

Dr hab. inż. prof. UŚ Jacek Rózkowski

Uniwersytet Śląski

Wydział Nauk Przyrodniczych, Instytut Nauk o Ziemi

ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

Sosnowiec, 13.08.2023r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Bartłomieja Ciapały

pt. Potencjał geotermalny wód ze zbiorników mezozoicznych i kenozoicznych niecki lubelskiej w zależności od sposobu energetycznego zagospodarowania ich zasobów

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartłomieja Ciapały została wykonana w związku z pismem prof. dr hab. inż. Jacka Matyszkiewicza, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Nauki o Ziemi i Środowisku” Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie z dnia 06.07.2023r. znak RDN-NoZiŚ-dz.510-11/2023 oraz na podstawie Umowy o Dzieło na wykonanie recenzji rozprawy doktorskiej z przeniesieniem praw autorskich z dnia 18.07.2023r.

1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Potencjał geotermalny wód ze zbiorników mezozoicznych i kenozoicznych niecki lubelskiej w zależności od sposobu energetycznego zagospodarowania ich zasobów”. Autorem pracy jest mgr inż. Bartłomiej Ciapała, ubiegający się o uzyskanie stopnia naukowego doktora przed Radą Dyscypliny Naukowej „Nauki o Ziemi i Środowisku” Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Beata Kępińska prof. IGSMiE PAN, promotorem pomocniczymi dr inż. Mirosław Janowski. Praca została wykonana w Akademii Górniczo – Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, w Katedrze Surowców Energetycznych.

2. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Rozprawa doktorska jest skonstruowana spójnie. Układ pracy właściwy. Poszczególne części składowe występują w logicznym następstwie. Rozprawa doktorska składa się ze Streszczenia (brak słów kluczowych) – w języku polskim i angielskim, Spisu treści, Komentarza Autora, Spisu załączników – będących publikacjami naukowymi stanowiącymi rozprawę doktorską oraz Załączników, z których Załącznik 4 odnosi się do Oświadczeń współautorów.

Jednobrzmiące syntetyczne Streszczenia 1-stronicowe zawierają cel pracy, informacje o przeprowadzonych badaniach – zakresie, wynikach przeprowadzonych badań, aplikacyjnym charakterze badań.

Komentarz Autora, 46 stronicowy, obejmuje: Wprowadzenie (przedstawienie pozycji składających się na rozprawę doktorską, 3 hipotez badawczych, podkreślenie użytkowego charakteru pracy i zdefiniowanie przedmiotu badań); Wstęp (uwarunkowania przyrodnicze

i ekonomiczne, sygnalizacja metodyki badań, sieci ciepłowniczych najnowszej generacji, literatury przedmiotu); Stan wiedzy (*tytuł nieprecyzyjny*) (budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne implikujące występowanie wód geotermalnych), Materiały (*tytuł nieprecyzyjny*) (głównie uwarunkowania techniczne i ekonomiczne rozwoju sieci ciepłowniczych), Metody (omówione oddzielnie dla każdego artykułu), Wyniki, wnioski i dyskusję (od zapotrzebowania na ciepło poprzez analizę termiki i wydajności otworów wiertniczych po potencjalną produkcję ciepła geotermalnego); Podsumowanie (*zbyt syntetyczne*), ilustrowane 2 rycinami i 1 tabelą), Spis Literatury, liczący 66 pozycji (w tym 32 anglojęzyczne) oraz Spis ilustracji, liczący 14 rysunków.

Rozprawę doktorską stanowią następujące publikacje naukowe:

1/ Canales, F. A., Jadwiszczak, P., Jurasz, J., Wdowikowski, M., Ciapała, B., Kaźmierczak, B. (2020). **The impact of long-term changes in air temperature on renewable energy in Poland**. Science of the Total Environment, Volume 729, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138965>

2/ Ciapała, B., Jurasz, J., Janowski, M. Kępińska, B. (2021). **Climate factors influencing effective use of geothermal resources in SE Poland: the Lublin trough**. Geothermal Energy, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40517-021-00184-1>

3/ Ciapała, B. (2023). **Geothermal potential of the Lublin trough is lowtemperature and north-concentrated. What may be environmental impact of their use?** Rocznik Ochrony Środowiska (przyjęte do druku).

W Załączniku 4 znajduje się 5 Oświadczeń współautorów o 16,6% udziale mgr inż. Bartłomieja Ciapała w przygotowaniu artykułu „The impact of long-term changes in air temperature of renewable energy in Poland” oraz 3 Oświadczenia Współautorów o 70% udziale mgr inż. Bartłomieja Ciapała w przygotowaniu artykułu „Climate factors influencing effective use of geothermal resources in SE Poland: the Lublin through”.

Należy uznać, znaczący czasowy, jakościowy progres publikacji naukowych wchodzących w skład dysertacji, publikowanych w okresie 4 lat. W szerszej perspektywie należy odnotować, że od 2015 roku, jako autor lub jako współautor, opublikował 35 prac naukowych, cytowanych ponad 340 razy (według Google Scholar) i jest zauważany i doceniany na LinkedIn m.in. w zakresie wiedzy o odnawialnych źródłach energii oraz o nisko-temperaturowej energetyce geotermalnej, umiejętności obsługi oprogramowania GIS.

3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Dobór i wykorzystanie źródeł właściwe. W pracy (w Komentarzu Autora) wykorzystano 66 pozycje literatury, w tym 32 anglojęzyczne. Pozycje literatury pochodzą z lat 1956-2023, przeważnie z lat 10. i 20. XXI w. Są ściśle związane z tematyką pracy i odnoszą się głównie do problematyki geotermalnej (w tym do najnowszych rozwiązań odnośnie sieci ciepłowniczych), budowy geologicznej (zwłaszcza tektoniki) i warunków hydrogeologicznych w obszarze badań.

Odczuwa się brak w Komentarzu pozycji literatury z zakresu hydrogeologii – A. Różkowski, Z. Wilk (red., 1989) Warunki hydrogeologiczne Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Prace IG CXXV. Wyd. Geol. Warszawa a także dla obszaru badań seryjnych arkuszy Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:200000 oraz wybranych arkuszy Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50000

4. Wskazanie oraz ocena celu pracy Kandydata do stopnia doktora

Celem naukowym pracy Kandydata jest rozpoznanie warunków występowania wód geotermalnych w obszarze niecki lubelskiej. Celem użytkowym jest wskazanie obszarów, dla których istnieje możliwość prowadzenia dalszych analiz w niecce lubelskiej pod kątem możliwości udostępnienia i wykorzystania zasobów wód geotermalnych.

Cele naukowy i wdrożeniowy są prawidłowo wyodrębnione, słusznie wysuwając na pierwszy plan kompleksowe rozpoznanie uwarunkowań przyrodniczych funkcjonowania wód geotermalnych w obszarze badań, będące punktem wyjścia dla ich efektywnego ekonomicznie udostępnienia i wykorzystania jako odnawialnego źródła energii.

Proces badawczy rozpoczął się od postawienia następujących hipotez badawczych:

- 1/ W obrębie utworów mezozoicznych i kenozoicznych niecki lubelskiej znajdują się poziomy wodonośnie perspektywiczne dla energetycznego wykorzystania zawartych w nich wód z uwagi na odpowiednie parametry zbiornikowe i termiczne;
- 2/ Najkorzystniejsze parametry zbiornikowe i termiczne występują w północnej części niecki lubelskiej, co implikuje większy potencjał geotermalny tego rejonu;
- 3/ Temperatura zasilania odbiorcy ciepła oraz towarzyszące jej stopień schłodzenia wody geotermalnej są czynnikami, które mogą wpływać na zwiększenie potencjału energetycznego złóż wód w perspektywicznych rejonach zbiorników mezozoicznych i kenozoicznych. Można wyznaczyć jego fizyczną i ekonomiczną granicę.

Sformułowane hipotezy badawcze są postawione właściwie, ściśle nawiązują do celów naukowych i użytecznych Kandydata. W rozprawie doktorskiej potwierdzono w określonym stopniu wymienione hipotezy badawcze:

1/ Potwierdzono z dużym prawdopodobieństwem możliwość występowania na obszarze niecki lubelskiej w utworach mezozoicznych o podwyższonej przepuszczalności wód geotermalnych (rozdział 5.3, 5.4).

2/ Udokumentowano, że optymalny rozwój sieci ciepłowniczych jest możliwy w północnej części niecki lubelskiej, biorąc pod uwagę moc, możliwości odbioru energii i wielkości obszarów (rozdział 5.4)

3/ Dzięki przeprowadzonym obliczeniom i symulacjom ustalono, że przy określonej wydajności otworu i znanym profilu zapotrzebowania na ciepło, można obliczyć maksymalną różnicę temperatur wody geotermalnej produkowanej i zatlaczanej, jaka jest w danych warunkach uzasadniona ekonomicznie, przy istnieniu fizycznej granicy schładzania wody geotermalnej. Udokumentowano, że obniżenie temperatury zasilania pozwoli na znaczne zwiększenie potencjału geotermalnego niecki lubelskiej (rozdział 5.2, 5.3., 5.4).

5. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

W pracy w wyróżnionych 3 publikacja naukowych zastosowano szereg metod badawczych, adekwatnych do realizowanych zadań.

W publikacji „The impact of long-term changes in air temperature on renewable energy in Poland” autor niniejszej pracy dokonał analizy literatury i oceny jakościowej zjawisk spodziewanych w związku ze zmianami klimatu, w kontekście zapotrzebowania na energię cieplną. W konkluzji pracy stwierdził, że zapotrzebowanie na energię cieplną w Polsce pozostanie na istotnym poziomie, jednak długość sezonu grzewczego może ulec wydłużeniu przy równoczesnym zmniejszeniu maksymalnych wartości zapotrzebowania na ciepło w ujęciu mocy. Będzie można obserwować trend zwiększenia udziału energii geotermalnej w łącznej energii dostarczanej do odbiorców ciepła oraz wzrost implementacji

sieci grzewczo-chłodnicze warunkowanych zwiększeniem zapotrzebowania na energię do chłodzenia obiektów.

Przedstawiona analiza literatury i ocena jakościowa zjawisk spodziewanych w związku ze zmianami klimatu jest właściwa dla udokumentowania uwarunkowań pozyskiwania energii geotermalnej i rozwoju sieci ciepłowniczych w makro skali, aczkolwiek w Komentarzu można było wyeksponować podstawowe, przeglądowe źródła informacji.

W publikacji „Climate factors influencing effective use of geothermal resources in SE Poland: the Lublin trough” autor zastosował nowoczesne komputerowe metody analizy i przetwarzania danych (m.in. sztuczne sieci neuronowe do wyestymowania na podstawie danych meteorologicznych profili zapotrzebowania na ciepło w 15-letnim okresie dla Polski SE). Istotne było uwzględnienie aspektów technicznych w kontekście eksploatacji otworowej wód geotermalnych relacji: wielkość poboru – piaszczenie otworu. Bardzo pogładowe były wizualizacje danych w postaci map zróżnicowania parametrów statystycznych i przykładowych rozkładów zapotrzebowania na ciepło w jednej z godzin 15-letnich szeregów czasowych oraz wykresów obrazujących statystyki w zestawach danych. *Kandydat wykazuje dobrą znajomość nowoczesnych komputerowych metod analizy i przetwarzania danych (m.in. sztuczne sieci neuronowe), przy jednoczesnym reagowaniu na uwarunkowania geologiczno – techniczne eksploatacji wód podziemnych. Zasadne było także pozyskanie danych o faktycznym sposobie użytkowania sieci z geotermii Mszczonów – ciepłowni geotermalnej znajdującej w sąsiedztwie niecki lubelskiej. Mszczonów stanowi więc najbliższą niecce lubelskiej ciepłownię geotermalną. Należy zwrócić jednocześnie uwagę na fakt, że ujęcie to eksploatuje wody z poziomu kredy dolnej. Biorąc pod uwagę temat rozprawy doktorskiej można było zwrócić uwagę także na doświadczenia związane z pracą ujęć eksploatujących wody z poziomu jury dolnej (Pyrzyce, Stargard).*

W publikacji „Geothermal potential of the Lublin trough is lowtemperature and north-concentrated. What may be environmental impact of their use? autor wykorzystał kompleksowo i właściwie przyczynowo – skutkowo szereg metod - komputerowego modelowania geologicznego w celu wykonania modeli: strukturalnego i modelu litologicznego oraz parametrycznego niecki lubelskiej, ponadto wykorzystał oprogramowanie służące do wykonania obliczeń na mapach i analiz przestrzennych i przygotowania map wynikowych. Należy wymienić zastosowaną całą gamę oprogramowania: Matlab firmy MathWorks, OriginPro firmy Origin labs, Petrel firmy Schlumberger, QGIS. Finalny model geotermalny niecki lubelskiej opracował autor na podstawie modelu geologicznego obszaru lubelskiego z 2016r., wykonanego przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy.

Wskazane jest podkreślić imponujący zbiór wykorzystanych i przetwarzanych danych, począwszy od modelowania geologicznego jako wyjściowego m.in. położenie stropów warstw na podstawie 350 otworów wiertniczych, pozyskanie i digitalizacji 82 profilów litologicznych, realizacja modelu opartego na prawie 30 milionach komórek, zajmujących powierzchnię 20 tys. km², konstrukcja map koniecznych parametrów dla 10 interwałów głębokości i inne. Warto wyróżnienia jest precyzyjne przejście przez kolejne elementy modelowania kompleksowego, uwzględniające elementy przyrodnicze, techniczne (jak wprowadzanie poprawek na zróżnicowanie termiki w otworze warunkowane obiegiem płuczki, przy tworzeniu modelu termicznego) i ekonomiczne. W metodyce badań autor musiał się wykazać jednocześnie wiedzą teoretyczną, powiązaną ze znajomością hydrogeologii regionalnej odnośnie selekcji obszarów, których budowa geologiczna spełniała kryteria eksploatacji wód

geotermalnych tj. średniej przepuszczalności hydraulicznej skał >500 mD, miąższości skał >20 m, średniej temperatury (>20°C lub >42°C), uzależnionej od rodzaju sieci. Należy podkreślić złożoność wykonanej analizy naukowej. Rozważania hydrogeologiczne były punktem wyjścia do obliczenia potencjalnej mocy grzewczej w węzłach sieci modelowej i konstrukcji mapy potencjalnej mocy grzewczej, z uwzględnieniem stopnia schłodzenia wody geotermalnej oraz rachunku ekonomicznego - selekcji obszarów o wystarczającej gęstości zapotrzebowania na ciepło, wytypowania obszarów perspektywicznych dla rozwoju geotermii, zapotrzebowania na ciepło odbiorców.

6. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Rozdział 5 Komentarza autora, zatytułowany „Wnioski, wyniki i dyskusja” składa się z pięciu podrozdziałów. W podrozdziale 5.1. „Zapotrzebowanie na ciepło i wpływ zmian klimatu na potencjał geotermalny” autor koncentruje się na możliwym scenariuszu klimatycznym i zapotrzebowaniu na ciepło. Konkluduje, że zapotrzebowanie na moc grzewczą będzie spadać wraz z postępującymi zmianami klimatu, które będą sprzyjały uzasadnionemu ekonomicznie funkcjonowaniu ciepłowni geotermalnych. Ułatwione więc może zostać wykorzystanie źródeł oferujących niższe temperatury zasilania (zwiększony udział energii ze źródeł geotermalnych, przy obniżeniu udziału energii ze źródeł szczytowych). Ciekawym novum ekonomicznym, warunkowanym sytuacją klimatyczną, którą przedstawia autor będą dłuższe sezony grzewcze, przy zapotrzebowaniu na ciepło rzadziej i na krótszy czas osiągającym wartości zbliżone do nominalnych. Bardzo trafny jest wniosek techniczny - obciążenie odwiertów geotermalnych może wzrosnąć, ale pod warunkiem dostosowania odbiorcy do odbioru ciepła o temperaturze oferowanej przez odwiert geotermalny.

Podrozdział 5.2. „Współczynnik obciążenia odwiertu, gradient zmiany mocy” ma charakter technologiczny i użytkowy, co jest jedną z istotnych wartości rozprawy doktorskiej. Autor oszacował wielkość tzw. współczynnika obciążenia (CF), dla której występuje na krzywej uporządkowanych obciążeń cieplnych punkt przegięcia, co warunkuje możliwość obliczenia ekonomicznej granicy, do jakiej należy zwiększać stopień schłodzenia wód geotermalnych. Akceptowana wielkość współczynnika CF jest zależna od oczekiwanej efektywności ekonomicznej (kosztów funkcjonowania odwiertu i ceny sprzedawanej energii geotermalnej) a regulowany jest stosunkiem mocy odwiertu do mocy całej instalacji, na którą wpływa z kolei stopień schłodzenia wody geotermalnej. Autor prawidłowo dowodzi, że znając maksymalną moc odbiorców zakładaną wartość współczynnika CF, można obliczyć dla określonej wydajności otworu, jaki jest ekonomicznie uzasadniony stopień schłodzenia i wielkość produkcji ciepła geotermalnego.

W podrozdziale 5.3. „Temperatura w kolejnych interwałach głębokości” prawidłowo i klarownie przedstawiono warstwy w profilu geologicznym spełniające warunki minimalne odnośnie wymagań geotermalnych (przepuszczalność ośrodka skalnego, miąższość, temperatura) z możliwością implementacji określonego rodzaju sieci ciepłowniczej. Z przeprowadzonej analizy wyciągnięto słuszne wnioski, że temperatury dostępne w prawdopodobnych geotermalnych warstwach wodonośnych niecki lubelskiej umożliwiają rozwój jedynie awangardowych rozwiązań ciepłowniczych oraz tworzenie ciepłowni geotermalnych zaopatrujących większe, lecz pojedyncze obiekty (jak hotele, zespoły basenów, szpitale i inne), z założenia przystosowane do wykorzystania niskich temperatur zasilania instalacji grzewczych. Stąd też wynika, że stopień zaopatrzenia tych obiektów w ogrzewanie i chłodzenie geotermalne jest zależny od występujących temperatur oraz uzyskanych wydajności otworów wpływających na dostępną moc grzewczą odwiertu.

W przeprowadzonej dyskusji wyników brakuje odniesienia do elementów przyrodniczych (wykształcenia litostratygraficznego utworów i stratygrafii poziomów wodonośnych występujących w wyróżnionych interwałach głębokości).

W podrozdziale 5.4. „Wydajność objętościowa otworów” prawidłowo przedstawiono warstwy w profilu pionowym spełniające warunki minimalne odnośnie wymagań geotermalnych w zakresie wydajności otworów. Słusznym też wnioskiem jest, że położenie obszarów o spodziewanej wysokiej wydajności (*a nie produktywności*) jest wyraźnie związane z obecnością uskoku, na które wskazuje zeszcelinowanie skał wodonośnych, które uznać można za perspektywiczne dla rozwoju lokalnej geotermii. Autor przyznaje jednocześnie, że ze względu na ograniczone możliwości modelowania systemów szczelinowych, konieczne jest przed ewentualną próbą udostępnienia tamtejszych zasobów geotermalnych przeprowadzenie badań szczegółowych potwierdzających występowanie stref spękanych na spodziewanej głębokościach. *W przeprowadzonej dyskusji wyników brakuje także odniesienia do elementów przyrodniczych (wykształcenia litostratygraficznego utworów i stratygrafii poziomów wodonośnych występujących w wyróżnionych interwałach głębokości). Jednocześnie autor powinien pamiętać, że głębokie uskoki tektoniczne mogą być strefą drenażu regionalnego i wyprowadzać wody głębszego krążenia a więc wody z dolnej strefy hydrodynamicznej, jak w strefie dyslokacji Kocka (A. Rózkowski, Rudzińska, 1978) i w takiej sytuacji autor bada także częściowo potencjał geotermalny wód z utworów paleozoiku. Jednocześnie należy zauważyć, że w strefach m.in. uskoku Hanny i Święcicy, w zależności od układu pola hydrodynamicznego może zachodzić proces zasilania lub drenażu wód głęboko występujących poziomów wodonośnych (A. Rózkowski, Wilk red., 1989).*

W podrozdziale 5.5. „Dostępna moc grzewcza i spodziewana produkcja ciepła geotermalnego” autor przedstawia techniczne i perspektywiczne wnioski, słusznie dowodząc, że zwiększenie stopnia schłodzenia zwiększy potencjał energetyczny złóż wód geotermalnych niecki lubelskiej. Pada też ważne przyrodnicze stwierdzenie, że potencjał wykorzystania zasobów, jest ograniczany możliwością wykorzystania tych zasobów, stąd doskonałość technologiczna sieci ciepłowniczej rozumiana jako stopień schłodzenia wód geotermalnych może, ale wcale nie musi spowodować zwiększenia potencjału energetycznego złóż wód geotermalnych.

Ważnym regionalnym wnioskiem jest wytypowanie obszarów perspektywicznych – północna część niecki lubelskiej, gdzie dostępne są najwyższe moce oraz istotna gęstość zabudowy wskazująca na możliwość rozwoju sieci ciepłowniczych. Jest też odniesienie geologiczne – perspektywiczne poziomy wodonośne dla energetycznego wykorzystania wód geotermalnych - występowanie warstw piaskowców o wysokiej porowatości i przepuszczalności hydraulicznej oraz strefy dyslokacji tektonicznych i związanych z nimi naprężeń, o wysokiej przepuszczalności, które mogły przyczynić się do rozluźnienia struktury skał węglanowych, co wymaga, jak autor słusznie zauważył - szczegółowych badań. *Uwagi jak dla podrozdziału 5.4.*

7. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Z informacji zawartych w artykułach i Komentarzu Autora można wnioskować, że wyniki badań mogą być wykorzystywane w rozwoju wykorzystania OZE w Polsce, z uwzględnieniem zmian klimatycznych. W artykule nr 1 określono ilościowo długoterminowe zmiany trendów temperatury, które wpływają na działanie odnawialnych źródeł energii (OZE) i krajowego zapotrzebowania na moc. W zależności od technologii OZE przyrosty temperatury powietrza mogą okazać się korzystne lub niekorzystne. W przypadku

powietrznych pomp ciepła wzrasta potencjał źródła ciepła i wydłuża czas pracy wyższa wydajność. W przypadku systemów fotowoltaicznych potencjał produkcyjny może się zmniejszyć ze względu na obniżenie wydajności systemów. W przypadku generatorów wiatrowych redukcja gęstości powietrza będzie istotną kwestią, ale jednocześnie wyższa temperatura w okresie zimowym może obniżyć występowanie zdarzeń oblodzenia i wymuszonego wyłączenia turbin wiatrowych. Źródła energii geotermalnej są stosunkowo niewrażliwe pod względem zmian klimatu. Ciepłe zimy mogą ułatwić korzystanie z energii geotermalnej do celów ogrzewania pomieszczeń.

W artykule nr 2, odnosząc się do realiów inwestycyjnych, stwierdzono, że czynniki klimatyczne w niecce lubelskiej wpływają na popyt ciepła w sposób ułatwiający rozwój ciepłownictwa miejskiego, zwłaszcza ciepłownictwa geotermalnego, ze względu na stabilność i przewidywalność zużycia ciepła, co zapewnia klimat południowo-wschodniej Polski. W niecce lubelskiej mogą być efektywnie eksploatowane dostępne niskotemperaturowe zasoby geotermalne. Współczynniki wydajności mieszczą się w korzystnym przedziale, przy założeniu kompatybilności odbiornika z parametry ciepłne źródła ciepła, stąd istnieje uzasadnione optymistyczne oczekiwanie, że nowe budynki będą wykorzystywać ogrzewanie podłogowe i wewnętrzne pompy ciepła powinny obniżyć oczekiwane parametry temperaturowe ciepłownictwa w przyszłości. Jednocześnie konieczna jest ocena maksymalnego bezpiecznego pompowania, ze względu na możliwość piaszczenia otworu, zagrażającemu złożu i infrastrukturze, przy intensywnym wroście eksploatacji otworu.

W artykule nr 3 autor dokumentuje, na podstawie modelowania geologicznego i analizy GIS, że zasoby geotermalne regionu lubelskiego są niskotemperaturowe (<50°C), stąd jedyną możliwością ich eksploatacji jest bezpośrednie wykorzystanie wód geotermalnych w obiektach lub eksploatacja ultraniskotemperaturowych systemów ciepłowniczych. Główny potencjał produkcyjny energii geotermalnej niecki lubelskiej znajduje się w jej północnej części, w pobliżu niecki warszawskiej i pobliskich głównych stref spękań. Należy jednak opracować metodologię potwierdzania przepływu i dostępności wód geotermalnych w strefach spękań. Autor obliczył, że do 300 GWh ciepła geotermalnego rocznie mogłoby być produkowane i zużywane na badanym obszarze, gdyby obiekty mieszkalne i komercyjne mogły skorzystać z ultraniskotemperaturowego systemu ciepłowniczego, co doprowadziłoby do znacznego ograniczenia lokalnej emisji zanieczyszczeń powietrza i zmniejszone zużycie paliw kopalnych.

8. Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

1/ Tytuł całej rozprawy doktorskiej jest niezbyt adekwatny do tytułów (częściowo zawartości) publikacji naukowych nr 1 i nr 2, będących częścią rozprawy doktorskiej.

2/ W części wstępnej rozprawy doktorskiej zabrakło definicji podstawowych terminów z zakresu geotermii, którymi autor operuje w rozprawie doktorskiej.

3/ Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne scharakteryzowane są zbyt syntetycznie a przecież one decydują o warunkach geotermicznych obszaru. Należało przedstawić najbardziej perspektywiczne, z punktu widzenia tematyki rozprawy doktorskiej, poziomy wodonośne, ich rozprzestrzenienie, miąższość, podstawowe parametry hydrogeologiczne. Ich miąższość, głębokość zmieniają się, wzrastając od wschodniej granicy państwa. Jak wygląda łączność hydrauliczna między poziomami wodonośnymi w kontekście zasilania niższych poziomów wodonośnych chłodniejszymi wodami z nadkładu? Wskazane było przedstawienie

dynamiki wzrostu mineralizacji tych wód w profilu głębokościowym, z punktu widzenia eksploatacji instalacji geotermalnych.

4/ Brakuje tabeli zbiorczej z zestawieniem, choćby statystycznym, otworów / ujęć eksploatujących wody podziemne z utworów kenozoiku i mezozoiku, z krótką charakterystyką hydrogeologiczną, w tym podaniem stratygrafii ujmowanego poziomu wodonośnego.

5/ s. 9 - Rys. 3 – Mapa – obszar objęty modelowaniem geologicznym w zestawieniu z JCWPd i GZWP; brakuje regionalnej mapy hydrogeologicznej z przedstawieniem warunków zasilania i krążenia wód podziemnych

6/ s. 28 – trudno spekulować o intruzji magmowej na platformie wschodnioeuropejskiej

7/ rozprawa doktorska jest bardzo technicyzowana a powinna mieć także wymiar przyrodniczy, m.in. warstwy wodonośne o najlepszych parametrach odnośnie eksploatacji wód geotermalnych powinny być przypisane konkretnym poziomom wodonośnym, w których wody podziemne występują w ośrodku porowym, szczelinowo – porowym lub szczelinowo – krasowym a nie tylko interwałom głębokości.

8/ Brakuje w Komentarzu informacji w jakich interwałach głębokości występują w obszarze badań wody podziemne w utworach kenozoiku, mezozoiku a w jakich są już w utworach górnego karbonu? Według A. Rózkowski, T. Rudzińska (1978) utwory karbonu pokryte są węglanowymi utworami jury i kredy. Miąższość węglanowych utworów jury i kredy, przykrywających utwory karbonu waha się w Centralnym i Północnym Okręgu Węglowym Lubelskiego Zagłębia Węglowego od 470 do 720 m a złoża węgla kamiennego, związane z utworami westfalu, występują już na głębokości 650–960 m, dochodząc lokalnie do 1 100 m.

9/ Analizując możliwe do pozyskania zasoby wód geotermalnych autor powinien odnieść się w pierwszej kolejności do odnawialności wód podziemnych i zasobów dyspozycyjnych, w kontekście ich częściowego wykorzystania w kierunku pozyskania wód geotermalnych.

10/ Antropopresja na środowisko wód podziemnych objawia się nie tylko eksploatacją wód geotermalnych ale także eksploatacją wód podziemnych do celów pitnych (m.in. aglomeracja Lublina), czy też odwodnieniami górnictwami (kamieniołomy, górnictwo podziemne). Największym problemem np. dla górnictwa węgla kamiennego jest konieczność drenażu wód z nadległego poziomu wodonośnego szczelinowo – krasowego jury górnej. Omawiany drenaż wód podziemnych z pewnością obniża wielkość dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych.

11/ Charakteryzując rolę dyslokacji tektonicznych odgrywających istotną rolę w pozyskaniu energii geotermalnej należało odnieść się do ich roli w krążeniu wód podziemnych, np. według A. Rózkowski, T. Rudzińska (1978) w strefach dyslokacji ograniczających antyklinę Kocka ma przypuszczalnie miejsce częściowy drenaż karbońskich poziomów wodonośnych a więc mogą to być wody związane z paleozoicznymi poziomami wodonośnymi !

12/ błędy redakcyjne:

s. 8 – tytuł ryc. 2

s. 44 – Spis literatury: błędy bibliograficzne, m.in. – Stupnicka E (1931 – błędna data); Paweł. A. zamiast Aleksandrowski P.

9. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Według Recenzenta rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W pracy, składającej się z cyklu 3 artykułów i niniejszego przewodnika do nich, autor przedstawił zakres i przebieg prac, które przyczyniły się do rozwoju wiedzy na temat potencjału geotermalnego wód ze zbiorników mezozoicznych i kenozoicznych niecki

lubelskiej warunkowany sposobem energetycznego zagospodarowania ich zasobów. Wśród osiągnięć naukowych pracy należy wymienić:

- potwierdzenie z dużym prawdopodobieństwem możliwość występowania na obszarze niecki lubelskiej wód geotermalnych w utworach mezozoicznych,
- udokumentowanie rejonizacji niecki lubelskiej odnośnie możliwości realizacji rozwoju geotermalnych sieci ciepłowniczych - do północnej części niecki lubelskiej, biorąc pod uwagę potencjał geotermalny, w ujęciu mocy, możliwości odbioru energii i wielkości obszarów
- w aspekcie ekonomicznym – poszukiwanie dla ciepłowni geotermalnych optymalnego współczynnika obciążenia (CF) mocy grzewczej odwiertu, wynikającego z proporcji pomiędzy mocą źródła geotermalnego a nominalną mocą ciepłowni, dla obliczenia maksymalnej, uzasadnionej ekonomicznie, różnicy temperatur wody geotermalnej produkowanej i zatłaczanej
- udokumentowanie zależności, że zwiększenie stopnia schłodzenia zwiększa potencjał geotermalny złoża wód geotermalnych, przy jednoczesnym stwierdzeniu istnienia fizycznej granicy schładzania wody geotermalnej, którą jest temperatura, w której gęstość wody osiąga swoje maksimum, rzutująca na ograniczenie prędkości przepływu wody w instalacjach geotermalnych
- wykazanie, że uwarunkowania przyrodnicze Niecki lubelskiej determinują realizację niskotemperaturowych klasycznych sieci ciepłowniczych z absorpcyjną pompą ciepła pobierającą ciepło z wód geotermalnych oraz sieci superniskotemperaturowych, ze wskazaniem ekonomicznym na te ostatnie
- dokumentacja kartograficzna (mapy, przekroje, wykresy) i tabelaryczna, która może być wykorzystana w obszarze niecki lubelskiej do projektowania niskotemperaturowych systemów ciepłowniczych bazujących na miejscowych zasobach geotermalnych
- możliwość aplikacji uzyskanych wyników badań, w tym osiągnięć metodycznych, w obszarach o podobnych warunkach klimatycznych, budowie geologicznej i warunkach hydrogeologicznych.

10. Ocena, czy rozprawa doktorska reprezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W opinii Recenzenta rozprawa doktorska reprezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie, osadzoną w tematycznym nurcie naukowym a także umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Dowodzą tego m.in. wyniki badań Kandydata porównywane z aktualnym stanem wiedzy, publikowanym przez innych autorów, w czasopiśmie krajowych i międzynarodowych. Autor udokumentował znajomość stanu rozpoznania warunków hydrogeologicznych w regionie lubelskim (Herbich & Krajewski, 1991; Krajewski, 1970; Krassowska, 1981; Malinowski, 1977; Rózkowski & Rudzińska, 1978; Rózkowski & Rudzińska-Zapaśnik, 1983; Zwierzchowski, 1989), występowania i zasobów wód geotermalnych w regionie lubelskim (Ciosmak 2009, Górecki & Hajto i in. 2006, Karwasiecka i in. 2008). Przy konstrukcji modelu geotermalnego niecki lubelskiej

odwoływał się do wyników dotychczasowych doświadczeń w odniesieniu m.in. do przepuszczalności górotworu (Bujakowski & Barbacki 2004, Feldsrappe i inni. 2007, Schroeder 1976). miąższość utworów wodonośnych (Kramers i in. 2012, Limberger i in. 2018, Marko i in. 2012, Pluymaekers i in. 2012, Rockel i in. 1997, Seibt & Kellner 2003). Oceniając zapotrzebowanie na ciepło powoływał się na prace Chambers i in. (2019), Kasperkiewicz (2005), Narula i in. (2019), Persson i in. (2014), Quiquerez i in. (2017), natomiast charakteryzując klasyfikacje sieci ciepłowniczych odwoływał się do publikacji Li & Svendsen (2012), Lund i in. (2014, Ostergaard & Svendsen 2017, Turski & Sekret 2015, Yang i in. 2016, Yang & Svendsen 2018)

Ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, mające odzwierciedlenie w rozprawie doktorskiej, ma umocowanie w doświadczeniach z pracy naukowej i zawodowej Kandydata. Na podstawie studiowania literatury tematycznej polsko- i anglojęzycznej, zapoznał się autor szczegółowo z najnowszymi doświadczeniami i rozpowszechnianymi w innych krajach praktykami w zakresie rozwoju sieci niskotemperaturowych i superniskotemperaturowych, co skutkowało przygotowaniem zespołowych publikacji (w których autor dysertacji był pierwszym autorem) i przedyskutowanie tych koncepcji na szerokim forum naukowym.

W trakcie stypendium w Islandii w 2016r. wdrożył autor w realizowanym projekcie naukowym „Feasibility study of Enhanced Geothermal Systems in low-temperature areas in Iceland with Hot Dry Rock” po raz pierwszy metodę generalizacji gęstości zapotrzebowania na ciepło do celów grzewczych, która była następnie rozwijana i umożliwiała podjęcie wstępnych decyzji odnośnie wyboru obszarów do lokalizacji sieci ciepłowniczych.

Ciapała, B., Jurasz, J., & Janowski, M. (2017). Decision support for optimal location of local heat source for small district heating system on the example of biogas plant. *E3S Web of Conferences*, 17.

Ciapała, B., Janowski, M., & Jurasz, J. (2018). Superniskotemperaturowa sieć ciepłownicza z indywidualnym źródłem szczytowym w kontekście zaopatrzenia w ciepło budynku wykonanego w technologii tradycyjnej. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 2. <https://min-pan.krakow.pl/wydawnictwo/wpcontent/uploads/sites/4/2019/01/05-ciepała-i-inni.pdf>

Ciapała, B., Jurasz, J., & Janowski, M. (2018a). Ultra-low-temperature district heating systems – a way to maximise the ecological and economical effect of an investment? *E3S Web of Conferences*, 44, 00018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400018>

Ciapała, B., Jurasz, J., & Janowski, M. (2018b). Ultra-low-temperature district heating systems a way to maximise the ecological and economical effect of an investment? *10th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO-DOK 2018*, 00018, 1–5. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400018>

Ciapała, B., Hajto, M., Janowski, M., & Kępińska, B. (2021). Geothermal Potential Increase Related to Low-and Ultra-low Temperature District Heating Systems Application - Preliminary Version. *Proceedings World Geothermal Congress 2020+1*.

<http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/35017.pdf>

Autor wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i ma dobre rozeznanie w związkach przyczynowo – skutkowych przyrodniczo – techniczno – ekonomicznych. Dowodzi tego m.in. przyjęta metodyka, którą proponuje stosować do oceny regionalnego potencjału geotermalnego. Słusznie przyjmując warunki *sensu stricte* geologiczne, jako podstawa funkcjonowania geotermii, estymuje położenie i produktywność

geotermalnych warstw wodonośnych, na co nakładają się przyszłe wieloscenariuszowe zmiany warunków klimatycznych. Wykazuje dużą umiejętność oceny historycznych uwarunkowań powierzchniowych oraz oceny obecnych warunków zagospodarowania terenu w kontekście możliwości wykorzystania energii geotermalnej i szacowania prawdopodobnych kierunków jego zmian. Wykazuje nowatorskie podejście dla regionalnej oceny potencjału geotermalnego, traktując potencjał geotermalny jako część zasobów energii geotermalnej zgromadzoną w wodach geotermalnych, którą faktycznie może wykorzystać już istniejąca infrastruktura na powierzchni. Należy podkreślić autorską kontynuację metodyki oceny potencjału zasobów geotermalnych opracowaną w Zakładzie / Katedrze Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej, w której realizowana jest rozprawa doktorska. O umiejętności właściwego ukierunkowania pracy naukowej świadczy także fakt skupienia analiz autorskich na sieci ciepłownicze najnowszych generacji - sieci ciepłownicze niskotemperaturowe i superniskotemperaturowe, ze względu na ograniczone temperatury na kratonie wschodnioeuropejskim z jednej strony oraz wymogi ekonomiczne (obniżania temperatur w sieciach ciepłowniczych w celu zwiększenia ich efektywności energetycznej).

Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej dokumentuje wreszcie udział w realizacji szeregu projektów naukowych odnoszących się do energii geotermalnej:

- Międzynarodowy grant badawczy (od 2022r.) - SAPHEA –Developing a single access point for the market uptake of geothermal energy use in multivalent heating and cooling networks across Europe (główny wykonawca)
- Granty dla Przedsiębiorców (2021-2022) - SPIN - Małopolskie Centra Transferu Wiedzy (Broker innowacji)
- Grant badawczy (2022) - Modelowanie fliszów karpacckich w celu oszacowania potencjału pomp ciepła ziemnego (wykonawca)
- Grant badawczy (2019-2020) - Częściowa ocena potencjału energetycznego i surowcowego rezerw wód termalnych i leczniczych w wybranych obszarach miejskich wraz z analizami geośrodowiskowymi i ekonomicznymi (wykonawca)
- Grant badawczy (2019) - Ocena potencjału wykorzystania rozproszonych odnawialnych źródeł energii z instalacjami geotermalnymi, pompami ciepła i instalacjami fotowoltaicznymi oraz możliwe synergii z istniejącym systemem centralnego ogrzewania Krakowa - „LAJKONIK” (wykonawca)
- międzynarodowy grant badawczy (2017-2019) - Planowanie, ocena i strategie mapowania energii geotermalnej płytkich warstw w Europie Środkowej - GeoPLASMA-CE finansowany przez Komisję Europejską w ramach programu INTERREG Środkowej Europy (główny wykonawca).

11. Ocena indywidualnego wkładu Kandydata do stopnia doktora w powstanie tej pracy (w odniesieniu do publikacji zbiorowych)

Jak wspomniano rozprawa doktorska mgr inż. Bartłomieja Ciapały składa się z trzech prac naukowych, z których w jednej jest 6 Autorów, w jednej jest 4 Autorów a w jednej jest 1 Autor. Należy zauważyć, że w 1 pracy naukowej jest 1 Autorem (publikacja nr 2) a tylko w publikacji nr 1 jest 5 Autorem. Na podstawie Oświadczeń Współautorów publikacji można ocenić indywidualny wkład Kandydata w realizację poszczególnych prac naukowych na: 16,6% w publikacji nr 1, czyli równoważny wkładowi pozostałych Autorów oraz aż 70% w publikacji nr 2. Wkład pracy mgr inż. Bartłomieja Ciapały był zauważalny w poszczególnych etapach przygotowywanych artykułów naukowych. W publikacji nr 1

stwierdzono Jego indywidualny wkład przy opracowywaniu zagadnień związanych z wpływem klimatu na potencjał produkcji i zużycia energii geotermalnej. W publikacji nr 2 był wiodący w prowadzeniu prac i obejmował projekt badań, przygotowanie danych, analizę wyników i redakcję tekstu.

Biorąc pod uwagę przedstawiony w załączniku nr 4 wkład współautorski Kandydata w przygotowanie artykułów, należy uznać Jego duży samodzielny udział w realizację obu zbiorowych prac naukowych.

12. Wnioski

Rozprawa doktorska mgr inż. Bartłomieja Ciapały stanowi samodzielny dorobek naukowy i wykazuje Jego dobrą wiedzę teoretyczną w zakresie problematyki odbioru / wykorzystania energii geotermalnej z wód podziemnych z wyeksponowaniem aspektu metodycznego i ekonomicznego. Autor wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia badań kameralnych, z zastosowaniem m.in. nowoczesnych komputerowych metod analizy i przetwarzania danych (m.in. sztuczne sieci neuronowe), komputerowego modelowania geologicznego, wykorzystania oprogramowania służącego do wykonania obliczeń na mapach i analiz przestrzennych i przygotowania map wynikowych i wizualizacji danych, posługując się przy tym szeroką gamą oprogramowania. Opanował sztukę formułowania tez oraz ich dowodzenia. Praca zawiera określone niedociągnięcia, omówione w recenzji, które powinny być skomentowane przez Kandydata w trakcie publicznej obrony pracy, jednakże nie przesłaniają one ogólnej pozytywnej oceny pracy.

Należy wyraźnie podkreślić wagę tematyki poruszanej w dysertacji. W prognozowanych bardzo niekorzystnych scenariuszach klimatycznych dla naszego kraju i kontynentu, badania służące rozwijaniu OZE mają charakter priorytetowy, zarówno w aspekcie regionalnym (udokumentowanie występowania perspektywicznych złóż wód geotermalnych w utworach mezozoicznych w północnej części Niecki lubelskiej), jak i ekonomicznym (wykazanie, że uwarunkowania przyrodnicze Niecki lubelskiej determinują realizację niskotemperaturowych klasycznych sieci ciepłowniczych z absorpcyjną pompą ciepła pobierającą ciepło z wód geotermalnych oraz sieci superniskotemperaturowych).

Przedkładana praca odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017r. poz. 1789) oraz art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018r. – przepisy wprowadzające i jest podstawą do publicznej obrony rozprawy. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Bartłomieja Ciapały do publicznej obrony rozprawy doktorskiej pt. „Potencjał geotermalny wód ze zbiorników mezozoicznych i kenozoicznych niecki lubelskiej w zależności od sposobu energetycznego zagospodarowania ich zasobów”.

