. Na bazie prac wyżej wymienionych autorów można wstępnie szacować efektywność energetyczną magazynowania ciepła metodą LT-ATES w większości analizowanych terenach w granicach 70÷80%. W części jednostek 3bcQI i 4aQII/Q gdzie pokrywa pierwszego poziomu wodonośnego jest zredukowana do kilku metrów, efektywność pada do co najmniej do 65 %. Poza tym należy tu przypomnieć, że szacowana na tym etapie efektywność odnosi się do stojących wód podziemnych a nie do rzeczywistych warunków panujących w strefie kontaktu między Pojezierzem Kaszubskim a Borami Tucholskimi.

Surowy potencjał energetyczny JMC

Odnosząc się do wzorowego zasobnika LT-ATES obliczono surowy sezonowy potencjał chłodniczy wód pierwszego poziomu wodonośnego $\mathbf{E}_{pc}$ — jako ilość chłodu zmagazynowana w ciągu pół cyklu termodynamiczny trwające w przypadku 6 miesięcy**,** i związany z nim surową moc chłodnicza **($\mathbf{P}_{pc}$)** Jednostkowego Modułu Cyklicznego. Obliczenie wykonano dla poszczególnych jednostek hydrogeologicznych na podstawie różnicy temperatury 20 K między zimną i cieplną studnią. Z obliczeń (tab.11 b) wynika, że wyżej potencjał i moc chłodnicza JMC LT-ATES mieszczą się odpowiednio granicach ok. 2,5÷24 TJ i ok. 0,15÷1,55 MW.

Jednostka hydrogeologiczna 4aQII/Q wykazuje ilościowo największy potencjał z średnimi rzędami wielkości ww. parametrów odpowiednio 18TJ i 1,1 MW — w tym przypadku spodziewa się natomiast niskiego współczynnika odzysku chłodu z powodu słabego ekranowania wód gruntowych od powierzchni.

W jednostce hydrogeologicznej 3bcQI potencjał jest bardzo zmienny. W zależności od miąższości pierwszego poziomu wodonośnego potencjał chłodniczy i mocy chłodniczej JMC LT-ATES wahają się w granicach odpowiednio ok. 2,5÷17 TJ i ok. 0,15÷1,10 MW.

W jednostce hydrogeologicznej 2aQII/Q warunki hydrogeologiczne są jednolite na skalę obszarową. Obliczone potencjał i moc chłodnicza JMC LT-ATES— mieszczą się odpowiednio granicach ok. 7÷12 TJ i ok. 0,45÷0,75 MW, są z tego względu, reprezentatywne dla pierwszego poziomu wodonośnego kościerskiej wyspy morenowej.

Powyższe obliczenia , które nie uwzględniają strat termicznych podczas samego procesu magazynowanie, przerw technologicznych i procesu eksploatacji zasobników LT-ATES, są obaczone zastrzeżeniem, że nie mogą n.p. być wykorzystane celem projektowym. Rzeczywisty potencjał i moc chłodnicza JMC LT-ATES są znacznie mniejsze niż w obliczone parametry surowe. Zakładając sumaryczny współczynnik sprawności 0,5 systemów LT-ATES pracujących w trybie cyklicznym w warunkach hydrogeologicznych panujących w jednostce 2aQII/Q przyjmuje się następujące wartości:

- skorygowany potencjał chłodniczy:..$E_{sc} \approx 5$ TJ ;
- skorygowana moc chłodnicza:.....$P_{sc} \approx 0{,}6$ MW ;

dla orientacyjnej oceny energetycznej Jednostkowego Modułu Cyklicznego LT-ATES w analizowanych terenów.

Bezwymiarowe przesuniecie termiczne zasobnika JMC

Odnośnie przedmiotowego obszaru — kościerska wyspa morenowa, wartości uzyskane dla bezwymiarowego przesunięcia termicznego zasobnika JMC mieszczą w granicach rzędów wielkości od 5% do 70% (tab. 11c). Odnośnie poszczególnych jednostek zakresy wartość tego parametru są następujące:

- 4 aQII/Q :.. 6,7% ≤ δ ≤ 69,4%, średnie δ ≈ 39% ;
- 3 bcQI : .....5,2% ≤ δ ≤ 50,0%, średnie δ ≈ 28% ;
- 2 aQII/Q: ...4,9% ≤ δ ≤ 54,0%, średnie δ ≈ 28%.

Opierając się na wcześniej wspomnianym współczynniku redukcyjnym f_n (Gringarten i in,1979), oszacowano wpływ bezwymiarowego przesunięcia termicznego na efektywność energetyczna magazynowania chłodu i ciepła JMC LT-ATES w tych warunkach. Na skalę kościerskiej wyspy morenowej, współczynnik f_n waha się od 0,97 do 0,57 w zależności od jednostek. Odnośnie poszczególnych jednostek hydrogeologicznych obliczono poniżej redukcją efektywności energetycznej JMC LT-ATES związaną z tym przesunięciem:

- 4 aQII/Q :.. 0,96 ≤ f_n ≤ 0,57 średnio f_n ≈ 0,76 ;
- 3 bcQI : .....0,97 ≤ f_n ≤ 0,69 średnio f_n ≈ 0,83 ;
- 2 aQII/Q: ...0,97 ≤ f_n ≤ 0,65 średnio f_n ≈ 0,81.

c) Częściowe wnioski i obserwacje

Wyniki powyższe obejmują kościerską wyspy morenową i sąsiadujące bezpośrednio z nią tereny stożkowe nad równiną sandrową Borów Tucholskich. Odnoszą się one do pierwszego poziomu wodonośnym czwartorzędowego piętra wodonośnego.

Należy tu przypomnieć, że optymalne warunki terenowe magazynowania ciepła metodą LT-ATES jakie tworzą :

- wysoka przewodność warstwy wodonośnej — np miąższość wyższa niż 12 m (Ausseur i Sauty, 1982, Gringarten i in. 1979), razem z współczynnikiem filtracji co najmniej 10^{-3}·m·s^{-1} (Paksoy i in, 2009),
- ponad 16-metowa pokrywa zapewniającą dobrą izolację termiczną (Ausseur i Sauty, 1982, Gringarten i in. 1979) ;
- naturalna prędkość przepływu wód podziemnych bardzo niska — np. poniżej 20 m·r^{-1} jako szeroko uznana wartość graniczna;
- praca układu hydraulicznego systemu w trybie cykliczny ;

pozwala osiągnąć efektywność energetyczną nie wyższą niż 80%, nawet po kilku latach eksploatacji systemu.

Odnośnie przedmiotowego obszaru, szacowano efektywność energetyczną magazynowania ciepła metodą LT-ATES w dwóch stopniach : pierwszy bez uwzględnienia przesunięcia termicznego, drugi z uwzględnieniem tego parametra.

Wyniki obliczeń z pierwszego stopnia pokazują, że przy hipotezie stojących wód podziemnych, efektywność energetyczna instalacji LT-ATES pracującej w cyklicznego układzie hydraulicznym mieściłaby w granicach 70%÷80% w większości analizowanych terenach . W części jednostek 3bcQI i 4aQII/Q gdzie pokrywa pierwszego poziomu wodonośnego jest zredukowana do kilku metrów, efektywność mogłaby paść poniżej 65 %.

Obliczenia z drugiego stopnia integrują wysoką zmienność współczynników filtracji w omówionym poziomie wodonośnym na skalę przedmiotowego obszaru i średnie gradienty hydrauliczne w poszczególnych jednostkach hydrogeologicznych. Uzyskane wyniki pozwalają wyselekcjonować jednostkę hydrogeologiczna 2aQII/Q jako strefa raczej perspektywiczna do magazynowania chłodu (i ciepła) optymalną metodą LT-ATES odnośnie wyżej wspominanego trybu cyklicznego. Natomiast jednostka 4aQII/Q jest mało przydatna do inwestycji w systemach LT-ATES pracujących w trybie cyklicznym z powodu za wysokiej prędkości przepływu wód podziemnych. W tym przypadku, ciągły —jedno kierunkowy, tryb pracy systemu powinno być rozważony przy projektowaniu inwestycji tego rodzaju. W jednostce 3bcQI, która cechuje się wysoką zmiennością warunków hydrogeologicznych,

ogólną zasadność inwestycji LT-ATES może być zweryfikowana kawałek po kawałku z zależności od ekonomicznych zainteresowań.

Przy hipotezie współczynnika odzysku energii cieplnej 0,5 i odnośnie jednostki hydrogeologicznej 2aQII/Q, przyjęto potencjał chłodniczy 5 TJ i moc chłodnicza 0,6 MW dla Jednostkowego Modułu Cyklicznego jako wartości orientacyjne i reprezentatywny z potencjału energetycznego kościerskiej wyspy morenowej. Oszacowana tu moc chłodniczą można z standardem 1,5 MW jako minimalną mocą systemów LT-ATES zapewniająca optymalną efektywności ekonomicznej systemów energetycznych tego rodzaju w Holandii (Snijders i Aarssen, 2003). W tym podejściu, odnośnie przedmiotowego obszaru i holenderskiego rynku w branży klimatyzacji, optymalna efektywność ekonomiczna systemu LT-ATES byłaby możliwa dla wielootworowych instalacji złożonych z co-najmniej z 3 Jednostkowych Modułów Cyklicznych, tzn. 6-otworowych instalacji.

§

Tab. 11- a : Przydatność jednostek hydrogeologicznych do inwestycji LT- ATES - Profil geometryczny i termodynamiczny zasobnika JMC

- **Promień termiczny (R_{TH}),**
- **Objętość hydrauliczna (V)**
- **Liczba Peclet'a (*Pe*)** (Stosunek konwekcja/dyfuzja)
- **Liczba Λ** (Wymiany ciepła zasobniki/pokrywa),
- **Liczba ε** (bezwymiarowa miąższość pokrywy)

Lokalizacja obszaru: ..... **Granicy NE miasta Kościerzyna**

Charakterystyka poziomu wodonośnego

Nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej :.... 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe

Litologia i stratygrafia : fgpż1Qp4B3

Jednostka hydrogeologiczna (MHP) : **4aQII/Q**

	m_{aquif}	V	R_{TH}	*Pe*	Λ	ε
	[m]	[m^3]	[m]	[-]	[-]	[-]
min.	12,0	144000	77,4	206	17	0,7
śred.	22,0	216000	70,0	168	55	1,7
maks.	32,0	288000	67,0	154	117	3,4

Lokalizacja obszaru: ..... **NW miasta Kościerzyna**

Charakterystyka poziomu wodonośnego

Nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej :.... 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe

Litologia i stratygrafia : ..... FgpQp3W1 ?

Jednostka hydrogeologiczna (MHP) : **3bcQI**

	m_{aquif}	V	R_{TH}	*Pe*	Λ	ε
	[m]	[m^3]	[m]	[-]	[-]	[-]
min.	5,0	28800	53,6	99	3	2,3
śred.	16,5	115200	59,0	120	31	3,4
maks.	28,0	201600	59,9	123	90	6,8

Lokalizacja obszaru: ..... **Dzielnicy SW miasta Kościerzyna**

Charakterystyka poziomu wodonośnego

Nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej :.... 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe

Litologia i stratygrafia : fgpż1Qp4B3

Jednostka hydrogeologiczna (MHP) : **2aQII/Q**

	m_{aquif}	V	R_{TH}	*Pe*	Λ	ε
	[m]	[m^3]	[m]	[-]	[-]	[-]
min.	10,0	86400	65,7	148	11	1,1
śred.	17,5	115200	57,3	113	35	3,6
maks.	25,0	144000	53,6	99	72	6,1

Tab. 11- b : Przydatność jednostek hydrogeologicznych do inwestycji LT- ATES - surowy potencjał energetyczny zasobnika JMC

- **ilość magazynowanego chłodu (E_{pc}),**
- **surowa moc chłodnicza (P_{pc}) zasobnika**

Lokalizacja obszaru: ..... **Granicy NE miasta Kościerzyna**

Charakterystyka poziomu wodonośnego

Nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej :.... 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe

Litologia i stratygrafia : …..... fgpż1Qp4B3

Jednostka hydrogeologiczna (MHP) : …..... **4aQII/Q**

	m_{aquif}	Q_f	ΔT	E_{pc}	P_{pc}
	[m]	[$m^3 \cdot s^{-1}$]	[k]	[GJ]	[MW]
min.	12,0	9,26E-003	20	12059	0,775
śred.	22,0	1,39E-002	20	18088	1,163
maks.	32,0	1,85E-002	20	24117	1,551

Lokalizacja obszaru: ..... **NW miasta Kościerzyna**

Charakterystyka poziomu wodonośnego

Nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej :.... 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe

Litologia i stratygrafia : …..... FgpQp3W1 ?

Jednostka hydrogeologiczna (MHP) : …..... **3bcQI**

	m_{aquif}	Q_f	ΔT	E_{pc}	P_{pc}
	[m]	[$m^3 \cdot s^{-1}$]	[k]	[GJ]	[MW]
min.	5,0	1,85E-003	20	2412	0,155
śred.	16,5	7,41E-003	20	9647	0,620
maks.	28,0	1,30E-002	20	16882	1,086

Lokalizacja obszaru: ..... **Dzielnice SW miasta Kościerzyna**

Charakterystyka poziomu wodonośnego

Nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej :.... 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe

Litologia i stratygrafia : …..... fgpż1Qp4B3

Jednostka hydrogeologiczna (MHP) : …..... **2aQII/Q**

	m_{aquif}	Q_f	ΔT	E_{pc}	P_{pc}
	[m]	[$m^3 \cdot s^{-1}$]	[k]	[GJ]	[MW]
min.	10,000	5,56E-003	20	7235	0,465
śred.	17,500	7,41E-003	20	9647	0,620
maks.	25,000	9,26E-003	20	12059	0,775

Tab. 11- c : Przydatność jednostek hydrogeologicznych do inwestycji LT- ATES :
- wpływ hydrodynamiki podziemnej na efektywność energetycznej systemu

- **bezwymiarowe przesuniecie termiczne zasobnika JMC (δ [%])**

Lokalizacja obszaru: ..... **Granicy NE miasta Kościerzyna**

Charakterystyka poziomu wodonośnego

Nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej :.... 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe
Litologia i stratygrafia : …..... fgpżlQp4B3
Jednostka hydrogeologiczna (MHP) : …..... 4aQII/Q

Bezwymiarowe przesunięcie termiczne zasobników

	m_{aquif}	v : przepływ region. [m·s^{-1}]			D_{TH} [m]			R_{TH}	δ [%]		
	[m]	min.	śred.	maks.	min.	śred.	maks.	[m]	min.	śred.	maks.
min.	12,0	2,08E-007	1,04E-006	1,88E-006	5,2	25,8	46,5	77,4	6,7	33,3	60,1
śred.	22,0	2,08E-007	1,04E-006	1,88E-006	5,2	25,8	46,5	70,0	7,4	36,8	66,4
maks.	32,0	2,08E-007	1,04E-006	1,88E-006	5,2	25,8	46,5	67,0	7,7	38,4	69,4

Lokalizacja obszaru: ..... NW miasta Kościerzyna

Charakterystyka poziomu wodonośnego

Nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej :.... 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe
Litologia i stratygrafia : …..... FgpQp3W1 ?
Jednostka hydrogeologiczna (MHP) : …..... 3bcQI

Bezwymiarowe przesunięcie termiczne zasobników

	m_{aquif}	v : przepływ region. [m·s^{-1}]			D_{TH} [m]			R_{TH}	δ [%]		
	[m]	min.	śred.	maks.	min.	śred.	maks.	[m]	min.	śred.	maks.
min.	5,0	1,34E-007	6,70E-007	1,21E-006	3,3	16,6	30,0	53,6	6,2	31,0	55,9
śred.	16,5	1,34E-007	6,70E-007	1,21E-006	3,3	16,6	30,0	59,0	5,6	28,1	50,8
maks.	28,0	1,34E-007	6,70E-007	1,21E-006	3,3	16,6	30,0	59,9	5,5	27,7	50,0

Lokalizacja obszaru: ..... **Dzielnice SW miasta Kościerzyna**

Charakterystyka poziomu wodonośnego

Nr jednostki geologicznej, typ matrycy skalnej :.... 20, piaski i żwiry wodnolodowcowe
Litologia i stratygrafia : …..... fgpżlQp4B3
Jednostka hydrogeologiczna (MHP) : …..... 2aQII/Q

Bezwymiarowe przesunięcie termiczne zasobników

	m_{aquif}	v : przepływ region. [m·s^{-1}]			D_{TH} [m]			R_{TH}	δ [%]		
	[m]	min.	śred.	maks.	min.	śred.	maks.	[m]	min.	śred.	maks.
min.	10,0	1,30E-007	6,47E-007	1,17E-006	3,2	16,0	28,9	65,7	4,9	24,4	44,1
śred.	17,5	1,30E-007	6,47E-007	1,17E-006	3,2	16,0	28,9	57,3	5,6	28,0	50,5
maks.	25,0	1,30E-007	6,47E-007	1,17E-006	3,2	16,0	28,9	53,6	6,0	29,9	54,0

2.2.2.2 - Przydatność poszczególnych lokalizacji studni

a) *Kościerzyna, dzielnica NE miasta* (jednostka hydrogeologiczna 4aQII/Q)

Utwóry studzienne nr 15 i 16

W tych studniach opróbowany poziom wodonośny został nawiercone na średniej głębokości 7,5 m p.p.t.. Będąc bardzo dostępny jako zaleta, nie zapewnia z innej strony optymalnej izolacji termicznej. W stosunku do wcześniej wymienionych minimalnych wymagań środowiskowych i technicznych zaproponowanych przez Ausseur'a i Sauty'ego (1982), inne parametry profilu geometrycznego i termodynamicznego modelowanego zasobnika JMC ATES są bardzo korzystne (tab. 12a), : miąższość poziomu jest dwa razy większa, objętość ponad 4 razy większa i promień termiczny dłuższe ok.25 m. Surowy potencjał chłodniczy obliczone w tych warunkach byłoby wysoki z ilością magazynowanego chłodu rzędu 25 TJ i surową mocą chłodniczą ponad 1,5 MW (tab. 12b). Przy hipotezie bazowej efektywności energetycznej 70% (w warunkach warstwy wodonośnej stojącej), obliczone tu przesunięcie termicznego w przedziale 20%÷30% (tab.12c), z współczynnikiem redukcyjnym od 0,87do 0,81 znacznie redukuje efektywność energetyczna system. W stosunku do ww surowego potencjału chłodniczego, spodziewa się rzeczywista efektywności energetycznej systemu jest redukowana do ok 0,59 +/- 2%. Z uwagi na duży potencjał chłodniczy surowe, spadek efektowności jest dopuszczalne nawet dla pracy systemu w trybie cyklicznym. Moc chłodnicza modelowanego zasobnika JMC akiej instalacji ATES t wynosiłaby wtedy ok. 0,9 MW. Nie można wykluczać że, w tym przypadku, praca systemu w trybie ciągłym (jednokierunkowym) byłaby bardziej wydajna.

Utwór studzienne nr 17

W porównaniu z poprzednimi lokalizacjami, poziom wód gruntowych są jeszcze bardzie dostępne - na głębokości 3,3 m p.p.t.. , a innej strony mało ekranowane termicznie od powierzchnie. Parametry profilu geometrycznego i termodynamicznego modelowanego zasobnika JMC ATES są bardzo korzystne (tab. 12a) : miąższość poziomu jest ponad dwa razy i pół większa niż minimalna wartość dopuszczalna 12 m, objętość hydrauliczna 5 raz większa i promień termiczny dłuższe o prawie 20 m. Surowy potencjał chłodniczy sięga do prawie 30 TJ, surową mocą chłodniczą do prawie 1,9 MW (tab. 12b). Natomiast przesunięcie termiczne 52% (tab. 12c) zdecydowanie niekorzystnie wpływa na efektywności zasobnika z współczynnikiem redukcyjnym ok. 0,70. W tych warunkach, spodziewa się rzeczywista efektywności energetycznej systemu ok. 49%, a rzeczywistej mocy chłodniczej redukowanej do 0.9 MW. Z tego powodu, oprócz trybu cyklicznego, wymiarowanie modułu w trybie ciągłym (jednokierunkowym) powinno być również rozważane w projektowaniu inwestycji LT-ATES w tej lokalizacji.

b) *Kościerzyna, dzielnica NW miasta* (jednostka hydrogeologiczna 3bcQI)

Utwór studzienny nr 14.

Zalegając na głębokości ponad 55 m p.p.t., nawiercona warstwa wodonośna jest mało dostępna. Profil geometryczny i termodynamiczny modelowanego zasobnika JMC ATES jest bardzo korzystne (tab.12a) : miąższość poziomu jest ponad dwa razy większa niż minimalna wartość dopuszczalna 12 m i objętość hydrauliczna 4 raz większa. Promień termiczny jest również korzystny, jak również bezwymiarowa pokrywa, którą można traktować jak nieskończoną w tym przypadku ($\varepsilon > 4$). Surowy potencjał chłodniczy wynosi ok 25 TJ, surową mocą chłodniczą do ok 1,6 MW (tab. 12b). Przy hipotezie gradientu hydraulicznego 2 ‰ , szacowano przesunięcie termiczne na ok. 11% (tab. 12c), co odpowiada współczynnikowi redukcyjnemu 0,95. W tych warunkach rzeczywista efektywność energetyczna zasobnika JMC

LT-ATES jest stosunkowo wysoka : co najmniej 67% i najwyżej 76%. W tych warunkach, rzeczywista moc chłodnicza może sięgać od 0,9 do 1,1 MW.

c) *Kościerzyna, centrum i dzielnica SE miasta*
(jednostka hydrogeologiczna 5bcQI, zachodni końcowy fragment)

Utwór studzienny nr 13.

Pierwszy nawiercony poziom wodonośny w tej lokalizacji w centrum miasta wykazuje dobre parametry geometryczne i termodynamiczne. Zalegając na głębokości ok. 13 metrów jest bardzo dostępny . Jego miąższość jest o 8 m wyższa od minimalnej zaleconej. Nie posiada natomiast optymalną izolacji termicznej (ε lekko poniżej 4: tab. 12a). Profil geometryczny i termodynamiczny modelowanego zasobnika JMC ATES jest średnio korzystne : kubatura zasobnika jest wyższa o 24.000 m^3 niż minimalna zalecona, promień termiczny lekko krótszy o 8 m niż minimalny zalecony (odpowiednio 68000 m^3 i 55 m wg Ausseur'a i Sauty'ego (1982). Liczby Pe i Λ są również średnio korzystne. W porównaniu z poprzednimi analizowanymi otworami studziennymi, surowy potencjał chłodniczy i surową mocą chłodniczą nie są wysokie : odpowiednio ok. 7,5 TJ i zaledwie pół-megawata Przesunięcie termiczne, które obliczono na wysokości 18% (tab. **c). znacznie wpływałoby na efektywność zasobnika JMC ATES z współczynnikiem redukcyjne 0,89. W tych warunkach, gdzie rzeczywista efektywność energetyczna zasobnika JMC LT-ATES byłaby ograniczona do ok. 65 % , moc chłodnicza byłaby zredukowana do kilkaset megawatów (dokładnie 0,32 MW)

Drugi nawiercony poziom wodonośny posiada dobre parametry geometryczne i termodynamiczne. Zalegając na głębokości ponad 110 m p.p.t. jest natomiast mało dostępny. Surowy potencjał chłodnicze i surowa moc chłodnicza modelowanego zasobnika JMC LT_ATES wynoszą w przybliżeniu odpowiednio 14,5 TJ i 0,8 MW. Z uwagi na bardzo niski gradient hydrauliczny spodziewa się mało znaczącego przesunięcia termicznego zasobnika i w związku z tym korzystnego współczynnika redukcyjnego: ok 80%. W tych warunkach rzeczywista efektywność energetyczna zasobnika JMC LT-ATES może sięgać 70 %. Z punktu widzenia ekonomicznego niska dostępność poziomu nie zachęca ogólnie jego wykorzystania celem energetyczny.

Utwór studzienny nr 12

Wśród trzech poziomów wodonośnych w tej lokalizacji w południowo-zachodniej dzielnicy miasta, tylko najgłębszy było opróbowane. Poziom ten, który zalega la głębokości ponad 200 m p.p.t., jest zbyt cienki i mało produktywne. Nie spełnia wymagań do magazynowania ciepła metodą LT-ATES.

d) *Kościerzyna, zachodnia granica miasta*
(jednostka hydrogeologiczna 2aQII/ wschodni końcowy fragment)

Utwór studzienne nr 11

Wobec wymagań środowiskowych i technicznych zaproponowanych przez Ausseur'a i Sauty'ego (1982) dla lokalizacji przedmiotowych systemów energetycznych nawiercony poziom wodonośny w tej lokalizacji jest atrakcyjny z następujących powodów :

- dostępność, z głębokością zalegania 27 m p.p.t, ;
- miąższość ponad 33 m, tj dwa i pół większa niż minimalna wymagana ;
- objętość hydrauliczna wymiarowanego zasobnika LT-ATES co-najmniej 200 tys. m^3, tj 3 razy więcej niż wymagane minimum (68 tys. m^3) ;

Na dodatek modelowany zasobnik JMC LT-ATES w tym poziomie wodonośny wykazuje dobry parametry termodynamiczne, wysoki potencjał chłodniczy i umiarkowane przesunięcie termiczne:

- promień termiczne 55 m (minimum wymagane) ;

- wartość optymalna liczb Pe Λ i ε ;
- surowy potencjał i chłodniczy ok. 17 TJ ;
- surowa moc chłodnicza ok. 1 MW ;
- umiarkowane przesunięcie termiczne ok 25%.

Zakładając bazową efektywność zasobnika 80% i stosując związany z przesunięciem termicznym współczynnik redukcyjny 0,85 szacuje się, że efektywność magazynowania ciepła w tych warunkach wynosi ok. 68%, a rzeczywista moc JMC LT-ATES ok. 0,7 MW.

§

Tab. **- a : Przydatność poszczególnych lokalizacji studni do inwestycji LT- ATES : - profil geometryczny i termodynamiczny zasobnika JMC

Promień termiczny (R_{TH}), **Liczba Peclet'a** (*Pe*) (Stosunek konwekcja/dyfuzja)
Liczba Λ (wymiany ciepła zasobniki/pokrywa),
Liczba ε (bezwymiarowa miąższość pokrywy)

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: dzielnica północno-wschodnia miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **4AQII/Q : Południowy końcowy fragment**

Numer otworów		Profil geometryczny i termodynamiczny zasobników						
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	V	R_{TH}	*Pe*	Λ	ε
		[m]	[m]	[m³]	[m·s⁻¹]	[-]	[-]	[-]
15	10091UW	8	23,5	311904	81,4	227,6	63,3	2,0
16	9905UW	7	26	314784	77,7	207,6	77,5	1,8
17	10091UW	3,3	31,7	349056	74,1	188,8	115,2	0,8

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: dzielnica północno-zachodnia miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **3bcQI : Wschodni końcowy fragment**

Numer otworów		Profil geometryczny i termodynamiczny zasobników						
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	V	R_{TH}	*Pe*	Λ	ε
		[m]	[m]	[m³]	[m·s⁻¹]	[-]	[-]	[-]
14	17/190	56	29,1	304704	72,3	179,6	97,1	14,1

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: Centrum i dzielnica południowo-zachodnia miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **5cQI : zachodni końcowy fragment**

Numer otworów		Profil geometryczny i termodynamiczny zasobników						
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	V	R_{TH}	*Pe*	Λ	ε
		[m]	[m]	[m³]	[m·s⁻¹]	[-]	[-]	[-]
13	17197	12,7	20,1	92160	47,8	78,6	46,3	3,2
13	17197	119,7	29,3	147168	50,1	86,1	98,4	30,1
12	8625PG	122,4	12,6	0	0,0	#DZIEL/0!	#DZIEL/0!	0,0
12	8625PG	150,4	14,6	0	0,0	#DZIEL/0!	#DZIEL/0!	0,0
12	8625PG	231,8	7,2	8640	24,5	20,6	5,9	58,4

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: Zachodnia granica miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **2aQII/Q Wschodni końcowy fragment**

Numer otworów		Profil geometryczny i termodynamiczny zasobników						
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	V	R_{TH}	*Pe*	Λ	ε
		[m]	[m]	[m³]	[m·s⁻¹]	[-]	[-]	[-]
11	17/348	27,3	> 33,3	201600	55,0	103,8	127,1	6,9

Tab. **- b : Przydatność poszczególnych lokalizacji studni do inwestycji LT- ATES :
- surowa przydatność energetyczna zasobnika JMC

- **ilość magazynowanego chłodu (E_{pc}),**
- **surowa moc chłodnicza (P_{pc}) zasobnika LT-ATES**

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: dzielnica północno-wschodnia miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **4aQII/Q : Południowy końcowy fragment**

Numer otworu		Poziom wodonośny			Surowy potencjał chłodniczy		
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	Q_f	ΔT	E_{pc}	P_{pc}
		[m]	[m]	[$m^3 \cdot s^{-1}$]	[k]	[GJ]	[MW]
15	10091UW	8	23,5	2,01E-002	20	26119	1,679
16	9905UW	7	26	2,02E-002	20	26360	1,695
17	10091UW	3,3	31,7	2,24E-002	20	29230	1,879

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: dzielnica północno-zachodnia miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **3bcQI : Wschodni końcowy fragment**

Numer otworu		Poziom wodonośny			Surowy potencjał chłodniczy		
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	Q_f	ΔT	E_{pc}	P_{pc}
		[m]	[m]	[$m^3 \cdot s^{-1}$]	[k]	[GJ]	[MW]
14	17/190	56	29,1	1,96E-002	20	25516	1,641

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: Centrum i dzielnica południowo-wschodnia miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **5cQI : zachodni końcowy fragment**

Numer otworu		Poziom wodonośny			Surowy potencjał chłodniczy		
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	Q_f	ΔT	E_{pc}	P_{pc}
		[m]	[m]	[$m^3 \cdot s^{-1}$]	[k]	[GJ]	[MW]
13	17197	12,7	20,1	5,93E-003	20	7717	0,496
13	17197	119,7	29,3	9,46E-003	20	12324	0,792
12	8625PG	122,4	12,6	0	20	0	0,000
12	8625PG	150,4	14,6	0	20	0	0,000
12	8625PG	231,8	7,2	5,56E-004	20	724	0,047

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: Zachodnia granica miastamiasta
- w jednostce hydrogeologicznej **2aQII/Q Wschodni końcowy fragment**

Numer otworu		Poziom wodonośny			Surowy potencjał chłodniczy		
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	Q_f	ΔT	E_{pc}	P_{pc}
		[m]	[m]	[$m^3 \cdot s^{-1}$]	[k]	[GJ]	[MW]
11	17/348	27,3	> 33,3	1,30E-002	20	16882	1,086

Tab. **- c : Przydatność poszczególnych lokalizacji studni do inwestycji LT- ATES:
- wpływ hydrodynamiki podziemnej na efektywność energetycznej systemu:

Bezwymiarowe przesuniecie termiczne zasobnika JMC (δ [%])

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: dzielnica północno-wschodnia miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **4AQII/Q : Południowy końcowy fragment**

Numer otworu		Poziom wodonośny		Bezwymiarowe przesunięcie termiczne zasobnika (δ [%])						
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	Gradient hydrauliczny		k_f	v	D_{TH}	R_{TH}	δ [%]
		[m]	[m]	Kierunek	i,[-]	[m·s^{-1}]	[m^3·s^{-1}]	[m]	[m]	[%]
15	10091UW	8,0	23,5	NNE-SSW	4,00E-003	1,76E-004	7,04E-007	17,4	81,4	21,4
16	9905UW	7,0	26	NNE-SSW	4,00E-003	2,27E-004	9,07E-007	22,4	77,7	28,9
17	10091UW	3,3	31,7	NNE-SSW	4,00E-003	3,90E-004	1,56E-006	38,6	74,1	52,0

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: dzielnica północno-zachodnia miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **3bcQI : Wschodni końcowy fragment**

Numer otworu		Poziom wodonośny		Bezwymiarowe przesunięcie termiczne zasobnika (δ [%])						
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	Gradient hydrauliczny		k_f	v	D_{TH}	R_{TH}	δ [%]
		[m]	[m]	Kierunek	i,[-]	[m·s^{-1}]	[m^3·s^{-1}]	[m]	[m]	[%]
14	17/190	56,0	29,1	NNE-SSE	2,00E-003	1,60E-004	3,19E-007	7,9	72,3	10,9

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: Centrum i dzielnica południowo-zachodnia miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **5cQI : zachodni końcowy fragment**

Numer otworu		Poziom wodonośny		Bezwymiarowe przesuniecie termiczne zasobnika (δ [%])						
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	Gradient hydrauliczny		k_f	v	D_{TH}	R_{TH}	δ [%]
		[m]	[m]	Kierunek	i,[-]	[m·s^{-1}]	[m^3·s^{-1}]	[m]	[m]	[%]
13	17197,0	12,7	20,1	NNE-SSE	3,00E-003	1,15E-004	3,44E-007	8,5	47,8	17,8
13	17197,0	119,7	29,3	NNE-SSE	1,00E-003	5,44E-005	5,44E-008	1,3	50,1	2,7
12	8625PG	122,4	12,6	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
12	8625PG	150,4	14,6	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
12	8625PG	231,8	7,2	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

Lokalizacja :
- w Kościerzynie: Zachodnia granica miasta
- w jednostce hydrogeologicznej **2aQII/Q : Wschodni końcowy fragment**

Numer otworu		Poziom wodonośny		Bezwymiarowe przesunięcie termiczne zasobnika (δ [%])						
Z mapy MHP	z banku hydro	Strop p.p.t.	m_{aquif}	Gradient hydrauliczny		k_f	v	D_{TH}	R_{TH}	δ [%]
		[m]	[m]	Kierunek	i,[-]	[m·s^{-1}]	[m^3·s^{-1}]	[m]	[m]	[%]
11	17/348	27,3	> 33,3	NNE-SSE	3,00E-003	1,90E-004	5,69E-007	14,1	55,0	25,6

e) Częściowe wnioski i obserwacje

Przydatność energetyczna różnych terenów kościerskiej wyspy morenowej do magazynowania chłodu i ciepła metodą LT-ATES przedstawiono w rys. 21. Wyniki powyższe potwierdzają wysoką zmienność nie tylko przestrzenną, ąle również pionową warunków magazynowania chłodu i ciepła metodą LT-ATES w kościerskiej wyspie morenowej. Zmienność stwierdzono nawet w obrębie poszczególnych jednostek hydrogeologicznych. Można odróżnić dwie główne kategorie terenów:

- Tereny nisko położone, np. poniżej 175 m n.p.m., gdzie grubość pokrywy gliniastej pierwszego poziomu wodonośnego jest powszechnie zredukowana do kilku metrów. W tej kategorii terenów głównym czynnikiem różnicowania w stosunku do możliwości stosowania metody LT-ATES nie jest grubością pierwszego poziomu wodonośnego, ponieważ większość terenów spełnia podstawowe wymaganie 12 m, ale spadek hydrauliczny zwierciadła wód tego poziomu, który lekko naśladuje spadek topograficzny.
- Tereny wysoko położone np. powyżej 175 m n.p.m., gdzie ta grubość pokrywy przekracza 10 m. W drugiej kategorii terenów głównym czynnikiem różnicowania jest miąższość warstwy wodonośnej w stosunku do głębokości zalegania tego poziomu, ponieważ najbardziej wpływa to na efektywność nie tylko energetyczną ale również ekonomiczną systemów.

Dotyczące wybranego tu wzorowego układu hydraulicznego, wyniki pokazują również, że w przypadku kościerskiej wyspie morenowej możliwości magazynowania ciepła w Ziemi metodą LT-ATES powinne być rozpatrywane, nie tylko odnośnie trybu cyklicznego, ale również trybu ciągłego.. Dotyczy szczególnie pierwszego poziomu wodonośnego, które wykazuje najwyższy surowy potencjał chłodniczy a jednocześnie niekorzystną hydrodynamikę dla cyklicznych układów hydraulicznym, mianowicie wysoką prędkość przepływu wód podziemnych. W przykładzie studni nr 17, gdzie ww prędkość skutkowałaby przesunięciem termicznym ponad 50%, szacowano, że współczynnik odzysku chłodu (lub ciepła) jednostkowego modułu cyklicznego (JMC LT-ATES) byłoby poniżej 50%. Wysokie przesunie termiczne jest natomiast raczej korzystne dla instalacji wymiarowanej w trybie ciągłym. Z tego powodu należy więc w tym przypadku rozważyć również tą drugą opcję.

Surowy potencjał chłodnicze nawierconych warstw wodonośnych w przedmiotowym obszarze waha w granicach 0,7÷30 TJ. Najniższa wartość stwierdzono dla bardzo cienkiej (miąższość ok. 7 m) i głębokiej między-morenowej warstwy wodonośnej udokumentowanej w jednostce hydrogeologicznej 5bcQI na głębokości ok. 210 m p.p.t. Najwyższą wartość stwierdzono dla ponad 30-metrowej sandrowej warstwy występującej pod try-metrową pokrywą w jednostce hydrogeologicznej 4aQII/Q. Jako najbardziej reprezentatywny surowy potencjał energetyczny Jednostkowego Modułu Cyklicznego LT-ATES dla przedmiotowego obszaru można przyjąć:

- surowy potencjał chłodniczy E_{pc} w zakresie 7÷25 TJ ;
- surowa moc chłodnicza P_{pc} w zakresie 0,5÷1,7 MW.

Odnośnie powyższego, stosując współczynnik odzysku chłodu (lub ciepła) rozpatrywanych systemów energetycznych w granicach 0,6÷0,7, można podać w przybliżeniu rzeczywisty potencjał energetyczny:

- rzeczywisty potencjał chłodniczy E_{pc} w zakresie 4÷18 TJ ;
- rzeczywista moc chłodnicza P_{pc} w zakresie 0,3÷1,2 MW.

Objaśnienia energetyczne :
przydatność różnych lokalizacji do magazynowania chłodu i ciepła metodą LT-ATES

Przydatność energetyczna		Poziom wodonośny odniesienia		Tryb pracy układu hydrau--licznego systemu	Potencjał chłodniczy Jednostkowego Modułu (*)		Przesunięcie termiczne modelowanego zasobnika *m* ; [%]
Symbol (kolor), nr otworu	Klasa przydat -ności	Głęb. Stropu [p.p.t.]	Miąż--szość, [m]		Potencjał surowy [TJ]	Moc rzeczywista [MW]	
15, 16, 17	Ia	3÷8	23÷32	Do ustalenia	25÷30	0,9	*17÷38* ; 21÷52
11	Ib	27	> 30	Cykliczny	>17	>0,9	*14* ; 25
14	II	55	55	Cykliczny	25	1,0÷1,2	*8* ; 10 %
13	III	13	20	Cykliczny	7	0,3	*8,5* ; 18 %
12	IV	>120	<15	Cykliczny	7	(< 0,5)	bd

Rys. 21: Przydatność energetyczna różnych lokalizacji w kościerskiej wyspie morenowej do magazynowania chłodu i ciepła metodą LT-ATES
(źródło danych hydrologicznych: KRECZKO A,. KOZERSKI B., MHP, PIG, 2007)

Przy ocenie efektywności ekonomicznej inwestycji w przedmiotowych systemach energetycznych w omówionym obszarze, dostępność miąższość i współczynniki filtracji poziomu wodonośnego mają jednak największe znaczenie. Dotyczy to szczególnie obszarów miejskich jak Kościerzyna, gdzie istnieje wysoki popyt na chłód i ciepło. Mimo kiepskiej efektywności energetycznej Najbardziej perspektywiczne są pod tym kątem lokalizacje studni nr 15, 16 i 17 w południowym końcowym fragmencie jednostki hydrogeologicznej 2aQII/Q, z

uwagi wysoki potencjał chłodniczy wód sandrowych. Jak podano wcześnie, ocena efektywności ekonomicznej, należy w tym przypadku analizować w szerokim ujęciu metody LT-ATES.

Wśród analizowanych terenów, zachodnia dzielnica miasta, gdzie znajduje się studnia nr 11 pod szpitalem specjalistycznym, stanowi najbardziej perspektywiczny teren dla magazynowania chłodu i ciepła metodą LT-ATES. Rzeczywiście teren spełnia podwójne wygadania dla lokalizacji sezonowych systemów LT-ATES pracujących w trybie cyklicznym:

- efektywność energetyczna, dzięki istniejącej w terenie płytkiej (ok. 30 m p.p.t.), rozbudowanej a jednocześnie dobrze ekranowanej termicznie warstwie wodonośnej. Na dodatek warstwa posiada parametry zbiornikowe, jedynym słabym punktem może być niewielka ale znacząca prędkość przepływu warstwy 18 $m \cdot r^{-1}$, tj wartość średnia dla warstw stojących ($10 \div 50$ $m \cdot r^{-1}$ wg Kangas i Lund, 1994);
- efektywność ekonomiczna dzięki zlokalizowanym w terenie dwom dużym obiektom użyteczności publicznej będących potencjalnych odbiorców chłodu i ciepła, są to odpowiednio szpital specjalistyczny i pływalnia z Aqua Centrum.

Z punktu widzenia efektywności ściśle energetycznej i odnośnie studni nr 14 z byłych zakładów mięsnych dzielnica północno-zachodnia miasta jest najbardziej perspektywicznym terenem. Warstwa wodonośna nawiercona na głębokości ok. 55 m p.p.t. w tym rejonie wykazuje wysoki potencjał chłodniczy. Na dodatek niską hydrodynamikę panująca w tej głębokości sprawia, że współczynnik odzysku ciepła przy eksploatacji magazynów LT-ATES byłby również wysoki. Z uwagi na niską dostępność warstwa nie może być jednak wyznaczona jako cel priorytetowy wierceń rozpoznawczych pod omówione magazyny.

Możliwości stosowania metody LT-ATES w obszarach zdegradowanych zostały już rozważane w Polsce (Malina i Bujak, 2017). W przypadku kościerskiej wyspy morenowej możliwości skojarzenia tej metody z remediacją wód podziemnych może znaleźć zastosowania w końcowy fragment jednostki hydrogeologiczne 5cQI. Rzeczywiście, jak podano wcześnie, w tym rejonie analizowanego mikro regionu najpłytszy poziom wodonośne został wycofany z Głównego Użytkowego Poziomu Wodonośnego z powodu złej jakości wód. Odnośnie tego rejonu, analiza potencjału energetycznego tego poziomu w oparciu o dane archiwalne studni nr 13 potwierdziła, że spełnia on prawie wszystkie podstawowe wymagania sezonowe magazynowania chłodu i ciepła omówioną metodą. Mimo nieoptymalnej izolacji termicznej i rzeczywistego potencjału chłodniczego ograniczonego do kilkuset megawatów ten poziom jest, więc, perspektywiczny z zastrzeżeniem skojarzenia przedmiotowej metody energetycznej z remediacją wód podziemnych.

§

Wnioski

Kościerska wyspa morenowa, jako teren stolicy ekonomicznej Kaszub, jest obszarem strategicznym dla rozwoju odnawialnych źródeł energii. Jako fragment strefy kontaktu między Pojezierzem Kaszubskim i Borami Tucholskimi jest to wielkim płatem morenowym tworzące złożone ale unikalne warunki geoenergetyczne. Oceniając potencjał termiczny tego obszaru przypominano najpierw możliwości pozyskiwania ciepła Ziemi konwencjonalnymi metodami termogeologii stosowanej (tzw geotermia niskotemperaturowa). Oprócz ww wyspy morenowej, uwzględniono wtedy równiej potencjał termiczny sąsiadującej kościerskiej równinie sandrowej. Odnośnie kościerskiej wyspy morenowej, opierano się na poprzedniej i specyficznej pod tym kątem analizy typologicznej gruntów tego regionu Pomorza prowadzonej przez Kubskiego i Lemoine w 2011 r.. Z tej poprzedniej analizy wynikało, że potencjał termiczny płytkich gruntów do głębokości ok. 70 m p.p.t. jest średni: waha się w granicach 35÷45 $W \cdot mb^{-1}$, tj jednostkowa moc poboru ciepła ma metr bieżący tzw. "sondy geotermalnej" instalacji GPC rodzaju GSHP (GPC solanka-woda).

Przy ocenie potencjału termicznego kościerskiej równinie sandrowej, pominęło potencjał terenów znajdujących się w strefie aeracji, ponieważ ta strefą, która jest bardzo rozwinięta poza obniżeniami rynnowymi w terenach sandrowych, nie posiada dobrych parametrów termicznych: niska przewodność cieplna suchych piasków i żwirów ogranicza drastycznie zasię poboru ciepła wokół sond. Opierając się wtedy wyłącznie na potencjału termicznym terenów ze strefy saturacji, obliczono potencjał na bazie wydajności eksploatacyjnej nawierconych i opróbowanych poziomów wodonośnych z otworów archiwalnych. W praktyce obliczono tu moc strumienia grzewczego z górnego źródła ciepła studziennej instalacji GWHP (GPC woda-woda) pracującej przy różnicy temperatury 4 stopni Kelwina między górnym i dolnym źródłem ciepłą i sezonowego współczynnika efektywności instalacji (SPF) 3,3, jako dwie hipotezy wejściowe. Z wyników obliczeń wynika, że rząd wielkości potencjału termicznego płytkich wód podziemnych kościerskiej równiny sandrowej waha się od ok 30 kW do prawie 0,5 MW megawat w zależności od lokalizacji i głębokości rozpatrywanego poziomu wodonośnego.

Potencjał, o której mowa, jest bardziej różnicowany w pierwszym poziomie wodonośnym, gdzie wody sandrowe i wody gruntowe kształtują razem jednolity poziom o zwierciadle raczej swobodnym. Bardzo perspektywiczne są pod tym kątem możliwości wyrobiska pokapalniane powstałe z eksploatacji kruszywa, i to z dwóch powodów. Po pierwsze, w terenach podanych do odkrywkowej eksploatacji górniczej przypowierzchniowe grunty maja z reguły bardzo dobre parametry zbiornikowe i filtracyjne. Po drugie, ta eksploatacja górnicza polepsza dostęp do wód podziemnych. W perspektywie długoterminowej i oczywiście pod warunkiem odpowiedniej rekultywacji, eksploatacja kruszywa, jako pierwszy etap przekształtowania krajobrazu, może więc podnieść walor turystyczny i nawet ekologiczny terenów sandrowych z uwagi na powstałe pokopalniane zbiorniki wodne. W przypadku kościerskiej równinie sandrowej podano jako przykład koncesji zagospodarowanej przez Zakład Eksploatacji Kruszywa w Rybakach. Z wyniku niniejszej analizy potencjał termiczny wód sandrowych tej miejscowości wynosi ok. 250 kW. Potencjał, który można porównać z mocą znamionową wzorowej instalacji geotermalnej termów uzdrowiska Cieplice Śląskie — tj ok. 300 kW, może znaleźć zastosowanie w balneologii, tym razem rekreacyjno-zdrowotnej, po rekultywacji terenów. W tym sensie wyrobiska pokapalniane powstałe z eksploatacji kruszywa nie powinno być traktowane tylko jako obszary zdegradowane

wymagające rekultywacji, ale również jako rezerwaty energetyczne strategiczne dla rozwoju branży spa.

Potencjał termiczny wód wgłębnych kościerskiej równiny jest statystycznie wyższy niż wyżej opisany potencjał wód sandrowych: przekraczając powszechnie 100 kW wynosi prawie pół MW w Grzybowie. Wśród analizowanych lokalizacji, Płocice wykazuje najlepsze warunki eksploatacyjne pod kątem dostępność tych wód i bardzo korzystne współczynniki filtracji. Istotny jest również profil naporowy tych wód i związana z nim niska prędkość przepływu. Oprócz wyżej omówionej konwencjonalnej metody pozyskiwania ciepła z wód podziemnych, należy w tym przypadku rozważyć również możliwości stosowania wzmocnionych układów energetycznych, mianowicie układów LT-ATES, w zależności od zapotrzebowań energetycznych istniejące na miejscu.

Co się tyczy niekonwencjonalnych metod termogeologii stosowanej skupiono się w niniejszej pracy na możliwości sezonowego magazynowania chłodu i ciepła w warstwach wodonośnych metodą niskotemperaturową (seasonal LT-ATES). Przy ocenie możliwości stosowania tej metody energetycznej opierano się na mocy chłodniczej modelowanego jednostkowego modułu cyklicznego wielootworowego układu hydraulicznego ATES (JMC-ATES). Przez Jednostkowy moduł cykliczny rozumie się dublet typu "stała studnia ciepła - stała studnia zimna", pracujący w półrocznym trybie cyklicznym (ang. bidirectional system ATES). Zasada pracy systemu polega na magazynowaniu chłodu do wycelowanej warstwy wodonośnej w okresie zimowym i częściowym odzyskiwaniu tego chłodu w okresie letnim na potrzeby chłodzenia-klimatyzacji. Magazynowanie i odzyskiwanie ciepła przebiegają w ten sam sposób z sześciomiesięcznym przesunięciem. Eksploatacja tego systemu bywa się symetrycznie z równą pojemność magazynu ciepłego i magazynu zimnego — Pojemność zależy tu od miąższości wycelowanego poziomu wodonośnego i promienia termicznego stymulowanego w nim magazynu. Ponieważ efektywność energetyczna systemów jest stosunkowo niższa w trybie ogrzewania, więc ich potencjał energetyczny jest umownie wyrażone w mocy chłodniczej. Jako baza obliczeniowa potencjału i mocy chłodniczej ustalono często spotykana w tych systemów różnica temperatury między zasobnikiem cieplnym i zasobnikiem zimnym na 20 K, na wzór pracujących w zakresie temperatury 5÷25°C standardowych systemów w Holandii. W porównaniu z konwencjonalnymi instalacjami GPC woda-woda (GWHP) systemy LT-ATES, które są najczęściej wielootworowymi systemami, posiadają wyższą moc energetyczną— ok. 1 lub nawet 2 rzędy wielkości, z mocą chłodnicą w zakresie 1÷20 MW.

Kościerska wyspa morenowa, jako serca ekonomicznego Kaszub, jest obszarem strategicznym dla rozwoju systemów LT-ATES: licząc w mieście ponad 20 tys. mieszkańców, posiada w swoim terenie dużych konsumentów chłodu i ciepła w sektorze mieszkalnictwa, użyteczności publicznej i sektorze usługowym. Kościerska równina sandrowa, zaś, z uwagi niskie zaludnienie i specjalizację ekonomiczną w turystyce wypoczynkowo-poznawczo-rekreacyjnej, nie jest obszarem strategicznym pod tym kątem. Z tego powodu, w niniejszej ocenie, skupiono się na kościerską wyspę morenową, gdzie kopalny system sandrowy, który podściela pokrywę gliniastą, tworzy dobre warunki do magazynowania ciepła w Ziemi metodą LT-ATES: będąc rozbudowany i powszechnie nawodnione system kształtuje miąższą, przeważnie lekko naporową nie zbyt płynącą, warstwę wodonośna dobrych współczynnikach filtracji. Najbardziej perspektywiczna do inwestycji LT-ATES jest zachodnia część miasta, gdzie grubość płatu w wielu miejscach przekracza 15 m, ponieważ zapewnia to najlepszą izolację termiczną warstwy wodonośnej. Na dodatek istnienie szpitalu specjalistycznego i dużej pływalni na miejscu, — są to one typowymi beneficjentami omówionej technologii w świecie, może uzasadnić inwestycję tego

rodzaju w tym rejonie miasta. Ponadto, z zastrzeżeniem wyczerpującej oceny wpływ na środowisko, metoda LT-ATES mogłoby być skutecznie kojarzona z remediacją wód podziemnych w dwóch kategorii terenów : tereny szczególnie narażone na skażenie wód gruntowych podczas podtopień i tereny zdegradowane z powodu akumulacji zanieczyszczeń. Pierwsza kategoria, obejmuje tereny, gdzie wody podziemne są mało ekranowane od powierzchni. Takie tereny występują w północnej i północno-wschodniej części kościerskiej wyspy morenowej, stanowią głównymi i najbliższymi do miasta obszarami zasilania. Szczególnie narażone na skażenie wód gruntowych jest również położone w centrum wyspy morenowej południkowe obniżenie rynnowe: ta główna wewnętrzna baza drenażu na dodatek sprzyja migracji skażeń do południowych i południowo-wschodnich krawędź wyspy morenowej w kierunku silnie zanieczyszczonego jeziora Wierzyskiego. Druga kategoria, obejmuje tereny, które nie posiada już od dawna Głównego Użytkowego Poziomu Wodonośnego z powodu zanieczyszczenia ich wód podziemnych. Takie tereny, które występują w centralno-południowej- w południowej i południowo-wschodniej części kościerskiej wyspy morenowej, stanowią strefami akumulacji wyżej wspominanych zanieczyszczeń. Będąc mało zasobne w wody podziemne, te tereny mało kwalifikują się do magazynowania ciepła omówioną metodą. W tym przypadku, zważywszy pierwszy poziom wodonośne jest jednak dobrze ekranowany od powierzchni, możliwość stosowania metody LT-ATES w tym rejonie kościerskiej wyspy morenowej może być rozpatrywana tylko w ramach programu dekontaminacji płytkich warstw wodonośnych. Należy przypominać, że to remediacja wód podziemnych, a nie popyt na "zieloną energetyką" dała decydują impuls rozwojowi branży ATES w Holandii, która posiada obecnie ok. 2,5 tys. instalacji tego rodzaju, co reprezentuje 90% instalacji świata.

Odnośnie więc kościerskiej wyspy morenowej, wprowadzono ocenę ilościową możliwości magazynowania ciepła omówioną metodą w dwóch głównych etapach. W pierwszym etapie rozpatrywano możliwości z perspektywy krajowej, wykorzystując wtedy niedawną pracę Skrzypczaka i Miecznika (2019), jako jedyną dotychczasową analizą ilościową tego rodzaju. Praca ta obejmowała całe terytorium Polski i oparła się na automatycznym przetwarzaniu danych pobranych z 1324 otworów studziennych z krajowej. Obejmowała 172 Jednolitych Części Wód Podziemnych (JCWPd). W JCWPd, gdzie znajduje się kościerska wyspa morenowa, przetwarzano danach kilkanaście otworów studziennych, w tym tylko jeden w gminie Kościerzynie. Studnia ta znajduje się w południowej strefy krawędziowej kościerskiej wyspy morenowej. Według tej oceny kościerska wyspa morenowa, nie byłaby przydatna do inwestycji w systemach LT-ATES. Same miasto spełnia ogólne ekonomiczne warunki z gęstość zaludnienia rzędu 1500 os./km^2. Natomiast podstawowe warunki hydrogeologiczne nie byłyby spełnione : jedyna znacząca warstwa wodonośna udokumentowana w karcie wyżej wspominanej studni PIG jest zdecydowanie za głęboka i za cienka. Dalsze etapy oceny pokażą jednak, że w z punktu widzenia termogeologii, stwierdzone warunki hydrogeologiczne w puncie obserwacyjnym sieci badawczej Polskiego Instytutu Geologicznego, nie są zawsze reprezentatywne z warunków panujących na skalę jednostki geomorfologicznych. W tym przypadku okaże się, że warunki stwierdzone w wyżej omówionym punkcie bardzie reprezentatywne z należącej do Borów Tucholskich kościerskiej równiny sandrowej, tj obszar ogólnie mało przydatny do magazynowania ciepła metodą LT-ATES, niż z kościerskiej wyspy morenowej, na którą się skupi.

W drugim etapie rozpatrywano możliwości stosowania przedmiotową metodę z perspektywy mezo- i mikroregionalnej, za pomocą Mapy Hydrogeologicznej Polski, w tym przypadku danych arkuszu Kościerzyna i załączonych z nim objaśnień opublikowanych 2007 r.. Oceną wprowadzono najpierw na bazę charakterystyki 4 jednostek hydrogeologicznych opisanych w sposób syntetyczny w objaśnieniach, potem na bazie

danych archiwalnych poszczególnych otworów studziennych, jest ich siedem, uznanych przez autorów mapy jako reprezentatywne z warunków hydrogeologicznych panujących w kościerskiej wyspy morenowej. Przy ocenie przydatności terenów do stosowania metodę LT-ATES wykorzystano protokół zalecony przez francuską służbę geologiczną BRGM w latach 80-tych ub.w.. Potencjał energetyczny wybranych do analizy poziomów wodonośnych oceniono odnośnie modelowanego dubletu zasobników wcześniej omówionego modułu JMC-ATES). Symulacja komputerowa stymulacji termicznej zasobników modułu wykonano z zgodnie z zaleceniami ww. służby geologicznej (Gringarten i in. 1979, Ausseur i Sauty, 1982) w zakresie charakteryzacji geometrycznej i termodynamicznej stymulowanych. Jako wskaźnik potencjał energetyczny, wprowadzono tu pojęcie surowego potencjału chłodniczego i surowej mocy chłodniczej Jednostkowego Modułu Cyklicznego. Przez surowy potencjał chłodniczy modułu JMC-ATES rozumie się tu ilość chłodu, którą można przenieść — a nie magazynować *sensu stricto*, do zimnej strefy w ciągu pół cyklu termodynamicznego trwającego w przypadku 6 miesięcy, na bazie różnicy temperatury 20 K między ciepłą a zimną strefą, zgodnie z wspominanym wcześniej standardem dla systemów energetycznego tego typu. Surową moc chłodnicza Jednostkowego Modułu Cyklicznego, obliczono według tych samych zasad jak poprzednio.

Odnośnie jednostek hydrogeologicznych występujących w kościerskiej wyspy morenowej obliczono w przybliżeniu potencjał i surowa moc chłodnicza JMC LT-ATES odpowiednio granicach 2,5÷25 TJ i 0,15÷1,50 MW. Przy hipotezie współczynnika odzysku energii cieplnej 0,5 i w przypadku zachodniej części tego płatu morenowego, która jest najbardziej perspektywiczna, oszacowano rzeczywisty potencjał chłodniczy JMC-ATES na wysokości 5 TJ i moc chłodnicza na o 0,6 MW. W tych warunkach, wg holenderskiego schematu rozwojowego branży LT_ATES, optymalna efektywność ekonomiczna inwestycji tego rodzaju byłaby w tych warunkach osiągalną poprzez instalacji co najmniej 6-otworowych o łącznej mocy chłodniczej co najmniej 1,5 MW. W stosunku do podanego wcześniej zakresu mocy chłodniczej przedmiotowych systemów energetycznych — tj od 1 do 20 MW, oszacowany tu potencjał jest raczej skromny. Wnioskuje się, że kościerska wyspa morenowa, jest domeną mikro-instalacji LT-ATES.

W analizie dokumentacji archiwalnej poszczególnych lokalizacji otworów studziennych reprezentatywnych z przedmiotowego płatu morenowego podkreślono wysoką zmienność pionową warunków hydrogeologiczne i wpływ rzeźby na krążenie płytkich wód podziemnych. W stosunku do wysokości bezwzględniej ok. 175 m n.p.m, wyróżniono dwie kategorie terenów :

- tereny wysoko położone gdzie wpłat morenowy ma ponad dziesięciometrową grubość. Stanowią one najbardziej adekwatnymi terenami dla lokalizacji typowych systemów energetycznych LT-ATES w rozumieniu systemów pracujących w sezonowym trybie cyklicznych i jednoznacznie przeznaczonych do produkcji chłodu i ciepła i to z dwóch głównych powodów : - po pierwsze, ekranowanie termiczne najpłytszych wód podziemnych miąższą pokrywą gliniastą znacznie obniża straty termiczne - po drugie sama konfiguracja geologiczna sprawia, że są te wody przeważnie naporowe a z związku z tym mało płynące lub stojące. Oba warunki korzystnie wpływają na proces magazynowania energii cieplnej w warstwie wodonośnej : - pierwsze dzięki ograniczeniu strat termicznych drogą przewodności cieplnej, - drugie dzięki ograniczeniu przesunięcie termiczne stymulowanych zasobników, co minimalizuje straty termiczne poprzez dyfuzją cieplną. Zachodnia dzielnica miasta Kościerzyna, gdzie znajdują się szpital specjalistyczny i duża pływalnia stanowi najbardziej perspektywicznym terenem dla magazynowania chłodu i ciepła metodą LT-ATES. W tej lokalizacji surowy potencjał termiczny JMC LT-ATES może przekraczać 17 TJ, rzeczywista moc chłodnicza rzędu 1 MW przy umiarkowanym przesunięciu termicznych 14 m z stosunku do promienia termicznego zasobnika JMC 55 m.

- tereny nisko położone gdzie wpłat morenowy jest raczej cienki, z grubością powszechnie kilkumetrową, maksymalną 10 m. Odnośnie będących najbardziej efektywnych cyklicznych układów hydraulicznych LT-ATES przydatność tych terenów do magazynowania ciepła omówioną metodą nie została zatwierdzona. Rzeczywiście, mimo surowego potencjału chłodniczego JMC LT-ATES sięgający miejscami 30 TJ na przykładzie północnej i północno-wschodniej części wyspy morenowej, te tereny nisko położone wykazują złożone, raczej nie typowe, warunki do stosowania metody w różnych powodów. Niskie ekranowanie pierwszego poziomu wodonośnego od powierzchni jak również niemała prędkość przepływu wód w tym poziomu z pewnością mogą utrudnić proces magazynowania. Poza tym w tych warunkach wymiarowanie układu hydraulicznego systemów LT-ATES może okazać się korzystniejsze niż systematyczne stosowanie tryb cykliczny. Należałoby na dodatek analizować możliwości skojarzenia metody magazynowania chłodu i ciepła z monitoringiem lub/i mediacją wód podziemnych. Ta ostania opcja może zależć zastosowania min. w południkowym obniżeniem rynnowym, który przebiega w centrum omówionego płatu morenowego, ponieważ to obniżenie jest naturalnie wrażliwe na skażenia wód podziemnych. Opcja może również okazać się ekonomicznie skuteczna dla oczyszczenia wód podziemnych wycofanych z Główego Użytkowego Wodonośnego. W tym niniejszym przypadku opcja ta miałoby racja bytu jako wariant energetyczny programu oczyszczenia wód gruntowych południowo-wschodniej fragmentu kościerskiej wyspy morenowej.

W porównaniu z pierwszym etapem, drugi etap prowadzonej tu oceny ilościowej możliwości magazynowania ciepła metodą LT-ATES pozwalała wyróżnić kościerską wyspę morenową jako teren szczególnie perspektywiczny z tego punktu widzenia. Wskazuje to, że Mapa Hydrogeologiczna Polski jako głównym źródłem informacji, jest niezbędnym narzędziem dla wstępnej oceny potencjału termicznego płytkich wód podziemnych na skalę gminną. W porównaniu z siecią obserwacyjno-badawczą wód podziemnych PIG, który umożliwia ocenę przydatność terenów do zastosowania metody LT-ATES na skalę Jednolitych Części Wód Podziemnych, posiadająca wyższą rozdzielczość MHP umożliwia ocenę przydatność na skalę mikroregionów lub jednostek geomorfologicznych. Natomiast główna wada tego narzędzia jest niską częstotliwość aktualizacji. W tej ocenie, MHP wykorzystana została wydana 13 lat temu a informacje hydrogeologicznych z załączonych do niej objaśnień sięgają do lat 50-tych ub.w..

Wyniki niniejszej pracy pokazują, że nawet w polskich mezoregionach pojeziernych cechujących się wysoką złożonością utworów czwartorzędowych, można znaleźć lokalnie korzystne warunki hydrogeologiczne i ekonomiczne dla niskotemperaturowego magazynowania ciepła w Ziemi metodą ATES. Potwierdzają w tym sensie wnioski wydane wcześniej nie tylko przez krajowych ale również zagranicznych autorów. Jest teraz oczywiste, że Polska, a szczególnie Niż Polski, jest strefą perspektywiczną dla niskotemperaturowego magazynowania ciepła w Ziemi metodą ATES. Brakuje tylko pierwszych konkretnych inwestycji, żeby to udowodnić. Kościerska wyspa morenowa została tu pozytywnie rozpoznana pod tym kątem.

Gérard Lemoine
Kartuzy (PL), 04.08.20120 r.

GERARD LEMOINE

Literatura

Ausseur, J.Y. i Sauty J.P., 1982 — Exploitation thermique des aquifères peu profonds- Manuel de préparation des pré-études de faisabilité technique. Rap. B.RG.M. 82 SGN 023 EAU.

Banks, D. 2012 — An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heatin and Cooling, 2nd Edition. ISBN 978-0-470-67034-7.

Bianchetti inni, 2003 — Bianchetti G., Vuataz, F.D., Wilhelm, J. 2003**.** Evaluation du potentiel géothermique du canton de Vaud : géostructures énergétiques , aquifères profonds, géothermie haute énergie. Rap. Division de l'Energie du Département de la Sécurité et de l'Environnement de l'Etat de Vaud.

Bloemendal M., Olsthoorn T., van den Ven F., 2015 – Combining climatic and geo-hydrological preconditions as a method to determine world potential for aquifer thermal energy storage.

Bloemendal M., Jaxa-Rosen M., Olsthoorn T., 2018 – Methods for planning ATES systems. Applied Energy 216, 534-557.

Bujakowski, W.Bielec, B.Skrzypczak, R., 2016 — Technologia ATES i możliwość jej zastosowania w rejonie piotrkowskim. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. nr 92, s. 373-390.

Drwal, J. & Hryniszak, E. 2003 — Hydrologiczne funkcje zagłębień bezodpływowych na terenach młodej akumulacji lodowców skandynawskich. In: A. Kostrzewski (ed.), Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych. Obieg wody, uwarunkowania i skutki w środowisku przyrodniczym. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.

Fleuchaus i in. 2018 — Fleuchaus, P., Godschalk, B., Stober, I. and Blum, P. 2018. Worldwide applicationof aquifer thermal energy storage – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 94, pp. 861876. DOI: 10.1016/j.rser.2018.06.057.

Górecki, W. (Red) i in. 2006 — Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. Kraków: AGH.

Gringarten, A. C., Landel, P.A., Menjoz, A., Sauty, J.P. , 1979 — Stockage longue duree en nappe phreatique de calories a basse temperature pour l'habitat. Rap. BRGM n°79 SGN683

Kamiński, B,. Grajewski, S., Piankowski, B., 2010 — Rekultywacja wyrobisk pokopalnianych w Nadleśnictwie Kościerzyna. Zarz. Ochr. Przyr. Lasach. - 2010, t. 4, s. 260-274 il., bibliogr. p ISSN: 2081-1438.

Kangas i in. 1985 —Kangas, M.T., Lund, P.D., Laitinen, T., 1985. Comparaison of ling-term ATES experiments to 3D computer simulations. Enerstock 85, Proc. of the 3rd internetional Conference on Thermal Energy Storage, Toronto, Canada September 22-26, 1985, s. 90-94.

Kapuściński, J. , Rodzoch A. 2010 — Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie. Stan aktualny i perspektywy rozwoju. Uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne

Kangas, M., Lund P., 1994 — Modelling and stimulation of aquifer storage energy systems; Solar Energy, 1994, Vol. 53(3), s. 237-247.

Kępińska B., 2011 — Energia geotermalna w Polsce – stan wykorzystania, perspektywy rozwoju. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* 50 (1–2), s. 7–18.

Kistowski, M., 2018 — Propozycja delimitacji mikroregionów fizycznogeograficznych Pojezierza Kaszubskiego w świetle współczesnych źródeł i metod badawczych. Prace i Studia Geograficzne UW, vol. 63, no. 1, pp. 17\-34.

Kondracki, J. 2002 — Geografia regionalna Polski. *PWN, Warszawa*

Kreczko, A,. Kozerski B., 2007— Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1: 50 000 - Arkusz Kościerzyna [0088]. *Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Geologii Morza*.

Kubski, P,. Lemoine G., 2010— Typologia gruntów jako pierwszy etap oceny lokalnego potencjału geotermii niskiej entalpii - Na przykładzie regionu Kościerskiego (Polska). Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia Zrównoważony Rozwój 50 (1-2), s. 295-308.

Lemale J. i inni 2008 — Lemale, J., Gourmez, D., Amjahdi, M., Bommensatt, N., Laplaige, P. (ADEM), Falque-Masset, M-L. (ARENE Ile-de-France), Desplan, A., Monnot, P. BRGM), Sovignet, F. (DRIRE Ile-de-France) , Naveteur, J. (EDF), 2008**.** Pompe à chaleur géothermique sur aquifère- Conception et mise en oeuvre. Guide Technique. BRGM éditions.

Lange, W., 1993 — Morfometria niecek jeziornych. [W:] W. Lange [red.], Metody badań fizycznolimnologicznych, UG, Gdańsk, s. 30-42.

Lemoine, G. 2010 — Typologia południowo-zachodnich utworów czwartorzędowych regionu Kościerzyna w celu wykorzystania ciepła Ziemi metodą niskotemperaturową. Rap. archiwum. *Polskie Stowarzyszenie Geotermiczne.*

Lemoine, G. 2016 — Analiza niskotemperaturowego potencjału energetycznego obszarów młodoglacjalnych na przykładzie Pojezierza Kaszubskiego – Podejście metodologiczne). *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój R.* 55, z. 1, s. 151−171.

Lemoine, G. 2018 — Perspektywy międzysezonowego magazynowania ciepła w płytkich warstwach wodonośnych z obszarów młodoglacjalnych na przykładzie Rynny Słuszewskiej Wysoczyzny Żarnowieckiej). *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R 57, z,.2, s. 55–77.

Leśniak, T,. 2002 — Materiały pomocnicze do terenowych zajęć geologicznych w rejonie nadmorskim. Skrypty uczelniane. *AGH Kraków*, SU 1648.

Lidzbarski, M. i in. 2007, **—**Region dolnej Wisły [w:] Paczyński B., Sadurski A. (red.), Hydrogeologia regionalna Polski, tom I, Wody słodkie, *PIG Warszawa*.

Luxiang, S., Manfang, B. 1984 — Case history, 9.2, Shanghai, China [W:] Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal ed. J.F. Poland, Paris: UNESCO. s. 155–160.

Malina, G., Bujak, I. 2017— Ocena możliwości skojarzenia magazynowania energii cieplnej w warstwie wodonośnej z remediacją wód podziemnych. Ochrona Środowiska nr 39 (3), s. 9–18.

Miecznik, M., 2016 — Magazynowanie energii cieplnej : metody i zastosowania. Przegląd geologiczny Vol 64, nr 7, s. 464-471

Nielsen, K., 2003 — Thermal Energy Storage, A State-of-the-Art; NTNU: Trondheim, Norway.

Paksoy i in., 2009 — Paksoy, H, Snijders, A, Stiles, L, 2009. State-of-the-art review of aquifer thermal energy storage systems for heating and cooling buildings. In: Proceedings of the EFFSTOCK conference, Stockholm, Sweden; 2009.

Pełka i inni, 2011 — Pełka, G., Luboń, W., Szczygieł, M., 2011**.** Analiza parametrów instalacji grzewczo-chłodzącej z gruntową pompą ciepła w trybie ogrzewania i pasywnego chłodzenia", Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, zrównoważony rozwój, nr 1-2/2011, str 211 – 220

Skrzypczak i in. 2017 — Skrzypczak, R., Kasztelewicz, A., Lankof, L. and Miecznik, M. 2017. Analiza warunków geologicznych dla systemu podziemnego magazynowania ciepła (ATES) w mieście Sochaczew. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R 56, z. 2, s. 69−83.

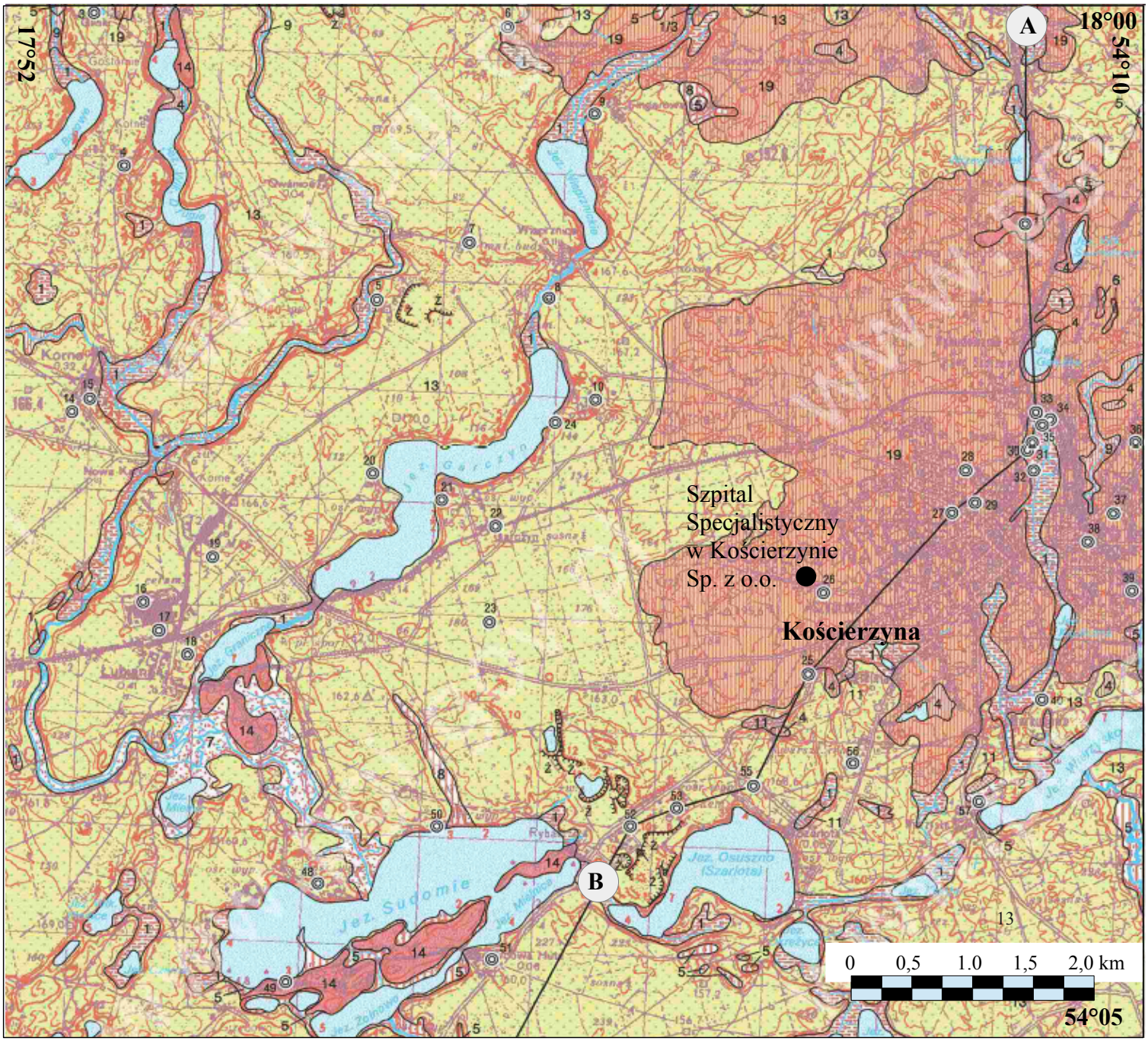
Skrzypczak, R., Miecznik, M. 2019 — Initial assessment of the possibility of using ATES

technology in Poland by low-temperature heat and cold consumers. *Polityka Energetyczna — Energy Policy Journal* nr 22. z.1, s. 39–58, DOI: 10.33223/epj/105366.
Schmidt, T. i Miedaner, O., 2012 — Solar district heating guidelines Storage. Arkusze serii 7.2, s. 1–13. Rap. Solites (DE) dla Solar District Heating
Slenders i in., 2016 — Slenders, H., Verburg, R., Pors, A., van Maaren, A.. Managing contaminated groundwater – novel strategies and solutions applied in the Netherlands. In: J. T. ALBERGARIA, H. P. A. MOUWS [Eds.]: Soil Remediation – Applications and New Technologies. CRC Press, 2016, pp. 121–138.
Snijders, A.L. i Aarssen, M.M. van. 2003 — Big is beautiful? Application of large scale energy storage in the Netherlands. Futurestock' 2003. The 9th International Conference on Thermal Energy Storage, Warszawa, s. 83–88.
Staszek, W., 2006 —Mapa hydrograficzna w skalę 1:50.000. *Główny Urząd Geodezji i Kartografii*. Komentarz arkusz N-33-72-D
Szewczyk, J. 2002 — Ślady zmian klimatycznych plejstocenu oraz holocenu w profilach temperatury w głebokich otworach wiertniczych na Niżu Polskim. Przegląd Geologiczny, vol. 50, nr 11.
Szewczyk, J. 2005 — Wpływ zmian klimatycznych na temperaturę podpowierzchniową Ziemi. Przegląd Geologiczny, vol. 53, nr 1.
Woźniak, E., 2008 — Rola obszaru endoreicznego Linia w bilansowaniu opadu atmosferycznego, Katedra Hydrologii UG, Gdańsk, maszyn.

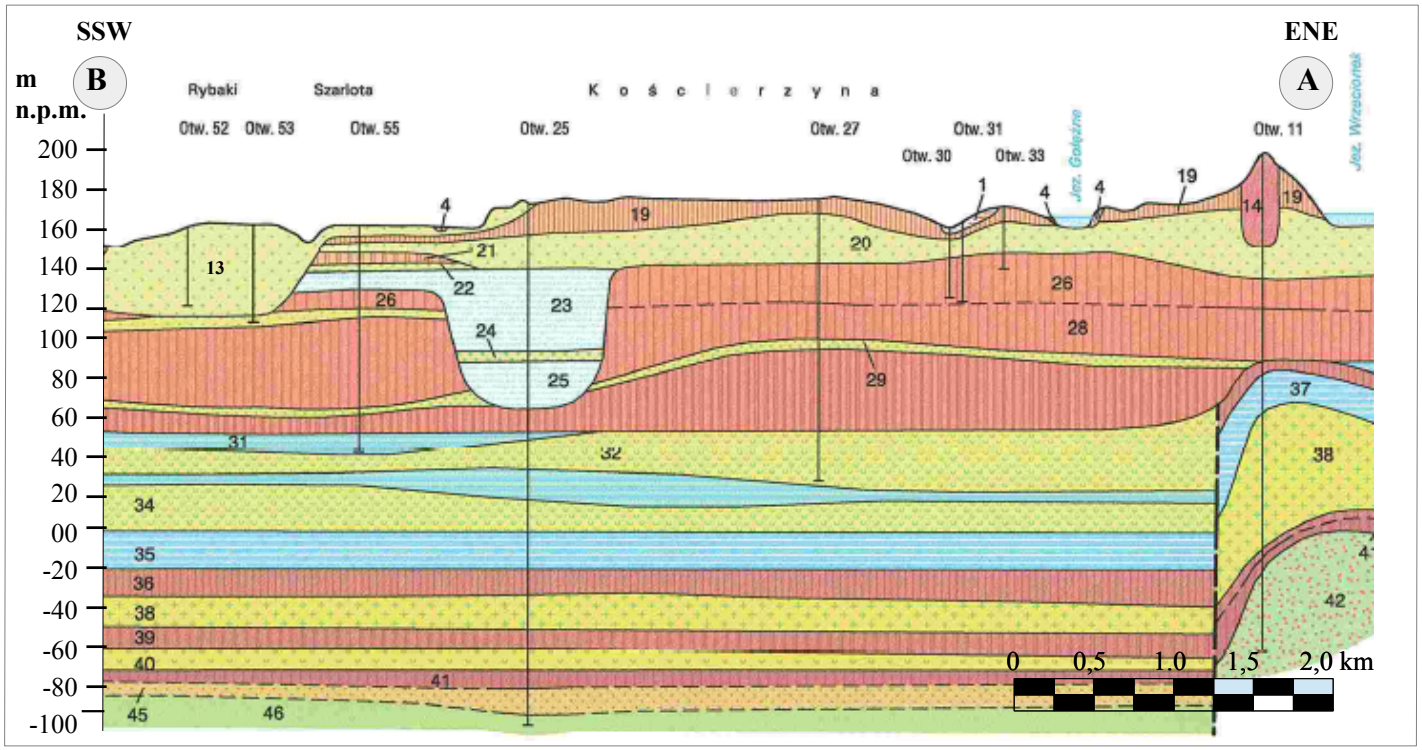
Aneks- wnioski analizy SMGP i MHP

Wstępna ocena poziomów wodonośnych dla niskotemperaturowego magazynowania chłodu i ciepła metodą ATES.

Inwentarz i wstępną wstępną poziomów wodonośnych pod kątem metody ATES.



Rys. ** : Mapa przypowierzchniowych utworów geologicznych występujących w mieście Kościerzyna
i południowo-zachodnich okolic na skalę 1:50 000 (Źródło: PIG, fragment SMG, arkusze nr 0088)



Rys. ** : Przekrój geologiczny NNE-SSW przypowierzchniowych utworów geologicznych występujących w mieście Kościerzyna (skalę horyzontalna 1:50 000, pionowa 1: 4800)
(Źródło: PIG, fragment fragment przekroju, arkusze nr 0088)

a) <u>w obrębie jednostki geologicznej nr 13</u>

Pokrywa
Brak

Poziom wodonośny
Numer na SMGP: 13, stratygrafia: $^{fg}_{pż2}Q_{p4}^{B3}$, litologia: piaski i żwiry wodnolodowcowe
Te utwory budujące równinę sandrową na zachód i południu Kościerskiej Wyspy Morenowej powstały podczas stadiału górnego zlodowacenia Wisły (zlodowacenia północnopolskie). Reprezentują one ponad połowę przypowierzchniowych utworów omówionego obszaru. Powierzchnia przedmiotowego fragmentu sandrowego jest stosunkowo płaska. Wykazuje lekki spadek z północy na południe i z wschodu na od wysokości ok. 180 m n.p.m. do ok. 145 n.p.m., w kierunku peryferyjnych marginalnych rynien polodowcowych.
<u>Wg MHP:</u> te utwory cechują jednostką hydrogeologiczną 2aQII/Q obejmującą centralną zachodnią i południowo-zachodnią części przedmiotowego obszaru, gdzie główny poziomy użytkowy jest sandrowy. Stanowią również głównymi utworami przypowierzchniowymi jednostek 4aQII/Q, 3bcQI, i 6bQI wytypowane odpowiednio w północno-wschodniej północno-zachodniej i południowo-wschodniej częściach omówionego obszaru.
Poziom wodonośny występujący w obrębie ww. jednostek zalega na głębokości od 5 do 27 metrów. Jego miąższość waha się w granicach od 10 do 25 m,
Wydajności eksploatacyjne studni: od 10 do 50 m3/24h a potencjalne — od 30 do 50 m3/h, lokalnie 50 – 70 m3/h. Zwierciadło wody jest swobodne lub słabo napięty, zalega na wysokości od 160 m n.p.m. w części północno-zachodniej do 135 m n.p.m. na krańcach południowych
Poziom wodonośny jest słabo izolowany i zagrożony w stopniu średnim oraz wysokim.

Ocena
Utwory wodonośne mało perspektywe: słaba ekranizacja od zanieczyszczeń z powierzchni, słaba izolacja termiczna, zawarte w nich wodonośce o zwierciadle swobodnym, tzn. mało stojące raczej płynące.

§

b) <u>w obrębie jednostki geologicznej nr 20</u>

Pokrywa
Numer na SMGP: 19, stratygrafia: $^{g}_{gzw}\mathbf{Q}_{p4}^{B3}$, litologia: gliny zwałowe
Budując kościerską wyspę morenową i tworząc podłoże miasta Kościerzyna te gliny pokrywają ponad jedną trzecią omawianego obszaru. Jako osady typowo glacjalne, pokazują one zasięg fazy kulminacyjnej transgresji lądolodu stadiału górnego zlodowacenia Wisły ((zlodowacenia północnopolskie, faza pomorska). Miąższość tych glin waha się w granicach ok. 5 ÷ 10 m w obrębie moreny dennej, która kształtuje powierzchnię falistą na wysokości bezwzględnej 170÷175 m n.p.m. W pobliżu ostańcowej akumulacji ozowej w miejściowosci Kościerzyna Wybudowanie, jak również w południowej strefie krawędziowej wyspy morenowej, w rejonie Szydlicy. miąższość tych glin może przekraczać 15 m.

Poziom wodonośne
Numer na SMGP: 20, stratygrafia: $^{fg}_{pż1}Q_{p4}^{B3}$, litologia: piaski i żwiry wodnolodowcowe
Te osady zostały one zdeponowane podczas fazy początkowej transgresji lądolodu stadiału górnego zlodowacenia Wisły (zlodowacenia północnopolskie). Podścielają one gliny

Kościerskiej Wyspy Morenowej, gdzie występują na dnie jezior ─ jeż Gałężne i Wrzezcionek. . Tworzą one poziom ciągły o znaczącej grubości w granicach 20÷35 m pod obszarem miejskim Kościerzyny. Osady występują również w rejonie stożku sandrowego pod południową strefą krawędziową na głębokosci ok. 19 m p.p.t.. Tworzą tam cienki poziom miąższości ok. 5 m pod pokrywą gliniasto-zwałową kilkumetrowej grubości.
W równie sandrowej rozciągającej się ma południu wyżej wymieniowego stożku ten poziom nie jest jednak reprezentowane.
W profilu strop tego poziomu kształtuje się na głębokości w granicach 5 ÷ 25 m p.p.t, w zależności od grubości moreny dennej. W strefie wewnętrznej wyspy morenowej strop tego poziomu występuje - na głębokości

- od 8 m p.p.t w położonym na wysokości ok. 175 m n.p.m. centrum miasta Kościerzyny, tam miąższość piasków wynosi ok 25 m (w otworze nr 27)
- do 20 m p.p.t. w położonej również na wysokości ok. 175 m n.p.m. południowej dzielnicy Cegielne, tam miąższość piasków wynosi ok 18 m (w otworze nr 25)

Na skłonach ostańca ozowego z Kościerzyny Wybudowanie ale poza zasięgiem glin i piasków szczelinowych (otwór nr 11) grubość omówionego poziomu żwirowo-piaszczystego sięga 35 m. Tram grubość zwałowej pokrywy gliniastej mieści się w granicach 5÷15 m oprócz pod jeziorem Wrzecionek gdzie została usniąta. Na pólnocy tego jeziora, miąższość tej pokrywy jest zredukowana do ok. 5m.
Pod południową strefą krawędziową Kościerskiej Wyspy Morenowej (otwór nr 25 w dzielnicy Cegielna), w strop tego poziomu występuje na wysokości bezwzględnej ok 155 m m n.p.m.. Tam jego miąższość jest zredukowana do ok. 5 m.
Wg MHP: Te utwory o genezie sandrowej tworzą pierwszy międzymorenowy poziom wodonośny Kościerskiej Wyspy Morenowej. W obrębie tej wysoczyzny ustabilizowany jego zwierciadło jest albo swobodne w pobliżu stref drenażu ─ są to zagłębienia jeziorne, albo lekko naporowe. Jego głębokość zalegania zależy od grubość pokrywy gliniastej.

- W obrębie jednostki hydrogeologicznej 4aQII/Q, która jest położoną w północno-wschodniej części przedmiotowego obszaru i obejmuje północy dzielnicy miasta Kościerzyna, poziom wodonośny jest słabo izolowany od powierzchni, z głębokością zalegania od 3 m p.p.t. do 8 m p.p.t.. Mając głębokość ustabilizowanego zwierciadła w przedziale ok. 0,5÷3,0 m p.p.t. i przybliżoną miąższość w granicach 20-30 m poziom w tym rejonie jest raczej rozbudowany i lekko sub-artezyjski.
- W obrębie fragmentu jednostki hydrogeologicznej 3bcQI, który zajmuje północno-zachodnią część obszaru, omówiony utwór wodonośny jest słabo lub dobrze ekranowany od powierzchni ww. pokrywą glin zwałowych . Dane hydrogeologiczne otworów studziennych reprezentatywnych omówionego fragmentu zastawiono poniżej . Omówiona hydrostruktura wodonośnacechuje się wysoką różnorodnością geometryczną;
  - głębokość zalegania od 40 do ponad 100 m p.p.t.;
  - miąższość w granicach rzędu wielkości 5÷30 m.

  i dobrymi parametrami zbiornikowymi;
  - przewodnictwo wodne ok. 200 m^2 /24h;
  - wydajność potencjalna w granicach 10-70 m^3/h;

  oraz wodami dobrej jakości.
  W roku 1998 średni moduł zasobów dyspozycyjnych jednostki hydrogeologiczna odniesienia się szacowano na na 95 m^3/km^2/24h, tj. 53% zasobów odnawialnych. Największe ujęcie tej jednostki obsługiwało wtedy Zakłady Mięsnych w Kościerzynie, z dobowym poborem wody do 1100 m^3/24h, co reprezentowało 98% ujętej wody w jednostce.

Tab. **Dane hydrogeologiczne otworów studziennych reprezentatywnych jednostki hydrogeologicznej 3bcQI**

(źródło: KRECZKO A,. KOZERSKI B., 2007— Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1: 50 000 - Arkusz Kościerzyna [0088]. Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Geologii Morza.

Numer otworu		Miejscowość / Użytkownik	Otwór			Poziom wodonośny				Filtr	Wydajność pomiarowa [m³/h] (b) Depresja, [m]	Współczynnik filtracji		Zatwierdzane zasoby [m3/h] Depresja, [m]	Rok zatw. zasobów
na mapie	wg banku HYDRO		Rok wykonania	Głęb. [p.p.t] straty.	Wyso. [n.p.m]	Stratygrafia	Strop Spąg	Miąższ. efektyw. [m], (a)	Głębok. zwierciad wody, [m]	Ø, [mm] od-do, [m]		[m³/d]	[10-3 m/s]		
4	17/164	Owśnice Zakład Elbud S.A.	1980	86 Q	160,1	Q	40 48	8	5,4	356 40,8-49	60 9,6	21,5	0,25	40 5,7	1981
5	17/615	Fingerowa Huta / ujęcie lokalne	1995	114 Q	178,8	Q	105 >114	>8,4	18,1	163 106,6-109,9	9 1,2	33,5	0,39	9 1,2	1995
10	17/168	Garczyn/ Woj. ośr. Szkol.Wypocz	1978	59 Q	163,7	Q	50 56,5	6,5	18,2	356 50-56,5	15,5 7,5	51	0,59	15,8 7,8	1978
14	17/190	Kościerzyna/ zakłady Mięsne	1977	85,1 Q	175,3	Q	56 85,1	>29,1`	16,8	407-57,5-83	105,8 5,4	13,8	0.16		

(a) : Miąższość efektywna: miąższość bez przewarstwień słabo-przepuszczalnych
(b) : Wydajność przy pompowaniu końcowego stopnia

W obrębie jednostki hydrogeologicznej 2aQII/Q, która obejmuje centralną, zachodnią i południowo-zachodnią część przedmiotowego obszaru, omówiony tu poziom wodonośny, jako fragment GUPW jest słabo, ale trochę lepiej niż w poprzednim fragmncie, izolowany od powierzchni, z głębokością zalegania od 5 m p.p.t. do 27 m p.p.t.. W tabeli poniżej są przedstawione wartości parametrów hydrogeologicznych reprezentatywnych otworów studziennych omówionej jednostki hydrogeologicznej.

Tab. **: Dane hydrogeologiczne otworów studziennych reprezentatywnych jednostki hydrogeologicznej 2aQII/Q, (źródło: KRECZKO A,. KOZERSKI B., 2007— Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1: 50 00 - Arkusz Kościerzyna [0088]. Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Geologii Morza)

Numer otworu		Miejscowość/ Użytkownik	Otwór			Poziom wodonośny				Filtr	Wydajność pomiarowa [m³/h] (b) Depresja, [m]	Współczynnik filtracji		Zatwierdzane zasoby [m3/h] Depresja, [m]	Rok zatw. zasobów
na mapie	wg banku HYDRO		Rok wykonania	Głęb. [p.p.t] straty.	Wyso. [n.p.m]	Stratygrafia	Strop Spąg	Miąższ. efektyw[m] (a)	Głębok. zwierciad wody [m]	Ø,[mm] od-do, [m]		[m/d]	[10-3 m/s]		
7	Arch Użyt	Łubiana/ Zakłady Porcelany Stołowej "Łubiana S.A., (C)	1998	31 Q	162,6	Q	14,1 27,5	13,4	14,1	508 23,2-27,5	35,1 2,9	34,7	0,4	134 8,1	1987
8	17/175	Łubiana/ Ujęcie wiejskie - UG Kościrzyna	1977	31,1 Q	162	Q	15,2 >31,1	>15,9	15,2	407 24-30	82,6 2,5	63,2	0,73	42,2 10,5	1994
9	17/501	Lubiana/ Ośrod. Wypocz. "Sudomie" w Spolem	1980	38 Q	151,8	Q	12 35,0	23	8,5	299-26,5-35	15,2 8,5	3,7	0.04	11 6,0	1981
11	17/348	Kościerzyna/ Szpital -ZOZ 1	1987	60,6 Q	186,3	Q	27,3 >60,6	>33,3	27,3	407-45,6-59,6	70 4,4	16,4	0,19	538 (c) 3,6	1993
21	17/215	Rybaki/ zakład Eksploatacji Kruszewa RYBAKI	1978	41,7 Q	159,3	Q	14,5 41,7	>27,2	14,5	407-33-39	36,3 1,4	76,8	0.9	36 1,4	1978

Wśród tych otworów, otwór nr 11 znajdujący się w posesji Szpitalu Specjalistycznego jest reprezentatywny zachodniej części obszaru miejskiego Kościerzyna. W tym rejonie, omówiony poziom wodonośny cechuje się:

1. znacznym ekranowaniem od powierzchni, stosunkowo lepsze niż ekranowanie w

innych części jednostki hydrogeologicznej, z uwagi na głębokość zalegania ponad 25 m, jest.

2. dużą miąższością : wynosi co najmniej 33 m poziom ;
3. umiarkowanymi współczynnikami filtracji rzędu wielkości $2 \cdot 10^{-4}$ m.s^{-1} (16,4 m·d^{-1}; 6 km·r^{-1});
4. zwierciadłem swobodnym jak podano wcześniej ;
5. stosunkowo wysoki spadek hydraulicznych — jest w rzędzie wielkości 5÷10 ‰ ustabilizowanego zwierciadła wód podziemnych;

Z punktu widzenia zastosowań termogeologii, wartości ww. trzech pierwszych parametrów są korzystne do niskotemperaturowego magazynowania ciepła metodą ATES. Mało korzystny jest natomiast brak napięcia zwierciadła poziomu wodonośnego jak również wysoki gradient hydrauliczne, które pociągają za sobą wysoką prędkość przepływu wód podziemnych, co utrudnia odzyskiwania zmagazynowanej energii. W niniejszym przypadku, ([2]), szacuje się prędkość wód podziemnych w obrębie omówionego poziomu w tej strefie wysoczyzny na wysokości $1 \div 2 \cdot 10^{-6}$ m.s^{-1} (0,1÷0,2 m·d^{-1}; 30÷60m·r^{-1}).

W obrębie jednostki hydrogeologicznej 5bcQI, która zajmuje centralna i południową część przedmiotowego obszaru, omówiony tu poziom wodonośny nie stanowi od wielu poziomu użytkowego (większość studnie publiczne i zakładowe zostały zlikwidowane lub są nieczynne, z uwagi na złą jakość wody.)

W obrębie jednostki hydrogeologicznej 6cQI, która zajmuje południowo-wschodnią część przedmiotowego obszaru, omówiony tu poziom wodonośny nie występuje.

Ocena: Poziom średnio perspektywy: poziom płytki i rozbudowany w strefie wewnętrznej Kościerskiej wykazuje korzystne parametry geometryczne (miąższość dwa razy wyższa niż minimum dopuszczalne) i sedymentologiczne (uziarnienie). Pokrywa jest jednak zbyt cienka by zapewnić optymalną izolacją termiczną. Na dodatek należy wziąć pod uwagę:

- ryzyko, geotechniczne typu osuwiskowe wywołane przez eksploatacji systemu ATES.- dotyczy tu szczególnie strefy krawędziowej wysoczyzny.
- stosunkowo wysoką prędkość wód podziemnych, która obniża efektywność systemów ATES pracujących najlepiej w trybie cyklicznym.

§

c) w obrębie jednostki geologicznej nr 22

Pokrywa

Numer na SMGP: 21, stratygrafia: ${}^{g}{}_{gzw}Q_{p4}{}^{B2}$, litologia: gliny zwałowe

Te gliny powstałe z stadiału środkowego zlodowacenia Wisły (zlodowacenia północnopolskie) zostały rozpoznane w równinie sandrowej pod południową strefie krawędziową Kościerskiej Wyspy Morenowej w miejscowości Szarłota (ok. 162 m n.p.m). W tej miejscowości zalegają na głębokości ok. 15 m p.p.t. (ok. 147 m n.p.m.), poniżej piasków i żwirów fazy początkowej transgresji lądolodu stadiału górnego zlodowacenia Wisły. Miąższość tego poziomu wynosi ok. 6 m. Na skutek transgresji lądolodu podczas stadiału górnego ten poziom został został prawie całkowicie usunięty w przedmiotowym obszarze.

Poziom wodonośny

2 Prędkość orientacyjna obliczona na bazie ww. współczynników filtracji ($2 \cdot 10^{-4}$ m.s^{-1} lub 16,4 m·d^{-1}lub 6 km·r^{-1}) i spadku hydraulicznego w granicach 5÷10 ‰ odnośnie spadku rzędnej ok. 10 m ustabilizowanego zwierciadła wody między oddalonymi od siebie o 1,5 km otworami studziennymi nr 12 i 13 w Kościerzynie (KRECZKO i KOZERSKI, 2007, Przekrój hydrogeologiczne I-I na załączniku 2)

Numer na SMGP: 22, stratygrafia: ${}^{fg}_{pż}Q_{p4}^{B2}$, litologia: Piaski i żwiry wodnolodowcowe
Te osady fluwioglacjalne powstałe z stadiału środkowego zlodowacenia Wisły (zlodowacenia północnopolskie) zostały udokumentowane pod stożkiem sandrowym sąsiadującym z południową strefą krawędziową Kościerskiej Wyspy Morenowej. Zalegając na głębokości ok. 21 m p.p.t. (ok. 141 m n.p.m) w miejscowości Szarłota te piaski i żwiry zaznaczają się w profilu cienkim poziomem międzymorenowym oddzielającym gliny zwałowe stadiału środkowego zlodowacenia Wisły od glin zwałowych zlodowacenia Warty. Jak ich pokrywa gliniasta, te osady żwirowo-piaszczyste zostały prawie całkowicie usunięty podczas transgresji lądolodu stadiału górnego. Z tego powodu miąższość tej serii jest niewielka (ok. 5 m w miejs. Szarłota).

Ocena: poziom mało perspektywiczny : poziom międzymorenowy zbyt cienki o bardzo ograniczonym zasięgu z uwagi na geodynamiczny charakter reliktowy.

§

d) <u>w obrębie jednostki geologicznej nr 24</u>

Pokrywa:
Numer na SMGP: 23, stratygrafia: ${}^{b}_{m}Q_{p4}^{B2}$, litologia: Mułki zastoiskowe
Te utwory powstałe z stadiału środkowego zlodowacenia Wisły (zlodowacenia północnopolskie) są rozpoznane na południowych terenach moreny dennej Kościerskiej Wyspy Morenowej , m.in. w miejścowości Ciegielna (ok. 175 m n.p.m.). Tam zalegają na głębokości ok. 40 m p.p.t. (135 m n.p.m) w postaci rozbudowanej serii mułków i piasków pyłowatych miąższści ponad 40m (sięgając 95 m n.p.m.). Zostały one zdeponowane w dolinie eemskiej założonej rynnie marginalnej zakopanej w utworach zlodowaceń Warty.

Poziom wodonośny
Numer na SMGP: 24, stratygrafia: ${}^{g}_{p}Q_{p4}^{B2}$, litologia: Piaski wodnolodowcowe
Te utwory powstałe z stadiału środkowego zlodowacenia Wisły (zlodowacenia północnopolskie) są rozpoznane na południowych terenach moreny dennej Kościerskiej Wyspy Morenowej , m.in. w miejścowości Ciegielna (ok. 175 m n.p.m.). Tam zalegają na głębokości ok. 40 m p.p.t. (135 m n.p.m) w postaci rozbudowanej serii mułków i piasków pyłowatych miąższści ponad 40m (sięgając 95 m n.p.m.). Zostały one zdeponowane w dolinie eemskiej założonej rynnie marginalnej zakopanej w utworach zlodowaceń Warty.

Ocena: poziom mało perspektywiczny bo zbyt cieki stosunkowo mało dostępne.

§

e) <u>w obrębie jednostki geologicznej nr nr 29</u>

Pokrywa złożona z dwóch poziomów glin zwałowych
Nr 26: stratygrafia: ${}^{g}_{gzw}Q_{p3}^{W2}$, litologia: gliny zwałowe
Należąc do górnego stadiału zlodowacenia Warty (zlodowacenia środkowopolskie) te gliny tworzą poziom ciągły na całym obszarze arkusza 0088 Kościerzyny, gdzie ich miąższość waha się granicach 10-20. W tym materiale dominuje frakcja ilasta. W centrum miasta Kościerzyny, odnośnie wysokości bezwzględniej powierzchni ok. 175 m w rejonie zakładów mięsnych, zalegają one na głębokości ok. 35 m p.p.t. (140 m n.p.m). W tym rejonie miąższość tego poziomu wynosi ok. 20 m.

Nr 28: stratygrafia: ${}^{g}_{gzw}Q_{p3}{}^{W1}$, litologia: gliny zwałowe
Należąc do dolnego stadiału zlodowacenia Warty (zlodowacenia środkowopolskie) te gliny tworzą poziom ciągły na całym obszarze arkusza 0088 Kościerzyny, gdzie ich miąższość waha się granicach 8-47 m. W centrum miasta Kościerzyny w rejonie zakładów mięsnych i odnośnie wysokości bezwzględniej powierzchni ok. 175 m n.p.m., te gliny zalegają na głębokości ok. 55 m p.p.t. (120 m n.p.m). W tym rejonie, jak również w obrębie Kościerskiej Wyspy Morenowej podścielą bezpośrednio glin zwałowych stadiału górnego tego samego zlodowacenia. Miąższość tych glin dolnych wynosi ok. 15m. W tym materiale dominuje frakcja grubopyłowa. Szacuje się, że powierzchnia kontaktu między górnymi i dolnymi glin zlodowacenia Warty jest płaska i sub-horyzontalna w obrębie w obrębie Kościerskiej Wyspy Morenowej. Na południu kopalnej doliny eemskiej, która przebiega przez Ciegielnia, gliny dolny podścielają międzymorenowe piaski i mułki wodnolodowcowe. Wtedy strop dolnych glin obniża się łagodnie ku południu, naśladują powierzchni sandrowej.

Poziom wodonośny
Nr na SMGP: 29: stratygrafia: ${}^{fg}_{p}Q_{p3}{}^{W1}$, litologia: Piaski wodnolodowcowe
Są one datowane w stadiale dolnym zlodowacenia Warty (zlodowacenia środkowopolskie). Podścielając glin zwałowych stadiału samego stadiału, te osady fluwioglacjalne zostały zdeponowane podczas fazy początkowej transgresji lądolodu. Są one powszechnie reprezentowane na obszarze arkusza Kościerzyny 0088, jak również w omówionym obszarze badawczym. Nie są jednak udokumentowane w północnej części Kościerskiej Wyspy Morenowej, szczególnie na północ ostańcu ozowego Kościerzyna Wybudowanie. W obrębie tego dużego płata morenowego zalegają na głębokości od 70 m p.p.t. do 95 m p.p.t. (wysokość bezwzględna od 100 n.p.m. do m 85 n.p.m.), z ogólnym spadkiem ku południu. Miąższość tego poziomu międzymorenowego jest niewielka, od 3 do 6 m.
0: poziom zbyt cienki w stosunku do jego dostępności, z uwagi na rząd wielkości głębokość co najmniej 70 m. p.p.t.

Ocena:: poziom nie perspektywiczny, bo za cienki i za mało dostępny.

§

f) <u>w obrębie jednostki geologicznej nr 32</u>

Pokrywa
Numer na SMGP: 30, stratygrafia: ${}^{g}_{gzw}Q_{p3}{}^{O1}$, litologia: Gliny zwałowe
Te utwory glacjalne, które należą do stad Morenowej iału dolnego zlodowacenia Odry (zlodowacenia środkowopolskie, inne stadiały tego zlodowacenia nie są reprezentowane na arkuszu Kościerzyna 0088) występują w rejonie Kościerskiej Wyspy. Podścielają piaski wodnolodowcowe stadiału dolnego zlodowacenia Warty. W przedmiotowym obszarze badawczym zalegają one na głębokości od 80 m p.p.t. do 100 m p.p.t. (od 93 m n.p.m do 60 m n.p.m.). Miąższość tego poziomu mieści się w granicach 10÷ 45 m. Są to więc gliny masywne wykazujące typowe profil banalny (logment tills), z płaską sub-horyzontalną powierzchnią kontaktu z stropem zalegających poniżej innych utworów.
Numer na SMGP: 31, stratygrafia: ${}^{b}_{i}\mathbf{Q}_{p3}{}^{O1}$, litologia: Iły zastoiskowe
Te utwory limnoglacjalne występują w rejonie Szarłota-Rybaki (ok. 162 m n.p.m.) pod sąsiadującym z strefą krawędziową Kościerskiej Wyspy Morenowej peryferyjnym pasem równiny sandrowej. Zalegając na głębokości ok. 110 m p.p.t. (52 m n.p.m.) pod spągiem glin zwałowych stadiału dolnego zlodowacenia Odry (zlodowacenia środkowopolskie), iły te tworzą cienką warstwę o ok. 5 km szerokości i maksymalnej miąższości 12 m**.**

Poziom wodonośny
Numer na SMGP:32 , stratygrafia: ${}^{fg}_{p2}Q_{p3}{}^{O1}$, litologia: Piaski wodnolodowcowe

§

g - Utwór nr 34
Te utwory występują na obszarze równiny sandrowej oraz w południowej i centralnej części Kościerskiej Wyspy Morenowej. Zalegając na głębokości od 110 m p.p.t. do ok. 144 m p.p.t (od 52 m n.p.m. do 18 m n.p.m.) i mając miąższość od 5 pod równiną sandrową do 30 m pod wysoczyzną morenową tworzą one najbardziej rozwiniętą (czwartorzędową) serię wodnolodowcową przedmiotowego obszaru. Utwory podścielają gliny zwałowe stadiału dolnego zlodowacenia Odry, oprócz w pasie sandrowym o szrokości ok. 5 km położonym pod południową strefą krawędziową wysoczyzny. W tym rejonie otwory podścielają już opisaną kopalną misy jeziorną wypełnioną iłami zastoiskowymi, datowaną również w dolnym stadiale Zlodowacenia Odry (zlodowacenia środkowopolskie). Będąc wyraźnie abrazyjna powierzchnia kontaktu miedzy omówionymi piaskami fluwioglacjalnymi i pokrywą gliniastą została kształtowana przez egzarację lodowcową.

Ocena: Poziom średnio perspektywiczny pod wysoczyzną morenową z uwagi na jego miąższość 30 m, mimo głębokości ponad 100 m, sięgającej nawet prawie 150 m p.p.t..

Pokrywa
Numer na SMGP: 33 , stratygrafia: ${}^{b}_{mi}\mathbf{Q}_{p3}{}^{O1}$, litologia: Mułki i iły zastoiskowe
Te osady o facji limnoglacjalnej powstały lokalnie podczas drugiego etapu transgresji lądolodu w dolnym stadiale zlodowacenia Odry (zlodowacenia środkowopolskie). Występują one na głębokości poniżej 130-150 m w centralnej i południowej części Kościerskiej Wyspy Morenowej, oraz w równiny sandrowej oraz w południowej. Pod wysoczyzną, odnośnie wysokości bezwzględnej ok 175 m n.p.m. w centrum miasta Kościerzyny, zalegają one na głębokości 155 m p.p.t. (20 m n.p.m), w tym rejonie ich miąższość wynosi ok. 7 m. W strefie krawędziowej, odnośnie poprzedniej wysokości bezwzględnej (175 m n.p.m.) w dzielnicy Szydlice, są one płytsze i grubsze, z głębokością ok 145 m p.p.t. i miąższość w granicach 10-15 m. Pod równiną sandrową, odnośnie powierzchni na wysokości ok. 160 m n.p.m. w rejonie Rybaki i Szarłota, zalegają na głębokości ok. 134 m p.p.t. (28 m n.p.m.). Tam ich miąższość wynosi ok. 5 m.

Poziom wodonośny
Numer na SMGP: 34, stratygrafia: ${}^{fg}_{p1}{}^{Q}_{p3}{}^{O1}$, litologia: Piaski wodnolodowcowe
Te utwory zaznaczają, że facja średniej energii przepływów marginalnych uwarunkowała lokalnie pierwsze etap transgresji lądolodu w dolnym stadiale zlodowacenia Odry (zlodowacenia środkowopolskie). Będąc wytworzone w piaskach średnioziarnistych mając ten sam zasięg, jak mułki i iły zastoiskowe udokumentowane w ich pokrywie. W centralnej i południowej części Kościerskiej Wyspy Morenowej (175 m n.p.m.) zalegają na głębokości ok. 160 m p.p.t (15 m n.p.m.) , w równinie sandrowej (160 m n.p.m.) na głębokości ok. 138 m p.p.t. (22 m n.p.m.). Miąższość tej serii wynosi ok. 15 m pod wysoczyzną morenową, 22 m pod równiną sandrową.

Ocena: Pod wysoczyzną morenową poziom mało perspektywiczny bo mało dostępny z uwagi na głębokość zalegania 150 m p.p.t. ale znaczące z uwagi na miąższość ok 15 m. Pod równiną sandrowy poziom średnio perspektywiczny bo bardziej dostępny i rozbudowany niż poprzednio, z głębokości zalegania 138 m p.p.t. i miąższość 22 m.