

ISSN: 2450-6869

eISSN: 2719-6763

No. 18,2024

# DEFENCE SCIENCE REVIEW

## SPECIAL ISSUE

<http://www.journalssystem.com/pno/>

[DOI:10.37055/pno/186075](https://doi.org/10.37055/pno/186075)

---

### **Analysis of the existing hydrogeological, wind and solar conditions in the area of the planned location of the low-emission, intelligent and autonomous railway station - in the aspect of energy security**

Project co-financed by the Polish Ministry of Science and Higher Education, under the program Co-financed International Projects

#### **Original article**

Bogdan Ćwik<sup>1,A-F</sup>

ORCID  [0000-0001-8774-9054](https://orcid.org/0000-0001-8774-9054)

**Received:** 2023-10-26

Katarzyna Świerszcz<sup>2,A-F</sup>

ORCID  [0000-0002-1819-6705](https://orcid.org/0000-0002-1819-6705)

**Revised:** 2023-12-15

Szymon Mitkow<sup>2,A-F</sup>

ORCID  [0000-0003-2845-2589](https://orcid.org/0000-0003-2845-2589)

**Accepted:** 2024-02-18

**Final review:** 2024-01-14

Bogusław Jagusiak<sup>2,A-F</sup>

ORCID  [0000-0001-5453-1649](https://orcid.org/0000-0001-5453-1649)

**Peer review:**

Double blind

Patrycja Bryczek- Wróbel<sup>2,A-F</sup>

ORCID  [0000-0001-7154-7335](https://orcid.org/0000-0001-7154-7335)

Bogdan Noga<sup>2,A-F</sup>

ORCID  [0000-0002-6616-4935](https://orcid.org/0000-0002-6616-4935)

Andrzej Jacuch<sup>A-F</sup>

ORCID  [0000-0003-1013-6107](https://orcid.org/0000-0003-1013-6107)

This work is licensed under the  
Creative Commons  
Attribution-NonCommercial-  
NoDerivatives 4.0 License

A – Research concept and design, B – Collection and/or assembly of data,  
C – Data analysis and interpretation, D – Writing the article,  
E – Critical revision of the article, F – Final approval of article

**Corresponding author:** Bogdan Ćwik (PhD, Ing)- Head of the International Project Rail4EARTH; Faculty of Security, Logistics and Management, Military University of Technology in Warsaw; e-mail: [bogdan.cwikl@wat.edu.pl](mailto:bogdan.cwikl@wat.edu.pl)



## EUROPE'S RAIL JOINT UNDERTAKING

### Project 101101917 — FP4 - Rail4EARTH

#### REZULTAT R001

**„Analiza istniejących uwarunkowań hydrogeologicznych, wietrznych i słonecznych w rejonie planowanej lokalizacji „niskoemisyjnego, inteligentnego i autonomicznego dworca kolejowego – w aspekcie bezpieczeństwa energetycznego”**

#### ZESPÓŁ BADAWCZY

Dr inż. Bogdan Ćwik – kierownik projektu  
Dr Katarzyna Świerszcz – zastępca kierownika projektu  
Płk prof. inż. Szymon Mitkow  
Prof. Bogusław Jagusiak  
Dr Patrycja Bryczek - Wróbel  
Dr Andrzej Jacuch  
Dr Bogdan Noga

#### Recenzenci:

Prof. Wojciech Górecki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Prof. Ryszard Jakubczak, Akademia Policji w Szczytnie

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

WARSZAWA 2024



## Spis treści

Wprowadzenie.....	7
1. Elementy uniwersalnego podejścia energetycznego.....	17
1.1. Energia w życiu biologicznym i we współczesnym społeczeństwie – elementy podejścia ewolucyjnego .....	17
1.2. Pompa ciepła jako bez emisyjny transformator energii cieplnej .....	23
1.2.1. Pompy ciepła – informacje wstępne .....	23
1.2.2. Ogólna zasada działania pompy ciepła .....	25
1.2.3. Efektywność energetyczna pompy ciepła .....	29
1.3. Podsumowanie .....	32
2. Bez emisyjne źródła odnawialnej energii cieplnej.....	34
2.1. Ciepło magazynowane w gruncie .....	34
2.1.1. Ciepło w warstwie przypowierzchniowej Ziemi .....	35
2.1.2. Ciepło magazynowane w we wnętrzu Ziemi .....	38
2.2. Ciepło magazynowane w wodzie.....	49
2.2.1. Ciepło magazynowane w wodzie gruntowej .....	49
2.2.2. Ciepło pobierane z rzek, jezior oraz stawów .....	50
2.2.3. Ciepło z instalacji komunalnych.....	52
2.2.4. Energia kinetyczna wody .....	53
2.3. Bezpośrednie wykorzystanie energii Słońca .....	58
2.3.1. Bezpośrednie wykorzystanie ciepła słonecznego .....	58
2.3.2. Energia słoneczna do produkcji energii elektrycznej .....	63
2.4. Ciepło magazynowane w powietrzu atmosferycznym.....	64
2.5. Energia wiatru.....	65
2.6. Podsumowanie .....	69
Podsumowanie .....	71
3. Charakterystyka wybranych lokalizacji dworca kolejowego.....	72
3.2. Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie .....	72
3.3. Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie.....	73
3.4. Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, gminy: Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie .....	75
3.5. Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie .....	76
3.6. Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie.....	78
4. Analiza istniejących uwarunkowań zasobów czystej energii odnawialnej w wybranych lokalizacjach.....	80
4.2. Geotermia głęboka .....	80
4.2.1. Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie .....	88

4.2.2.	Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie.....	89
4.2.3.	Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie .....	91
4.2.4.	Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie .....	92
4.2.5.	Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie.....	94
4.2.6.	Porównanie i podsumowanie .....	96
4.3.	Geotermia płytka.....	103
4.3.1.	Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie.....	108
4.3.2.	Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie.....	111
4.3.3.	Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie .....	113
4.3.4.	Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie .....	116
4.3.5.	Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie.....	119
4.3.6.	Porównanie i podsumowanie .....	122
4.4.	Energia wodna .....	123
4.4.1.	Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie.....	125
4.4.2.	Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie.....	126
4.4.3.	Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie .....	127
4.4.4.	Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie .....	128
4.4.5.	Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie.....	129
4.4.6.	Porównanie i podsumowanie .....	129
4.5.	Energia wiatru.....	133
4.5.1.	Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie.....	133
4.5.2.	Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie.....	134
4.5.3.	Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie .....	135
4.5.4.	Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie .....	136
4.5.5.	Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie.....	137
4.5.6.	Porównanie i podsumowanie .....	137
4.6.	Energia słoneczna .....	140
4.6.1.	Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie.....	142
4.6.2.	Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie.....	143
4.6.3.	Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie .....	144
4.6.4.	Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie .....	145
4.6.5.	Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie.....	146
4.6.6.	Porównanie i podsumowanie .....	146

5.	Wnioski końcowe.....	147
	Bibliografia .....	149

## Zakładane cele rezultatu

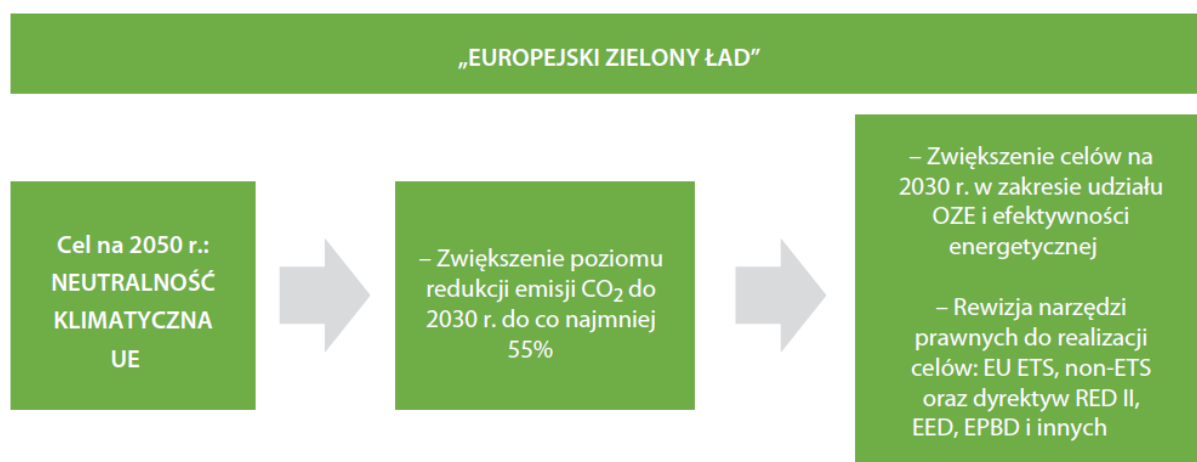
1. Analiza istniejących uwarunkowań hydrogeologicznych, wietrznych i słonecznych w rejonie planowanej lokalizacji, w tym projekt robót geologicznych dla systemu opartego na pompach ciepła.
2. Analiza zasobów energii cieplnej i wody użytkowej w wybranej lokalizacji.
3. Wytyczne i metodologia oceny zasobów energetycznych i hydrologicznych natury dla dowolnej lokalizacji dworca.

## Zadania szczegółowe:

1. Analiza uwarunkowań oraz zasobów hydrogeologicznych w miejscu lokalizacji wraz z metodologią pomiaru.
2. Analiza uwarunkowań oraz zasobów słonecznych w miejscu lokalizacji wraz z metodologią pomiaru.
3. Analiza uwarunkowań oraz zasobów wiatru w miejscu lokalizacji wraz z metodologią pomiaru
4. Projekt robót geologicznych dla niskotemperaturowego i wysokotemperaturowego źródła ciepła geotermalnego.
5. Wytyczne i metodologia oceny zasobów energetycznych i hydrologicznych dla dowolnej lokalizacji dworca

## Wprowadzenie

Podpisana w dniu 21 grudnia 2022 r., przez 76 podmiotów europejskich Umowa Grantowa (*Grant Agreement*), będąca realizacją Europejskiego Wspólnego Przedsięwzięcia Kolejowego (*European Rail Joint Undertaking*), jest jednym z elementów walki o „Zieloną Europę”. Przedsięwzięcie przyjęło kryptonim Rail4Earth. Skupia ono operatorów kolejowych, producentów pociągów i podzespołów, laboratoria badawcze i technologiczne, placówki naukowe, którzy zadeklarowali wspólny, zsynchronizowany wysiłek w następujących obszarach: dekarbonizacja, oszczędność energii, gospodarka o obiegu zamkniętym, odporność na zmiany klimatu, atrakcyjność transportu pociągami pasażerskimi. Przedsięwzięcie jest współbieżne z europejską polityką zrównoważonego transportu będącego elementem „Europejskiego Zielonego Ładu” (rys. 1), a szczególnie z programem „Europa neutralna klimatycznie do 2050 r” (rys. 2).



Rys. 1. Główne komponenty „Europejskiego Zielonego Ładu”

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 2. Elementy neutralności klimatycznej UE  
 Źródło: opracowanie własne

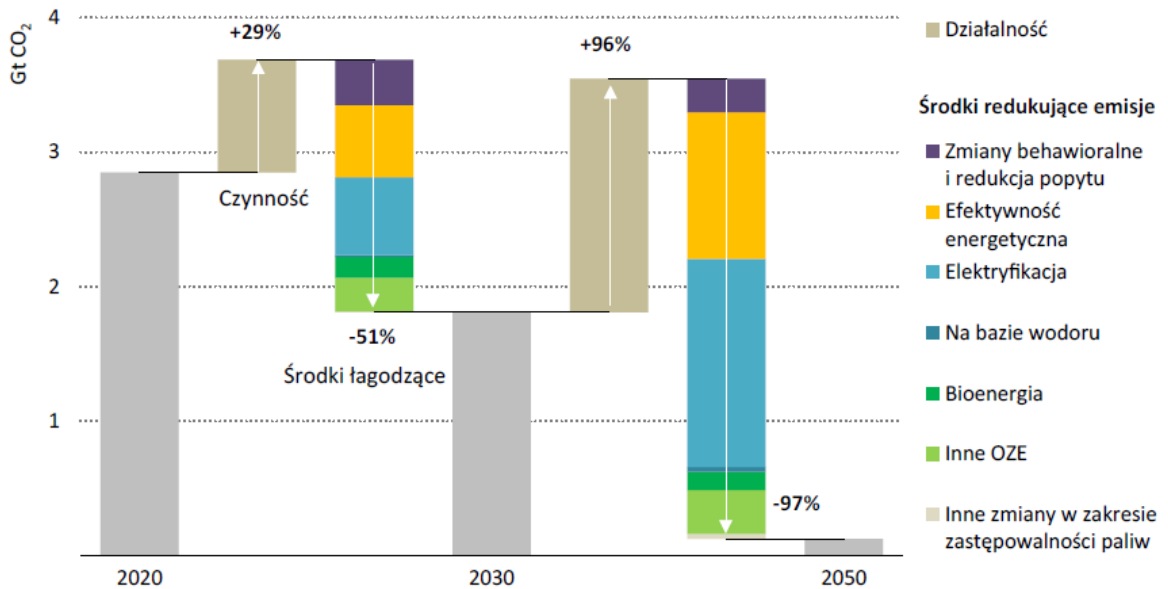
Głównym elementem neutralności klimatycznej jest „Strategia integracji systemu energetycznego” obejmując: „Strategię wodorową”, „Strategię rozwoju morskiej energetyki wiatrowej”, „Strategię fala renowacji budynków” oraz „Strategię zrównoważonego transportu” (rys. 2.).

W opublikowanej mapie drogowej osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r. Międzynarodowa Agencja Energii (MAE) podkreśla, iż efektywność energetyczna i elektryfikacja to dwa najważniejsze czynniki prowadzące do dekarbonizacji sektora budynków. MAE przewiduje, że transformacja tego sektora będzie opierać się przede wszystkim na technologiach już dostępnych na rynku, w tym na (rys. 3):

- ulepszonych przegrodach zewnętrznych w nowych i istniejących budynkach,
- pompach ciepła,
- energooszczędnych urządzeniach,
- projektowaniu budynków zgodnym z zasadami architektury bioklimatycznej oraz umożliwiającym efektywne wykorzystanie materiałów.

Przedstawione wyżej wymagania dotyczą również budynków infrastruktury kolejowej, jak również powinny być uwzględnione przez poszczególne zespoły projektowe. Czynniki dekarbonizacji budynków przedstawia rys. 3.





Rys. 3. Czynniki dekarbonizacji budynków  
Opracowanie własne

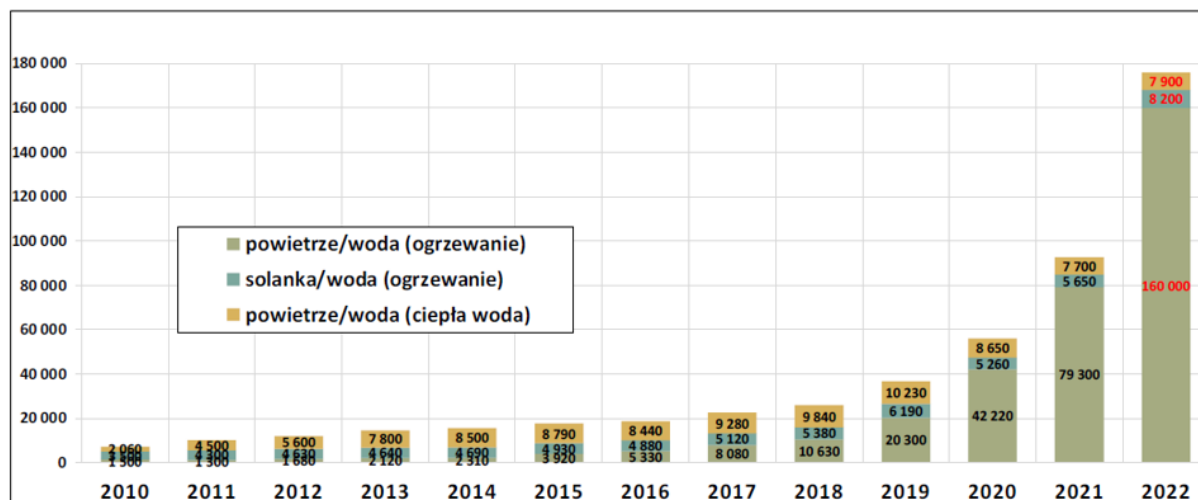
Realizacja poszczególnych celów neutralności klimatycznej wiąże się z rezygnacją z wydobywania paliw kopalnych do 2040 roku. Harmonogram związanych z tym zmian przedstawia rys. 4. Jak widać, od roku 2025 obowiązywać będzie zakaz dofinansowania kotłów na paliwa kopalne, jak również zakaz montażu tych kotłów w nowych i głęboko modernizowanych budynkach.



Rys. 4. Harmonogram zmian związanych z paliwami kopalnymi  
Źródło: opracowanie własne.

Według WAT podstawowym urządzeniem grzewczym w najbliższym czasie stanie się pompa ciepła, której głównym atutem jest bezemisyjność, malejąca cena i wzrastająca efektywność energetyczna. Świadczy o tym narastająca dynamika sprzedaży pomp ciepła

w Polsce (rys. 5). Analizy rynku europejskiego wskazują, że podobna sytuacja jest w Niemczech i w innych państwach.



Rys. 5. Sprzedaż pomp ciepła w Polsce w latach 2010 – 2022.  
Źródło: Dane Polskiej Organizacji Rozwoju Pomp Ciepła PORTA

Działając w świetle unijnego celu „Neutralności klimatycznej”, niniejszy Projekt powinien dostarczyć potrzebne rozwiązania naukowe i techniczne, poprzez rozwój i demonstracje (do poziomu TRL7) nowych rozwiązań przełomowo podnoszących efektywność energetyczno-środowiskową holistycznego systemu kolejowego. Zaproponowane w trakcie badań, analiz i projektowania nowe (przełomowe) rozwiązania, mają zostać poddane weryfikacji, ocenie wykonalności modeli ekonomicznych, zapewniającej komercjalizację z korzyścią dla obywateli Europy.

Główne cele Projektu to:

- ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> w systemie kolejowym;
- wprowadzenie w kolejach europejskich alternatywnych rozwiązań energetycznych;
- wprowadzenie w systemach kolejowych Europy holistycznego, elastycznego i dającego się kontrolować podejścia do energii - w infrastrukturze kolejowej, dworcach i budynkach kolejowych, biorąc pod uwagę cały cykl życia.

Osiągnięcie celi Projektu mierzone ma być za pomocą tzw. kluczowych wskaźników wydajności (*Key Performance Indicators* – KPI). Wnioskodawcy Projektu ustalili, że

wskaźniki te stanowiąc będą pierwszą i podstawową warstwę<sup>1</sup> oceny Projektu. Wnioskodawcy ustalili też, że partnerzy Projektu zdefiniują wspólnie uzgodnione metody ilościowego określenia odpowiednich KPI. W rezultacie EU-RAIL powinno opracować i wdrożyć podejście KPI, przyczyniając się do zintegrowanego podejścia KPI.

Według WAT, największe możliwości w osiągnięciu ww. celu projektu, będzie wiązało się głównie z opracowaniem odpowiednio efektywnych systemów wytwarzania i zarządzania energią elektryczną i energią cieplną w systemach kolejowych. WAT uważa, że szczegółowe wartości poszczególnych wskaźników powinny dotyczyć ograniczenia „śladu węglowego”, ograniczenia kosztów wytwarzania energii, ograniczenia kosztów wytwarzania i utrzymania obiektów, ograniczenia kosztów wytwarzania i utrzymania urządzeń, poprawy dobrostanu pasażerów, ograniczenia emisji substancji szkodliwych, zwiększenia niezawodności i trwałości urządzeń oraz zwiększenia odporności (obiektów i urządzeń) na zmiany klimatyczne. Przy czym wskaźniki kosztowe powinny obejmować koszty bieżące, jak również być odnoszone do cyklu życia. Ponadto, powinny być również opracowane wskaźniki dla gospodarki obiegu zamkniętego.

Wnioskodawcy Projektu ustalili, że ma zostać on oparty na 6 tzw. aktywatorach technicznych (*technical enablers*):

1. Alternatywne rozwiązania energetyczne dla taboru kolejowego.
2. Energia w infrastrukturze kolejowej:
  - inteligentne energetyczne sieci kolejowe (*Rail Power Smart Grid*) w różnych systemach, a także integracja rozwiązań magazynowania energii;
  - zastosowanie rozwiązań do produkcji, magazynowania i tankowania wodoru do pojazdów szynowych.
3. Zrównoważenie (trwałość) i odporność systemu kolejowego:
  - opracowanie rozwiązań i modeli redukcji hałasu i drgań z infrastruktury kolejowej i taboru kolejowego oraz prognozowania skutków degradacji, utrzymania i odczuwania hałasu (TRL6) oraz zapewnienie odporności na zagrożenia zewnętrzne, takie jak zmiany klimatyczne.
4. Elementy i podsystemy elektromechaniczne dla taboru kolejowego:
  - rozwiązania technologiczne umożliwiające przejście do bezpowietrznych „pociągów próżniowych”;

---

<sup>1</sup> The KPI approach at project level as the first layer.

- zoptymalizowane silniki i skrzynie biegów, wysokowydajne podwozia, zawieszenia i nowe materiały;
  - przyjazne ekologicznie technologie systemów HVAC;
  - certyfikacja aerodynamiczna metodami doświadczalnymi i numerycznymi.
5. Zdrowszy i bezpieczniejszy system kolei:
- narzędzia symulacyjne do poprawy jakości powietrza w pociągach, na stacjach i w tunelach (do TRL7).
6. Atrakcyjność pociągu:
- modułowe wnętrza taboru zapewniające nowy projekt i nową architekturę (w tym kabinę maszynisty), z poszanowaniem wymagań dla osób o ograniczonej sprawności ruchowej i poprawiające dostępność tam, gdzie to możliwe.

Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie, podejmuje się zadania opracowania autonomicznego, inteligentnego i niskoemisyjnego modułowego systemu zaopatrzenia w ciepło (chłód) i w ciepłą wodę użytkową dla dworców kolejowych. Zadanie to jest zbieżne głównie z aktywatorem technologicznym nr 2 (*energy in rail infrastructure*), w zakresie inteligentnych rozwiązań energetycznych w infrastrukturze kolejowej oraz aktywatorem technologicznym nr 3 (*sustainability and resilience of the rail system*) w zakresie wpływu infrastruktury kolejowej na zmiany klimatyczne. Jest ono również częściowo zbieżne z pozostałymi aktywatorami, jak: przyjazne ekologicznie technologie systemów HVAC (aktywator nr 4), zdrowszy i bezpieczniejszy system kolei (aktywator nr 5).

Intencją „Zespołu projektowego WAT” jest realizacja następujących głównych ambicji projektu:

- dekarbonizacja systemów kolejowych, ograniczenie śladu węglowego w tych systemach, w tym uzyskanie oszczędności energii i emisji CO<sub>2</sub> (docelowo do - 30%);
- rozwój systemów gospodarki o obiegu zamkniętym;
- zwiększenie odporności systemów kolejowych na zmiany klimatu;
- obniżenie kosztów cyklu życia (Life Cycle Cost – LLC)(Finkbeiner, 2011) systemów kolejowych o 5-10%; dodatkowo WAT zaproponuje wykorzystanie tzw. środowiskowego rachunku cyklu życia (Environmental Life Cycle Costing - e-LLC) (Gulotta et al., 2023; Yousefi, Habibifar, Farhadi, & Hosseini, 2023);

- poprawa dobrostanu pasażerów – w przypadku WAT będzie to poprawa komfortu cieplnego oraz komfortu psychofizycznego (Tejchman-Konarzewski & Maier, 2006).

Realizacja tych ambicji nastąpi poprzez:

- zastosowanie bez emisyjnych systemów wytwarzania ciepła i chłodu - co umożliwi ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> i tlenku węgla CO, tym samym pozwoli na zmniejszenie śladu węglowego, a także umożliwi zmniejszenie emisji innych produktów spalania - dwutlenku siarki SO<sub>2</sub>, tlenków azotu NO<sub>x</sub>, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), a także metali ciężkich (ołów, arsen, nikiel, kadm) i tzw. pyłów zawieszonych PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>. Pozwoli także na zmniejszenie „śladu freonowego”, który wynika z wykorzystania systemów opartych na syntetycznych czynnikach chłodniczych, nazywanych potocznie freonami, a do których zaliczają się: chlorofluorowęglowodory (CFC), wodorochlorofluorowęglowodory (HCFC) oraz wodorofluorowęglowodory (HFC). Gazy te negatywnie oddziałują na ekosystem, gdyż mają wysoki wskaźnik potencjału niszczenia ozonu (ODP - ang. Ozone Depletion Potential)<sup>2</sup> oraz potencjału tworzenia efektu cieplarnianego (GWP - ang. Global Warming Potential)<sup>3</sup> (Al-Ragom, AlJuwayhel, Sreekanth, & Al-Kandari, 2023; Gultekin et al., 2023; Stęplewska, Maćkowiak, & Kuleta, 2009);
- zastosowanie inteligentnych systemów monitoringu warunków otoczenia i zarządzania energią, w tym inteligentnych systemów sterowania; co zoptymalizuje zużycie energii, zwiększy elastyczność systemów wytwarzania energii, a także zwiększy ich sprawność; zmniejszy koszty użytkowania, zmniejszy koszt cyklu życia systemów (LCC) oraz środowiskowy koszt cyklu życia e-LCC);
- opracowanie technologii modułowych komponentów: źródeł ciepła, sieci ciepłowniczej, komponentów sterujących, co zmniejszy koszt cyklu życia

---

<sup>2</sup> Potencjał niszczenia ozonu – wskaźnik utworzony w celu ilościowej oceny wpływu poszczególnych substancji chemicznych na warstwę ozonową. Został odniesiony do freonu oznaczonego jako czynnik R11, którego skuteczność niszczenia molekuł ozonu przyjęto za wartość jednostkową

<sup>3</sup> Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego – wskaźnik służący do ilościowej oceny wpływu danej substancji na efekt cieplarniany. Porównuje ilość ciepła zatrzymanego przez określoną masę gazu do ilości ciepła zatrzymanego przez podobną masę dwutlenku węgla. GWP dla dwutlenku węgla wynosi z definicji 1, a dla metanu (CH<sub>4</sub>) wynosi 23, a dla freonu R-12 1wynosi 10 600.

systemów (LCC) oraz środowiskowy koszt cyklu życia e-LCC), w tym obniżyć koszty projektowania i wytwarzania systemów;

- zaproponowanie, zaprojektowanie i opracowanie nowatorskiej (własnej i przełomowej) technologii opartej na modułowych magazynach ciepła, jako uniwersalnego modułu dolnego źródła ciepła - co zwiększy sprawność systemów, pozwoli uzyskać współczynnik COP (*coefficient of performance*)<sup>4</sup>, powyżej 4, a w perspektywie powyżej 5 lub 6. Jednocześnie też pozwoli rozszerzyć zakres tej sprawności, na przedziały temperatur otoczenia (-25; +40), a w perspektywie (-30; +50) stopni Celsjusza. Pozwoli to na funkcjonowanie w warunkach temperatur anomalii klimatycznych; zwiększy odporność na zmiany klimatyczne, pozwoli instalować systemy w różnych strefach klimatycznych Europy. Będzie to całkowicie nowa technologia, obejmująca konstrukcje wymiennych modułów cieplnych, jak również system zasilania (ładowania ciepła) i dystrybucji tych modułów. Będą to mobilne (wymienne) moduły cieplne, ładowane z instalacji geotermalnych;
- opracowanie technologii i systemów odzysku wytworzonego ciepła, na przykład ciepła wody ściekowej „szarej wody”; co zmniejszy fizyczne zużycie energii, pozwoli też tworzyć systemy gospodarki o obiegu zamkniętym wraz z pozytywnymi konsekwencjami stosowania tego typu systemów, wpłynie również na redukcję kosztów życia systemów (LCC i e-LCC).

Europe's Rail Joint Undertaking zaproponował kilka przykładowych grup wskaźników do oceny poszczególnych celów projektu:

1. Fizyczne zużycie energii, poprawa o 30%, waga wskaźnika 8:
  - kWh/pasażer;
  - kg CO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup>
  - kg CO<sub>2</sub>/ rok
2. Fizyczna emisja ekwiwalentu CO<sub>2</sub>e, poprawa o 30%; waga 6:
3. , LCA (*Life Cycle Assessment*) dotyczące ogrzewania (chłodzenia), waga 6:
  - kg CO<sub>2</sub>e/ m<sup>2</sup>

---

<sup>4</sup> Współczynnik ten mówi, jaka jest relacja pomiędzy energią cieplną dostarczoną do ogrzewanego systemu, a energią elektryczną włożoną do zasilania urządzeń zapewniających jego funkcjonowanie (sprężarek, pomp obiegowych).

- kg CO<sub>2</sub>e/ rok
- 4. redukcja kosztów życia (*Life Cycle Costs reduction*); cel 5-10%, waga 8:
  - koszt/rok
  - koszt/m<sup>2</sup>
  - koszt/pasażer

WAT po przeprowadzeniu stosownych analiz, zaproponuje szczegółowy zestaw wskaźników (KPI), do oceny systemu ogrzewania budynku dworca i systemu podgrzewania ciepłej wody użytkowej.

Zostaną one odniesione do istniejących stacji kolejowych w Polsce i oparte na pomiarach emisji zanieczyszczeń, pomiarach hałasu, pomiarach parametrów termodynamicznych (temperatur, wilgotności, ciśnień), pomiarach komfortu cieplnego, pomiarach komfortu psychofizycznego, pomiarach zużycia energii elektrycznej, pomiarach zużycia energii cieplnej, rejestracji kosztów utrzymania (konserwacji, napraw), rejestracji kosztów zużycia materiałów, rejestracji godzin pracy konserwatorów, oceny ryzyka (zanieczyszczeń, zawyżonych kosztów, utraty funkcjonalności, awarii) i innych.

WAT uważa, że podstawą osiągnięcia założonych celów projektu będzie oparcie na niskoemisyjnych odnawialnych systemach pozyskania energii. W związku z tym nie będą proponowane systemy uzyskania energii oparte na spalaniu, w tym także systemów opartych na spalaniu biomasy. Proponowane będzie natomiast podejście elastyczne uwzględniające lokalne zasoby zeroemisyjnej energii w danej lokalizacji, tzn. energii Słońca, energii wiatru, energii wody oraz energii wnętrza Ziemi. Ocena zeroemisyjnych zasobów powinna być podstawą dla jakichkolwiek prac koncepcyjnych i projektowych obiektów infrastruktury, których funkcjonowanie wymaga zasilania określonym rodzajem energii. Dotyczy to również obiektów infrastruktury kolejowej, w tym stacji kolejowych. Ocena taka, w dalszej części niniejszego opracowania nazywana będzie jako „ocena uwarunkowań energetycznych w danej lokalizacji”, obejmując identyfikację i opis lokalnych zasobów energii Słońca, wiatru, wody i wnętrza Ziemi, jak również ocenę i opis skali i możliwości ich wykorzystania.

W związku z tym, że na obecnym etapie realizacji projektu nie została jeszcze określona lokalizacja wersji demonstracyjnej dworca kolejowego, w niniejszym opracowaniu zostanie poddanych analizie 5 różnych lokalizacji na terenie Polski, położonych w różnych strefach nasłonecznienia, strefach wietrznych, obszarach wodnych i geologicznych. W każdej z tych stref i obszarów możliwe będą odmienne rozwiązania dla produkcji i wykorzystania zeroemisyjnych

zasobów energii odnawialnej. Zakładając, że tworzone w ramach niniejszego projektu rozwiązania i koncepcje dotyczyć będą różnych lokalizacji nie tylko na terenie kraju, ale też Europy, uważa się, że przedstawienie różnych uwarunkowań energetycznych, zapewni uniwersalność prowadzonych studiów i analiz.

Wybrane do analizy lokalizacje to:

- m. Czeremcha, pow. hajnowski (woj. podlaskie),
- m. Wiśniowa, pow. strzyżowski (woj. podkarpackie),
- rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego (Baranów, Wiskitki, Teresin),
- m. Tarnowo Podgórne, pow. poznański (woj. wielkopolskie),
- rejon miejscowości Biskupice oraz Pobiedziska, pow. poznański (woj. wielkopolskie).

Przeprowadzenie stosownych analiz oraz związanych z nimi ocen, wymaga odpowiednich narzędzi, technik i metod, dotyczących oceny uwarunkowań energetycznych w określonej lokalizacji. Rozpoczynając pracę stwierdzono brak specjalistycznej literatury w języku polskim, natomiast istniejące opracowania zagraniczne nie zostały zakupione przez żadną z polskich bibliotek, w tym Bibliotekę Narodową. Na potrzeby realizacji niniejszego projektu Biblioteka Naukowa WAT zakupiła ponad 30 pozycji książkowych dotyczących oceny w zasobów Słońca, wiatru wody i wnętrza Ziemi.



## 1. Elementy uniwersalnego podejścia energetycznego

Według WAT powodzenie podjętego Projektu wymaga rozszerzonego i zintegrowanego podejścia energetycznego do realizowanych zadań, uwzględniającego, że wskazane przez zleceniodawców cele, jak również zaproponowane wskaźniki wykonalności, mają bezpośrednio lub pośrednio, istotne podłoże energetyczne.

Zawarta w celach projektu potrzeba nowego podejścia do energii w infrastrukturze kolejowej powinna się opierać głównie na systemach i technologiach konwersji energii. Dlatego też, rozpoczęcie analiz, prac studyjnych, prac koncepcyjnych i projektowych, zaplanowanych do realizacji w poszczególnych zadaniach projektu (11 zadań), rozpoczęte zostanie od namysłu nad rolą energii w życiu biologicznym i we współczesnych stosunkach społecznych (ekonomicznych, socjalnych, stosunkach międzynarodowym, bezpieczeństwie, obronności i innych).

### 1.1. Energia w życiu biologicznym i we współczesnym społeczeństwie – elementy podejścia ewolucyjnego

Historia następujących po sobie cywilizacji - największych i najbardziej złożonych organizmów w biosferze, przebiega wg. schematu, w którym rozwój ludzkości, a w tym rozwój życia na planecie, to niezliczone ciągi transformacji energii. Zależność ludzkości od coraz większych przepływów energii może być postrzegana jako nieunikniona kontynuacja ewolucji organicznej. Wilhelm Ostwald (1853 – 1932, laureat Nagrody Nobla z 1909 roku w dziedzinie chemii za pracę dotyczącą katalizy) wyraźnie rozszerzył drugą zasadę energetyki na wszelkie działania, a w szczególności na całość działań człowieka: „Nie wszystkie energie są gotowe na tę transformację, a jedynie pewne ich formy, które w związku z tym otrzymały nazwę energii swobodnej. [...] Swobodna energia jest zatem kapitałem konsumowanym przez wszelkiego rodzaju istoty, a wszystko, co się dzieje, jest efektem jej konwersji”(Ostwald 2010, s. 83).

Na początku lat 70. XX w. Howard Odum (1924 – 2002) napisał: „Dostępność źródeł energii określa możliwy zakres wykonywanej pracy, a kontrola nad przepływem tej energii określa moc człowieka w jego działaniach i w jego względnym wpływie na naturę”(Odum, 1971, s. 43). Inny badacz to Ronald Fox, napisał pod koniec lat 80. XX w.: „Doskonalenie mechanizmów kulturowych następowało wraz z doskonaleniem procesu łączenia strumieni energii”(Fox, 1988, s. 166).

Energia manifestuje się na wiele różnych sposobów, a te rozmaite formy energii są powiązane poprzez liczne konwersje, z których wiele ma charakter uniwersalny, wszechobecny i nieustający. Wszystkie przedstawione formy energii są kluczowe dla istnienia ludzkości (Smil & Sugiero, 2022).

Wiele wydarzeń w historii ludzkości zostało zdeterminowanych i ograniczonych zarówno przez uniwersalne i planetarne przepływy energii, jak i przez regionalne lub lokalne ich manifestacje. Fundamentalnymi cechami wszechświata rządzi energia grawitacyjna, która porządkuje niezliczone galaktyki i układy gwiazd. To właśnie dzięki grawitacji nasza planeta krąży w odpowiedniej odległości od Słońca i posiada wystarczająco masywną atmosferę, aby na Ziemi mogło istnieć życie.

W następstwie Słońce jest podstawowym źródłem energii na Ziemi. Tak samo jak w przypadku wszystkich innych aktywnych gwiazd, Słońce jest napędzane przez syntezę jądrową, a produkt tych reakcji termojądrowych dociera do Ziemi w postaci energii elektromagnetycznej (promieniowania słonecznego). Jej strumień obejmuje szerokie spektrum długości fal, włącznie ze światłem widzialnym. Około 30% tego potężnego przepływu jest odbijane przez chmury i powierzchnie, około 20% wchłaniane przez atmosferę i chmury, a reszta, czyli mniej więcej połowa całego promieniowania, jest wchłaniana przez oceany i kontynenty, przetwarzana na energię cieplną, a potem odprowadzana z powrotem do przestrzeni kosmicznej (Smil & Sugiero, 2022; Sukhatme & Nayak, 2009).

Drugim źródłem jest energia geotermalna. Jednak energia geotermalna Ziemi generuje dużo mniejszy strumień ciepła: jej źródłem jest pierwotna akrecja<sup>5</sup> grawitacyjna masy planetarnej i rozpad materiałów promieniotwórczych. Aktywuje ona potężne procesy tektoniczne, które zmieniają układ oceanów i kontynentów, a także wywołują wybuchy wulkanów i trzęsienia ziemi. Jednak, energia ta, przy zastosowaniu odpowiednich technologii, może być stabilnym źródłem taniej i energii elektrycznej i energii cieplnej. W przypadku wykorzystania tego źródła, daje ono szerokie możliwości różnoobszarowego jej wykorzystania.

Tylko niewielki ułamek energii promieniowania, która dociera do Ziemi (mniej niż 0,05%), jest przekształcany przez rośliny w nowe zasoby energii chemicznej za pomocą

---

<sup>5</sup> Akrecja – opadanie rozproszonej materii na powierzchnię ciała niebieskiego w wyniku działania grawitacji. Zjawisku temu może towarzyszyć wydzielanie dużej ilości energii w postaci promieniowania elektromagnetycznego, gdy opadająca materia wyświeca część utraconej grawitacyjnej energii potencjalnej.

fotosyntezy i tworzy niezastąpiony fundament dla wszystkich wyższych form życia. Metabolizm zwierząt umożliwia przemianę składników odżywczych w rozwijające się tkanki, podtrzymuje funkcje organizmów i utrzymuje stałą temperaturę u przedstawicieli wszystkich bardziej rozwiniętych gatunków. Trawienie również powoduje wytwarzanie energii mechanicznej (kinetycznej) - w tym przypadku jej źródłem są pracujące mięśnie. Z perspektywy konwersji energii zwierzęta są w naturalny sposób ograniczone przez wielkość swoich ciał i dostępność składników odżywczych. Fundamentalne cechy wyróżniające nasz gatunek są rozszerzeniem tych fizycznych ograniczeń, które jest skutkiem bardziej wydajnego używania mięśni oraz z ujarznienia form energii obecnych poza naszymi ciałami.

Te zewnątrzustrojowe formy energii, odblokowane przez intelekt człowieka, są wykorzystywane do przeróżnych zadań, jako główna siła napędzająca bądź też jako paliwo, które uwalnia ciepło w procesie spalania. Czynniki aktywujące dostawy energii zależą od przepływu informacji oraz od ogromnej liczby urządzeń, od tak prostych narzędzi, jak tłuki kamienne i dźwignie, po skomplikowane silniki spalające paliwo i reaktory uwalniające energię wytworzoną w reakcji rozszczepienia jądrowego. Ewolucyjna i historyczna kolejność wydarzeń, jakie przyczyniły się do postępów dokonanych przez ludzkość, może być nakreślona w szerokich kategoriach jakościowych. Podobnie jak w przypadku organizmów nieprzeprowadzających fotosyntezy, najbardziej fundamentalnym zapotrzebowaniem człowieka na energię jest potrzeba pożywienia. Poszukiwanie i zbieranie jedzenia przez hominidów bardzo przypominało praktyki zdobywania pożywienia stosowane przez ich przodków, ssaki naczelne. I chociaż niektóre naczelne — a także kilka innych ssaków (w tym wydry i słonie), pewne gatunki ptaków (kruki i papugi), a nawet niektóre bezkręgowce (głowonogi) — wykształciły niewielki zakres podstawowych umiejętności stosowania narzędzi (Hansell, 2005; Sanz, Call, & Boesch, 2013), tylko hominidzi doprowadzili tę umiejętność do takiego poziomu, że używanie narzędzi stało się ich cechą wyróżniającą. Narzędzia dały hominidom mechaniczną przewagę w zdobywaniu pożywienia, budowaniu schronień i wytwarzaniu prymitywnych ubrań. Ujarzmienie ognia znacząco rozszerzyło obszar ludzkich siedlisk i jeszcze bardziej odróżniło ich od zwierząt. Nowe narzędzia umożliwiły udomowienie zwierząt, budowanie bardziej złożonych maszyn napędzanych siłą mięśni oraz przetworzenie pewnego ułamka energii kinetycznej wiatru i wody na potrzebną moc. Te nowe napędy podstawowe z wielokrotnością siłą, jaką władał człowiek, ale przez długi czas ich używanie było ograniczane przez naturę i przez potęgę ujarzmiionych przepływów. Bardzo dobrze to widać na przykładzie żagli — pradawnych, skutecznych narzędzi, których możliwości były ograniczone

przez całe tysiąclecia przez przeważające wiatry i stałe prądy morskie. To właśnie te prądy pod koniec XV w. pokierowały europejskie żaglowce przez ocean aż do Karaibów. Również one sprawiły, że Hiszpanie nie odkryli Hawajów, mimo że przez 250 lat — między rokiem 1565, a 1815 — hiszpańskie statki handlowe, galeony z Manili (Galeón de Manila) raz albo dwa razy do roku przepływały Ocean Spokojny z Meksyku (Acapulco) do Filipin (Schurz, 1939).

Kontrolowane spalanie w ogniskach, paleniskach i piecach przekształciło energię chemiczną roślin w energię termiczną. To ciepło zaczęło być wykorzystywane bezpośrednio w domostwach i w zakładach przemysłowych, gdzie topiono metale, wypalano cegły, a także wykonywano i przetwarzano niezliczoną liczbę produktów. Spalanie paliw kopalnych sprawiło, że wszystkie tradycyjne metody bezpośredniego wykorzystywania ciepła zwiększyły swój zasięg i skuteczność. Wiele fundamentalnych wynalazków umożliwiło przekształcanie energii termicznej pochodzącej ze spalania paliwa kopalnego w energię mechaniczną — najpierw przy użyciu silników parowych i spalinowych, a potem w turbinach gazowych i raketach. Energia elektryczna jest wytwarzana poprzez spalanie paliw kopalnych i ujarzmienie energii kinetycznej wody, od 1882 roku, a stosując metodę rozszczepienia izotopu uranu - od 1956 roku.

Spalanie paliw kopalnych i wytwarzanie prądu umożliwiło powstanie nowej formy cywilizacji wysokoenergetycznej, której ekspansja objęła całą planetę. Wśród stosowanych przez nią głównych źródeł energii coraz większą rolę zaczynają odgrywać źródła odnawialne, a zwłaszcza energia słoneczna (ujarzmiona przez urządzenia fotowoltaiczne albo elektrownie słoneczne) oraz wiatr (konwertowany przez wielkie turbiny wiatrowe). Oczywiście u podstaw tego rozwoju leży cały zbiór innych wynalazków.

Najznakomitsze z wynalazków człowieka wymagały uwolnienia dużych potencjałów energii, włącznie z możliwością edukacji, przewidywalnymi regulacjami prawnymi, transparentnymi zasadami ekonomii, odpowiednią dostępnością kapitału i warunkami sprzyjającymi przeprowadzaniu podstawowych badań. Nic dziwnego, że zazwyczaj trzeba całych pokoleń, żeby mogły nastąpić zwiększone albo lepsze jakościowo przepływy energii, albo żeby człowiek opanował całkowicie nowe źródła energii i zaczął je wykorzystywać na dużą skalę. Odpowiedni moment, siła i struktura tych przepływów energii, to czynniki, które są niebywale trudne do przewidzenia. W najwcześniejszych fazach takich przekształceń nie da się oszacować potencjalnego wpływu nowych napędów podstawowych i baz paliwowych na

takie aspekty współczesnego życia jak rolnictwo, przemysł, transport, osadnictwo, działania wojenne i środowisko.

Wymienione przemiany przyniosły wiele korzyści, ale narastająca skala i dynamika ich wzrostu stała się przyczyną wielu niekorzystnych zjawisk, czego efektem są zmiany klimatyczne, degradacja środowiska, w tym: efekt cieplarniany, „dziura ozonowa”, zanieczyszczenie powietrza, hałas i szereg innych negatywnych skutków. Niekontrolowany rozwój doprowadził do tego, że w ostatnim czasie doszło do starcia przeciwstawnych zjawisk i procesów mających wpływ na bezpieczeństwo współczesnej cywilizacji, w tym na bezpieczeństwo mieszkańców Ziemi. Przy czym, z jednej strony procesów rozwojowych nie da się zatrzymać, ale z drugiej strony należy zatrzymać proces degradacji planety. Z kolei, z jednej strony mamy do czynienia z rozwojem wysokoenergetycznej cywilizacji Naszej Planety, napędzanym nienasyconymi potrzebami i aspiracjami Jej mieszkańców, a z drugiej ograniczone zasoby dotychczas używanych surowców energetycznych. Powyższe powoduje to, że trzeba pilnie poszukiwać nowych źródeł energii, postawić na źródła energii odnawialnej, ograniczyć szkodliwe skutki wykorzystywanych źródeł energii, jak również zmienić sposób „myślenia energetycznego”.

U podstaw wszystkich rodzajów konwersji energii leży kilka fundamentalnych zasad. Każda forma energii może zostać przetworzona w ciepło, czyli w energię termiczną. Podczas dowolnej z tych konwersji nigdy nie dochodzi do strat energii. Zachowanie energii - pierwsza zasada termodynamiki - jest jedną z najbardziej fundamentalnych uniwersalnych prawd natury. Jednak im bardziej przesuwamy się po łańcuchu konwersji, potencjalna energia użytkowa stopniowo maleje. Ten nieunikniony skutek został wyrażony w drugiej zasadzie termodynamiki, a miarą służącą do określania utraty energii użytkowej jest entropia. Chociaż ilość energii we wszechświecie jest stała, konwersje energii zwiększają jej entropię (czyli zwiększają jej rozproszenie). Można to uzasadnić przykładem, że kosh z ziarnami albo baryłka ropy naftowej, to zapasy energii o niskiej entropii (struktury stosunkowo dobrze uporządkowane). Dzięki procesowi metabolizmu lub spalania są one w stanie posłużyć do bardzo użytecznej pracy. Oba te zasoby przekształcają się ostatecznie w przypadkowy ruch podgrzanych cząsteczek powietrza, osiągając nieodwracalny stan wysokiej entropii, odzwierciedlający niemożliwą do odzyskania utratę uporządkowania (rozproszenia).

To jednokierunkowe entropiczne rozproszenie prowadzi do wzrostu złożoności, a także wywołuje większy nieład i mniejszą homogeniczność w dowolnym zamkniętym układzie.

Jednak wszystkie żywe organizmy, od najmniejszych bakterii po światową cywilizację, jak dotąd stawiają opór temu trendowi, importując i metabolizując energię. To oznacza, że każdy żywy organizm musi być otwartym układem podtrzymującym proces ciągłego przepływu i odpływu energii oraz materii. Organizmy te nie mogą znaleźć się w stanie chemicznej i termodynamicznej równowagi, dopóki żyją (Bertalanffy, Koźmiński, & Woydyło-Woźniak, 1984; Haynie, 2001; Prigogine, 2000). Ich negentropia — rozwój, odnawianie się i ewolucja — powoduje większą heterogeniczność oraz wzrost strukturalnej i systemowej złożoności. Podobnie jak w przypadku wielu innych ważnych kroków w rozwoju nauki, pełne zrozumienie tych prawd nastąpiło dopiero w XIX w., gdy szybko rozwijające się dziedziny fizyki, chemii i biologii znalazły punkt wspólny: transformację energii (Cardwell, 1971; Lindsay, 1975; Müller, 2007; Smith, 1899; Varvoglis, 2014). Przedstawiono to w tabeli 1.

Tabela 1. Macierz konwersji energii

Do \ Od	Elektromagnetyczna	Chemiczna	Jądrowa	Ciepłna	Kinetyczna	Elektryczna
Elektromagnetyczna		Chemi-luminescencja	Bomby jądrowe	Promieniowanie ciepłe	Ładunki przyspieszone	Promieniowanie elektromagnetyczne
Chemiczna	Fotosynteza	Obróbka chemiczna		Wrzenie	Dysocjacja przez radiolizę	Elektroliza
Jądrowa	Reakcje gamma-neutronowe					
Ciepłna	Absorpcja słoneczna	Spalanie	Rozszczepienie /synteza jądrowa	Wymiana ciepła	Tarcie	Ogrzewanie oporowe
Kinetyczna	Radiometry	Metabolizm	Promieniotwórczość/ bomby jądrowe	Rozszerzalność cieplna/spalanie wewnętrzne	Przekładnie	Silniki elektryczne
Elektryczna	Ogniwa słoneczne	Ogniwa paliwowe /baterie	Baterie jądrowe	Termo-elektryczność	Generatory prądu	

Źródło: (Smil & Sugiero, 2022)

Energia podlega nieustannej konwersji. Zasada dotyczy dowolnej formy przekształcania energii. Jeżeli w tej chwili czytelnik używa światła elektrycznego do oświetlenia tej strony raportu, to energia elektromagnetyczna tego światła jest tylko małą cząstką energii chemicznej zawartej w bryle węgla, która została użyta do jej wytworzenia (w 2015 roku 33% elektryczności w Stanach Zjednoczonych zostało wyprodukowanych przy udziale węgla). Co najmniej 60% energii węgla uległo stracie, zamieniając się w ciepło, które ulotniło się przez

komin fabryczny i zostało schłodzone przez wodę. Jeżeli natomiast czytelnik używa starej jarzeniówki, to ponad 95% dostarczonej elektryczności kończy jako ciepło, ponieważ metal w zwojach żarnika opiera się prądowi elektrycznemu. Światło docierające do kartki jest przez nią wchłaniane albo odbijane i wchłaniane przez jej otoczenie, skąd jest ponownie odbijane w formie ciepła. Energia chemiczna węgla, charakteryzująca się niską entropią, została rozproszona, jako ciepło o wysokiej entropii, które ogrzało powietrze wzdłuż kabli i wokół żarówki i spowodowało niedostrzegalny wzrost temperatury nad kartką. Żadna energia nie została utracona, ale jej wysoce przydatna forma została zdegradowana do takiego stopnia, że straciła ona swoją praktyczną użyteczność.

## **1.2. Pompa ciepła jako bez emisyjny transformator energii cieplnej**

Maszyną do efektywnej transformacji energii cieplnej jest pompa ciepła. Pozwala ona na bez emisyjną transformację energii, która z powodzeniem może zostać wykorzystana do zasilania w energię cieplną na przykład systemy infrastruktury kolejowej, wykorzystując odnawialne zasoby energii natury. Więcej na temat budowy tej maszyny, jej właściwości, jak również koncepcja jej wykorzystania, zostaną przedstawione w kolejnych raportach z realizacji Projektu. W niniejszym podpunkcie zostaną przedstawione tylko podstawowe informacje, na temat tego zeroemisyjnego odnawialnego transformatora energii cieplnej.

### **1.2.1. Pompy ciepła – informacje wstępne**

Tradycyjne instalacje grzewcze pracują na zasadzie, że najpierw spalany jest olej, czy gaz, co daje temperatury sięgające 2000 stopni Celsjusza, podgrzewając wodę centralnego ogrzewania do kilkudziesięciu stopni, a wszystko po to, aby w pomieszczeniach utrzymać temperaturę na poziomie dwudziestu stopni. Przekształcanie temperatury przy takich ogromnych jej różnicach musi wiązać się ze znacznymi stratami. W tego typu rozwiązaniach istnieje bardzo duża różnica między najwyższą a najniższą temperaturą.

Alternatywnym rozwiązaniem jest korzystanie z nieprzebranych zasobów energii odnawialnej. Do tego jest potrzebne odpowiednie wyposażenie techniczne. Urządzenia, które są w stanie pobrać energię odnawialną i przekazać ją do budynku w celu podniesienia temperatury w jego wnętrzu, to pompy ciepła. Pompy ciepła w przeciwieństwie do innych

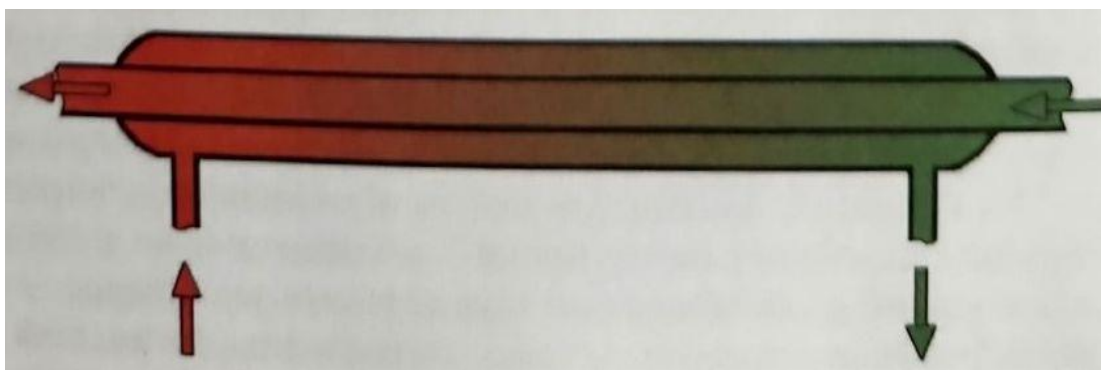
urządzeń grzewczych, takich jak kocioł olejowy, elektryczny, czy gazowy niczego nie wytwarzają. Dlatego nazywane są pompami, a nie generatorami ciepła.

Pompy ciepła pracują na odwrotnej zasadzie niż dotychczasowe urządzenia. Nie wytwarzają one ciepła, lecz korzystają z zasobów ciepła zgromadzonego w środowisku o niższej temperaturze niż potrzebna do ogrzewania obiektów i podwyższają ją do niezbędnego poziomu.

Przesyłanie ciepła jest możliwe dzięki tzw. wymiennikom. Bez nich nie istniałoby współczesne grzejnictwo, chłodnictwo, czy też klimatyzacja. Wymiennikiem nazywa się urządzenie, w którym ciepło przechodzi z jednego ciała lub ośrodka do drugiego, nie zmieniając ich własności.

Moc wymiennika jest tym większa, im większe są jego gabaryty, a dokładniej powierzchnia wymiany ciepła. Z kolei, dla konkretnej powierzchni wymiennika, wielkość przekazywanej mocy zależy od różnicy temperatur. Dla wymiennika o określonej powierzchni wymiany ciepła i dla stałej różnicy temperatur, moc przekazywana jest tym większa, im większy jest strumień przepływu cieczy przez wymiennik.

Na tej podstawie można stwierdzić, że nawet niepokąźny wymiennik, jeśli tylko wymuszony zostanie w nim odpowiednio duży przepływ i takąż różnicę temperatur, może przenieść duże moce. Mniejszy wymiennik jest tańszy. Ta zależność jest często wykorzystywana przez producentów pomp ciepła, w celu zmniejszenia kosztów produkcji. Odbija się to jednak niekorzystnie na zużyciu energii elektrycznej, którą pochłania pompa obiegowa wymuszająca przepływ, a która musi zmagać się ze zwiększonymi oporami przepływu, aby dać odpowiednio duży strumień cieczy.



Rys. 6. Przykład rurowego wymiennika ciepła  
Źródło: opracowanie własne



Najprostszym i szeroko stosowanym typem wymiennika jest rozwiązanie typu, rura w rurze". (rys. 6.). Jedną ciecz płynie rur stosuje się zasadę, przeciwprądu", która polega na tym, że kierunki przepływu cieczy są przeciwne.

Drugi typ, zamiast rur stosuje się równoległe płyty, między którymi przepływają ciecze, które mają sobie przekazać ciepło. Przykładem takiego wymiennika jest ogrzewanie podłogowe (rys. 7.).



Rys. 7. Ogrzewanie podłogowe jako wymiennik ciepła  
Źródło: opracowanie własne

W widocznych rurach ogrzewania podłogowego popłynie woda o temperaturze około +35. Po pokryciu warstwą betonu powstanie wymiennik, który przekaże ciepło do pomieszczenia. Duża powierzchnia zapewnia poprawną wymianę ciepła mimo małej różnicy temperatur. We współczesnych systemach ogrzewania podłogowego różnica pomiędzy temperaturą w pomieszczeniu, a temperaturą podłogi wynosi na ogół 15 stopni Celsjusza.

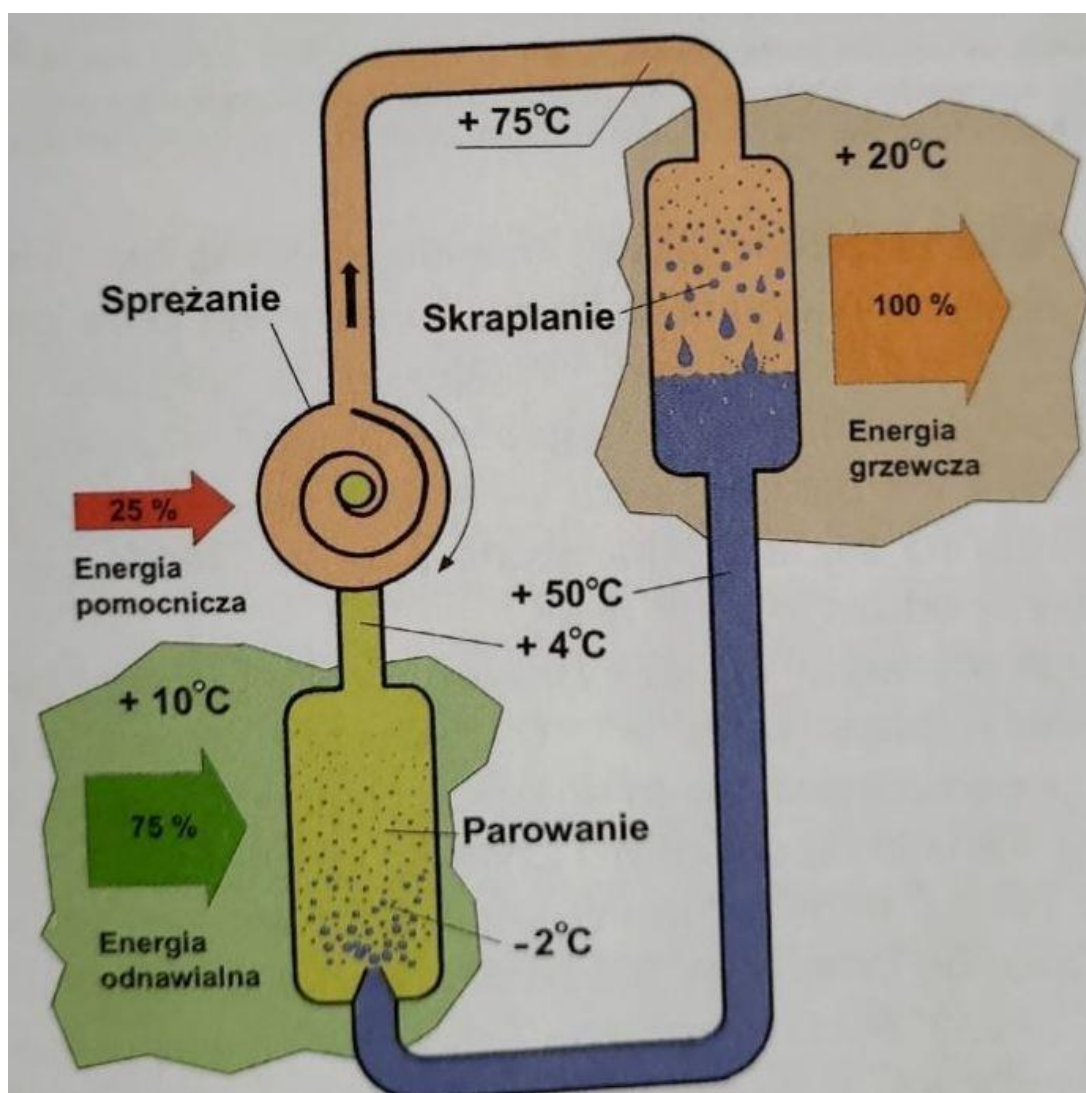
Metodologia obliczania, jak również modelowania matematycznego wymienników ciepła zamieszczona jest w pracy (Kavanaugh & Rafferty, 2014).

### 1.2.2. Ogólna zasada działania pompy ciepła

Każda pompa ciepła składa się co najmniej z czterech elementów połączonych ze sobą rurami, tworząc obieg zamknięty, w którym znajduje się substancja, która w zależności od warunków jest cieczą lub gazem (parą cieczy). Ta substancja ta, to czynnik roboczy

(chłodniczy), który charakteryzuje się tym, że wrze w niskich temperaturach, na przykład przy  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Jeśli czynnik chłodniczy zostanie wtrysnięty do dolnego naczynia ogrzanego na przykład do  $+10^{\circ}\text{C}$  (rys. 8), to zacznie wrzeć i zamieni w parę o temperaturze np.  $4^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 8. Zasada działania pompy ciepła  
Źródło: opracowanie własne

Źródło ciepła o temperaturze  $+10^{\circ}\text{C}$  powoduje, że czynnik roboczy zaczyna wrzeć i zamieniać w parę (gaz). Pary czynnika o temperaturze około  $+4^{\circ}\text{C}$  zasysane są przez sprężarkę i sprężane do ciśnienia kilkunastu barów. Przyrost ciśnienia jest taki, że temperatura czynnika podnosi się do około  $+75^{\circ}\text{C}$ . Tak sprężony czynnik w zetknięciu się z o wiele niższą temperaturą obwodu grzewczego (instalacją grzewczą budynku), zaczyna się zamieniać w ciecz, czyli się skraplać. Następnie ciekły czynnik pod wpływem wysokiego ciśnienia

(wytworzonego przez sprężarkę), wtryskiwany jest do parownika, gdzie ponownie zamienia się w parę. Górny pojemnik, w którym następuje skroplenie napływającego ze sprężarki gazu, nazywa się skraplaczem. W skraplaczu następuje wymiana ciepła z systemem grzewczym budynku, w rezultacie znajdująca się pod ciśnieniem i wysokiej temperaturze para ( $+75^{\circ}\text{C}$ ), ochładza się i powstają warunki do jej skroplenia.

Do napędu sprężarki pompy ciepła potrzebna jest energia pomocnicza. Stanowi ona w przeciętnie 25% energii cieplnej oddanej w górnym źródle. Jest to zazwyczaj energia elektryczna. Ilość zużytej energii elektrycznej, w stosunku do oddanej energii cieplnej jest miarą efektywności pompy ciepła.

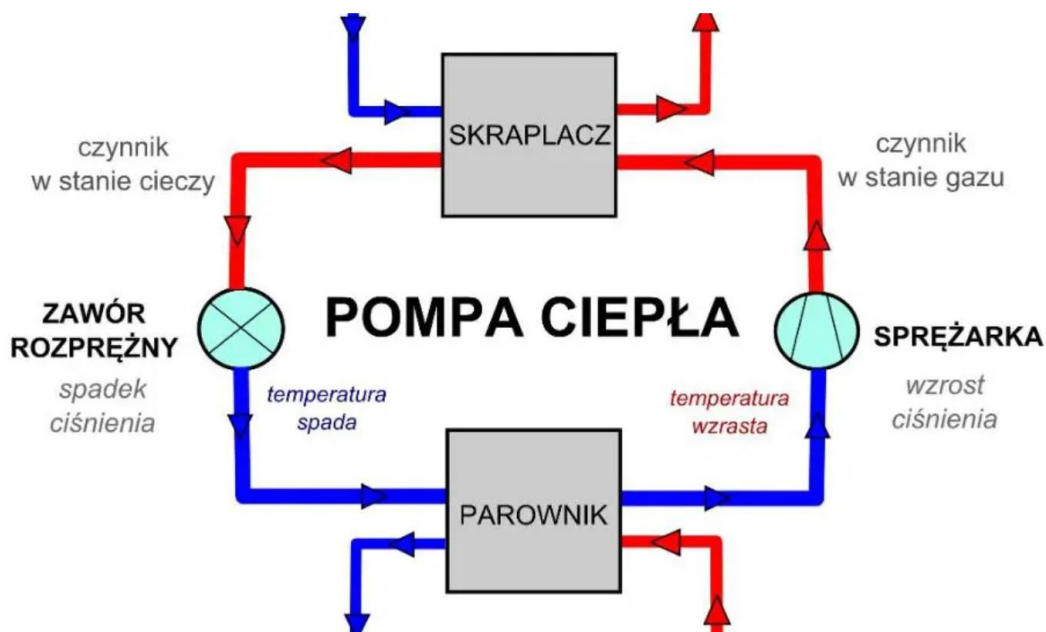
Na rys. 8 przedstawiono podstawową zasadę funkcjonowania pompy ciepła, którego podstawowymi elementami są:

- parownik - pobór ciepła z otoczenia, z tzw. dolnego źródła ciepła;
- sprężarka - sprężenie par czynnika roboczego, podniesienie jego temperatury i ciśnienia, w rezultacie zmienia się jego stan termodynamiczny, wzrasta entalpia tego czynnika<sup>6</sup>;
- skraplacz – oddanie ciepła do instalacji grzewczej budynku, jest to tzw. górne źródło ciepła.

Istotnym elementem pompy ciepła jest tzw. zawór rozprężny, którego zadaniem jest sterowanie wtryskiem czynnika roboczego do parownika oraz blokowanie przepływu tego czynnika (dławienie), gdyż w przeciwnym przypadku nie dochodziłoby do sprężania gazu (pary) (rys. 9.). Do zaworu rozprężnego wpływa czynnik roboczy wpływa w stanie skroplonym i pod wysokim ciśnieniem. Pod wpływem tego ciśnienia dochodzi do rozprężenia tego czynnika, wzrasta w czynniku energia kinetyczna i maleje jego ciśnienie (maleje energia potencjalna). W rezultacie czynnik się schładza i w takim stanie dostaje się do parownika.

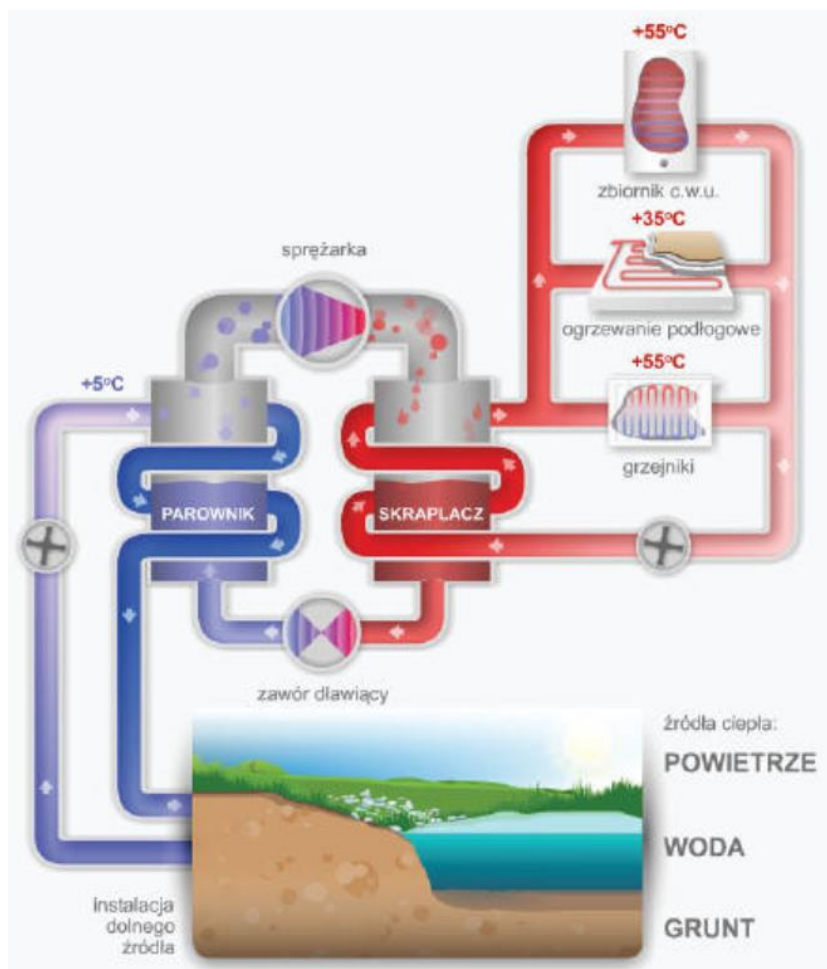
---

<sup>6</sup> Zob. objaśnienia w pkt 8.



Rys. 9. Schemat pompy ciepła  
 Źródło: opracowanie własne

Ideowy schemat pompy ciepła przedstawia również rys. 10, gdzie dolnym źródłem może być powietrze, woda lub grunt, dostarczając ciepło do czynnika roboczego znajdującego się w dolnym źródle, którym może być na przykład woda lub glikol. Czynnik roboczy oddaje ciepło w parowniku, przez który przepływa czynnik roboczy pompy ciepła, który charakteryzuje się niską temperaturą wrzenia. Doprowadzony do stanu wrzenia, czynnik ten zmienia się w gaz, gdzie jest sprężany w sprężarce i gdzie znacznie wzrasta jego temperatura i ciśnienie. Znajdujący się w takim stanie czynnik roboczy dostaje się do skraplacza, gdzie oddaje ciepło przepływającej przez skraplacz wodzie, podgrzewając ją do odpowiedniej temperatury. Podgrzana woda o temperaturze ok  $55^{\circ}\text{C}$  zasila grzejniki lub dostaje się do obwodu ciepłej wody użytkowej, a jeżeli jest to woda ogrzana do temperatury  $35^{\circ}\text{C}$ , to zasila ogrzewanie podłogowe, ściennie lub sufitowe.



Rys. 10. Zasilanie pompy ciepła z różnych źródeł  
 Źródło: dzięki uprzejmości Polskiej Organizacji Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (PORT PC)

Szczegółowa budowa pompy ciepła, zasady obliczeń pompy ciepła, termodynamiczne podstawy funkcjonowania pomp ciepła, jak również zagadnienia kosztowe w tym obszarze zamieszczone są m.in. w pracy (Sarbu & Sebarchiewici, 2015).

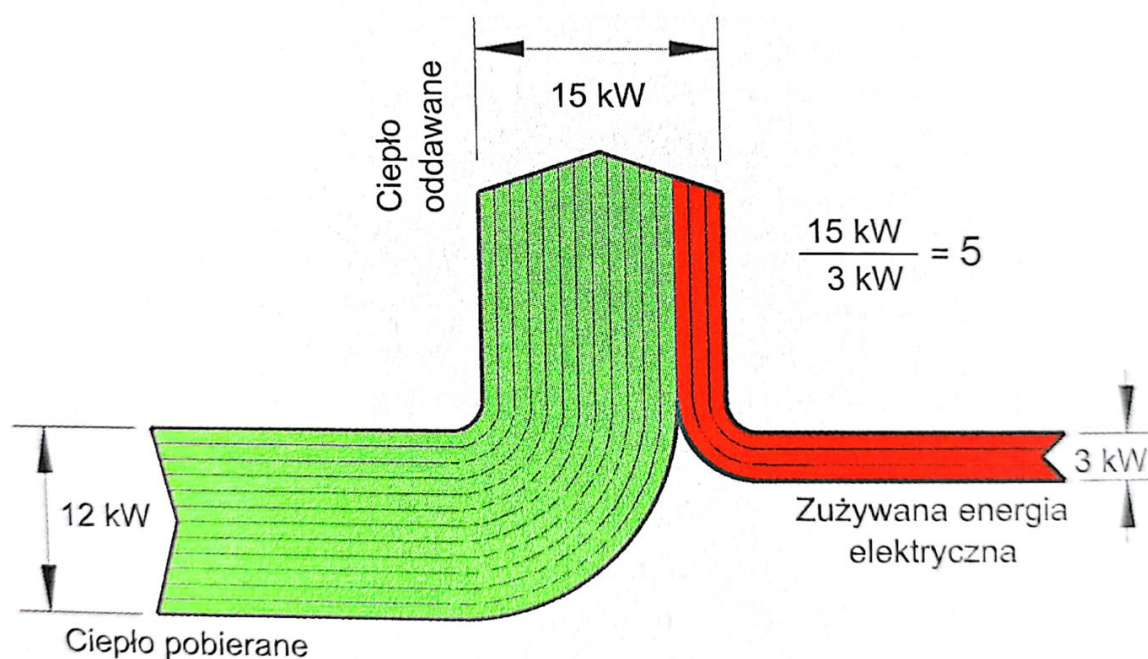
### 1.2.3. Efektywność energetyczna pompy ciepła

Najważniejszym parametrem pompy ciepła jest jej moc grzewcza. Oprócz mocy przekazywanej, innym istotnym parametrem jest tak zwany współczynnik efektywności energetycznej, będący liczbą wyrażającą stosunek mocy oddawanej do zużywanej.

W praktyce wielkość tego współczynnika, a więc i sprawność pompy ciepła powinna wynosić więcej niż 4, a czasem nawet i 6. Na rysunku 11 pokazano schemat dopływu energii dla pompy ciepła pracującej ze współczynnikiem efektywności energetycznej równym 5.

Wielkość współczynnika efektywności mówi wprost o spodziewanych kosztach ogrzewania. Jeżeli znane jest roczne zapotrzebowanie na ciepło w budynku, to po podzieleniu go przez współczynnik efektywności energetycznej otrzymamy w wyniku ilość zużytej energii elektrycznej, z którą trzeba będzie zapłacić za to ogrzewanie.

Na przykład w przypadku prawidłowo izolowanego budynku stacji kolejowej o powierzchni użytkowej 200 m<sup>2</sup>, o rocznym zapotrzebowaniu na energię na poziomie 18 000 kWh, stosując pompę ciepła o współczynniku efektywności 4,5, trzeba będzie zapłacić tylko za 4000 kWh (18000 kWh: 4,5).

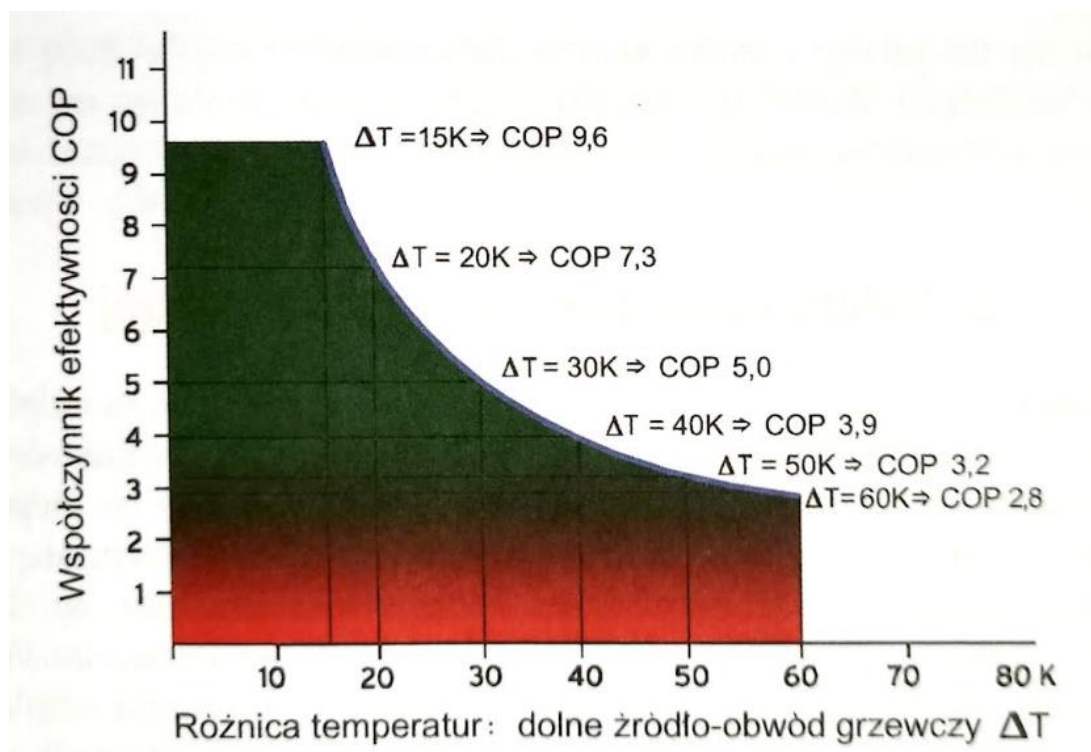


Rys. 11. Efektywność energetyczna pompy ciepła  
Źródło: opracowanie własne

Pompa ciepła pobiera energię z otoczenia. Jednocześnie zużywana jest przez nią energia elektryczna służąca do napędu sprężarki i pomp obiegowych. Ta energia elektryczna jest też zamieniona na ciepło. Współczynnik efektywności energetycznej określony jest stosunkiem otrzymanej energii grzewczej do włożonej energii elektrycznej. Im większy jest ten współczynnik, tym pompa ciepła pracuje oszczędniej. Wielkość tego współczynnika zależy od konstrukcji pompy ciepła i od temperatury źródła ciepła.



Istota efektywności funkcjonowania pompy ciepła tkwi w tym, że jej współczynnik COP, zmienia się wraz z różnicą temperatur pomiędzy źródłem dolnym a górnym (rys. 12.).



Rys. 12. Zmiany efektywności pompy ciepła  
Źródło: opracowanie własne

Na przykład jeżeli temperatura dolnego źródła wynosi  $15^{\circ}\text{C}$ , a temperatura w instalacji grzewczej  $35^{\circ}\text{C}$  (ogrzewanie podłogowe), to  $\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$ , to można oczekiwać wartości  $\text{COP} = 7,3$ . Natomiast przy temperaturze  $-25^{\circ}\text{C}$ , różnica temperatur będzie wynosiła  $\Delta t = 65^{\circ}\text{C}$ , co będzie się wiązać z niskimi wartościami COP, a tym samym niską efektywnością pompy ciepła. A więc maksymalna efektywność pompy ciepła zmienia się wraz z temperaturą. Dla każdej temperatury dolnego źródła ciepła i temperatury wody w obwodzie instalacji grzewczej da się wyznaczyć COP. Należy jeszcze zaznaczyć, że prawdziwy COP zawsze jest mniejszy, gdyż energia elektryczna zużywana jest nie tylko przez pompę ciepła. Na przykład pompy obiegowe, ewentualne grzałki i inne.

Należy podkreślić jeszcze jedno. W przypadku pomp ciepła, dla danej temperatury dolnego źródła ciepła i dla danego systemu ogrzewania (obliczona moc grzewcza) zawsze można dobrać pompę ciepła, aby zapewnić odpowiednią wartość COP i wtedy system pracuje efektywnie. Ale w przypadku gdy temperatura dolnego źródła ulegnie zmianie, zwłaszcza gdy wzrośnie różnica temperatur pomiędzy dolnym a górnym źródłem, wartość COP znacznie się

pogarsza. Każda pompa ciepła ma swój optymalny obszar pracy, związany ze sprawnością zachodzących we wnętrzu jej sprężarki procesów przepływowych. Wyjście poza ten obszar, wiąże się z obniżeniem sprawności. Dlatego też, ze względu na wymaganą sprawność, korzystne są systemy ogrzewania, zapewniające stałe  $\Delta t$  pomiędzy źródłem dolnym i źródłem górnym.

Bardziej szczegółowe zależności matematyczne związane ze sprawnością pomp ciepła, w tym zasady ich doboru zawarte są m.in. w pracy (Sarbu & Sebarchievici, 2015). Efektywność pompy ciepła przy ogrzewaniu i chłodzeniu, wraz z modelem obliczeniowym przedstawia m.in. (Kavanaugh & Rafferty, 2014).

W raportach z kolejnych zadań projektu zostaną przedstawione bardziej szczegółowe informacje dotyczące pomp ciepła. WAT ma opracowane modele i szczegółowe arkusze obliczeniowe w tym obszarze.

### 1.3. Podsumowanie

Ze względu na cele Projektu, stawiające na jak największą efektywność procesów, na jak najmniejsze zużycie energii, ograniczenie kosztów oraz ograniczenie śladu węglowego, wyrażone przez wnioskodawców projektu następująco:

- uzyskanie oszczędności energii i emisji 30%;
- uzyskanie COP powyżej 4, w perspektywie 5-6;
- fizyczna emisja ekwiwalentu CO<sub>2</sub>e, poprawa o 30%;
- redukcja kosztów życia (*Life Cycle Costs reduction*); cel 5-10%;

najkorzystniej prawdopodobnie zastosować systemy ogrzewania (chłodzenia) pomieszczeń dworca kolejowego oparte na pompach ciepła, zasilanych energią elektryczną pochodzącą ze źródeł odnawialnych oraz energią cieplną pochodzącą dolnego źródła ciepła **o stałej temperaturze. WAT będzie proponował rozwiązania o możliwie stałej temperaturze dolnego źródła, co zapewni wysoką wartość współczynnika COP we wszystkich możliwych warunkach pogodowych, niskie koszty eksploatacji, jak również wysokie parametry komfortu cieplnego.**

Przy czym energię cieplną dolnego źródła, powinny dostarczyć naturalne źródła energii cieplnej lub magazyny ciepła, gdzie naturalne źródła ciepła, to promieniowanie słoneczne, ciepło wody w zbiornikach i wód gruntowych oraz ciepło gruntu. Jednak wielkość



poszczególnych zasobów poszczególnych energii zależą od lokalizacji powierzchni Ziemi. Szczegółowe informacje na temat budowy i zasad doboru pomp ciepła zamieszone są m.in. w pracach (Kavanaugh & Rafferty, 2014; Sarbu & Sebarchievici, 2015).

Problemem są magazyny energii cieplnej, gdyż istniejące współcześnie rozwiązania i technologie oparte są na wielkogabarytowych zbiornikach ciepła. W związku z tym, istnieje potrzeba podjęcia prac koncepcyjnych, badawczych, a w konsekwencji projektowych nad modułowymi, mobilnymi i efektywnymi rozwiązaniami w tym obszarze. WAT podjął już prace koncepcyjne i organizacyjne nad takimi rozwiązaniami. Wymagać to może wprowadzenia technologii przełomowych. Problematyka magazynów ciepła będzie tematem zadania nr 7.

## 2. Bez emisyjne źródła odnawialnej energii cieplnej

W tej części raportu zostaną przedstawione podstawowe informacje na temat odnawialnych, zeroemisyjnych źródeł ciepła, które mogą znajdować w lokalizacji dworca kolejowego.

Podstawowym założeniem jest pogląd, że w naturze prawie wszystko da się schłodzić, jak również prawie wszystko da się podgrzać, czyli prawie każda substancja może przyjąć lub oddać ciepło, a tym samym stać się źródłem ciepła. Jedynym wyjątkiem są substancje znajdujące się w temperaturze zera bezwzględnego<sup>7</sup>.

Projektując współczesne systemy ogrzewania należy odejść od tradycyjnego postrzegania energii cieplnej. Nie temperatura jest najważniejsza, tylko ilość ciepła, która zostanie pobrana (oddana) wyniku podgrzewania lub schładzania. Medium, które wręcz idealnie się nadaje do tego celu jest najwyklesza i prawie wszędzie występująca woda. Woda potrafi wchłaniać i zatrzymać bardzo duże ilości energii cieplnej. Niezależnie od zmian pogody, temperatura wody w dużych zbiornikach ulega tylko niewielkim wahaniom. Z wody można za pomocą względnie prostych środków technicznych odzyskać część tego ciepła. Jeszcze prościej jest odebrać ciepło z powietrza, aczkolwiek nie jest już go tak dużo jak w wodzie. Powietrze jako rezerwuar ciepła ma jeszcze tę wadę, że jego temperatura ulega silnym zmianom. Ciepło może być magazynowane także w gruncie, w wodzie gruntowej, w instalacjach geotermalnych, w powietrzu atmosferycznym, w zbiornikach wodnych, w instalacjach wodociągowych, instalacjach komunalnych, w ciepłe odpadowym oraz uzyskiwane bezpośrednio od Słońca. Oprócz energii cieplnej, środowisko naturalne pozwala uzyskiwać energię elektryczną z konwersji z energii wiatru, energii wody, energii Słońca, czy energii wnętrza Ziemi.

### 2.1. Ciepło magazynowane w gruncie

Ziemia, gleba, grunt, to medium, które jest odwiecznym akumulatorem energii cieplnej. Grunt szczególnie wtedy, gdy jest dobrze przesiąknięty wodą potrafi zgromadzić bardzo wiele ciepła słonecznego. Ciepło transportowane jest w Ziemi niemal wyłącznie drogą przewodnictwa, przy czym przewodność cieplna zwiększa się wraz z rosnącą zawartością wody. Tak jak przewodność, również magazynowanie ciepła jest uzależnione w znaczącym stopniu od zawartości wody w ziemi.

---

<sup>7</sup> Wynosi ona -273,15°C, co równa się temperaturze 0 K.

Procesy dostarczania i przewodzenia ciepła w gruncie zachodzą cały czas. Z jednej strony Ziemia ogrzewana jest promieniami słonecznymi, a z drugiej strony ogromne ilości ciepła docierają z wnętrza Ziemi. Ciepło pochodzące od Słońca magazynowane jest w warstwach znajdujących się pod powierzchnią Ziemi. Dla całkowitej ścisłości należy dodać, że opady atmosferyczne też magazynują w gruncie duże ilości ciepła. Właśnie ta opisana zdolność do akumulacji powoduje, że temperatura w Ziemi utrzymuje się przez cały rok mniej więcej na takim samym poziomie.

Aby odebrać ciepło znajdujące się w przypowierzchniowej warstwie Ziemi wystarczy umieścić w niej rury o odpowiedniej długości, w których popłynie ciecz o temperaturze niższej niż temperatura samego gruntu. Wtedy ciecz ta będzie od gruntu przejmować ciepło. Rura zakopana w gruncie może być zatem prostym wymiennikiem ciepła. W celu możliwie najlepszego pozyskania ciepła z Ziemi, trzeba jednak spełnić kilka wymagań. Po pierwsze rura musi być zakopana na odpowiedniej głębokości, po drugie musi mieć długość stosowną do ilości energii, która będzie pobierana, a po trzecie, odstęp między sąsiednimi rurami nie może być zbyt mały ani zbyt duży. Metodologia obliczeń instalacji odbierających ciepło z wnętrza Ziemi, wraz z modelami obliczeniowymi, jak również wskazówkami do opracowania programów komputerowych, przedstawiona została m. in. w pracy Chiassona (Chiasson, 2016).

Innym źródłem ciepła magazynowanym w gruncie jest energia wytwarzana w wewnętrznych warstwach Ziemi (Dickson & Fanelli, 2005; DiPippo, 2008; Kavanaugh & Rafferty, 2014).

### **2.1.1. Ciepło w warstwie przypowierzchniowej Ziemi**

Przypowierzchniowa warstwa Ziemi, która wykorzystywana jest w celach grzewczych sięga głębokości do ok 100 m. W warstwie tej w zależności od warunków umieszcza się kolektory rurowe pobierające ciepło, poziome lub pionowe.

Prawidłowa głębokość zakopania kolektora poziomego wynosi od 1 do 1,5 m. Ten zakres nie jest bynajmniej podyktowany jakimiś szczególnymi względami, ani nie wynika z wiedzy dostępnej tylko dla wybrańców, chodzi tu tylko o to, aby nie stawiać niepotrzebnie dużych wymagań wobec wykonawców prac ziemnych. Łatwo sobie można wyobrazić co byłoby, gdyby tolerancja głębokości wynosiła na przykład 1 cm. Nie jest również prawdą, że zakopanie rur kolektora na większej głębokości da lepsze efekty.

Kolektor gruntowy poziomy odbiera ciepło słoneczne i ciepło opadów atmosferycznych, a to będzie tym bardziej intensywne, im rury kolektora będą bliżej powierzchni gruntu. Z drugiej strony nie należy przesadzać i nie stosować głębokości zbyt małych, na przykład 0,5 metra, gdyż w miarę przybliżania się do powierzchni gruntu rośnie co prawda ilość ciepła, którą możemy od Słońca pobrać, ale jednocześnie maleje ilość ciepła zmagazynowanego w gruncie. Dlatego owe 1,5 metra jest rozsądnym kompromisem. A z kolei na ciepło z wnętrza (jądra) Ziemi nie należy liczyć, chyba że zostanie wykonany odwiert geotermalny, ale w tym wypadku to już jest inne źródło energii cieplnej, o którym będzie mowa w dalszej części.

Wymagana niezbędna długość rur kolektora poziomego zależy od dwóch czynników. Od mocy, która ma być pobierana z kolektora i od wydajności cieplnej gruntu. Można przyjąć, że każdy metr bieżący rury zakopanej w ziemi jest w stanie pobrać około 20 W mocy (dla rury położonej poziomo). Łatwo więc policzyć ile metrów takiej rury trzeba kupić i zakopać, co wyznacza też wstępnie zakres prac ziemnych. Jeśli z gruntu chcemy „uzyskać” na przykład 8 kW, to całkowita długość rury wyniesie w tym przypadku 400 m ( $8000 \text{ W} : 20 \text{ W/m} = 400 \text{ m}$ ). Nie byłoby jednak dobrze, gdyby kolektor ziemny składał się z jednego odcinka o takiej długości. Należy pamiętać o tym, że poszczególne pętle powinny wyróżniać się jednakową długością, która nie może przekraczać 100 m. Jeśli będą dłuższe, wówczas opory przepływu, a tym samym straty w odprowadzaniu ciepła będą zbyt duże. Odstępy pomiędzy poszczególnymi pętlami uzależnione są od średnicy przewodów. Wynoszą zazwyczaj między 50 a 100 cm. Konieczność utrzymania tego odstępu powoduje, że płaski kolektor ziemny musi zajmować siłą rzeczy pewną powierzchnię. Jak duża będzie ta powierzchnia okazuje się dokładnie dopiero wtedy, gdy położenie rur kolektora zostanie narysowane na planie sytuacyjnym. Wstępnie da się oczywiście wymaganą powierzchnię oszacować. Do tego celu wystarczy tylko pamiętać o tym, że powierzchnia działki zajęta przez płaski kolektor ziemny, to około dwa i pół razy więcej niż wynosi powierzchnia użytkowa ogrzewanego budynku.

Nie zawsze jednak dysponujemy odpowiednio dużą działką, ale nawet wtedy gdy ma ona wystarczającą powierzchnię, mogą wystąpić inne przeszkody uniemożliwiające ułożenie kolektora gruntowego. Podjazdy czy dojazdy wybrukowane lub pokryte warstwą betonu, wykluczają położenie pod nimi rur kolektora. Podobnie jest z obszarem zalesionym lub terenem, a którym mają rosnąć pojedyncze drzewa. W tym przypadku nie chodzi tylko o kolizję korzeni i rur, ale także o to, że zacieniony grunt nie akumuluje tyle ciepła co grunt odkryty.

Jeśli powierzchnia działki nie wystarcza, można zamiast kolektora płaskiego zastosować kolektor pionowy, czyli tak zwaną sondę ziemną. Najczęściej stosowane długości sond

zaczynają się od 20 m. Na ogół stosuje się kilka sond, każda z nich ma przynajmniej 30 m. Ilość ciepła której można się spodziewać z sondy zależy od lokalnych warunków geologicznych. Jednak nie popełnimy zbyt dużego błędu jeśli przyjmiemy, że każdy metr bieżący sondy dostarczy 50 W. Zapotrzebowanie na moc grzewczą na 10 kW (10000 W), oznacza, że potrzeba jest przynajmniej 200 metrów odwiertu ( $10000 \text{ W} : 50 \text{ W/m} = 200 \text{ m}$ ).

W praktyce zawsze jest tak, że trzeba stosować więcej niż jedną sondę i wtedy powstaje pytanie o odstęp między sąsiednimi sondami. Wielkość tego odstępu zależy od głębokości odwiertu. Dla 30-metrowego odwiertu wystarczy oddalenie 5 m, a dla odwiertu 100 metrowego dystans między sondami musi wynosić 15 m, a wszystko po to, aby ograniczyć do minimum ich wzajemne oddziaływanie i zapewnić w okresie letnim regenerację termiczną gruntu. Choć jest to trudne do wyznaczenia, to jednak należy dążyć do takiej lokalizacji sond względem siebie, aby przepływające wody gruntowe nie przenosiły oziębienia z jednej sondy na drugą, czyli jeśli sondy tworzą rząd, to kierunek przepływu wód gruntowych powinien być do tego rzędu prostopadły. Szczegółowe zasady i metodologię obliczeń i prowadzenia odwiertu podał m.in. Chiasson (Chiasson, 2016).

Dokładne wymiarowanie jest uzależnione od warunków geologicznych i hydrologicznych. Przygotowując instalację grzewczą, nie chodzi tu o doświadczenie w wykonywaniu samych odwiertów - równie ważne jest doświadczenie w wykonywaniu sond pionowych dla urządzeń odbierających ciepło. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że jest to opinia przekazywana przez producentów pomp ciepła, proponujących szybkie i mało pracochłonne rozwiązania. WAT współpracuje z partnerami, którzy mają duże doświadczenie w obszarze wykonania wysokiej jakości otworów do poboru energii cieplnej. Można w tym miejscu zaproponować PKP, poza projektem, wykonanie ogrzewania z gruntem pompą ciepła na jednym z dworców IDS.

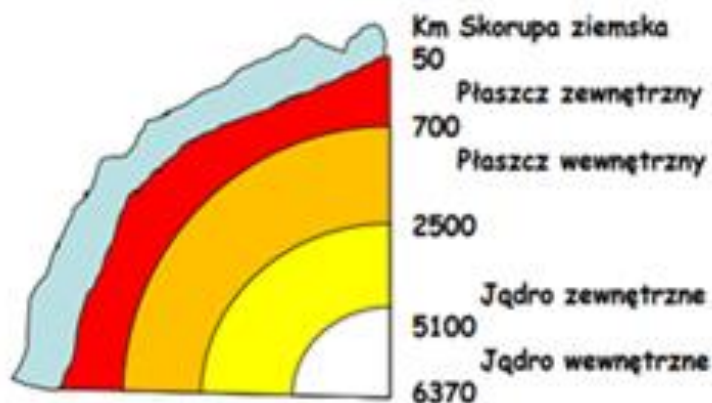
Wracając do kolektorów gruntowych, to energia cieplna jest najintensywniej pobierana w okresie zimowym. Grunt regeneruje się przede wszystkim w czasie wiosny i lata, kiedy na zewnątrz panują cieplejsze temperatury. Przewodność cieplna oraz właściwości akumulacyjne są tym większe, im grunt jest bardziej nasycony wodą, a także im więcej występuje w nim składników mineralnych oraz im mniejsza jest jego porowatość. Warto mieć na uwadze, że moce jednostkowe, jakie można pobrać z gruntu mieszczą się między ok. 10 a 35 W/m<sup>2</sup> powierzchni gruntu, w zależności od jego rodzaju:

- grunt piaszczysty, suchy — od 10 do 15 W/m<sup>2</sup>;
- grunt piaszczysty, wilgotny — od 15 do 20 W/m<sup>2</sup>;

- grunt ilasty, suchy — od 20 do 25 W/m<sup>2</sup>;
- grunt ilasty, wilgotny — od 25 do 30 W/m<sup>2</sup>;
- grunt wodonośny — od 30 do 35 W/m<sup>2</sup>.

### 2.1.2. Ciepło magazynowane w we wnętrzu Ziemi

Ciepło magazynowane we wnętrzu Ziemi obejmuje procesy termiczne zachodzące w jej wnętrzu. Procesy te, są źródłem tzw. energii geotermalnej, która może zostać wykorzystana do produkcji energii elektrycznej i energii cieplnej. Źródłem energii geotermalnej jest przede wszystkim rozpad pierwiastków promieniotwórczych zachodzący w jądrze Ziemi, czego konsekwencją jest bardzo wysoka temperatura, której wartość spada w kierunku powierzchni. Drugim jest ciepło zakumulowane w Ziemi, pochodzące z okresu jej tworzenia (Dickson & Fanelli, 2005; DiPippo, 2008). Wnętrze Ziemi składa się z kilku struktur, których wielkość w km przedstawia rys. 13.



Rys. 13. Podstawowe struktury wnętrza Ziemi  
Źródło: opracowanie własne

Podstawowe procesy termiczne we wnętrzu Ziemi przedstawia rys. 14.

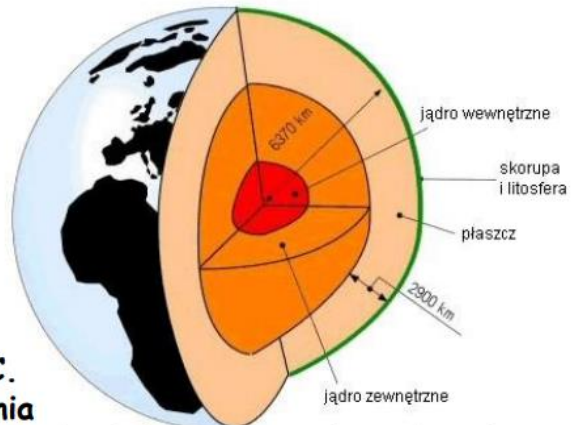
# Wnętrze Ziemi

W jądrze Ziemi zachodzi rozpad pierwiastków promieniotwórczych, którego efektem jest wysoka temperatura dochodząca do ok.  $4500^{\circ}\text{C}$ . Temperatura ta maleje w miarę zbliżania się do powierzchni Ziemi o  $15\text{-}80^{\circ}\text{C}$  na jeden kilometr, w zależności od rodzaju skał i warunków geologicznych. Przeciętnie przyjmuje się, że gradient temperatury skorupy ziemskiej wynosi

**$30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ .**

Z punktu widzenia możliwości praktycznego wykorzystania tego gradientu rozróżnia się następujące rejony geotermalne:

- hipertermiczny z gradientem temperatury większym niż  $80^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ;
- semitermiczny od  $40$  do  $80^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ;



Rys. 14. Podstawowe procesy we wnętrzu Ziemi  
Źródło: opracowanie własne

Model powstawania złóż geotermalnych przedstawił m.in. DiPippo (DiPippo, 2008). Autor ten przedstawił również analizę rozkładu złóż geotermalnych na powierzchni Ziemi. W zależności od określonego typu systemu geologicznego wyróżnia się trzy rodzaje energii geotermalnej (Dickson & Fanelli, 2005):

1. Energię zawartą w przegrzanej parze wodnej o temperaturze powyżej  $130^{\circ}\text{C}$ . Takie systemy występują na obszarach młodego wulkanizmu, pozwalając na rozwój złóż geotermalnych o wysokiej entalpii. Ten typ energii znajduje zastosowanie głównie do wytwarzania prądu elektrycznego w elektrowniach geotermalnych.

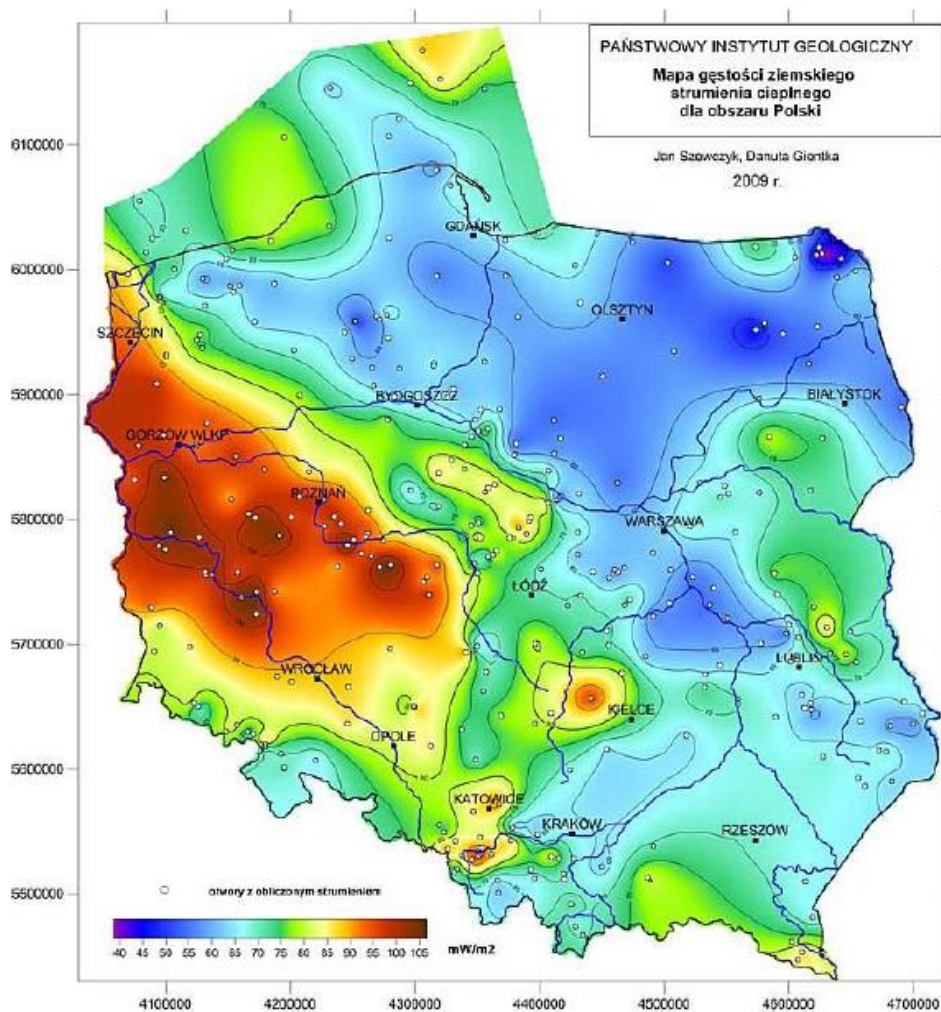
2. Energię zawartą w wodach geotermalnych: niskotemperaturowych ( $20 - 35^{\circ}\text{C}$ ), średniotemperaturowych ( $35 - 80^{\circ}\text{C}$ ), wysokotemperaturowych ( $80 - 100^{\circ}\text{C}$ ) i bardzo wysokotemperaturowych ( $100 - 130^{\circ}\text{C}$ ), które mogą zostać wykorzystane jako źródło energii cieplnej do ogrzewania: pomieszczeń mieszkalnych i gospodarczych, indywidualnych i komunalnych, w tym również stacji kolejowych. Energia ta może zostać wykorzystana również do celów technologicznych w przemyśle spożywczym, papierniczym chemicznym, do celów rekreacyjnych i balneologicznych. Cechą tego typu źródeł ciepła jest to, że:

- są zawsze dostępne,
- są niezależne od pogody,
- siłownie geotermalne można bez trudności włączać i wyłączać w zależności od zapotrzebowania.

3. Energię zawartą w nagrzanych suchych skałach. Energia geotermalna suchych skał – technologia pozyskiwania energii cieplnej wnętrza Ziemi, zgromadzonej w skałach nie przepuszczających wody (przede wszystkim w granitach), występujących na dużych głębokościach (minimum 5 000 m) i przykrytych skałami słabo przewodzącymi ciepło. Energię tę można pozyskiwać przez wtłaczanie w naturalne lub sztucznie wytworzone szczeliny skalne pod dużym ciśnieniem wody, która przejmuje ciepło gorących skał, po czym wydostaje się na powierzchnię Ziemi w postaci pary wodnej o wysokiej entalpii.

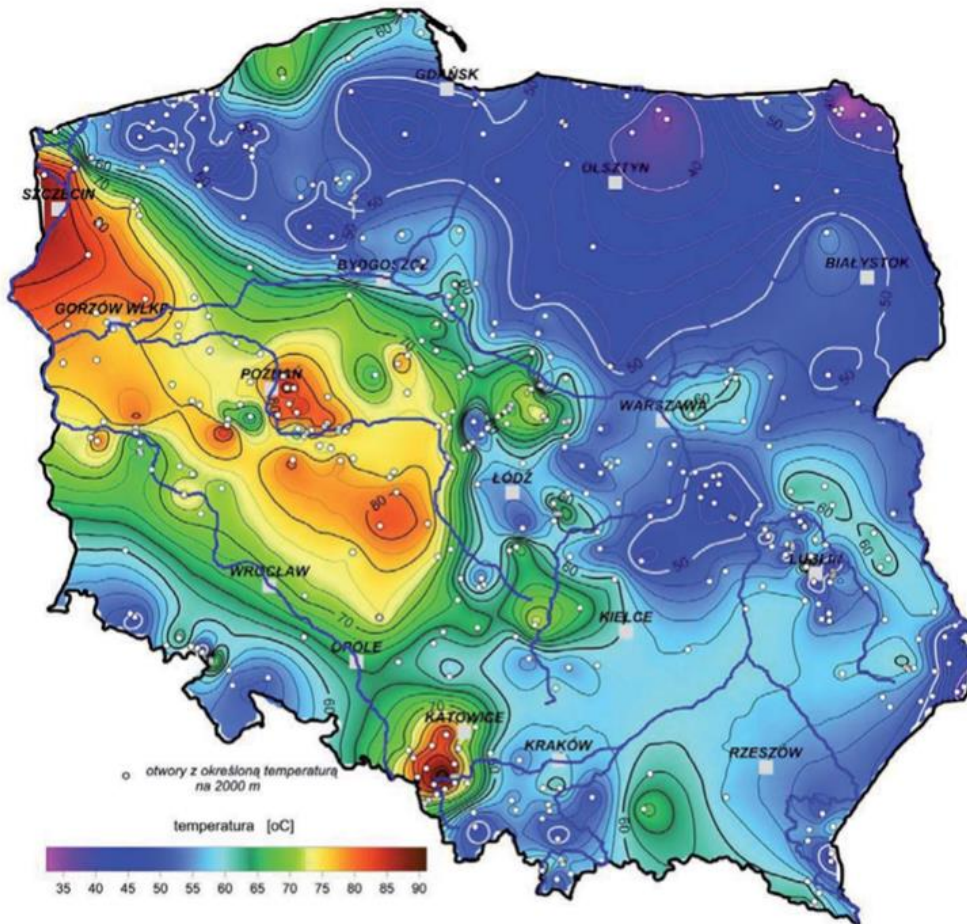
Temperatura wód geotermalnych zależy od rozkładu gęstości ziemskiego strumienia cieplnego, który z kolei zależy od lokalnej budowy geologicznej w poszczególnych warstwach (Dickson & Fanelli, 2005; DiPippo, 2008). Rozkład gęstości ziemskiego strumienia cieplnego dla Polski przedstawia rys. 15.





Rys. 15. Mapa rozkładu gęstości ziemskiego strumienia ciepłego dla Polski  
 Źródło: Dane Państwowego Instytutu Geologicznego

Jak widać (rys. 15.) największą gęstością strumienia ciepłego dysponują obszary północno-zachodniej Polski oraz częściowo Polski środkowej. Uzupełnieniem przedstawionych informacji jest mapa temperatur na głębokości 2000 m (rys. 16.).



Rys. 16. Mapa rozkładu temperatury na głębokości 2000 m na terenie Polski  
 Źródło: Dane Państwowego Instytutu Geologicznego

Jak widać (rys. 16.) najkorzystniejszych warunków geotermalnych można oczekiwać w rejonach zachodniej i północno-zachodniej Polski. Określenie wielkości gęstości strumienia ciepła na danym obszarze jest pierwszym krokiem prac związanych z wykorzystaniem energii geotermalnej, dzięki powyższej mapie można wstępnie określić najbardziej optymalne miejsce dla planowanej inwestycji, oraz zmniejszyć ryzyko poniesienia zbyt wysokich kosztów w stosunku do zakładanych w przyszłości zysków.

Na podstawie zróżnicowanej budowy geologicznej oraz różnych warunków hydrogeologicznych na obszarze Polski wyróżnia się cztery prowincje geotermalne (rys. 17).



Rys. 17. Główne prowincje geotermalne Polski  
 Źródło: opracowanie własne

Największą stanowiącą 87% powierzchni kraju stanowi Niż Polski jest to zarazem najbardziej perspektywiczna z prowincji. Szczególnie korzystne warunki dla wykorzystania energii geotermalnej występują w Polsce centralnej i zachodniej, gdzie energia geotermalna jest już wykorzystywana w niektórych lokacjach. Na obszarze Niżu Polskiego można wykorzystać wody geotermalne o stosunkowo wysokich temperaturach, przekraczających nawet wartości 100°C (Tomaszewska, Sowiżdżał, & Drabik, 2018).

Obszar Niżu Polskiego budują skały osadowe permsko-mezozoiczne platformy zachodnioeuropejskiej o miąższościach dochodzących do około 10 km. Pod względem litologicznym są to piaskowce, wapienie, margle, dolomity, iłowce, mułowce, ewaporatów i inne skały osadowe. Odnotowany strumień ciepły kształtuje się w zakresie od 35 mW/m<sup>2</sup> do 105 mW/m<sup>2</sup>, natomiast gradient geotermalny przyjmuje zróżnicowane wartości od 2°C/100 m do ponad 3°C/100m (Górecki, 2010).

Prowincja Karpacka zajmuje powierzchnię około 20000 km<sup>2</sup> (6,5% powierzchni Polski), w jej skład wchodzi między innymi niecka podhalańska o obszarze 500 km<sup>2</sup>. Basen zewnątrzkarpacki zbudowany jest z utworów fliszowych wieku kreda-trzeciorzęd o całkowitej

miąższości dochodzącej do około 5-8 km. Natomiast basen wewnątrzkarpacki zbudowany jest ze skał węglanowych, wapieni, dolomitów oraz utworów fliszowych. Strumień ciepły waha się od  $60 \text{ mW/m}^2$  do  $95 \text{ mW/m}^2$ , gradient geotermiczny jest zróżnicowany od 2 do  $3,6^\circ\text{C}/100 \text{ m}$  (Kępińska, 2021).

W obrębie basenu wewnątrzkarpackiego leży niecka podhalańska region o znacznym potencjale do wykorzystania energii geotermalnej. Obszar Podhala cechuje się występowaniem poziomu wodonośnego o znacznym rozprzestrzenieniu i korzystnych parametrach litologicznych zawierającego wody o dużej wydajności. Wody termalne na Podhalu są wykorzystywane od lat 90-tych XX wieku, a wszystko wskazuje na to, że ich wykorzystanie będzie kontynuowane oraz modernizowane w przyszłości, w szczególności do wytwarzania ciepła ale również w celach rekreacyjnych i w balneoterapii (Górecki, Mayer, Strzetelski, & Krach, 2006; Tomaszewska et al., 2018).

Leżące na przedpolu Karpat zapadlisko przedkarpackie jest kolejną prowincją geotermalną Polski, zajmuje ono obszar około  $20000 \text{ km}^2$  czyli 6,5% powierzchni Polski. Zbudowane jest ze skał osadowych wieku oligocen górny-miocen o całkowitej miąższości dochodzącej do około 3 km. Pod względem litologicznym w profilu zapadliska można wyróżnić następujące skały osadowe: mułowce, margle, iłowce, piaskowce, wapienie oraz ewaporaty. Strumień ciepły kształtuje się w zakresie  $60\text{-}95 \text{ mW/m}^2$ , natomiast gradient geotermalny jest zróżnicowany od  $1,8^\circ\text{C}/100 \text{ m}$  do ponad  $4,8^\circ\text{C}/100\text{m}$  (Wojciech Górecki et al., 2006; Kępińska, 2021). Na terenie zapadliska przedkarpackiego wody termalne nie są zagospodarowane, chociaż zostały udokumentowane w piętnastu miastach na jego terenie. Jedynie wody termalne o właściwościach leczniczych są wykorzystywane w sześciu uzdrowiskach (Sowizdzał, 2018).

W rejonie Sudeckim wody termalne występują w krystalicznych formacjach Sudetów. Strumień ciepły na tym obszarze wynosi od 40 do  $70 \text{ mW/m}^2$ . Średnia wydajność ujęć wynosi około  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , a temperatury wód termalnych wahają się od  $20,5^\circ\text{C}$  do  $86,7^\circ\text{C}$  (Wojciech Górecki & Hajto, 2011). Wody termalne wykorzystywane są w celach terapeutycznych. Rejon Sudetów posiada korzystne warunki termalne, czego przykładem może być miejscowość Cieplice, w której w głębokości 2002,5 m stwierdzono występowanie wody o temperaturze  $86,7^\circ\text{C}$ . Obecnie wody z regionu Sudetów stosowane są w kilku miejscowościach uzdrowiskowych (m. in. Lądek Zdrój i Cieplice) w celach balneoterapii (Sowizdzał, 2018).

Większość zasobów wód termalnych występujących na terenie Polski nie posiada temperatury przekraczającej  $100^\circ\text{C}$ , co jednoznacznie określa możliwości ich wykorzystania.

Woda termalna o takich temperaturach może stanowić dolne źródło ciepła dla absorpcyjnych lub sprężarkowych pomp ciepła. Wody termalne o temperaturze powyżej 80°C w polskiej strefie klimatycznej mogą stanowić samodzielnie źródło ciepła dla ogrzewania. Poniżej tej temperatury w okresach dużych spadków temperatury powietrza (zima) muszą być wspomagane konwencjonalnym źródłem ciepła lub pompą ciepła.

Pozyskiwanie energii geotermalnej, jako energii odnawialnej, charakteryzuje się bardzo małym wpływem na środowisko naturalne oraz dużą stabilnością. Systemy geotermalne mają szereg zalet, ale też i wad (rys. 18.).

## Geotermia - wady i zalety

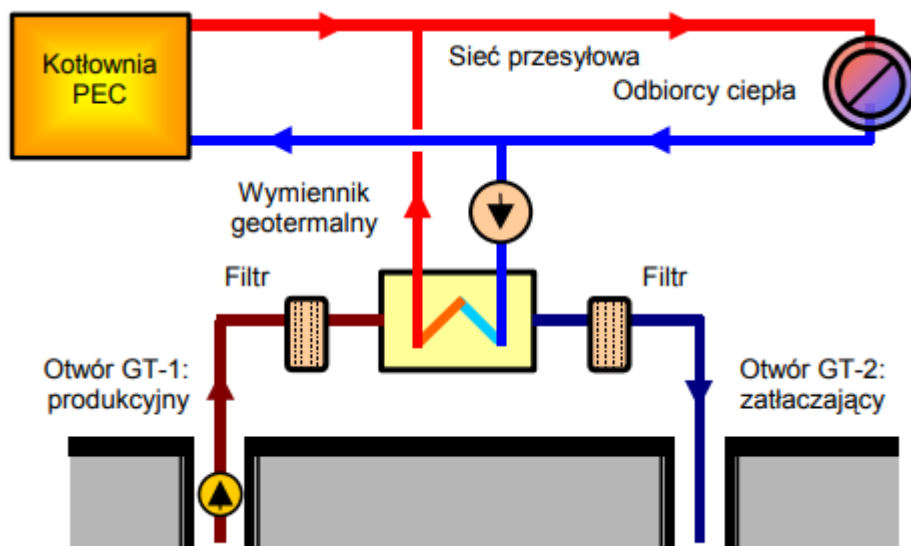
wady	zalety
1. Ograniczona dostępność	1. Czyste źródło energii
2. Wysokie koszty instalacji	2. Niewyczerpalność
3. Podczas wydobycia wydostają się szkodliwe gazy (H <sub>2</sub> S) i minerały	3. Niskie koszty eksploatacji
4. Problemy techniczne przy eksploatacji złoża	4. Niezależność od pogody i klimatu
5. Korozja rur	5. Możliwość pozyskiwania w pobliżu odbiorcy

Rys. 18. Wady i zalety systemów geotermalnych  
Źródło: opracowanie własne

Jednak instalacje geotermalne, to na ogół systemy dużej mocy, gdzie moc przeciętnej instalacji przekracza 2 MW i jest to znacznie więcej niż potrzebuje mała stacja kolejowa. Instalacje tego typu mogą być elementem większej sieci ciepłowniczej lub stanowić źródło ciepła dla bardzo dużego dworca.

Przykładem instalacji geotermalnej jest sieć ciepłownicza w Stargardzie Szczecińskim (rys. 19.).

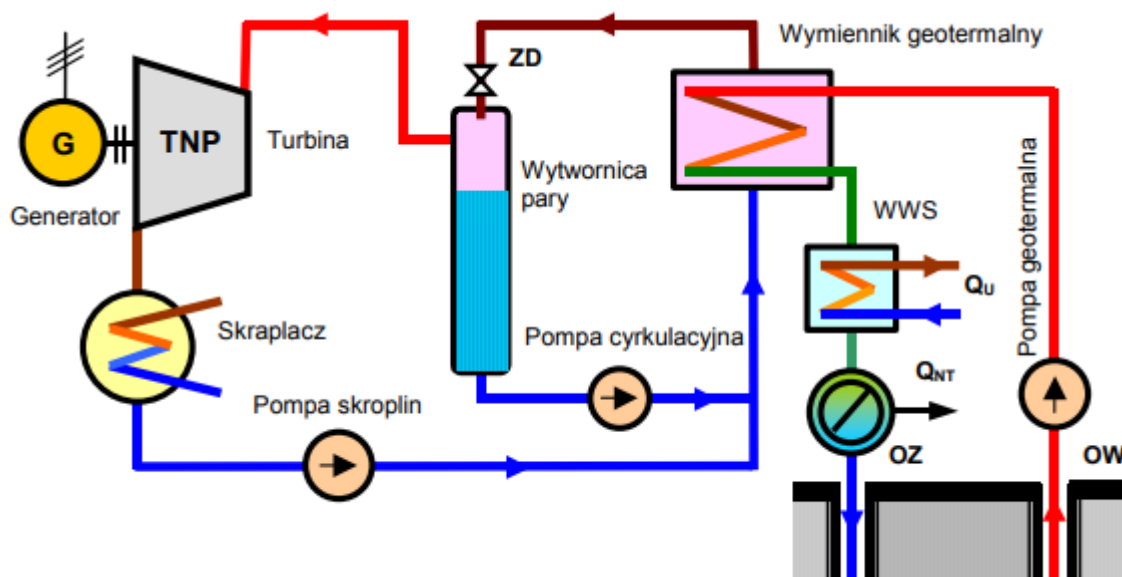




Rys. 19. Uproszczony schemat instalacji geotermalnej w Stargardzie Szczecińskim  
 Źródło: opracowanie własne

Instalacja składa się tylko z dubletu geotermalnego, w skład którego wchodzi otwór produkcyjny GT-1 i otwór zatłaczający GT-2, oraz geotermalnego wymiennika ciepła o mocy 14 MW. Woda geotermalna wydobyta przy pomocy pomp głębinowych jest kierowana do wymiennika geotermalnego, a następnie zatłaczana do tej samej warstwy wodonośnej poprzez otwór iniekcyjny. Ciepło zawarte w wodzie geotermalnej przekazywane jest w wymienniku do wody sieciowej w instalacji grzejnej miasta. W Stargardzie Szczecińskim otwór wydobywczy osiągnął głębokość 2672 m i dostarcza wodę o temperaturze 86,9°C. Z instalacji tej ciepło możliwe jest dostarczane również do dworca kolejowego. Podobny schemat instalacji geotermalnej ma Zakopane i dworzec w Zakopanem również mógłby być zasilany jest z instalacji geotermalnej.

Z energii geotermalnej można pozyskać również energię elektryczną (Dickson & Fanelli, 2005). Przykładowy schemat instalacji przedstawia rys. 20.



Rys. 20. Uproszczony schemat elektrociepłowni geotermalnej  
 Źródło: opracowanie własne

Pozyskiwana z otworu eksploatacyjnego gorąca woda przepływa przez wymiennik ciepła, oddając w nim ciepło do czynnika obiegowego siłowni, np. wody. Podgrzana w wymienniku woda obiegowa dopływa do wytwornicy pary, gdzie przechodzi w parę nasyconą wskutek obniżenia ciśnienia na zaworze dławiącym. Para nasycona dopływa do turbiny, gdzie wykonuje pracę, napędzając generator elektryczny, a następnie ulega skropleniu w skraplaczu. Skropliny ponownie włączane są do wymiennika, mieszając się jednocześnie z wodą opuszczającą rozprężacz. Bardziej szczegółowe informacje wraz z obliczeniami tego typu elektrociepłowni, w tym z teorią jej funkcjonowania zamieszczone są w pracach (Dickson & Fanelli, 2005; DiPippo, 2008). Opis zaawansowanych systemów geotermalnych, w tym systemy hybrydowe przedstawił DiPippo (DiPippo, 2008).

Należy zaznaczyć, że w układzie tym woda geotermalna opuszczająca wymiennik geotermalny ma nadal bardzo wysoką temperaturę. W związku z tym zawarte w niej ciepło może być wykorzystane do celów grzewczych za pomocą dodatkowego wymiennika wody sieciowej, zaś pozostałe ciepło niskotemperaturowe może służyć do ogrzewania innych urządzeń i obiektów, np. sportowo-rekreacyjnych.

W przypadku stwierdzenia w danej lokalizacji zasobów energii geotermalnej, modernizację istniejących sieci ciepłowniczych, węzłów cieplnych i sieci wewnętrznych w budynkach należy prowadzić równoległe z budową ciepłowni geotermalnej. Niezmiernie ważne jest kompleksowe zagospodarowanie energii geotermalnej, najlepiej w systemach

kaskadowego odbioru ciepła. Biorąc pod uwagę duże zasoby wód geotermalnych oraz istniejące opracowania studialne dotyczące możliwości ich wykorzystania w wielu miejscowościach w Polsce, można wyrazić pogląd, że w najbliższych latach liczba ciepłowni geotermalnych powinna wzrosnąć. Budowa ciepłowni geotermalnych jest ekonomicznie uzasadniona przede wszystkim w miejscowościach o dużej liczbie mieszkańców i rozbudowanym przemyśle. Należy spodziewać się, że w pobliżu ciepłowni geotermalnych będą powstawać także inne obiekty wykorzystujące energię geotermalną, np. obiekty o przeznaczeniu typowo rekreacyjnym (parki wodne), czy typowo rolniczym i przemysłowym (szklarnie, suszarnie produktów rolnych, suszarnie drewna, baseny do hodowli ryb itp.). Tworzenie rozbudowanych sieci o zróżnicowanych temperaturowo odbiorcach ciepła sprzyja większej efektywności pracy ciepłowni i bardziej efektywnemu wykorzystaniu energii wód geotermalnych. Schematy możliwych instalacji zawiera m. in. praca Dicksona i Fanelle'go (Dickson & Fanelli, 2005). Praca ta przedstawia również modele analiz kosztowo-funkcjonalnych instalacji geotermalnych.

Reasumując, instalacje geotermalne są odnawialnymi i bezemisyjnymi źródłami energii cieplnej. Są to instalacje dużej mocy, zdolne do ogrzania wielu obiektów. Początkowy koszt instalacji geotermalnej jest bardzo wysoki. Koszt odwiertu na głębokość 1000 m wynosi ponad 5 mln zł. Dlatego budowa takiej instalacji powinna uwzględniać zasilenie dużej liczby odbiorców.

Metodologia obliczeń, modelowania, wraz z elementami programów komputerowych wspomagających obliczenia w tym obszarze przedstawili Chiasson (Chiasson, 2016), czy Kavanaugh i Rafferty (Kavanaugh & Rafferty, 2014). Zasady wiercenia otworów geotermalnych, prowadzenia nadzoru geologicznego, sposobu ewidencji warstw, nadzoru nad pracami zawiera praca (Kavanaugh & Rafferty, 2014). Natomiast problemy przygotowania, budowy i eksploatacji systemów geotermalnych na potrzeby grzejnictwa przedstawili również Bujakowski i inni (Bujakowski et al., 2017). Przykłady opisu instalacji geotermalnych, w tym termodynamikę instalacji geotermalnej, wraz z teorią i modelami termodynamicznymi przedstawił DiPippo (DiPippo, 2008). Natomiast termodynamika instalacji geotermalnej, analiza różnych systemów przesyłowych, wraz z teorią i modelami termodynamicznymi zawiera praca (DiPippo, 2008). Praca ta przedstawia również możliwości wytwarzania prądu z instalacji geotermalnych, wraz z tym związaną teorią termodynamiczną i schematami obliczeniowo-projektowymi. Natomiast modele obliczeń kosztowych zawiera m.in. praca (Kavanaugh & Rafferty, 2014).



## 2.2. Ciepło magazynowane w wodzie

Jest to ciepło, które można pozyskać z wód gruntowych, jak również z wód powierzchniowych (otwarte zbiorniki wodne, rzeki) i inne zbiorniki wody (Dickson & Fanelli, 2005).

Metodologia obliczeń instalacji odbierających ciepło z wody, wraz z modelami obliczeniowymi, jak również wskazówkami do opracowania programów komputerowych, przedstawiona została m.in. w pracy Chiassona (Chiasson, 2016). Natomiast pomiary i obliczenia dla wód powierzchniowych, wraz z modelami matematycznymi zawiera praca Gupty (Gupta, 2001).

### 2.2.1. Ciepło magazynowane w wodzie gruntowej

Ocena możliwości wykorzystania ciepła zawartego w wodach gruntowych wymaga znajomości wód gruntowych, co oparte powinno zostać na wcześniejszej analizie zasobów wodnych (energetycznych) w danej lokalizacji. Woda gruntowa jest też bardzo dobrym akumulatorem ciepła słonecznego, o praktycznie stałej temperaturze utrzymującej się na poziomie  $+7^{\circ}\text{C}$  do  $+12^{\circ}\text{C}$ . Dzięki temu można uzyskać najlepsze efekty energetyczne, czyli najniższy z możliwych koszt ogrzewania. Do pobierania ciepła z wody gruntowej potrzebne są dwie studnie (czerpalna i zrzutowa). Odstęp między nimi powinien wynosić nie mniej niż 10 m. Zanim takie studnie zostaną ostatecznie wykonane należy zrobić próbny odwiert, aby przeprowadzić analizę składu chemicznego wody. Oprócz tego będzie potrzebne stosowne zezwolenie organu administracji wodnej.

Pobieranie ciepła z wody gruntowej może z czasem być bardzo kłopotliwe. Każda pompa ciepła wymaga określonego przepływu. Wydajność studni powinna być taka, aby zawsze, a to znaczy 24 godziny na dobę i 365 dni w roku dostarczyć wymaganą ilość wody. W dużym uproszczeniu można powiedzieć, że na każdy kilowat mocy grzewczej, którą ma dostarczyć pompa ciepła, potrzebny jest przepływ 300 litrów wody na godzinę. Czyli pompa ciepła o mocy 10 kW potrzebować będzie 3000 litrów/godzinę. Praktyka dowodzi, że to nie wydajność studni zasilającej jest problemem, a raczej zdolności wchłaniania przepompowywanej wody przez studnię zrzutową. Dlatego nie wolno lekceważyć jej roli i zakładać, że najważniejsze jest tylko to aby wodę pobrać. No chyba, że chcemy mieć na działce sadzawkę lub teren bagienny.

Należy podkreślić jeszcze jedno zjawisko, niekorzystnie wpływające na pracę i na bezawaryjność systemu ogrzewania, opartego na ciepłe pobieranym z wód gruntowych. Woda pobierana ze studni w większości przypadków zawiera duże ilości rozpuszczonego w niej żelaza. Żelazo to same w sobie nie jest zagrożeniem dla pompy ciepła. Staje się nim jednak wtedy, gdy woda pobierana ze studni czerpalnej będzie mieć jakikolwiek kontakt z powietrzem atmosferycznym. Wtedy tlen zawarty w powietrzu wchodzi w reakcję chemiczną z żelazem zawartym w wodzie i w konsekwencji powstają tlenki żelaza, które potrafią w krótkim czasie całkowicie zablokować kanały w wymienniku pompy ciepła, a jeśli dostęp powietrza będzie za pompą ciepła, to tlenki te po prostu zamulą studnię zrzutową, czyniąc ją niezdolną do odbierania wody. Wtedy trzeba robić następną studnię, innego wyjścia nie ma.

Wykorzystanie wód gruntowych do zasilania pomp ciepła, dotyczy pomp typu woda-woda. Prawidłowa instalacja pompy ciepła woda-woda musi być wykonana tak, aby zapewnić całkowitą szczelność na całej trasie począwszy od studni czerpalnej, poprzez pompę ciepła, aż do końca rury studni zrzutowej. Więcej na temat konstrukcji tych rozwiązań w następnych raportach.

### 2.2.2. Ciepło pobierane z rzek, jezior oraz stawów

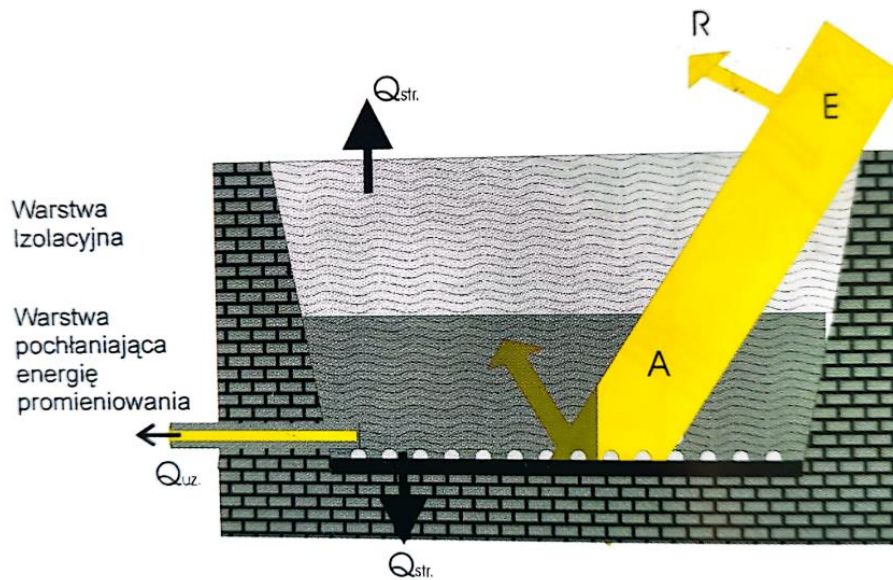
Staw lub jezioro może być doskonałym źródłem ciepła. Jest to bez wątpienia najlepszy sposób na pozyskiwanie energii cieplnej, niestety jednak nie każdy budynek ma taką korzystną lokalizację. To rozwiązanie jest najtańsze inwestycyjnie i jednocześnie bardzo wydajne. Można uzyskać współczynnik efektywności prawie taki jak dla pomp ciepła typu woda-woda i to bez ryzyka.

W tym miejscu wypada poruszyć temat wielkości takiego zbiornika. Jest rzeczą oczywistą, że nie każda sadzawka może pełnić rolę źródła ciepła dla dowolnie dużego budynku. Granice te wyznacza powierzchnia i głębokość danego zbiornika. Rury powinny zostać ułożone na dnie tak, aby tworzyły rodzaj kolektora ziemnego. Należy je dobrze przymocować do dna, gdyż rury wraz cieczą niezamarzającą mają bowiem tendencję do wypływania. W przypadku stawu należy się liczyć z tym że w okresach dużej suszy może dojść do wyschnięcia danego zbiornika. Właśnie dlatego odstęp między rurami też powinien być taki jak w kolektorze ziemnym czyli około 60 centymetrów.

Teorię przepływów gruntowych, jak również teorię i obliczanie gruntowych zbiorników wodnych przedstawił Gupta (Gupta, 2001). Monografia zawiera szczegółowe równania,

modele, jak również przedstawia sposób symulacji numerycznej podstawowych zjawisk w tym obszarze.

Jednym z rozwiązań jest systemów pobierania i utrzymywania energii cieplnej są stawy słoneczne (rys. 21).



Rys. 21. Schemat stawy słonecznego  
Źródło: (Gałusza, Guła, & Paruch, 2008)

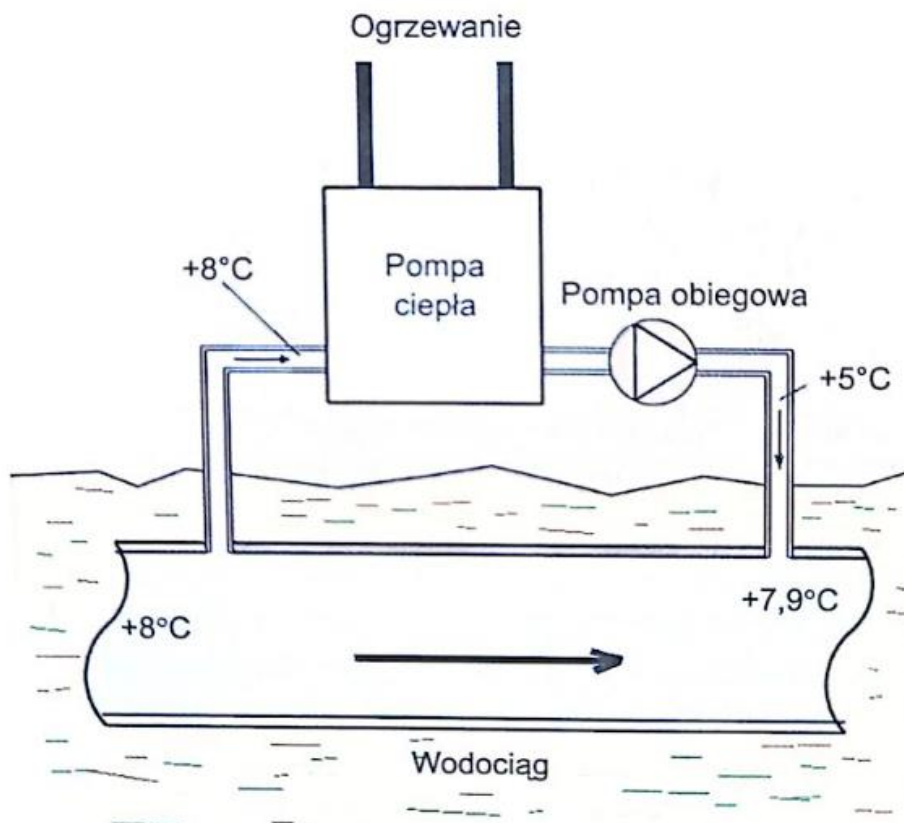
Stawy słoneczne to niskotemperaturowe systemy pozyskiwania energii promieniowania słonecznego. W takich systemach energia promieniowania słonecznego jest magazynowana zwłaszcza nocą i zimą, podobnie jak w zwykłym stawie. Czynnikiem pochłaniającym energię jest solanka. Duże stężenie soli w wodzie powoduje, że ogrzana gromadzi się na dnie i nie transportuje ciepła na drodze konwekcji z dna stawu do powierzchni, a następnie do otoczenia. Najprostszy staw cieplny składa się z dwóch warstw wody o różnej gęstości (morska i słodka) oraz z czarnego dna absorbującego promieniowanie słoneczne. Dolna warstwa pochłania energię promieniowania, a górna stanowi skuteczny izolator, na skutek czego warstwa dolna ogrzewa się, a po uzyskaniu wystarczającej temperatury oddaje ona swa energię w wymienniku ciepła (rys. x). Standardowy staw słoneczny przy głębokości 1 m jest zbudowany z 6-8 warstw solanki o różnym stężeniu. Powierzchnie górne stanowią izolację, poniżej której znajduje się bezkonwekcyjna powierzchnia buforowa. Na dnie znajduje się powierzchnia akumulacyjna o największym stężeniu solanki. Stosowane sole to NaCl i MgCl<sub>2</sub>. Wyrównanie stężenia na drodze eksploatacji stawu następuje w sposób spontaniczny. Aby staw pracował w sposób prawidłowy, nieodzowne jest ciągłe doprowadzanie czystej wody do warstwy izolacyjnej i stężonych roztworów soli do solanki. Więcej szczegółów dla takiej instalacji, wraz z

modelami obliczeniowymi i opisem istniejących instalacji można znaleźć w pracy (Sukhatme & Nayak, 2009).

### 2.2.3. Ciepło z instalacji komunalnych

Źródłem ciepła, które można wykorzystać mogą być różne zawierające wodę instalacje komunalne – wodociągi, kanalizacja (tzw. „szara woda”). Schemat takiej instalacji znajduje się na rys. 22. Rozwiązania takie mogą być bardzo efektywne pod względem energetycznym. A zasada jest prosta, jeśli obok budynku przebiega na przykład rura wodociągu dla miasta, to istnieje możliwość odebrania ciepła z płynącej wewnątrz wody. Oczywiście możliwość wykonania takiej instalacji zależy od spełnienia szeregu warunków, z których podstawowym jest oczywiście fakt istnienia w pobliżu wodociągu. Dalej potrzebna jest zgoda instytucji zawiadującej siecią wodociągową, w której przepływ wody musi być co najmniej 30 razy większy od przepływu wody w pompie ciepła. Instalacja tego rodzaju musi być zaprojektowana i wykonana wyjątkowo starannie, w sposób absolutnie wykluczający zanieczyszczenie wody w wodociągu. Jakość wody przechodzącej przez pompę ciepła nie może w żadnym przypadku ulec zmianie. Jedyne może zmienić się jej temperatura. Ten sposób pozyskiwania ciepła nakłada określone obowiązki na projektanta i wykonawcę całego układu. Problemem numer jeden, jest zagwarantowanie absolutnej szczelności całego systemu.

W Polsce istnieje już kilka takich instalacji, które w większości pracują poprawnie. Są to instalacje o mocach kilkudziesięciu lub kilkuset kilowatów, więc z powodzeniem mogą dostarczyć energii cieplnej do małej stacji kolejowej. Można też zaproponować indywidualne rozwiązanie dla indywidualnej stacji kolejowej.



Rys. 22. Pobieranie ciepła z wodociągu  
 Źródło: (Oszczak, 2015, s. 37).

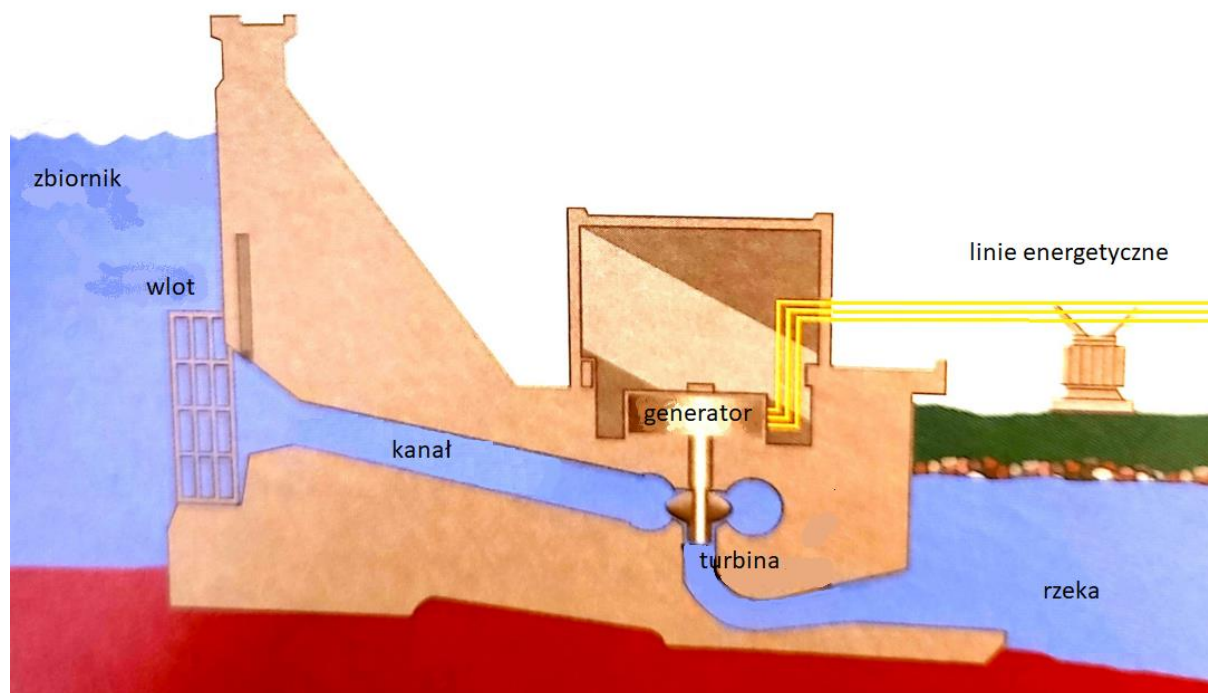
Podobnym źródłem ciepła może być również instalacja kanalizacyjna. Jest to też źródło stabilne, jak również mniej wymagające, co do możliwości zanieczyszczenia. Warunkiem jest jednak, wystarczająco duże natężenie przepływu, a zasadą jest, że przepływ w rurach kanalizacyjnych powinien być ok. 30 krotnie większy od przepływu wody w pompie ciepła.

Szczegółową metodologię obliczeń wodociągów i kanalizacji przedstawił Gupta (Gupta, 2001).

#### 2.2.4. Energia kinetyczna wody

Konwersja energii kinetycznej wody na energię mechaniczną była już znana w starożytności. Na przykład starożytni Grecy zaczęli wykorzystywać energię kinetyczną przepływającej wody, do wytwarzania energii mechanicznej do mielenia zboża. Źródłami konwersji energii kinetycznej wody, były różnego rodzaju spiętrzenia wody na rzekach (Gałusza, Guła, & Paruch, 2008).

Po wynalezieniu generatora elektrycznego zaczęły powstawać elektrownie wodne (rys. 23). Pierwsze takie elektrownie powstały w drugiej połowie XIX wieku. Do 1890 roku w USA powstało ich ponad 200. Moc większości z nich wynosiła kilka kilowatów. W 1920 roku około 40% energii elektrycznej w USA było produkowane w elektrowniach wodnych. W 1936 powstała Zapora Hoovera o mocy 2074 MW, a w 1942 Zapora Grand Coulee o mocy 6809 MW. Kolejny rekord, 14 GW, ustanowiła Zapora Itaipu uruchomiona w 1984 w Ameryce Południowej. Aktualnie największą moc, 22,5 GW, ma Tama Trzech Przełomów w Chinach.



Rys. 23. Schemat działania hydroelektrowni  
Źródło: Opracowanie własne

Elektrownie wodne są najintensywniej wykorzystywanym źródłem odnawialnej energii. W 2022 roku dostarczyły łącznie 4334,2 TWh energii elektrycznej, co stanowiło 14,9% całkowitej produkcji energii elektrycznej na świecie. Największe elektrownie wodne mają moc, która przekracza 10 GW. Brazylia i Kanada uzyskują około 60% swojej energii elektrycznej z elektrowni wodnych, Wenezuela około 80%, a Norwegia blisko 87%. W Polsce w 2022 roku energetyka wodna odpowiadała za 1,1% produkcji energii elektrycznej.

Znane elektrownie wodne, to potężne systemy wytwarzające setki megawatów energii elektrycznej. Ale nie doceniane są możliwości małej energetyki wodnej. Mała energetyka wodna, to w Polsce branża niszowa. Biorąc pod uwagę ogromny boom na odnawialne źródła energii można wręcz rzec, że pomijana i niedoceniona. Co prawda w Polsce pracuje dzisiaj



ponad 770 mikro- i małych elektrowni wodnych, ale wciąż stanowi to kroplę w morzu potencjału, jaki daje pierwotne źródło energii, którym jest woda.

Energia pozyskiwana z płynącej wody jest bardzo stabilna, a produkcja prądu znacznie bardziej przewidywalna, niż w przypadku innych źródeł niekonwencjonalnych – wiatru czy Słońca.

W rzekach i rzeczkach nizinnych do produkcji energii można wykorzystać na przykład śrubę Archimedesesa, zwaną też potocznie turbiną ślimakową lub turbiną śrubową. Jest ona zbudowana z wirnika w kształcie śruby obracającej się w półkolistej rynnie. Woda napływając na wirnik w kształcie ślimacznicy napiera swoim ciężarem (energią kinetyczną), wymuszając ruch obrotowy wirnika. Po spłynięciu przez wirnik woda swobodnie wypływa z turbiny. Na górnym końcu śruby znajduje się generator połączony z wirnikiem za pośrednictwem przekładni, gdyż wirnik obraca się na ogół stosunkowo wolno – od kilkunastu do kilkudziesięciu obrotów na minutę.

Śruba Archimedesesa jest traktowana w całej Europie jako rozwiązanie przyjazne środowisku, więc można ją instalować na rzekach o dużym znaczeniu przyrodniczym i w obszarach Natura 2000, gdzie występują chronione gatunki ryb. W rezultacie mała energetyka wodna może jak najbardziej funkcjonować w zgodzie ze środowiskiem naturalnym. Doświadczenia z eksploatacji tych urządzeń wskazuje, że generują one poniżej 3% harmonicznym, co gwarantuje, że do sieci nie są wprowadzane żadne zakłócenia, za które zakład energetyczny obciąża elektrownię kosztowo. Poza tym, praktycznie nie pojawia się problem występowania mocy biernej, ponieważ  $\cos \varphi$  jest równy jedności, a więc nie ma potrzeby stosowania systemów kompensacji. To oczywiście bardzo pozytywnie rzutuje na koszty inwestycyjne.

W Polsce dominują instalacje mikro – do 50 kW, i małe – rzędu kilkudziesięciu czy kilkuset kilowatów. Powstają najczęściej w miejscach, gdzie już wcześniej woda była piętrzona w celach energetycznych, w miejscach starych młynów.

Instalacje wykorzystujące hydroenergię, to instalacje bezemisyjne, o wysokim stopniu wykorzystania mocy zainstalowanej, charakteryzujące się przewidywalną produkcją, poprawiające parametry sieci elektroenergetycznej i bilansujące pracę mniej stabilnych technologii, takich jak fotowoltaika i instalacje wiatrowe. Ponadto elektrownie zbiornikowe mogą pełnić funkcję magazynów energii. Elektrownie wodne oprócz tego, że przyczyniają się do zwiększenia udziału źródeł OZE w miksie energetycznym kraju, stanowią dzięki

wymienionym cechom jedne z bardziej pożądanym dla systemu elektroenergetycznego instalacji OZE.

Ponadto, jak wskazują wyniki badań, spośród wszystkich sposobów wytwarzania energii energetyka wodna, szczególnie elektrownie przepływowe, to technologia, z którą wiąże się najniższy poziom kosztów zewnętrznych. W przypadku hydroenergetyki, w zależności od typu elektrowni wynoszą one od 0,04 do 0,08 EUR/kWh. Dla porównania, energetyka wiatrowa generuje koszty zewnętrzne w wysokości około 0,10 EUR/kWh, a technologie węglowe aż 3,14 EUR/kWh.

Jednocześnie fakt, że małe elektrownie wodne mogą być lokalizowane na małych ciekach wodnych sprawia, że doskonale wpisują się w założenia dotyczące energetyki rozproszonej, wykorzystującej potencjał terytorialny i lokalnie dostępne, krajowe zasoby źródeł odnawialnych. Przykład z realizacji takiej hydroelektrowni przedstawia rys. 24.



Rys. 24. Mikro hydroelektrownia na rzece Nidzica m. Bronocice  
Źródło: Dzięki uprzejmości firmy IOZE Hydro

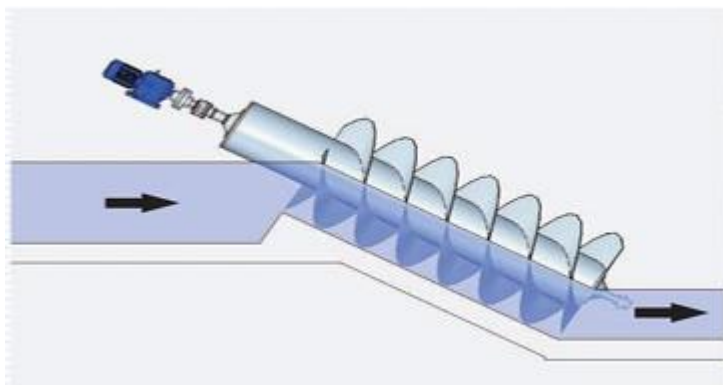
Parametry techniczne tej elektrowni są następujące:

- typ turbiny: śruba Archimedesowa w zabudowie samonośnej,
- moc elektryczna: 37 kW.
- średnica wirnika 2,5 m,



- przepływ instalowany: ok. 1,8 m<sup>3</sup>/s,
- spad: 2,69 m,
- prędkość obrotowa generatora: 1500 obr./min,
- planowana roczna produkcja: 170 MWh.

W elektrowni tej zastosowano turbinę Archimedesesa (ślimakową) (rys. 25).



Rys. 25. Schemat turbiny Archimedesesa (ślimakowej)

Źródło: opracowanie własne

Turbiny ślimakowe (śruba Archimedesesa) dzięki swojej konstrukcji (duża średnica wirnika), bardzo małym obrotom i grawitacyjnej zasadzie działania są przyjazne dla ryb, które swobodnie przepływają przez turbinę bez szkody dla siebie. Też inne organizmy żyjące w rzece przepływają przez wirnik traktując go jako bystrotok. To samo dotyczy liści, gałęzi i rumowiska w nurcie rzeki. Ponieważ nie odbija się to negatywnie dla produkcji energii elektrycznej, nie musimy instalować gęstych krat i zbędne są czyszczarki. Zalety:

- dużo niższe koszty budowy w porównaniu z tradycyjnymi turbinami wodnymi;
- zastosowanie na małych spadach;
- jednolita, zwarta i prosta konstrukcja;
- długa żywotność;
- wysoka sprawność;
- działanie przy bardzo małych przepływach (przy 20% przepływu sprawność już 74%);
- prosta obsługa - niskie nakłady eksploatacyjne;
- nie występuje zjawisko kawitacji;
- łatwość montażu w jazach;
- zbędne są gęste kraty i czyszczarki krat;

- układ przyjazny dla ryb i środowiska naturalnego.

Koszt budowy mikro elektrowni wodnej z turbiną Archimedesesa wynosi ok 1 mln zł.<sup>8</sup> Budowę, konstrukcję i projektowanie małej elektrowni wodnej, wraz z obliczeniami przedstawia (Gulliver & Arndt, 1991).

Konstrukcja, budowa elektrowni wodnej przedstawiona jest m.in. w (Gałusza et al., 2008). Obliczenia przepływu w otwartych kanałach i kanałach zamkniętych (rurach)-pochyłych, w tym przepływy w kanałach pod ciśnieniem zawierają prace (Gałusza et al., 2008; Gupta, 2001). Budowę, projektowania i obliczenia turbin wodnych zawiera (Gulliver & Arndt, 1991).

Metodologię doboru, obliczeń poszczególnych elementów małej elektrowni wodnej (wlot, kanału, turbina, generator) przedstawił Leyland (Leyland, 2014). Inną pracę w tym obszarze przedstawił Basel (Basel, 2017). Model analiz kosztowych przedstawia (Gulliver & Arndt, 1991).

### **2.3. Bezpośrednie wykorzystanie energii Słońca**

Bezpośrednie wykorzystanie energii Słońca obejmuje systemy wykorzystujące energię słoneczną do produkcji ciepła (systemy solarne, kolektory solarne) oraz systemy do produkcji energii elektrycznej (systemy fotowoltaiczne). Jak już zaznaczono, w zainteresowaniu WAT znajdują się systemy wytwarzania energii cieplnej. Natomiast wytwarzaniem energii elektrycznej, w oparciu o zjawisko fotowoltaiki, odpowiedzialne są instytuty z Sieci Naukowej Łukasiewicz.

#### **2.3.1. Bezpośrednie wykorzystanie ciepła słonecznego**

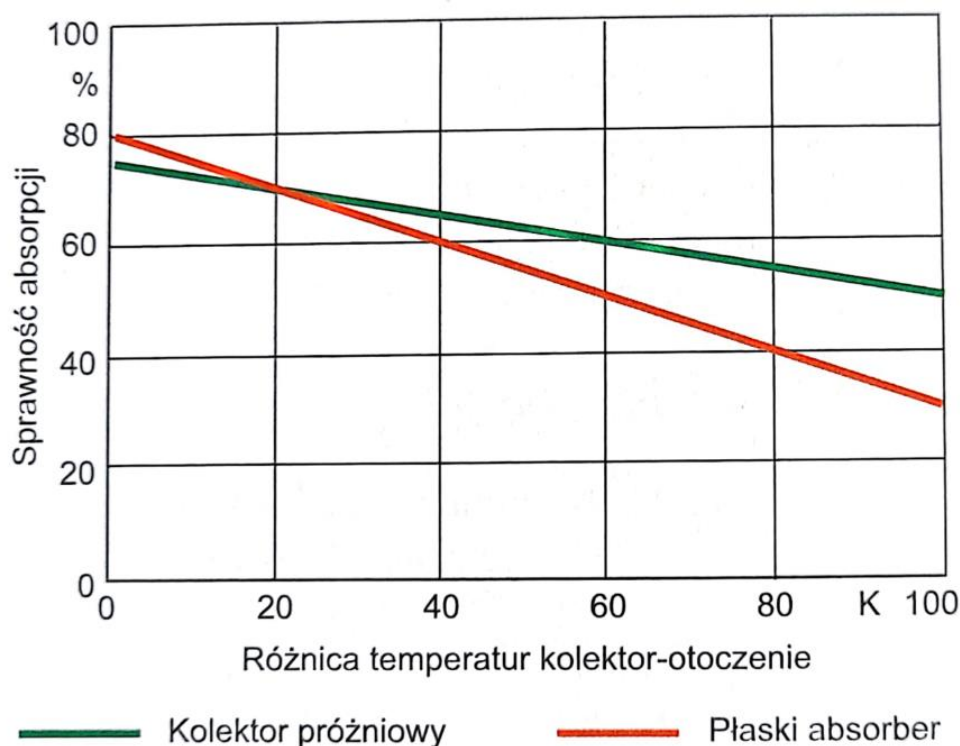
Bezpośrednie wykorzystanie energii słonecznej do wytwarzania ciepła polega na wykorzystaniu kolektorów słonecznych (Jastrzębska & Piotrowicz, 2015; Sukhatme & Nayak, 2009). Jeśli chce się energię pozyskiwać bezpośrednio za pomocą kolektorów słonecznych, to trzeba pogodzić się z myślą, że Słońce czasem nie daje tyle ciepła ile potrzeba, a czasem (w nocy) nie daje go wcale. Czyli nie można w ten sposób zapewnić ciągłości ogrzewania. Rozwiązaniem są zasobniki z wodą, w których to ciepło może być gromadzone (Sukhatme &

---

<sup>8</sup> Na podstawie informacji firmy IOZE Hydro.

Nayak, 2009). Nie jest to jednak sposób doskonały, bo nie da się zgromadzić tyle energii, aby w całości pokryć potrzeby choćby tylko w zakresie ciepłej wody użytkowej, nie mówiąc już o ogrzewaniu pomieszczeń. Mimo to, kolektory słoneczne zyskują coraz więcej zwolenników. Faktem jest przecież, że chociaż z przerwami, to jednak energia od Słońca jest pobierana przez kolektory prawie za darmo. Jednak w szerokości geograficznej na której leży Polska kolektory słoneczne mogą stanowić tylko rozwiązanie uzupełniające (Jastrzębska & Piotrowicz, 2015).

W Polsce, Słońce dostarcza około 1000 watów mocy cieplnej na każdy metr kwadratowy napromieniowanej powierzchni. Jednak sprawność absorpcji promieniowania słonecznego i zamiany go na ciepło zależy od konstrukcji instalacji solarnych (kolektorów słonecznych), jak również od różnicy temperatur kolektor-otoczenie (Jastrzębska & Piotrowicz, 2015).



Rys. 26. Sprawność kolektorów słonecznych  
Źródło: (Oszczak, 2015)

Kolektory słoneczne, tak jak i inne urządzenia przekazujące energię cieplną, nie są doskonale i nie potrafią pracować bez strat. Straty kolektora są tym większe im jest większa jego temperatura w porównaniu z temperaturą otoczenia. Z wykresu wynika (rys. 26.), że dla małych różnic temperatur kolektor-otoczenie zwykle kolektory płaskie są niewiele gorsze od drogiej kolektorów próżniowych (rys. 26).

Niezależnie od swej jakości kolektor może pobrać tylko część ciepła. Czasem więcej, czasem mniej, ale nigdy wszystko. Wynika to z faktu, że nagrzany przez Słońce kolektor tym więcej oddaje ciepła do otoczenia, im jego temperatura jest wyższa od temperatury otaczającego go powietrza. W piękny słoneczny dzień kolektor może z łatwością nagrzać się do temperatury  $+100^{\circ}\text{C}$ . Lecz jeśli rzecz się dzieje na przykład zimą, gdy temperatura powietrza wynosi  $0^{\circ}\text{C}$ , różnica temperatur kolektor-otoczenie wyniesie 100 stopni C i zgodnie z podanym wykresem sprawność absorpcji spadnie do 30% dla zwykłego kolektora płaskiego, natomiast dla najlepszego próżniowego wyniesie ona 45%.

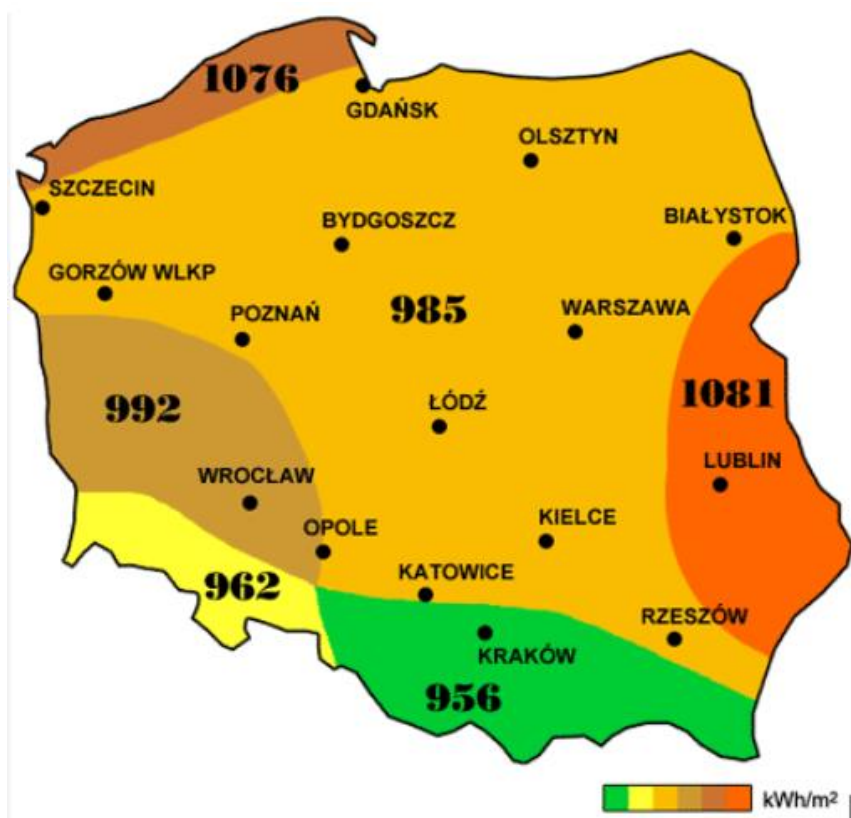
Tłumacząc procenty na moce, otrzymamy odpowiednio z dostarczanych w piękny słoneczny dzień 1000 W, w pierwszym przypadku 300 W, a w drugim 450 W. Nie znaczy to, że reszta ciepła zostanie w całości wykorzystana. Po drodze jeszcze się traci około 7 do 10 % tytułem strat na przesyłanie. Ale ta reszta, która po wszystkich stratach dotrze do zasobnika też jest warta wykorzystania. Pogoda jest kapryśna, liczba dni słonecznych w roku jest zmienna, to też trudno byłoby podać dokładną formułę na ilość dostępnej energii. Najlepiej posłużyć się statystyką, według której najlepsze i najsprawniejsze kolektory słoneczne są w stanie dostarczyć z każdego metra kwadratowego powierzchni czynnej około 450 KWh energii.

Kolektor słoneczny może być dobrym uzupełnieniem instalacji z pompa ciepła. Szczególnie wtedy, gdy w budynku zastosowano niskotemperaturowe ogrzewanie podłogowe. Kolektor słoneczny w okresach gdy jego temperatura jest zbyt niska, aby podgrzewać wodę użytkową może wspomagać obwód grzewczy, przyczyniając się znacznie do dalszej redukcji kosztów ogrzewania.

Połączenie kolektora słonecznego i pompy ciepła w jeden sprawnie działający system wymaga uwzględnienia wszystkich przepływów w instalacji oraz możliwych różnic temperatur.

Polska znajduje się w rejonie, w którym warunki klimatyczne i naturalne nie są co prawda optymalne do zastosowania urządzeń słonecznych, jednak pozwalają one na znacznie szersze wykorzystanie Słońca. Średnia liczba godzin słonecznych w ciągu roku wynosi 1600, przy czym w okresie od kwietnia do września można wykorzystać około 80% energii Słońca docierającej do Ziemi.

Na skutek zachodzących w atmosferze procesów pochłaniania i rozpraszania (w zależności od stopnia jej przezroczystości) do powierzchni Ziemi dociera jedynie 39–45% promieniowania pozaatmosferycznego. Rejonizacja zasobów energii słonecznej w Polsce dla około 30 stacji aktynometrycznych IMiGW w latach 1956–2014 przedstawiona została rys. 27.



Rys. 27. Mapa promieniowania słonecznego w Polsce  
Źródło: dzięki uprzejmości firmy ECO System, na podstawie danych z IMGW

Roczna gęstość energii promieniowania słonecznego w Polsce wynosi od 960 kW·h/m<sup>2</sup> (południowo-zachodnia część Polski - obszar Sudetów) do 1081 kW·h/m<sup>2</sup> (wschodnia część Polski). Wysokim nasłonecznieniem charakteryzuje się również pas nadmorski. Duży jest w Polsce udział promieniowania rozproszonego, średnio 50% , w grudniu 72%, w czerwcu 44%.

Szczegółowa ocena warunków słonecznych w danej lokalizacji, wymaga systematycznych i wieloletnich pomiarów. Jednoroczne pomiary są obarczone znaczną niepewnością. Przyczynia się do tego zmieniający się klimat. Wykonywanie indywidualnych pomiarów za pomocą specjalistycznej aparatury do pomiaru nasłonecznienia jest częściowo uzasadnione, gdyż szczególnie podczas wstępnych analiz wygodnie skorzystać z istniejących

map oraz danych zawartych przez stacje badawcze Instytutu meteorologii i Gospodarki Wodnej.

**W przypadku podjęcia stosownych decyzji, WAT może przedstawić szczegółowe raporty nasłonecznia dla dowolnej lokalizacji na terenie kraju.**

W polskich warunkach klimatycznych mogą być rozważane następujące możliwości wykorzystania energii Słońca do ogrzewania:

- - przygotowanie ciepłej wody zarówno użytkowej, jak i technologicznej,
- - podgrzewanie powietrza w suszarniach i podłoża w szklarniach,
- ogrzewanie budynków.

Dla szerokości geograficznej Polski najbardziej opłacalnym sposobem wykorzystania energii promieniowania słonecznego są kolektory płaskie. Jednak w naszych warunkach instalacje słoneczne mogą spełniać jedynie zadanie układów uzupełniających tradycyjne systemy grzewcze.

Energetyka słoneczna ma wiele zalet:

- spośród źródeł niekonwencjonalnych wykazuje najmniejszy ujemny wpływ na środowisko (zwłaszcza brak emisji szkodliwych substancji); szacuje się, że 20-letnia eksploatacja instalacji słonecznej o powierzchni 6-8 m<sup>2</sup> wspomagającej grzejnictwo elektryczne przynosi efekty, które można przeliczyć na powstrzymanie emisji SO<sub>2</sub> rzędu 500 kg oraz CO<sub>2</sub> rzędu 60;
- ma nieograniczone zasoby (nie zmienia bilansu energetycznego Ziemi);
- jest wszechobecna, co pozwala na uniezależnienie jej wykorzystania od transportu;
- na Ziemi są praktycznie nieograniczone zasoby materiałów na moduły fotowoltaiczne (Si, Al);
- możliwa jest jej bezpośrednia konwersja w inne formy energii.

Do wad energetyki słonecznej zaliczyć należy:

- cykliczność, dotyczy to nierównomierności zarówno w skali dziennej, jak i rocznej,
- znaczne rozproszenie zależne od pory roku, co wymaga stosowania układów skupiających,

- zależność wartości natężenia promieniowania słonecznego od kąta padania promieni słonecznych,
- zależność wartości natężenia promieniowania słonecznego od zapylenia atmosfery, zawartości pary wodnej, zachmurzenia nieba,
- wysoki koszt urządzeń umożliwiających jej konwersję, a także oprzyrządowania umożliwiającego jej wykorzystanie przez odbiorniki.

Podstawy teoretyczne promieniowania słonecznego zamieszczone są w pracach (Jastrzębska & Piotrowicz, 2015; Myers, 2013). Natomiast modelowanie czystego nieba, nieba zachmurzonego, wraz z modelami i kodami programów komputerowych zawiera praca (Myers, 2013). W pracy tej znajdują się modele światła słonecznego oraz kilka modeli promieniowania, wraz z gotowymi zależnościami, do symulacji komputerowych.

Sposób pomiarów promieniowania słonecznego (metody, przyrządy) przedstawili (Myers, 2013; Sukhatme & Nayak, 2009). Przykładem takiego przyrządu jest pyranometr, czyli instrument do pomiaru hemisferycznego promieniowania całkowitego, rozproszonego i odbitego, najczęściej całego widma światła słonecznego.

Natomiast urządzenia do przechwytywania i magazynowania ciepła przedstawili (Sukhatme & Nayak, 2009). Przedstawili oni również różne rozwiązania systemów ogrzewania za pomocą Słońca.

Budowa kolektorów słonecznych można znaleźć w pracy (Jastrzębska & Piotrowicz, 2015), a modelowanie i obliczenia kolektorów słonecznych w pracy (Sukhatme & Nayak, 2009).

### **2.3.2. Energia słoneczna do produkcji energii elektrycznej**

Produkcowanie energii elektrycznej przez panele fotowoltaiczne (PV) jest możliwe dzięki zjawisku nazywanemu efektem fotowoltaicznym. Zjawisko to polega na tym, że w półprzewodniku powstaje siła elektromotoryczna. Energia słoneczna zostaje zamieniona na prąd stały, a dochodzi do tego w ogniwach fotowoltaicznych, z których składają się panele słoneczne. Fotony (minimalna jednostka światła) padają na panel fotowoltaiczny, zbudowany z krzemu, który pochłaniając foton, wprawia w ruch elektron. Powoduje to wytworzenie energii elektrycznej. Za pomocą specjalnego systemu połączeń elektrony te łączą się z elektronami wytwarzającymi energię w sieci elektrycznej (Gałusza et al., 2008; Góralczyk & Tytko, 2016; Jastrzębska & Piotrowicz, 2015; Rusak, 2023).

Systemy fotowoltaiczne sieciowe (on-grid) to instalacja fotowoltaiczna zintegrowana z siecią elektryczną publiczną. Największą zaletą takiego rozwiązania jest to, że tego typu instalacja PV umożliwia:

- bieżące korzystanie z energii wyprodukowanej przez ogniwa fotowoltaiczne,
- przesyłanie nadwyżek wyprodukowanej energii do sieci publicznej.

Współczesne systemy fotowoltaiki są na tyle rozwinięte, że mogą występować na przykład, jako zintegrowane dachy lub ściany budynków, w przypadku stacji kolejowej mogą to być dachy otwartych peronów i inne powierzchnie, dokonujące konwersji energii Słońca energię elektryczną. W tego typu systemach dach i system fotowoltaiczny to jedno. W skład kompleksowego systemu fotowoltaicznego wchodzi zintegrowane panele fotowoltaiczne, modułowe panele dachowe, modułowe panele ściennie, magazyny energii elektrycznej, optymalizatory oraz elementy sterujące.

Teoria obliczeń fotowoltaicznych, jak również konstrukcja, zasady projektowania, wraz z analizą kosztów zawarta jest m. in w pracach (Gałusza et al., 2008; Jastrzębska & Piotrowicz, 2015; Sukhatme & Nayak, 2009).

## 2.4. Ciepło magazynowane w powietrzu atmosferycznym

Pozyskiwanie ciepła z powietrza jest bezsprzecznie najtańszym i najłatwiejszym sposobem na dostarczenie energii dla pompy ciepła. Powodem jest to, że odebrać ciepło od powietrza jest łatwo, ale spełniony musi być podstawowy warunek. Powietrze nie powinno być zbyt zimne, gdyż wraz ze spadkiem jego temperatury spada też ilość energii, którą można odebrać. Ale trzeba pamiętać, że ciepło do ogrzewania budynku potrzebne jest właśnie wtedy, gdy na zewnątrz jest zimno.

W Polskiej strefie klimatycznej stosuje się z powodzeniem to rozwiązanie. Natomiast w krajach takich jak Austria czy Szwajcaria, gdzie ceny działek budowlanych są bardzo wysokie, na ogół nie ma wystarczającego miejsca na zakopanie kolektora gruntowego. Tym bardziej że budowane tam domy jednorodzinne bardzo rzadko mają mniej niż 200 metrów kwadratowych powierzchni użytkowej. A do takich obiektów potrzeba sporej działki na kolektor.

Systemy pobierające ciepło z powietrza wymagają najmniejszych nakładów inwestycyjnych, ze względu na niskie koszty po stronie źródła ciepła. Powietrze jak wiadomo



jest dostępne wszędzie i w nieograniczonych ilościach. Jednak system ten ma także wady. Głównym mankamentem jest to, że do zapewnienia ciągłości ogrzewania musi być przewidziane dodatkowe źródło wspomagające, które zostanie uaktywnione wtedy, gdy temperatury zewnętrzne spadną poniżej granicy opłacalności pracy pompy ciepła. Jak już powiedziano, im zimniejsze powietrze, tym mniej ciepła ono zawiera, a wtedy spada też sprawność, czy jak kto woli efektywność energetyczna pompy ciepła. Współczesne pompy ciepła potrafią odbierać energię od powietrza nawet wtedy, gdy jego temperatura sięga  $-20^{\circ}\text{C}$ . Jednak w praktyce się tego nie realizuje.

Najlepiej sprawdza się system, w którym pompa ciepła powietrze/powietrze pracuje samodzielnie do  $-7^{\circ}\text{C}$  lub  $-5^{\circ}\text{C}$ . Poniżej tej temperatury, zwanej punktem biwalencji, regulator pompy ciepła włącza źródło wspomagające. Takim źródłem może być grzałka elektryczna, kocioł gazowy, czy kocioł olejowy. Jeśli punkt biwalencji zostanie ustawiony właśnie w takim zakresie, to źródło wspomagające będzie wносить dodatkowe koszty eksploatacyjne, średnio na poziomie około 5% rocznie. Nie jest to dużo, jeśli zważyć, że ma się dodatkową korzyść wynikającą z posiadania alternatywnego źródła ciepła, co podnosi bezpieczeństwo energetyczne obiektu. W przypadku awarii pompy ciepła (przypadek bardzo rzadki), drugie źródło ciepła może pracować samodzielnie.

Umieszczenie pompy ciepła na zewnątrz budynku ma też kilka godnych uwagi zalet. Pompa nie zajmuje miejsca, nie ma potrzeby stosowania specjalnych rękawów prowadzących powietrze do i z budynku, a do tego szum przetłaczanego powietrza nie jest w domu słyszalny. Przez to, że w systemie powietrze- powietrze, lub powietrze woda, dolnym źródłem jest powietrze, wyposażony jest on w szereg dodatkowych urządzeń sterujących jego pracą, co obniża jego COP, wymaga także dodatkowych czynności obsługowych.

## 2.5. Energia wiatru

Wykorzystanie energii wiatru jest możliwe dzięki turbinom wiatrowym, stanowiącym element elektrowni wiatrowych w których energia kinetyczna wiatru przetwarzana jest na energię mechaniczną lub elektryczną. Energię elektryczną wytwarza się w pojedynczych elektrowniach lub w zespołach elektrowni, tzw. farmach wiatrowych.

Wiatr opływa łopatki turbiny, na której dzięki specjalnemu wyprofilowaniu powstaje siła nośna, która wprawia w ruch obrotowy turbinę. Energia obrotowa wirnika za pomocą wału i przekładni jest przekazywana do generatora, który zamienia ją w energię elektryczną (Gałusza

et al., 2008). Do pracy elektrowni wiatrowej wykorzystywane są generatory indukcyjne klatkowe (jedno- lub dwubiegowe, pierścieniowe), synchroniczne (wolno- lub szybkoobrotowe). W przypadku elektrowni charakteryzującymi się najwyższymi mocami zazwyczaj stosowane są prądnice synchroniczne, zaś w elektrowniach o małej mocy indukcyjne jednobiegowe. Generatory zamieniają energię mechaniczną na energię elektryczną przy stałej lub zmiennej prędkości obrotowej wału silnika. Generatory indukcyjne pracują z niemal stałą prędkością obrotową. Podczas ich pracy wymagane jest zastosowanie rozruszników, regulacji kąta natarcia łopatek silnika wiatrowego oraz kompensacji mocy biernej. Wykorzystanie zmiennej prędkości obrotowej daje lepszy zysk energii, ale wówczas konieczne staje się sterowanie kątem natarcia łopatek. W generatorach synchronicznych stosuje się przekształtnik i układ regulacji wzbudzenia.<sup>9</sup>

Szacuje się, że w Polsce około 40% powierzchni kraju to tereny, gdzie energia wiatru może być wykorzystywana i użyteczna dla energetyki, przy założeniu kryterium opłacalności 1000 kWh/(m<sup>2</sup>·rok) na wysokości 30 m nad powierzchnią gruntu w terenie o klasie szorstkości „0” (teren gładki, niezalesiony i niezabudowany).<sup>10</sup>

W skali roku prędkość wiatru waha się od 1,16 m/s (Zakopane) do 12,09 m/s (Śnieżka) i średnio wynosi ok. 3,24 m/s. Najniższe wartości zaobserwowane są w regionie Podgórze Karpackiego (Tarnów - 1,80 m/s) i okolicach Pojezierza Drawskiego (Resko - 1,92 m/s), najwyższe zaś na obszarach górskich: Kasprowy Wierch (6,62 m/s) i Śnieżka. Optymalne warunki wietrzności panują (> 3 m/s) panują na północy kraju, na wybrzeżu Morza Bałtyckiego.

W poszukiwaniu odnawialnych źródeł energii elektrycznej dla małej stacji kolejowej, należy pamiętać o małych elektrowniach wiatrowych, o górnej granicy mocy wynoszącej 100 kW. Małe elektrownie wiatrowe, można podzielić na:

- -mikroelektrownie 20-500 W,
- minielektrownie 500 W-1 kW,
- -małe elektrownie 1-100 kW.

Współcześnie można spotkać różne rozwiązania turbin dla małej energetyki wiatrowej:

- turbina z poziomą osią obrotu (rys. 28);
- turbina z pionową osią obrotu (rys. 29);

---

<sup>9</sup> <https://www.esoleo.pl/energia-wiatrowa-produkcja-energii-z-powietrza-474/> (dostęp: 07.2023)

<sup>10</sup> <https://www.esoleo.pl/energia-wiatrowa-produkcja-energii-z-powietrza-474/> (dostęp: 07.2023)

- nieruchoma turbina wiatrowa (rys. 30).



Rys. 28 Mała turbina wiatrowa z pozioma osią obrotu  
Źródło: opracowanie własne



Rys. 29. Mała turbina wiatrowa z pionową osią obrotu  
Źródło: opracowanie własne



Rys. 30. Nieruchoma turbina wiatrowa  
Źródło: opracowanie własne

Małe turbiny wiatrowe nie potrzebują pozwoleń, są w stanie produkować energię elektryczną o mocy do 10 – 20 KW, w nocy, w pochmurne dni, stając się uzupełnieniem instalacji fotowoltaicznej, wywarzając energię elektryczną do napędu urządzeń na stacji kolejowej, w tym do dostarczając energię do źródła ciepła. Różne rozwiązania konstrukcyjne turbin wiatrowych zawarte są m.in. w pracy (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009).

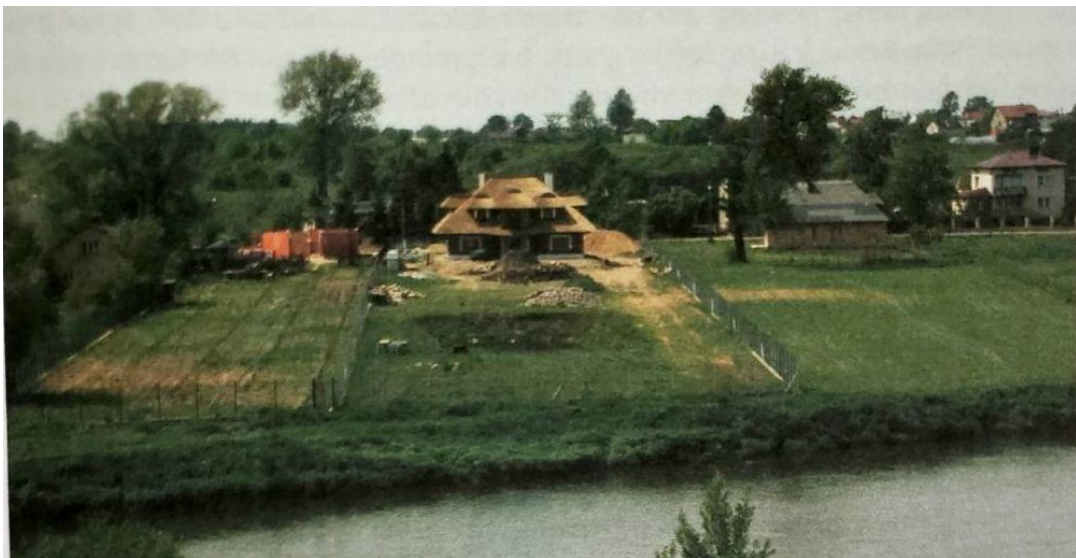
Podstawy teoretyczne energii wiatru, wraz z modelami i przykładami obliczeń przedstawione są m.in. w pracach (Burton, Jenkins, Bossanyi, Sharpe, & Graham, 2021; Gałusza et al., 2008; Jastrzębska & Piotrowicz, 2015; Sukhatme & Nayak, 2009). Dynamika i mechanika turbiny wiatrowej, wraz z odpowiednimi modelami matematycznymi przedstawia (Manwell et al., 2009). Autor ten przedstawił również sposób opisu matematycznego i modele aerodynamiki łopaty turbiny. Teoria i obliczenia wirników poziomych w turbinach przedstawiają prace (Burton et al., 2021; Eiser et al., 2012; Manwell et al., 2009). Natomiast inne konstrukcje wirników, w tym ich teorię i sposób obliczeń (Manwell et al., 2009). A elektryczne aspekty turbin wiatrowych zawiera praca (Manwell et al., 2009). Z kolei materiały i komponenty turbin wiatrowych, ich opis i zasady projektowania przedstawia (Eiser et al., 2012; Manwell et al., 2009). Zagadnienia sterowanie turbiną wiatrową wraz z teorią i zasadami obliczeń i projektowania przedstawili (Burton et al., 2021; Manwell et al., 2009).

Natomiast koszt turbin wiatrowych, w tym modele kalkulacji kosztów, w tym koszty cyklu życia turbiny zamieszczono w pracy (Manwell et al., 2009).

## 2.6. Podsumowanie

W przypadku pomp ciepła, istotnym czynnikiem jest możliwość pozyskiwania energii, ze stabilnego, łatwo dostępnego źródła. Zaletą pomp ciepła jest możliwość korzystania z zasobów ciepła naturalnego. Problemem jest jednak to, że chociaż wszędzie da się korzystać z ciepła naturalnego, to jednak nie wszędzie wiąże się to z identycznymi kosztami. Najczęściej (choć świadomość tego faktu nie jest powszechna) koszt wykonania źródła ciepła jest identyczny z kosztem samej pompy ciepła, a czasem może go nawet przewyższyć.

Na przykład jeżeli w danej lokalizacji znajduje się staw (rys. 31), to aby odebrać ciepło z tego stawu, w którym woda ma temperaturę  $+10^{\circ}\text{C}$  można zanurzyć w nim rurę, w której będzie przepływać ciecz o temperaturze niższej niż temperatura wody, czyli na przykład  $0^{\circ}\text{C}$ . Wtedy woda z tego zbiornika tą ciecz ogrzeje, czyli przekaże jej energię.



Rys. 31. Przykładowe warunki do zastosowania pompy ciepła  
Źródło: opracowanie własne

Sytuacja, gdy budynek znajduje się na przykład w pobliżu jeziora, rzeki lub dużego stawu, to istnieją wtedy wręcz wzorcowe warunki do stosowania pompy ciepła. Można wtedy przy minimalnych kosztach osiągnąć doskonałe parametry eksploatacyjne. Obecność na

przykład przepływającej rzeki daje duże nasycenie gruntu wodą, a to oznacza dużą wydajność energetyczną i niskie koszty eksploatacyjne. Nie ma wtedy potrzeby robić kosztownych wierceń lub wykopów. Wystarczy zanurzyć w wodzie rury odbierające ciepło. I to właściwie jest wszystko co trzeba zrobić po stronie źródła ciepła.

Obliczanie zasobów wodnych (modelowanie, prognozowanie), obliczenia energetyczne wody, infiltrację (grawitacyjne opadanie wody w głąb skorupy ziemskiej), wraz z odpowiednimi modelami przedstawił Gupta (Gupta, 2001).

Jeśli jednak zapadnie decyzja, że źródłem ciepła będzie powietrze, to wtedy lokalizacja budynku, czy wielkość działki nie mają żadnego znaczenia, gdyż powietrze jest wszędzie. Współczesne pompy ciepła odbierające ciepło z powietrza pracują nawet przy temperaturze zewnętrznej równej  $-20^{\circ}\text{C}$ , ale niestety jednocześnie ze spadkiem temperatury zewnętrznej spada także ich sprawność i moc grzewcza. Wymusza to stosowanie źródeł wspomagających, włączanych automatycznie przy temperaturach zewnętrznych niższych od punktu, przy którym pompa ciepła pracuje nieekonomicznie.

W przypadku każdej lokalizacji warto przeanalizować, czy nie istnieją inne, niestandardowe możliwości pozyskiwania ciepła. A możliwości takie często da się znaleźć. Na przykład w okolicy Konina są jeziora, w których za sprawą okolicznej elektrowni temperatura wody nie spada nigdy poniżej  $+20^{\circ}\text{C}$ . Z takiego jeziora można odebrać duże ilości energii i to po bardzo niskich kosztach. Przy tej temperaturze źródła, pompa ciepła może pracować z efektywnością energetyczną ok. 7, co oznacza że energia elektryczna potrzebna do napędu pompy ciepła będzie stanowić zaledwie 14% oddawanej energii grzewczej.

Takich jezior nie ma wiele, są natomiast miejsca w pobliżu nieczynnych kopalń, z których w sposób naturalny lub wymuszony woda musi być nie-przerwanie usuwana. Woda ta też ma temperaturę kilkunastu stopni Celsjusza.

Naturalnym źródłem ciepła może być też lodowisko. Schładzanie płyty lodowiska polega na odbieraniu z niej ciepła naturalnego. Ciepło to zamiast być wypuszczane do otoczenia, może bez przeszkód ogrzewać okoliczną stację kolejową.

Innym przykładem mogą być zakłady produkcyjne, w których powstaje wiele ciepła odpadowego, które może zostać wykorzystane do ogrzewania budynków kolejowych. Ciepłe powietrze z lakierni, suszarni masarni itp. też nadaje się doskonale do obróbki, czasem jest to łatwiejsze niż odbieranie ciepła od wody.

Inny przykład to wykorzystanie wód opadowych.

Trzeba jeszcze powiedzieć o rozwiązaniu, które jest już stosowane w Szwajcarii i Niemczech. Rozwiązaniem tym są tak zwane pale energetyczne. Mają one postać okrągłych ogromnych betonowych słupów umieszczonych w ziemi i stanowiących podporę dla budynku. Przed zalewaniem tych słupów betonem umieszcza się w nich węzownice z tworzywa sztucznego. Po zalaniu i wyschnięciu, pale te są swoistym akumulatorem ciepła. Trzeba dodać, że sama ziemia, w której te pale zostały osadzone, ma też bardzo dobre właściwości gromadzenia ciepła, a więc umieszczone w niej pale tym bardziej. Rury w palach są wypełnione cieczą niezamarzającą. W lecie, klimatyzatory chłodząc pomieszczenia w obiekcie zabierają ciepło, które może zostać przekazane do ogrzewania wody użytkowej w zasobnikach. Nadmiar ciepła (latem to norma!) zostaje skierowany do wspomnianych pali energetycznych. Przez całą wiosnę, lato i początek jesieni systematycznie rośnie ilość ciepła gromadzonego w gruncie. Z nastaniem okresu grzewczego proces się odwraca i tym razem pale stanowią źródło ciepła o temperaturze o wiele wyższej niż zwykły kolektor gruntowy. W związku z tym do budynku wraca duża ilość ciepła uprzednio gromadzonego, a dzięki wysokiej temperaturze źródła ciepła uzyskuje się znaczną efektywność energetyczną całej instalacji.

## Podsumowanie

Przedstawiony powyżej przegląd wskazuje na różne możliwości uzyskania stabilnych dolnych źródeł ciepła dla pomp ciepła. Źródła te powinny pozwolić na uzyskanie wysokich wartości COP, a tym samym efektywnych, spełniających wymagania dekarbonizacji i efektywności energetycznej systemów ogrzewania budynków, w danej lokalizacji. Powyższe też potwierdza potrzebę wcześniejszej oceny zasobów energii naturalnej w danej lokalizacji, przed rozpoczęciem prac projektowo-koncepcyjnych, związanych z ogrzewaniem budowanych obiektów infrastruktury.



### 3. Charakterystyka wybranych lokalizacji dworca kolejowego

Ze względu, że na obecnym etapie realizacji projektu nie została jeszcze jednoznacznie wskazana lokalizacja demonstracyjnej wersji projektowanego dworca PKP. Zdecydowano się wykonać przykładowe analizy lokalnych zasobów energetycznych w kilku możliwych lokalizacjach na terenie kraju. Wybrano lokalizacje z różnych regionów klimatycznych kraju, jak również różnych regionów geologicznych, słonecznych i wietrznych.

Wybrane do analizy lokalizacje to:

- m. Czeremcha, pow. hajnowski (woj. podlaskie),
- m. Wiśniowa, pow. strzyżowski (woj. podkarpackie),
- rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego (Baranów, Wiskitki, Teresin),
- m. Tarnowo Podgórne, pow. poznański (woj. wielkopolskie),
- rejon miejscowości Biskupice oraz Pobiedziska, pow. poznański (woj. wielkopolskie).

#### 3.2. Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie

Gmina Czeremcha położona jest na terenie powiatu hajnowskiego w południowo-wschodniej części województwa podlaskiego. Gmina graniczy od północy z gminą Kleszczele, gminą Milejczyce, gminą Nurzec-Stacja i Republiką Białorusi (rys. 31). Gmina Czeremcha wg danych GUS ma 2717 mieszkańców, czyli zamieszkuje ją 6,2% ludności powiatu. Gmina ma powierzchnię 96,8 km<sup>2</sup>, co stanowi 6,0% powierzchni powiatu hajnowskiego<sup>11</sup>. Siedzibą gminy jest osada Czeremcha. Według Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań z 2021 roku liczba ludności w osadzie Czeremcha wynosi 2020 osób z czego 51,9% mieszkańców stanowią kobiety, a 48,1% ludności to mężczyźni. Miejscowość zamieszkuje 74,3% mieszkańców gminy<sup>12</sup>.

Czeremcha położona jest na trasie linii kolejowej nr 31 Siedlce – Siemianówka, łączącej stację Siedlce w województwie mazowieckim z przejściem granicznym Siemianówka-Świsłocz w Siemianówce w województwie podlaskim. Czeremcha jest stacją węzłową o rozbudowanym układzie torowym, z której odchodzą szlaki kolejowe w 4 kierunkach: dwutorowa linia kolejowa do Siedlec oraz jednotorowe do: Białegostoku, Hajnowki i Wysokolitowska. W 2019

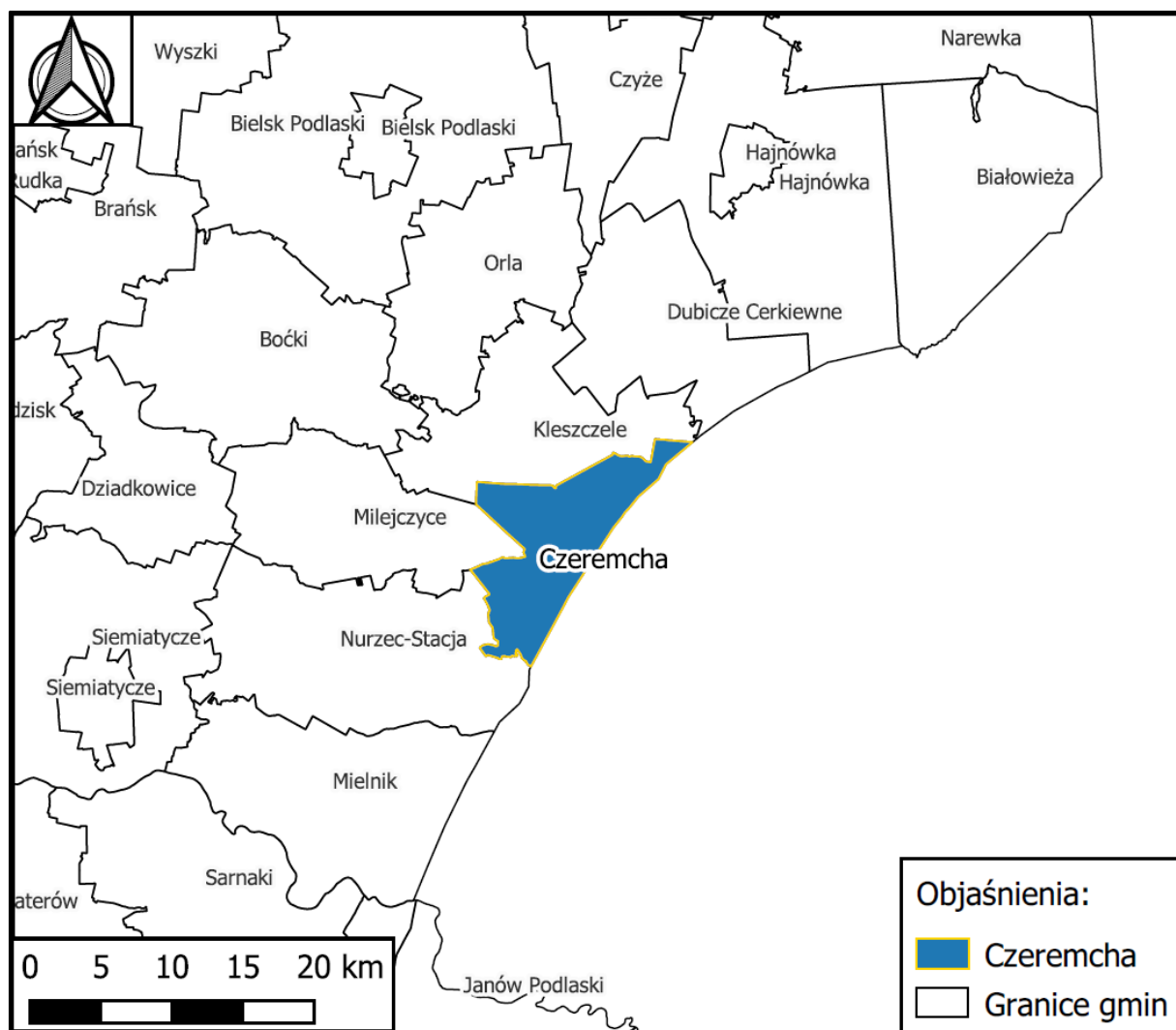
---

<sup>11</sup>Bank Danych Lokalnych [<https://bdl.stat.gov.pl/bdl>]

<sup>12</sup> Polska w liczbach [<https://www.polskawliczbach.pl>]



roku dokonano wyburzenia budynku dworca, który wzniesiony został w 1989 roku. W jego miejscu znalazł się nowy, innowacyjny dworzec systemowy (IDS), który oddano do użytku w 2020 r.<sup>13</sup>



Rys. 32. Położenie Gminy Czeremcha

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

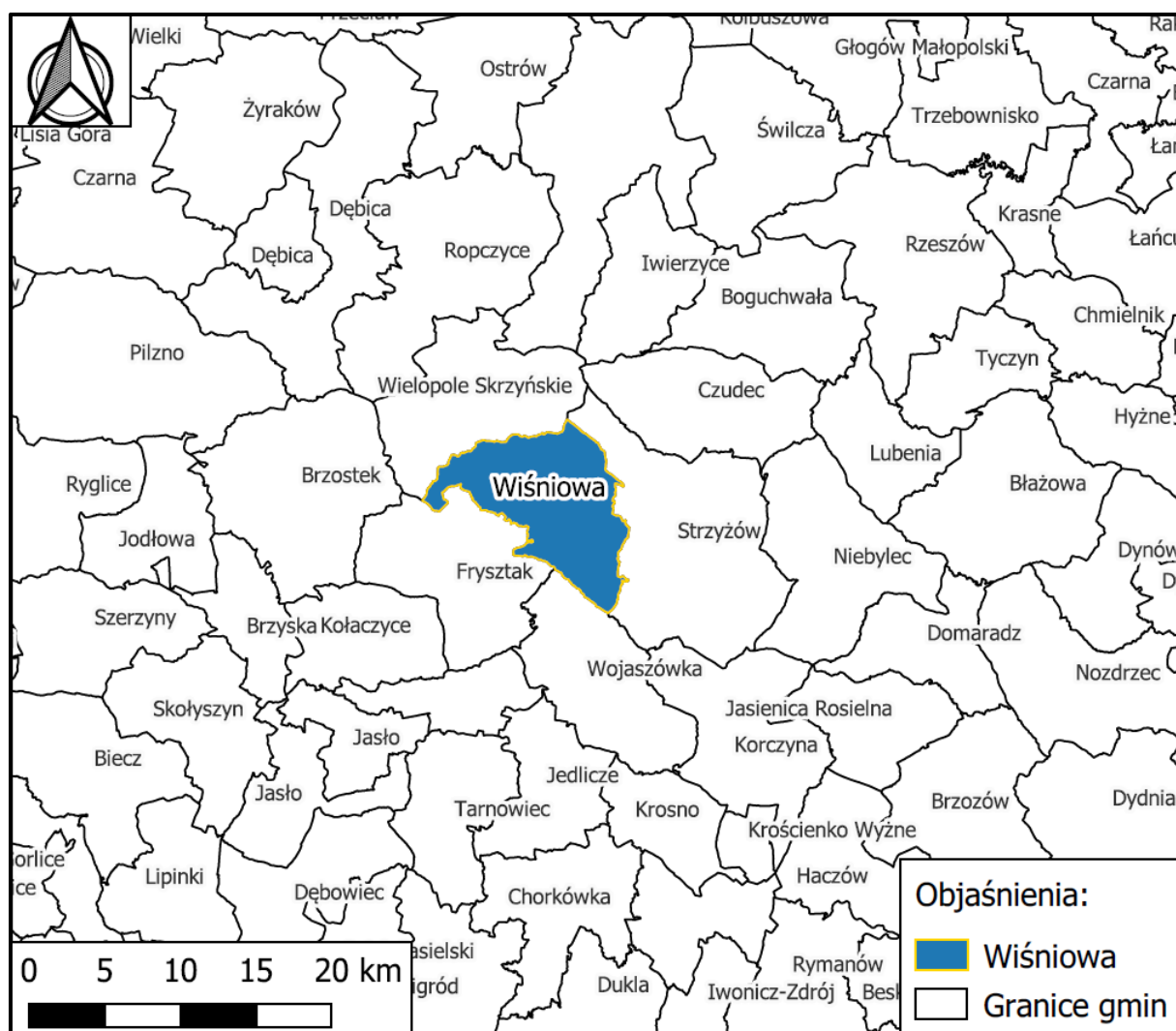
### 3.3. Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie

Gmina Wiśniowa położona jest na terenie powiatu strzyżowskiego w zachodniej części województwa podkarpackiego, około 45 km na południowy zachód od Rzeszowa, głównego miasta regionu. Od północy gmina Wiśniowa graniczy z gminą Wielopole Skrzyńskie, od południa z gminą Wojaszówka, od zachodu z gminą Frysztak, a od wschodu z gminą Strzyżów (rys. 33). Gmina Czeremcha wg danych GUS ma 7671 mieszkańców, czyli zamieszkuje ją 12,4% ludności powiatu strzyżowskiego. Gmina ma powierzchnię 83,4 km<sup>2</sup>, co stanowi 16,5%

<sup>13</sup> <https://semaforek.kolej.org.pl>

powierzchni powiatu<sup>14</sup>. Siedzibą gminy jest wieś Wiśniowa. Według Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań z 2021 roku liczba ludności we wsi Wiśniowa wyniosła wynosi 1598 osób z czego 50,3% mieszkańców stanowią kobiety, a 49,7% ludności to mężczyźni. Miejscowość zamieszkuje 20,8% mieszkańców gminy<sup>15</sup>.

Wiśniowa położona jest na trasie linii kolejowej nr 106 Rzeszów Główny – Jasło, łączącej stację Rzeszów Główny ze stacją Jasło. Linia 106 jest to jednotorowa, w większości niezelektryfikowana, pierwszorzędna linia kolejowa znaczenia państwowego. W miejscowości Wiśniowa zlokalizowany jest przystanek osobowy na km 42,158.



Rys. 33. Położenie Gminy Wiśniowa

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

<sup>14</sup>Bank Danych Lokalnych [<https://bdl.stat.gov.pl/bdl>]

<sup>15</sup> Polska w liczbach [<https://www.polskawliczbach.pl>]

### 3.4. Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, gminy: Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie

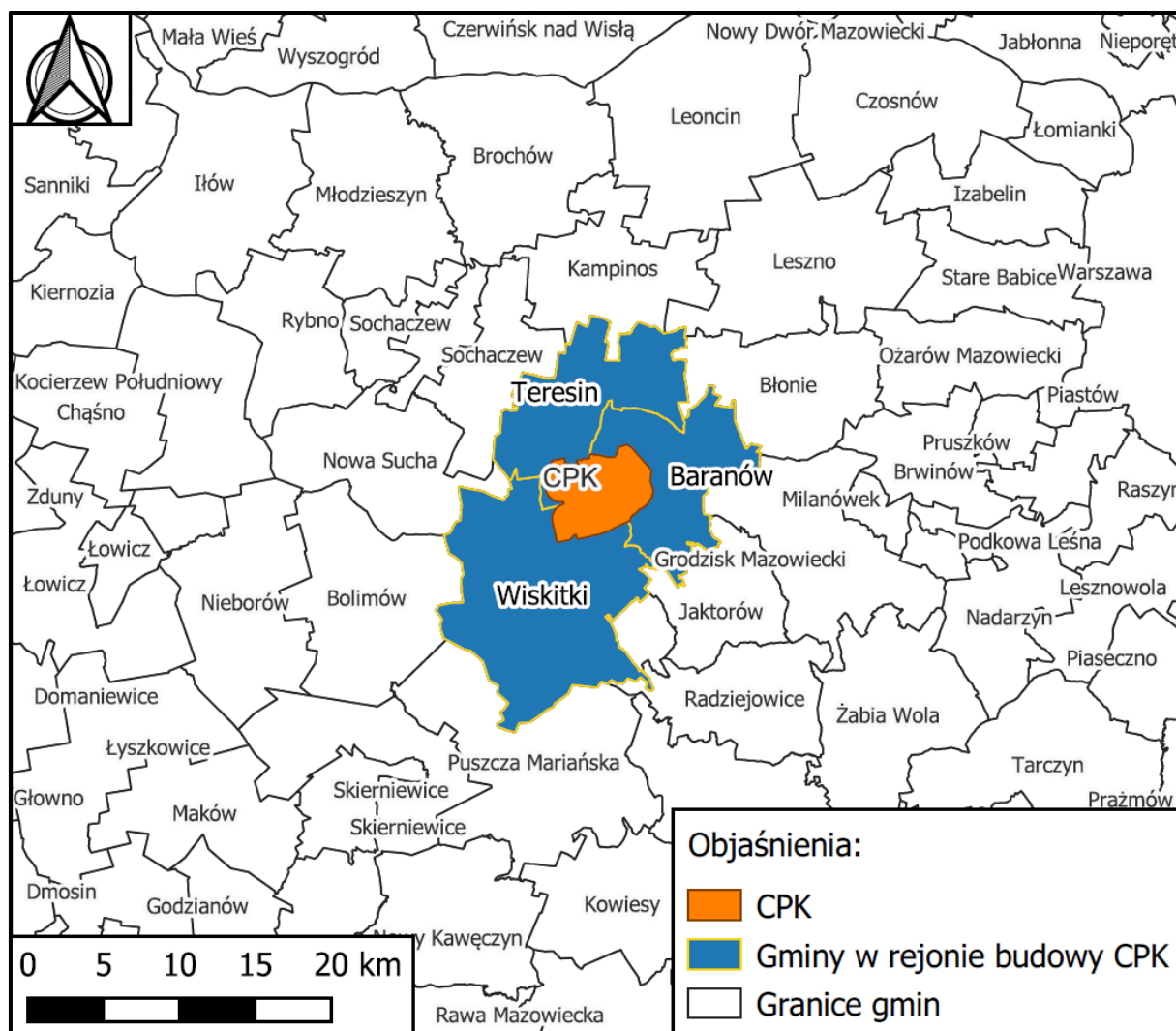
Centralny Port Komunikacyjny to planowany węzeł przesiadkowy między Warszawą i Łodzią, który zintegruje transport lotniczy, kolejowy i drogowy (rys. 34). W ramach tego projektu w odległości 37 km na zachód od Warszawy, na obszarze ok. 3.000 hektarów zostanie wybudowany Port lotniczy, który w ramach pierwszego etapu będzie w stanie obsługiwać 40 mln pasażerów rocznie. Koncepcja CPK zakłada, że Centralny Port Komunikacyjny stanie się integratorem aglomeracji warszawsko-łódzkiej, dynamizując procesy metropolizacji w centralnej Polsce, zaś bezpośrednie otoczenie CPK stanie się najlepiej skomunikowanym miejscem w kraju, dzięki łącznemu potencjałowi lotniska, głównego przesiadkowego dworca kolejowego oraz systemowi dróg krajowych.

Inwestycja obejmuje także stację i dworzec kolejowy, ściśle zintegrowany z portem lotniczym, a jednocześnie będący dominantą przyszłego *airport city* i *aerotropolis* o następujących zakładanych parametrach operacyjnych i infrastrukturalnych:

- zapewnienie możliwości bezkolizyjnego prowadzenia ruchu kolejowego we wszystkich kierunkach,
- zapewnienie możliwości obsługi pociągów maksymalnie 40 par pociągów na relacjach szprychowych dalekobieżnych oraz maksymalnie 12 par pociągów aglomeracyjnych (maksimum godzinowe 52 pary pociągów),
- zapewnienie minimum 14 krawędzi peronowych i 7 peronów dla pociągów dalekobieżnych o długości 400 m (możliwość wyposażenia w odrębne perony bagażowe dla systemu bagażowego lotniska), minimum 2 krawędzie peronowe i jeden peron dla pociągów aglomeracyjnych dostosowany do obsługi pociągów aglomeracyjnych w aglomeracji warszawsko-łódzkiej,
- zapewnienie możliwości obsługi (w dniach szczytu przewozowego):
- maksymalnego obliczeniowego dobowego ruchu przesiadkowego pomiędzy stacją i dworcem a lotniskiem w wysokości do 150 tysięcy pasażerów,
- maksymalnego obliczeniowego dobowego ruchu pomiędzy stacją i dworcem
- aerotropolis (w dniu szczytu przewozowego) w wysokości do 300 tysięcy pasażerów, o maksymalnego obliczeniowego dobowego ruchu przesiadkowego pomiędzy

- pociągami dalekobieżnymi w wysokości do 100 tysięcy pasażerów, dążenie do ograniczenia drogi przeznaczonej na przesiadkę między dowolnymi peronami do 150 metrów (+ winda lub schody).

Inwestycje kolejowe CPK to łącznie prawie 2000 km nowych linii, które mają powstać do końca 2034 r. Dla ponad 1300 km z nich prace przygotowawcze już trwają. Pierwsze roboty budowlane mają się rozpocząć już w 2023 r. Na Program Kolejowy CPK składa się w sumie 12 tras kolejowych, w tym 10 tzw. szprych prowadzących z różnych regionów Polski do Warszawy i CPK. Łącznie to 30 zadań inwestycyjnych i 1981 km nowych linii kolejowych, których inwestorem jest Centralny Port Komunikacyjny Sp. z o.o. Całość programu zostanie zrealizowana w latach 2020-2034.<sup>16</sup>



Rys. 34. Położenie rejonu Centralnego Portu Komunikacyjnego

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o.

<sup>16</sup> Centralny Port Komunikacyjny sp. z o.o. [<https://www.cpk.pl>]

### 3.5. Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie

Gmina Tarnowo Podgórne położona jest na terenie powiatu poznańskiego w centralnej części województwa wielkopolskiego. Gmina graniczy od północy z gminami Kaźmierz i Rokietnica, od zachodu z gminą Duszniki, od południa z gminą Buk i Dopiewo, a od wschodu z gminą miejską Poznań (rys. 35). Gmina Tarnowo Podgórne wg danych GUS ma 32 651 mieszkańców, czyli zamieszkuje ją 8,7% ludności powiatu. Gmina ma powierzchnię 101,8 km<sup>2</sup>, co stanowi 5,4% powierzchni powiatu poznańskiego<sup>17</sup>. Siedzibą gminy jest osada Tarnowo Podgórne. Według Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań z 2021 roku liczba ludności w miejscowości Tarnowo podgórne wynosi 6918 osób z czego 52,0% mieszkańców stanowią kobiety, a 48,0% ludności to mężczyźni. Miejscowość zamieszkuje 21,2% mieszkańców gminy<sup>18</sup>.

Przez miejscowość Tarnowo Podgórne ma przebiegać planowana linia kolejowa ze stacji Poznań Główny do Tarnowa Podgórniego i Kaźmierza przez lotnisko Poznań Ławica, projektowana w ramach koncepcji rozwoju Poznańskiego Węzła Kolejowego. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. zleciły w 2020 roku opracowanie „Wstępnego Studium Wykonalności Poznańskiego Węzła Kolejowego” w ramach projektu „Prace przygotowawcze dla wybranych projektów”. Najważniejsze założenia wstępnego studium wykonalności obejmują:

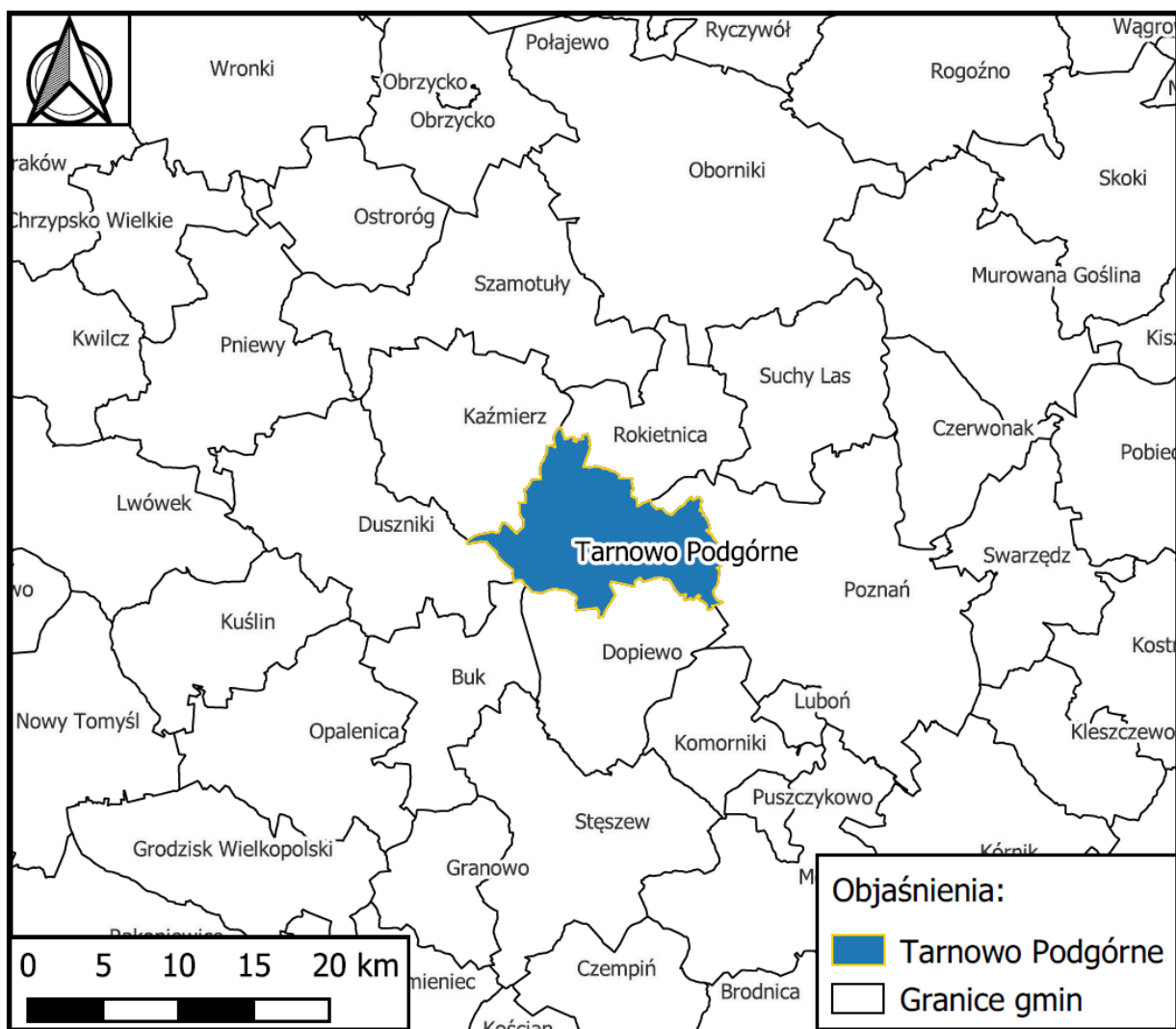
- Analiza przebiegu nowej linii kolejowej do Tarnowa Podgórniego i Kaźmierza przez lotnisko Ławica;
- Możliwość nowego połączenia Poznań – Kalisz – Łódź – Warszawa;
- Reaktywacja linii do Śremu i Międzychodu;
- Budowa nowych torów do Gniezna, Kościana, Środy Wielkopolskiej;
- Powstanie nowych stacji i przystanków<sup>19</sup>.

---

<sup>17</sup>Bank Danych Lokalnych [<https://bdl.stat.gov.pl/bdl>]

<sup>18</sup> Polska w liczbach [<https://www.polskawliczbach.pl>]

<sup>19</sup> PKP PLK S.A. [<https://www.plk-sa.pl/o-spolce/biuro-prasowe/informacje-prasowe/szczegoly-nowe-mozliwosci-kolei-w-poznaniu-i-aglomeracji-poznanskiej-4575>]



Rys. 35. Położenie Gminy Tarnowo Podgórne

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

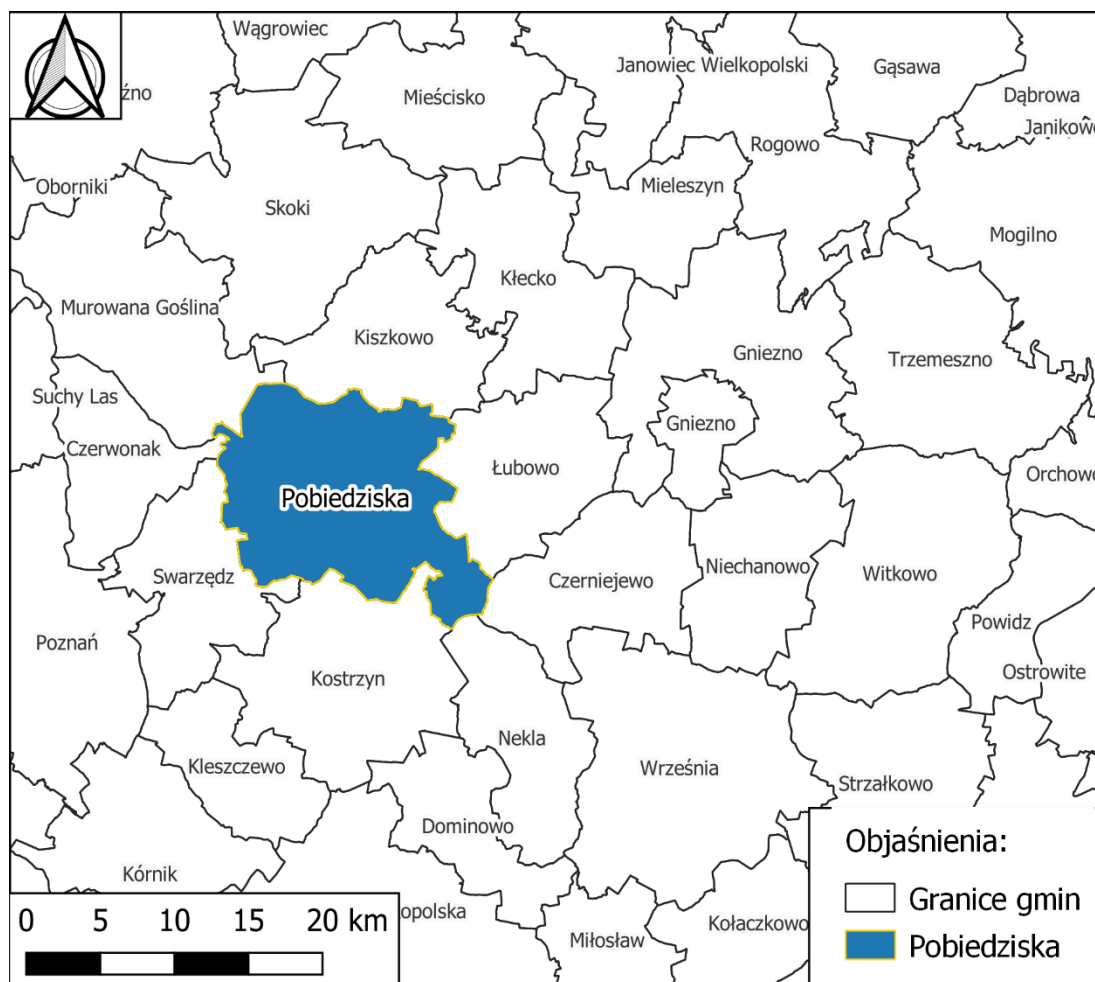
### 3.6. Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie

Gmina Pobiedziska położona jest na terenie powiatu poznańskiego w centralnej części województwa wielkopolskiego. Gmina graniczy od północy z gminami Kiszkowo oraz Murowana Goślina, od zachodu z gminami Czerwonak oraz Swarzędz, od południa z gminami Kostrzyn oraz Nekla, a od wschodu z gminami Czarniejewo oraz Łubowo (rys. 36). Gmina Pobiedziska wg. danych GUS ma 21 213 mieszkańców, czyli zamieszkuje ją 5,7% ludności powiatu. Gmina ma powierzchnię 189,7 km<sup>2</sup>, co stanowi 10,0% powierzchni powiatu poznańskiego. Siedzibą gminy jest miasto Pobiedziska. Według danych GUS z końca roku 2022 liczba ludności w miejscowości Pobiedziska wynosi 9 858, z czego 51,6% stanowią kobiety, a 48,4% mężczyźni. Miejscowość zamieszkuje 46,5% mieszkańców gminy. W miejscowości



Biskupice liczba ludności wynosi 2 544, z czego 49,4% mieszkańców stanowią kobiety, a 50,6% ludności to mężczyźni. Miejscowość zamieszkuje 12,0% mieszkańców gminy.<sup>20</sup>

Biskupice i Pobiedziska położone są na trasie linii kolejowej nr 353 Poznań Wschód – Skandwa, na odcinku Kobylnica – Gniezno. Jest to dwutorowa, zelektryfikowana, pierwszorzędna linia kolejowa znaczenia państwowego. W Biskupicach znajduje się przystanek osobowy na km 14,392, natomiast w Pobiedziskach stacja znajduje się na km 21,795.



Rys. 36. Położenie Gminy Pobiedziska

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

<sup>20</sup> Polska w liczbach [<https://www.polskawliczbach.pl>]

## 4. Analiza istniejących uwarunkowań zasobów czystej energii odnawialnej w wybranych lokalizacjach

### 4.2. Geotermia głęboka

Jednym z rodzajów energii odnawialnej, który może być wykorzystany do wspomagania źródeł konwencjonalnych, zasilających systemy ciepłownicze są źródła geotermalne. Problematyką wykorzystania wód geotermalnych do celów ogrzewania budynków zaczęto zajmować się w Polsce latach 80 ubiegłego wieku. W tym czasie na świecie w niemalże 60 krajach istniały już instalacje geotermalne wykorzystujące energię gorących wód termalnych.

Energią geotermalną nazywamy energię pochodzącą z wnętrza Ziemi. Zakumulowana jest w systemach hydrotermalnych bądź gorących suchych skałach (*hot dry rocks*). Jednym z obowiązujących podziałów energii geotermalnej, jest podział uzależniony od warunków geologicznych, hydrogeologicznych i termicznych (rys. 37.)<sup>21</sup>:

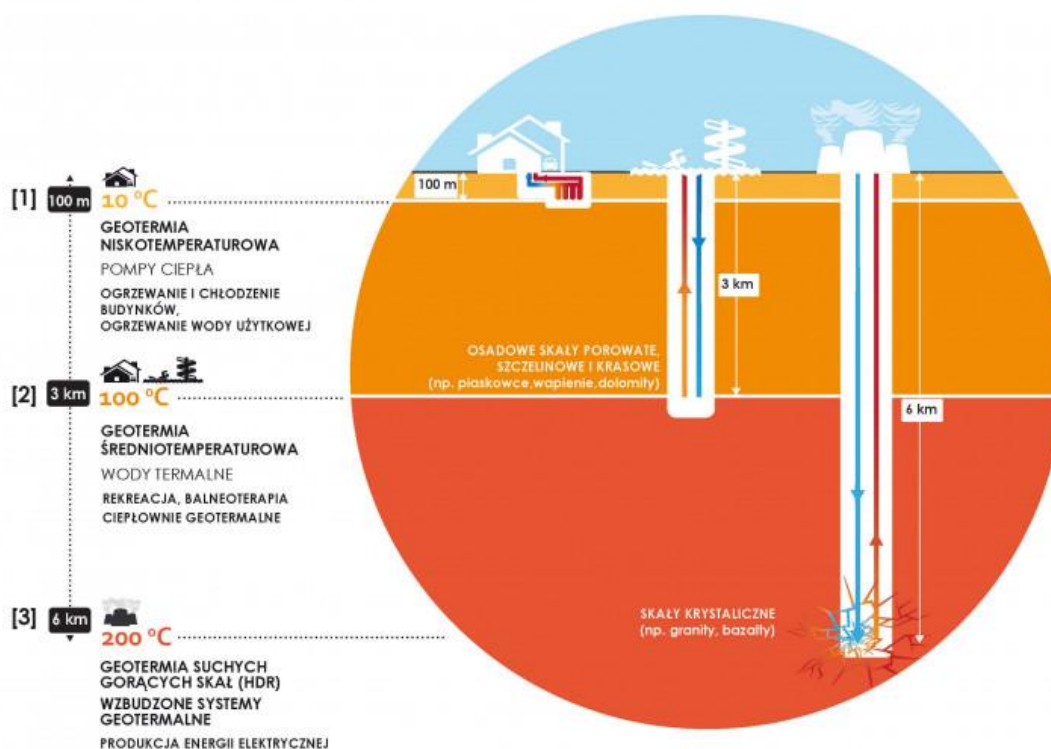
- geotermia wzbudzanych systemów (od angielskiego terminu EGS – *Enhanced Geothermal Systems*), gdzie odbiór ciepła odbywa się poprzez zatłaczane pod dużym ciśnieniem płyny (woda, solanka, lub inne media, jak np. superpłyny), które cyrkulują przez gorącą strukturę skalną (np. systemy HDR – *Hot Dry Rocks*);
- geotermia klasyczna (wysoko- i średnio-temperaturową) reprezentowana przez naturalny system geotermalny. Woda termalna wykorzystywana jest bezpośrednio - doprowadzana systemem rur, bądź pośrednio - oddając ciepło chłodnej wodzie i pozostając w obiegu zamkniętym. Otwory w tym przypadku dochodzą do znacznych głębokości (powyżej 2500 m), a temperatura medium grzewczego może osiągnąć na tyle wysoką wartość, że ciepło odzyskuje się w tradycyjnych wymiennikach bez wspomaganie pompą ciepła. Taka instalacja jest zdolna do ogrzania większej ilości budynków, a nawet miast. Przy bardzo wysokich temperaturach powyżej 100°C (wody gorące, para wodna) ma także zastosowanie do produkcji energii elektrycznej.
- geotermia płytka (niskotemperaturowa) charakteryzuje się temperaturą od kilkunastu stopni do ok. 20°C. Wykorzystuje wody gruntowe do kilkuset metrów głębokości. Odbiór energii realizowany jest przez pompy ciepła (wymienniki ciepła). System ten najczęściej ma zastosowanie w ogrzewaniu pojedynczych budynków. Czynnikiem

---

<sup>21</sup> <https://www.pgi.gov.pl/geotermia/przydatne/geotermia.html> (dostęp: 07.2023)



obiegowym – nośnikiem ciepła, jest tutaj woda z dodatkiem środka przeciwzamarzającego, np. glikolu (25-30%) lub solanka.



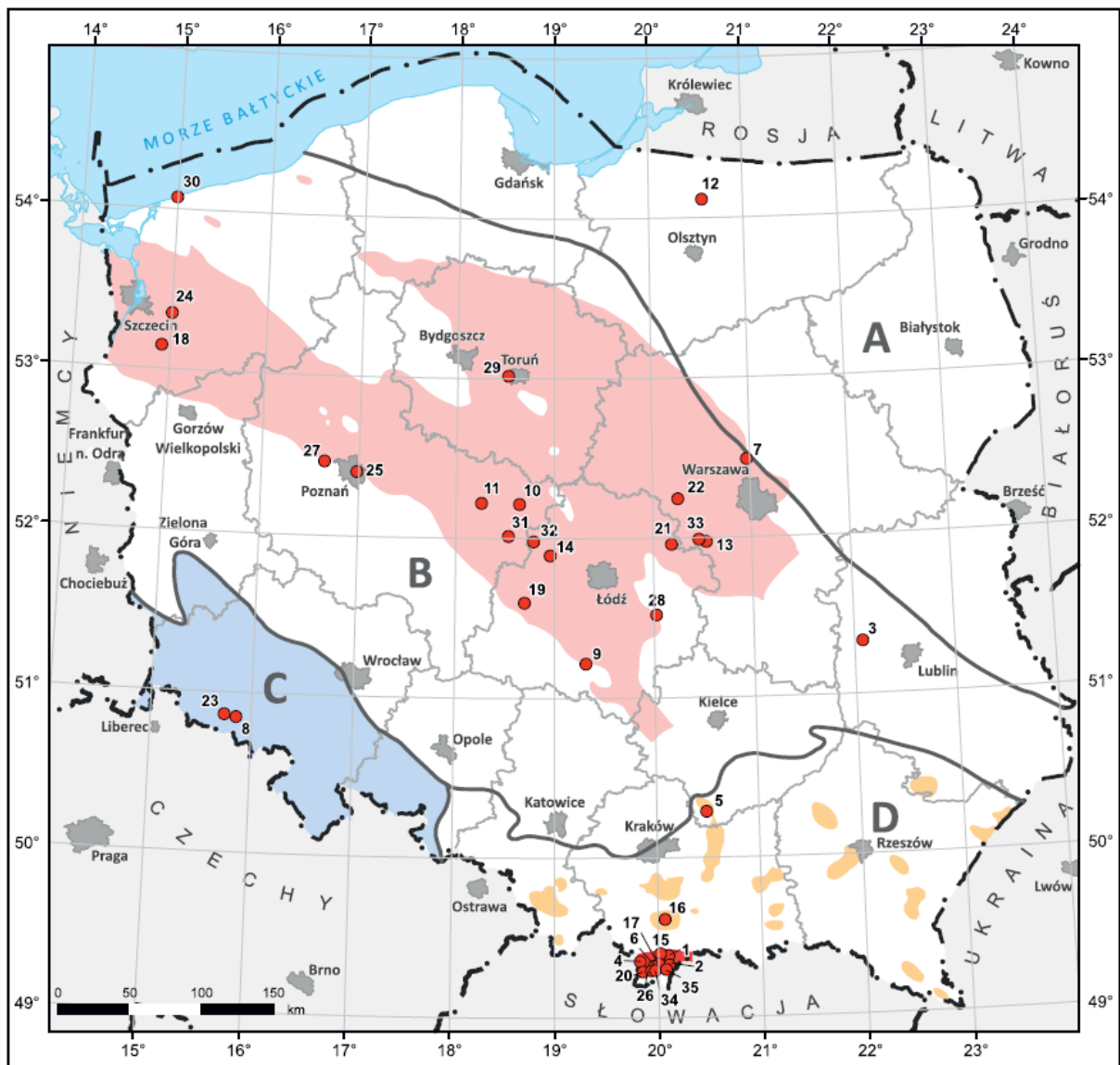
Rys. 37. Rodzaje geotermii i przykłady jej zastosowań  
 Źródło: <https://www.pgi.gov.pl/geotermia/przydatne/geotermia.html>

Podstawowym (>80%) źródłem energii cieplnej Ziemi jest energia cieplna powstająca w sposób nieprzerwany w wyniku rozpadu zawartych w skałach naturalnych izotopów promieniotwórczych uranu i toru – izotopów U-235, U-238, Th-232, a także izotopu potasu K-40. Jedynie około 20% energii Ziemi ma swoje źródło w energii rezydualnej, która pojawiła się na Ziemi w wyniku procesu jej powstania z gorącej materii międzygwiazdnej przed ponad 4.5 mld laty<sup>22</sup> Temperatura wnętrza Ziemi rośnie wraz z głębokością. Wzrost ten w pobliżu powierzchni Ziemi waha się od około 15°C do około 80°C na głębokości 1 km, w zależności od warunków geologicznych – gęstości strumienia cieplnego płynącego z wnętrza Ziemi ku jej powierzchni oraz zróżnicowania własności termicznych skał tworzących profil litologiczny, w tym zwłaszcza ich przewodności cieplnej. W warunkach Polski wzrost ten (gradient

<sup>22</sup> Górecki W. (red.): Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niziu Polskim. AGH, Kraków 2006.

geotermiczny) wynosi przeważnie od 20°C/km do 30°C/km. Na świecie najbardziej dostępne i najczęściej wykorzystywane są złoża wód geotermalnych. Wody geotermalne o temperaturach niższych niż 120°C najszerze zastosowanie znajdują w energetyce ciepłej. Natomiast wody geotermalne osiągające temperaturę rzędu 120°C i wyższą, opłaca się wykorzystać do produkcji energii elektrycznej.

W warunkach geologicznych Polski woda zakumulowana jest głównie w podziemnych zbiornikach geotermalnych. Zbiorniki geotermalne stanowią systemy skał porowatych i przepuszczalnych wypełnione wodami (lub parą wodną), izolowane skałami nieprzepuszczalnymi i uszczelniającymi, przyjmujące różny kształt geometryczny. Struktury te nazywane są basenami sedymentacyjno-strukturalnymi. Baseny strukturalne posiadają zróżnicowane poziomy temperatury wody. Wśród tych poziomów dominuje zakres temperatury od 20°C do ok. 80-90°C. W warunkach krajowych wody geotermalne znajdują się przeciętnie na głębokości od 1,5 do 3,5 km. By zapewnić odnawialność zasobów wód termalnych, ich eksploatacja podlega istotnym ograniczeniom wynikającym z zasady racjonalnej gospodarki tymi zasobami. Najbardziej perspektywiczne obszary geotermalne występują na znacznym obszarze Polski (mapa poniżej). Znajdują się w północno-zachodniej i centralnej części kraju - zbiorniki kredy dolnej i jury dolnej, w Karpatach Wewnętrznych, głównie niecce podhalańskiej, w mniejszym stopniu Karpatach Zewnętrznych: w zapadlisku przedkarpackim, oraz w Sudetach i bloku przedsudeckim (rys. 38).





**Objaśnienia do oznaczeń cyfrowych na mapie:**

- 1 - Białka; 2 - Bukowina; 3 - Celejów; 4 - Chocholowskie Termy; 5 - Cudzynowice; 6 - Furmanowa PIG-1; 7 - Jachranka; 8 - Karpniki; 9 - Kleszczów GT-1; 10 - Koło; 11 - Konin GT-1; 12 - Lidzbark Warmiński GT-1; 13 - Mszczonów; 14 - Poddębice; 15 - Podhale 2; 16 - Poręba Wielka; 17 - Poronin; 18 - Pyrzyce; 19 - Sieradz GT-1; 20 - Siwa Woda IG-1; 21 - Skierniewice GT-1, GT-2; 22 - Sochaczew GT-1; 23 - Stanisławów; 24 - Stargard; 25 - Swarzędz IGH-1; 26 - Szymoszkowa; 27 - Tarnowo Podgórne GT-1; 28 - Tomaszów Mazowiecki; 29 - Toruń; 30 - Trzemeszno GT-1; 31 - Turek GT-1; 32 - Uniejów I; 33 - Wręcza; 34 - Zakopane; 35 - Zazadnia IG-1

Rys. 38. Obszary perspektywiczne dla ujmowania wód termalnych i istniejące instalacje geotermalne w Polsce<sup>23</sup>

Zgodnie z obowiązującym w Polsce prawem, woda termalna to woda podziemna, która na wypływie z ujęcia ma temperaturę nie niższą niż 20°C<sup>24</sup>.

Przydatność naturalnego systemu hydrotermalnego, jako źródła energii cieplnej zależy od trzech głównych czynników:

- temperatury wydobywanej wody termalnej,
- wydajności wody termalnej możliwej do wydobycia ze źródła,
- możliwości zagospodarowania wytworzonej energii (odpowiednia ilość odbiorców).

Najbardziej efektywnym i najprostszym sposobem zagospodarowania energii wód termalnych jest ich zastosowanie do ogrzewania w gospodarce komunalnej, w rolnictwie, w procesach technologicznych, jako wspomaganie konwencjonalnych ciepłowni oraz użycie jako źródła energii w siłowniach niskotemperaturowych. Różnorodność możliwych rozwiązań technicznych i struktura urządzeń służących do pozyskania ciepła z wnętrza ziemi wynikają z konieczności dostosowania rodzaju i wielkości ujęcia geotermalnego do potrzeb i parametrów instalacji odbiorczej ciepła, przy uwzględnieniu lokalnych warunków technicznych oraz wyników rachunku ekonomicznego. Wiąże się to z tym, że zapotrzebowanie ciepła przez jego odbiorców jest najczęściej zmienne w czasie. Dotyczy to w szczególności zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń, którego ilość zależy od temperatury zewnętrznej. Podstawą określenia ilości ciepła grzejjego jest wykres uporządkowany, pomocny zwłaszcza przy

<sup>23</sup> Sokołowski J., Skrzypczyk L. (2021): Solanki, wody lecznicze i termalne. [w:] Szufflicki M., Malon A., Tyimiński M. (red.), Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31.12.2020 r. Państwowy Instytut Geologiczny., Warszawa.

<sup>24</sup> Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. - Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2023 poz. 633)

wyborze systemów do odbioru energii z wód termalnych, przy czym możliwe są tutaj trzy podstawowe układy, a mianowicie:

- układ monowalentny, w którym całe ciepło grzejne pobierane jest z instalacji geotermalnej,
- układ biwalentny, w którym źródło geotermalne wspomagane jest kotłami, najczęściej gazowymi,
- układ kombinowany, w którym część zapotrzebowania odbiorców zaspokajana jest przez instalację geotermalną (ciepło niskotemperaturowe), a pozostała część przez kotłownię konwencjonalną (ogrzewanie tradycyjne).

Bezpośrednie wykorzystanie wody termalnej do celów ciepłowniczych odbywa się za pośrednictwem geotermalnych wymienników ciepła. Najczęściej płytowe wymienniki ciepła pośredniczą przy przekazywaniu ciepła wody termalnej na rzecz słodkiej wody sieciowej. W tym przypadku istotne znaczenie dla stopnia wykorzystania energii geotermalnej ma temperatura zatłaczanej wody termalnej, limitowana głównie przez temperaturę wody sieciowej powrotnej, przy czym ta ostatnia powinna być jak najniższa. Jeśli temperatura wody sieciowej powrotnej ogranicza lub eliminuje wykorzystanie ciepła geotermalnego zawartego w wodach o zbliżonej lub niższej temperaturze wówczas można zastosować pompę ciepła.

Pompa ciepła jest właściwie jedynym dotychczas znanym urządzeniem, umożliwiającym wykorzystanie niskotemperaturowych źródeł energii. Jej podstawowa rola polega na pobieraniu ciepła ze źródła o niższej temperaturze (ciepło pochodzące ze środowiska naturalnego) i przekazywaniu go do źródła o temperaturze wyższej (ciepło grzewcze). Aby proces ten był możliwy, konieczne jest dostarczenie energii z zewnątrz. Na użyteczną energię cieplną (ciepło grzewcze) tych urządzeń składa się ilość ciepła pobrana ze środowiska naturalnego i ilość ciepła odpowiadająca energii doprowadzonej do ich napędu.

Obecnie na terenie Polski funkcjonuje siedem czynnych ciepłowni geotermalnych, są to:

- **Geotermia Podhalańska** – uruchomiona w 1993 r. w Bańskiej Niżnej na Podhalu. Proces technologiczny w Geotermii Podhalańskiej polega na wydobyciu z dwóch otworów gorącej solanki o temperaturze 82 - 86°C z wydajnością do 550 m<sup>3</sup>/h, przetłoczeniu jej przez wymienniki ciepła i ponownym zatłoczeniu do górotworu. Sieć cieplna PEC Geotermia Podhalańska S.A. zasilana jest obecnie z dwóch źródeł ciepła:

Ciepłowni Geotermalnej zlokalizowanej w Szaflarach - Bańskiej Niżnej oraz kotłowni gazowo-olejowej w Zakopanem. Całkowita moc zainstalowana wynosi 67,4 MW, w tym człon geotermalny o mocy 38 MW<sup>25,26</sup>.

- **Geotermia Pyrzyce** – została uruchomiona w 1997 r. Proces technologiczny w Geotermii Pyrzyce polega na wydobyciu wody termalnej z wykorzystaniem otworów eksploatacyjnych, przetłoczeniu jej przez wymienniki ciepła i ponownym zatłoczeniu do górotworu poprzez otwory chłonne. W wymienniku ciepła woda, o temperaturze początkowej 64°C oddaje swoją energię wodzie sieciowej i schłodzona do około 35°C zatłaczana jest do warstwy wodonośnej. W czasie występowania niskich temperatur zewnętrznych konieczne jest wykorzystywanie absorpcyjnych pomp ciepła i szczytowych kotłów gazowych. Moc zainstalowana w Geotermii Pyrzyce wynosi więc 52,8 MW z czego 12,8 MW pochodzi z geotermii<sup>27</sup>. Obecnie ciepłownia funkcjonuje w oparciu o 1 otwór eksploatacyjny Pyrzyce GT-1 BIS i cztery otwory chłonne GT-1 do GT-4.
- **Geotermia Mazowiecka** – uruchomiona została w Mszczonowie w 1999 r. Wody termalne w Geotermii Mazowieckiej eksploatowane są z poziomu dolnej kredy i charakteryzują się bardzo niską mineralizacją (poniżej 0,5 g/dm<sup>3</sup>), dzięki czemu możliwe jest zrezygnowanie z zatłaczania wody po odebraniu ciepła do tego samego poziomu wodonośnego i jej dalsze wykorzystanie jako wody w systemie wodociągowym. Temperatura początkowa wody termalnej przy przepływie do 60 m<sup>3</sup>/h wynosi 42°C. Całkowita moc zainstalowana układu grzewczego wynosi 7,3 MW w tym 1,75 MW uzyskiwana jest bezpośrednio z geotermii<sup>28</sup>.
- **Geotermia Uniejów** – uruchomienie ciepłowni geotermalnej w Uniejowie datowane jest na 2001 r. Woda termalna eksploatowana jest z wydajnością 120 m<sup>3</sup>/h przy temperaturze 69°C i niskiej mineralizacji na poziomie około 7 g/dm<sup>3</sup>. Woda termalna po oddaniu energii w wymiennikach ciepła zatłaczana jest poprzez dwa odwierty chłonne do poziomu wodonośnego kredy dolnej. Całkowita moc ciepłowni wynosi 7,4 MW z czego

---

<sup>25</sup> Wartak W., Wróbel A., Ignacok W.: PEC Geotermia Podhalańska S.A. - Zakład Geotermalny na Podhalu: doświadczenia, wybrane aspekty pracy, perspektywy. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia Zrównoważony Rozwój nr 2/2007, s. 125 – 131.

<sup>26</sup> Ślimak Cz.: Projekt geotermalny na Podhalu - efekty funkcjonowania i perspektywy rozwoju. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój, nr 1-2/2011, s. 221 – 224.

<sup>27</sup> Biernat H., Kulik S., Noga B.: Instalacja geotermalna w Pyrzycach jako przykład pozyskiwania czystej i odnawialnej energii w ciepłownictwie oraz wód termalnych do balneologii i rekreacji. Przegląd Geologiczny, Tom 58, Nr 8/2010, s. 712 – 716.

<sup>28</sup> Balcer M.: Zakład Geotermalny w Mszczonowie - wybrane aspekty pracy, doświadczenia, perspektywy. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia Zrównoważony Rozwój nr 2/2007, s. 113 – 116.

4,2 MW pochodzi ze źródła szczytowego (kotły na biomasę o mocy 1,8 MW) oraz źródła awaryjnego 2,4 MW (kotły olejowe)<sup>29</sup>.

- **G-Term Energy** – instalacja geotermalna uruchomiona w 2005 r. w Stargardzie (dawna Geotermia Stargard). Składała się początkowo jedynie z dubletu geotermalnego, w skład którego wchodziły: otwór eksploatacyjny i otwór chłonny oraz geotermalnego wymiennika ciepła o mocy 14 MW. Woda termalna eksploatowana jest z temperaturą 87°C przy maksymalnej wydajności 200 m<sup>3</sup>/h i po oddaniu ciepła wodzie sieciowej ponownie jest zatłaczana do tej samej warstwy wodonośnej<sup>30</sup>. Obecnie prowadzone są prace polegające na włączeniu do systemu kolejnych otworów eksploatacyjnych i chłonnych.
- **Geotermia Poddębice** – instalacja geotermalna w Polsce uruchomiona w 2013 r. Moc cieplna zamówiona wynosi 6,8 MW. Woda wydobywana jest z wydajnością do 252 m<sup>3</sup>/h, o temperaturze w złożu 72°C i niskiej mineralizacji poniżej 0,5 g/dm<sup>3</sup>. Sprzedaż ciepła geotermalnego prowadzona jest do odbiorców instytucjonalnych i indywidualnych na terenie miasta Poddębice oraz kompleksu basenowego Termy Poddębice.
- **Geotermia Toruń** – najmłodsza instalacja geotermalna w Polsce, uruchomiona w 2022 r., składająca się z dubletu geotermalnego Toruń TG-1 i Toruń TG-2A, wspomaganego absorpcyjną pompą ciepła napędzaną gazem ziemnym i kotłami gazowymi o łącznej mocy około 18 MW. Ciepło sprzedawane jest do miejskiej sieci ciepłowniczej w Toruniu i do ogrzewania obiektów sąsiadujących.

Począwszy od 2008 r. głównie na terenie Niżu Polskiego trwają prace zmierzające do uruchomienia kolejnych instalacji geotermalnych m.in. w: Gostyninie, Kleszczowie, Lidzbarku Warmińskim, Tarnowie Podgórnym, Piasecznie, Trzęsaczu.

Działania mające te zostały zintensyfikowane w latach 2016-2022, dzięki środkom pochodzącym z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, co skutkowało odwierceniem otworów geotermalnych Sochaczewie, Sieradzu, Kole, Turku, Koninie i trwającym obecnie pracom zmierzającym do uruchomienia na ich podstawie ciepłowni geotermalnych.

---

<sup>29</sup> Sapińska-Śliwa A., Kurpik J.: Aktualne zagospodarowania wody i ciepła w Uniejowie. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój, nr 1-2/2011, s. 225 – 235.

<sup>30</sup> Noga B., Kosma Z.: Obecny stan wykorzystania wód termalnych i energii geotermalnej w Polsce. Logistyka 6/2011, s. 3079 – 3088.

#### 4.2.1. Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie

W celu analizy potencjału wykorzystania zasobów geotermalnych w rejonie Czeremchy przedstawiono opis budowy geologicznej rejonu. Czeremcha wg obowiązującej regionalizacji tektonicznej położona jest na monoklinie mazursko-podlaskiej<sup>31</sup>. Rejon ten wypełniony jest skałami osadowymi syluru, ordowiku i kambru oraz skałami osadowymi i wulkanicznymi wendu, które zalegają bezpośrednio na podłożu krystalicznym, wykształconym jako skały metamorficzne, głównie gnejsy.

Potencjał wykorzystania geotermii głębokiej w rejonie Czeremchy określono na podstawie analizy budowy geologicznej, opracowań regionalnych<sup>32</sup> oraz profili otworów archiwalnych zlokalizowanych najbliżej rejonu badań<sup>33</sup>. Syntetyczny profil geologiczny rejonu Czeremchy przedstawiono poniżej:

Tabela 4. Syntetyczny profil geologiczny rejonu Czeremchy

Głębokość [m p.p.t]	Stratygrafia	Opis litologiczny
0-150	czwartorzęd	gliny, piaski, żwiry
150-160	paleogen i neogen	mułowce piaszczyste
160-325	kreda górna	wapienie, wapienie margliste
325-350	kreda dolna	piaskowce i mułowce z glaukonitem
350-425	jura górna	wapienie z krzemieniami
425-450	jura środkowa	piaskowce, iłowce, mułowce
450-475	trias dolny	iłowce, piaskowce
475-500	perm	dolomity, wapienie, piaskowce
500-700	sylur	iłowce wapniste, wapienie
700-750	ordowik	iłowce wapniste, wapienie
750-850	kambr środkowy	piaskowce
850-1050	kambr dolny	piaskowce, iłowce

31 Żelaźniewicz A., Aleksandrowski P., Buła Z., Karnkowski P.H., Konon A., Oszczytko N., Ślęczka A., Żaba J., Żyto K.: Regionalizacja Tektoniczna Polski. Komitet Nauk Geologicznych PAN. Wrocław, 2011.

32 Górecki W. (red.): Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków 2006.

33 Centralna Baza Danych Geologicznych [<https://otworywiertnicze.pgi.gov.pl>]



1050-1200	ediakar	piaskowce, zlepieńce, skały wulkaniczne
>1200	proterozoik	skały metamorficzne

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

Najgłębszym kompleksem zbiornikowym rejonu badań są piaskowce formacji lubelskiej górnego wendu (ediakaru), a także piaskowce kambru dolnego. Natomiast górny poziom wodonośny stanowią drobnoziarniste piaskowce kambru środkowego o miąższości do 200 m, charakteryzujące się dobrymi własnościami zbiornikowymi, m.in. uzyskano z nich przyływy solanek w otworze Okuniew IG-1 i Żebrak IG-1.<sup>34</sup> Przewidywane parametry hydrogeologiczne utworów zbiornikowych w rejonie Czeremchy przedstawiono w Tabeli .

Tabela 5 Przewidywane parametry geotermalne w rejonie Czeremchy

Parametr	Kambr środkowy	Kambr dolny
Głębokość zalegania utworów	750-850	850-1050
Mineralizacja ogólna	<2 g/l?	<2 g/l?
Temperatura wody w złożu	30°C	35°C
Wydajność eksploatacyjna	20 m <sup>3</sup> /h	20 m <sup>3</sup> /h

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.2.2. Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie

Omawiany obszar, czyli struktura Wiśniowej zlokalizowana jest w obrębie depresji strzyżowskiej zewnętrznych Karpat fliszowych.

Karpaty zewnętrzne są zbudowane z silnie sfałdowanych osadów fliszowych, wieku od jury górnej do neogenu. Tworzą one szereg płaszczowin, które są wzajemnie na siebie ponasuwane i łącznie nasunięte na przedpole, czyli platformę północnoeuropejską. Rejon Wiśniowej leży w południowym obrzeżeniu płaszczowiny skolskiej, w obrębie depresji strzyżowskiej, którą wypełniają zalegające płasko osady eocenu-oligocenu wtórnie sfałdowane.

Potencjał wykorzystania geotermii głębokiej w rejonie Wiśniowej określono na podstawie analizy budowy geologicznej, opracowań regionalnych<sup>35</sup> oraz profili otworów

<sup>34</sup> Górecki W. (red.): Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków 2006.

<sup>35</sup> Górecki W. (red.): Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków 2006.

archiwalnych zlokalizowanych najbliżej rejonu badań<sup>36</sup>. Potencjalne piętra wodonośne mogą stanowić dolnokredowe warstwy spaskie zbudowane z drobnoziarnistych i zbitych piaskowców oraz twardych margli i łupków, a także głębiej zalegające węglanowe utwory górnourajskie, reprezentowane przez margle i wapienie. W miejscowości Wiśniowa w latach 1990-1991 został wykonany otwór poszukiwawczy Wiśniowa-1. Projektowana głębokość otworu wynosiła 5500 m p.p.t. Na gł. 4320 m p.p.t. spodziewano się nawiercić utwory miocenu autochtonicznego, a na gł. 5500 m utwory jury. Celem otworu były poszukiwania węglowodorów. W rdzeniach i próbach okrucowych nie stwierdzono objawów węglowodorów. W czasie wiercenia na głębokości 3698 m p.p.t. wystąpił samowypływ solanki w ilości 5,2 do 8,0 m<sup>3</sup>/h, zaś na głębokości 3793 m p.p.t. nastąpił nagły samowypływ solanki o wydajności 180 m<sup>3</sup>/h i temperaturze 85°C<sup>37</sup>. Syntetyczny profil geologiczny rejonu Wiśniowej przedstawiono poniżej:

Tabela 6. Syntetyczny profil geologiczny rejonu Wiśniowej

Głębokość [m p.p.t.]	Stratygrafia	Litologia
0-150	Warstwy krośnieńskie środkowe - oligocen	piaskowce, iłowce, mułowce
150-740	Warstwy krośnieńskie środkowe - dolne	piaskowce, iłowce, mułowce
740-980	warstwy menilitowe, piaskowce podrogowcowe - oligocen	piaskowce drobnoziarniste, łupki ilaste
980-1315	warstwy pstrego eocenu	łupki ilaste, piaskowce w postaci warstewek i cienkich ławic
1315-1925	warstwy krośnieńskie - oligocen	piaskowce z wkładkami łupków, piaskowce drobnoziarniste
1925-2000	warstwy menilitowe - oligocen	piaskowce drobnoziarniste, łupki ilaste zielone
2000-2020	warstwy pstrego eocenu	łupki ilaste zielone, szarozielone i szare
2020-3475	warstwy inoceramowe - kreda górna	piaskowce drobnoziarniste,

<sup>36</sup> Centralna Baza Danych Geologicznych [<https://otworywiertnicze.pgi.gov.pl>]

<sup>37</sup> Górecki W., Hajto M., Sowizdżał A., Kotyza J., 2015 – Wstępna ocena możliwości pozyskania i wykorzystania wód termalnych w rejonie Wiśniowej. Towarzystwo Geosynoptyków GEOS, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Surowców Energetycznych WGGiOŚ, Kraków.

		bardzo twarde, zbite, łupki ilasto-mułowcowe
3475-3580	margle krzemionkowe - kreda górna	margle beżowe
3580-3700	łupki pstre - kreda górna	łupki ilasto-mułowcowe
3700-4250	warstwy spaskie- kreda dolna	piaskowce szare drobnoziarniste, margle szare, łupki ilasto-mułowcowe
4250-4500	miocen młodszy (baden+sarmat) nierozdzielony, seria autochtoniczna	warstwy piaskowcowe, ilaste i łupkowe
>4500	jura górna	margle i wapienie

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

Przewidywane parametry hydrogeologiczne utworów zbiornikowych w rejonie Wiśniowej przedstawiono w Tabeli .

Tabela 7 Przewidywane parametry geotermalne w rejonie Wiśniowej

Parametr	Kreda dolna	Jura górna
Głębokość zalegania utworów	3700-4250	>4500
Mineralizacja ogólna	15 g/l	100 g/l
Temperatura wody w złożu	85°C	100°C
Wydajność eksploatacyjna	180 m <sup>3</sup> /h	40 m <sup>3</sup> /h

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.2.3. Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie

Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego położony jest w obrębie struktury zwanej tradycyjnie niecką warszawską (Marek S. 1983). Według obecnie obowiązującej regionalizacji tektonicznej Polski (Żelaźniewicz i in., 2011) rejon ten położony jest w obrębie segmentu warszawskiego synklinorium kościerzyńsko-puławskiego, który ku południowemu zachodowi przechodzi w segment kujawski antyklinorium śródpolskiego. Segment warszawski synklinorium kościerzyńsko-puławskiego jest strukturą asymetryczną, o skrzydle zachodnim stromym, z upadami wynoszącymi 5-10° i wschodnim łagodniejszym, przechodzącym stopniowo w prawie poziomo ułożone warstwy platformy. Powoduje to, że posuwając się z kierunku wschodniego na zachód mamy do czynienia z coraz to z większymi miąższościami osadów mezozoiku, które są dobrymi kolektorami dla wód termalnych. Rejon CPK położony jest na zachodnim skrzydle struktury, w niedalekiej odległości od jej osi, której przybliżony przebieg położony jest na linii Lipno-Wyszogród-Warka. Obszar ten jest stosunkowo dobrze

rozpoznany wiertniczo, zarówno przez otwory archiwalne wykonywane w celach badawczych dla rozpoznania głębokiej budowy geologicznej obszaru Polski czy poszukiwawczych za węglowodorami, jak i otwory hydrogeologiczne/złożowe, ujmujące warstwy wodonośne jury dolnej (Skierniewice GT-1 i Skierniewice GT-2) czy kredy dolnej (Mszczonów IG-1, Sochaczew GT-1). Syntetyczny profil geologiczny rejonu CPK przedstawiono w Tabeli 8.

Tabela 8. Syntetyczny profil geologiczny rejonu CPK

Głębokość [m p.p.t]	Stratygrafia	Opis litologiczny
0-80	czwartorzęd	gliny, piaski, żwiry, ropy
80-260	paleogen i neogen	piaski, ropy, margle
260-1300	kreda górna	wapienie, wapienie margliste, opoki
1300-1500	kreda dolna	piaskowce z glaukonitem, mułowce i ropy
1500-2100	jura górna	wapienie, margle, mułowce i ropy margliste
2100-2400	jura środkowa	piaskowce dolomityczne, mułowce i ropy
2400-2800	jura dolna	piaskowce, ropy, mułowce
>2800	trias górny	mułowce i ropy

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

Tabela 9. Przewidywane parametry geotermalne w rejonie CPK

Parametr	Kreda dolna	Jura dolna
Głębokość zalegania utworów	1300-1500	2400-2800
Mineralizacja ogólna	<1 g/l	110 g/l
Temperatura wody w złożu	40°C	70°C
Wydajność eksploatacyjna	120 m <sup>3</sup> /h	150 m <sup>3</sup> /h

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.2.4. Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie

Rejon Tarnowa Podgórno położony jest w obrębie synklinorium szczecińsko-miechowskiego, rozciągającego się od Szczecina na północy do brzegu Karpat na południu Polski, na granicy segmentu szczecińsko-gorzowskiego i mogileńsko-łódzkiego. Synklinorium szczecińsko-miechowskie jest wypełnione osadami kredy górnej i określane jako jednostka

depresyjna obrzeżająca antyklinorium środkowopolskie od zachodu. Skrzydła segmentu szczecińsko-gorzowskiego wykazują budowę asymetryczną, ze skrzydłem południowo-zachodnim łagodniejszym, a skrzydłem północno-wschodnim bardziej stromym. Jednostka ta jest wydłużona w kierunku NW-SE, równoległe do osi antyklinorium pomorskiego. Cechują ją duże miąższości utworów kredy górnej, sięgające nawet 2000 m.<sup>38</sup>

Tabela 10. Syntetyczny profil geologiczny rejonu Tarnowa Podgórnego

Głębokość [m p.p.t]	Stratygrafia	Opis litologiczny
0-50	czwartorzęd	gliny, piaski, żwiry
50-210	paleogen i neogen	iłły, piaski, mułki
210-390	kreda górna	margle, wapienie margliste
390-410	kreda dolna	piaskowce z glaukonitem
410-725	jura górna	margle dolomityczne, margle mułowcowe
725-805	jura środkowa	mułowce margliste, iłowce
805-1170	jura dolna	piaskowce, iłowce
>1170	trias górny	mułowce, iłowce

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

Na terenie miejscowości Tarnowo Podgórne wykonano w 2011 roku otwór badawczo-eksploatacyjny Tarnowo Podgórne GT-1 o głębokości 1200 m, co pozwoliło na eksploatację wód termalnych z poziomu jury dolnej. W ramach wykonanych prac geologicznych uzyskano z otworu Tarnowo Podgórne GT-1 wydajność wody termalnej na poziomie 225 m<sup>3</sup>/h przy temperaturze około 45,7°C. Mineralizacja wydobywanej wody termalnej wynosi 80 g/l. Wydobywane wody termalne służą do celów rekreacyjnych w kompleksie basenowym „Tarnowskie Termy”, mogą one być również stosowane do celów leczniczych.

Przewidywane parametry hydrogeologiczne utworów zbiornikowych w rejonie Tarnowa Podgórnego przedstawiono w Tabeli .

<sup>38</sup> Stupnicka E.: Geologia regionalna Polski. Wyd. UW 1997.

Tabela 11. Przewidywane parametry geotermalne w rejonie Tarnowa Podgórnego

Parametr	Jura dolna
Głębokość zalegania utworów	805-1170
Mineralizacja ogólna	80 g/l
Temperatura wody w złożu	45°C
Wydajność eksploatacyjna	225 m <sup>3</sup> /h

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.2.5. Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie

Rejon Biskupic i Pobiedzisk, podobnie jak w przypadku Tarnowa Podgórnego położony jest w obrębie synklinorium szczecińsko-miechowskiego. W odróżnieniu do Tarnowa Podgórnego, Biskupice i Pobiedziska leżą całkowicie w granicach segmentu mogileńsko-łódzkiego. Potencjał wykorzystania geotermii głębokiej w rejonie Pobiedzisk i Biskupic określono na podstawie analizy budowy geologicznej, opracowań regionalnych<sup>39</sup> oraz profili otworów archiwalnych zlokalizowanych najbliżej rejonu badań<sup>40</sup>. Syntetyczny profil geologiczny rejonu Pobiedzisk i Biskupic przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 12. Syntetyczny profil geologiczny rejonu Biskupic i Pobiedzisk

Głębokość [m p.p.t]	Stratygrafia	Opis litologiczny
0-140	czwartorzęd	gliny, piaski, żwiry
140-550	kreda górna	wapienie, wapienie margliste
550-560	kreda dolna	piaskowce, piaskowe ilaste
560-610	kreda dolna	piaskowce
610-640	kreda dolna	mułowce (pyłowce), ilaste, wkładki margła
640-670	jura górna	margle, wkładki wapienne
670-740	jura górna	mułowce (pyłowce)
740-745	jura górna	wapienie, wapienie piaszczyste
745-780	jura górna	margle
780-900	jura górna	wapienie, wapienie margliste,

<sup>39</sup> Górecki W. (red.): Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niziu Polskim. AGH, Kraków 2006.

<sup>40</sup> Centralna Baza Danych Geologicznych [<https://otworywiertnicze.pgi.gov.pl>]

900-1030	jura górna	wapienie
1030-1120	jura górna	wapienie, wapienie margliste,
1120-1150	jura górna	wapienie, wkładki mułowca (pyłowca)
1150-1190	jura środkowa	margle, wkładki margli piaszczystych
1190-1350	jura środkowa, jura dolna	mułowce (pyłowce), w spągu piaskowce
1350-1575	jura dolna	piaskowce, wkładki mułowca (pyłowca), łowca

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

Najbliżej położonym głębokim otworem wiertniczym jest otwór Pobiedziska IGH-1, znajdujący się na terenie miejscowości Głównienka (gmina Pobiedziska) wykonany w 1984 roku o głębokości 1575,0 m. Wiercenie wykazało występowanie wód o znaczeniu leczniczym na głębokości 1350 – 1575 m, w utworach jury dolnej. Przeprowadzona analiza wykazała, że należą one do wód chlorkowo-sodowych czyli tzw. solanek. Ich temperatura wynosi 48° C, a mineralizacja ogólna jest na poziomie 87,4 g/l przy wydajności wody termalnej na poziomie 44,5 m<sup>3</sup>/h. Klasyfikacje dla tego typu wód zaliczają je do mineralnych i termalnych o spodziewanym znaczeniu leczniczym. Niskie ciśnienie oraz trudności z usuwaniem wód pokąpielowych są przyczyną tego, że zasoby te nie są wykorzystywane.<sup>41</sup>

Otwór Pobiedziska IGH-1 potwierdza występowanie wód termalnych na omawianym terenie, jednak ze względu na jego wiek, wynoszący ponad 40 lat, oraz konstrukcję i sposób wiercenia, które są odmienne od współcześnie stosowanych technologii, należy przyjąć, że wielkość wydajności eksploatacyjnej jest znacząco niższa od możliwych do uzyskania w wyniku wykonania nowego otworu geotermalnego. Według danych literaturowych na omawianym obszarze przewiduje się znacznie wyższe wartości wydajności, niż te, które udało się osiągnąć w przeszłości w otworze Pobiedziska IGH-1<sup>42</sup>. Zastosowanie współczesnej technologii wykonywania otworu geotermalnego pozwoli osiągnąć wydajności na poziomie 200 m<sup>3</sup>/h (zbliżone do innych otworów zlokalizowanych w rejonie Poznania, np. Tarnowo Podgórne GT-1).

Przewidywane parametry hydrogeologiczne utworów zbiornikowych w rejonie Biskupic i Pobiedzisk przedstawiono w Tabeli .

<sup>41</sup> Program Ochrony Środowiska na lata 2004 – 2007 z perspektywą na lata 2008 – 2011 – Miasto i Gmina Pobiedziska

<sup>42</sup> Górecki W. (red.): Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków 2006.



Tabela 13. Przewidywane parametry geotermalne w rejonie Biskupic i Pobiedzisk

Parametr	Jura dolna
Głębokość zalegania utworów	1340 - 1570
Mineralizacja ogólna	87 g/l
Temperatura wody w złożu	48°C
Wydajność eksploatacyjna	200m <sup>3</sup> /h

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.2.6. Porównanie i podsumowanie

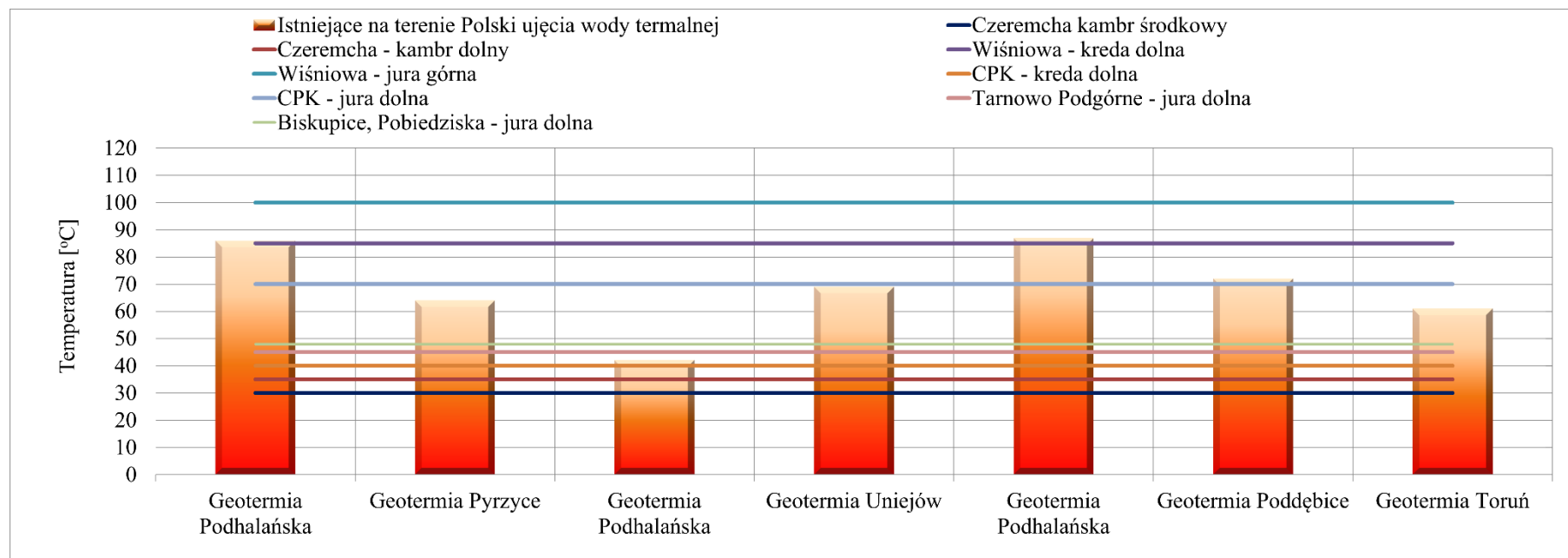
Aby ocenić energetyczną przydatności planowanej do pozyskania wody termalnej na terenie analizowanych lokalizacji porównano jej temperaturę z temperaturą wody wydobywanej w obecnie działających ciepłowniach geotermalnych na terenie Polski (rys. 39). Kolejnym parametrem ilościowym, mającym znaczny wpływ na akceptowalność parametrów zasobów geotermalnych jest możliwa do uzyskania wydajność eksploatacyjna. W celu oceny prognozowanej wydajności wód termalnych porównano ją z wydajnością eksploatacyjną istniejących ciepłowni geotermalnych na terenie Polski (rys. 40). W celu oceny prognozowanych parametrów jakościowych wód termalnych, porównano ich przypuszczalną mineralizację z mineralizacją wód termalnych istniejących ciepłowni geotermalnych działających na terenie Polski (rys. 41).

Podczas szacowania efektywnej mocy źródła geotermalnego założono, że wydobyta woda termalna maksymalnie może być schładzana do temperatury 20°C. Tak niską temperaturę zatłaczania wody termalnej można osiągnąć przy wykorzystaniu pomp ciepła. Pompy te z jednej strony będą obniżały temperaturę zatłaczania wody termalnej, a z drugiej strony będą podnosiły temperaturę czynnika grzewczego krążącego w systemie ciepłowniczym. Porównanie oszacowanej mocy cieplnej możliwej do uzyskania przedstawiono na rys. 42 i w Tabeli .

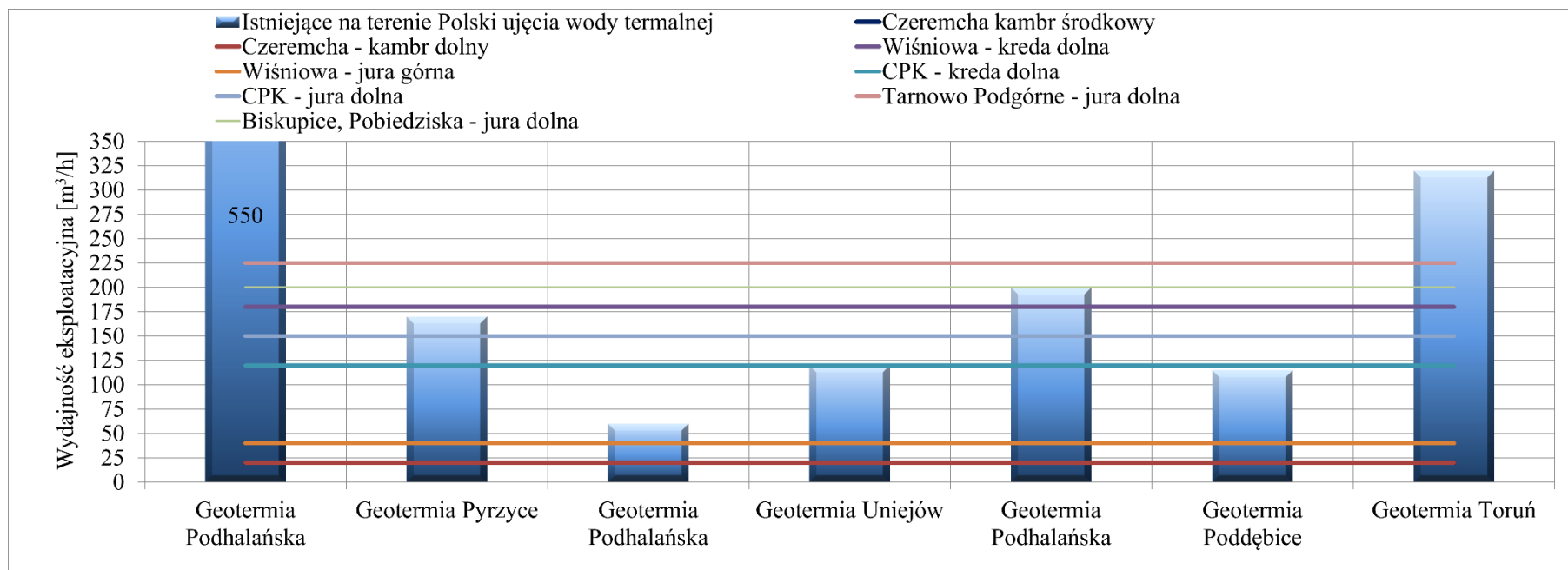
Z analizy dostępnych danych wynika, że największy potencjał geotermalny posiada lokalizacja Wiśniowa, gdzie ujmując utwory jury dolnej można uzyskać największą moc cieplną (kilkanaście MW). Wysokim potencjałem charakteryzują się również lokalizacje CPK, Tarnowo Podgórne oraz rejon Biskupic i Pobiedzisk – ujęcia jury dolnej (6-9 MW). Ujęcie kredy dolnej w lokalizacji CPK oraz jury górnej w Wiśniowej również może być opłacalne w celach ciepłowniczych (ok. 3 MW), ponadto ujęcie kredy dolnej w rejonie CPK charakteryzować się będzie niską mineralizacją (<1g/l), umożliwiającą wykorzystanie wody

termalnej po schłodzeniu jako wody pitnej, zaś ujęcie jury górnej, ze względu na wysoką temperaturę (100°C), potencjalnie może pozwolić na produkcję energii elektrycznej. Parametry geotermalne w rejonie Czeremchy są niskie (ok. 0,3 MW) i nie wskazują na opłacalność inwestycji w geotermię głęboką.

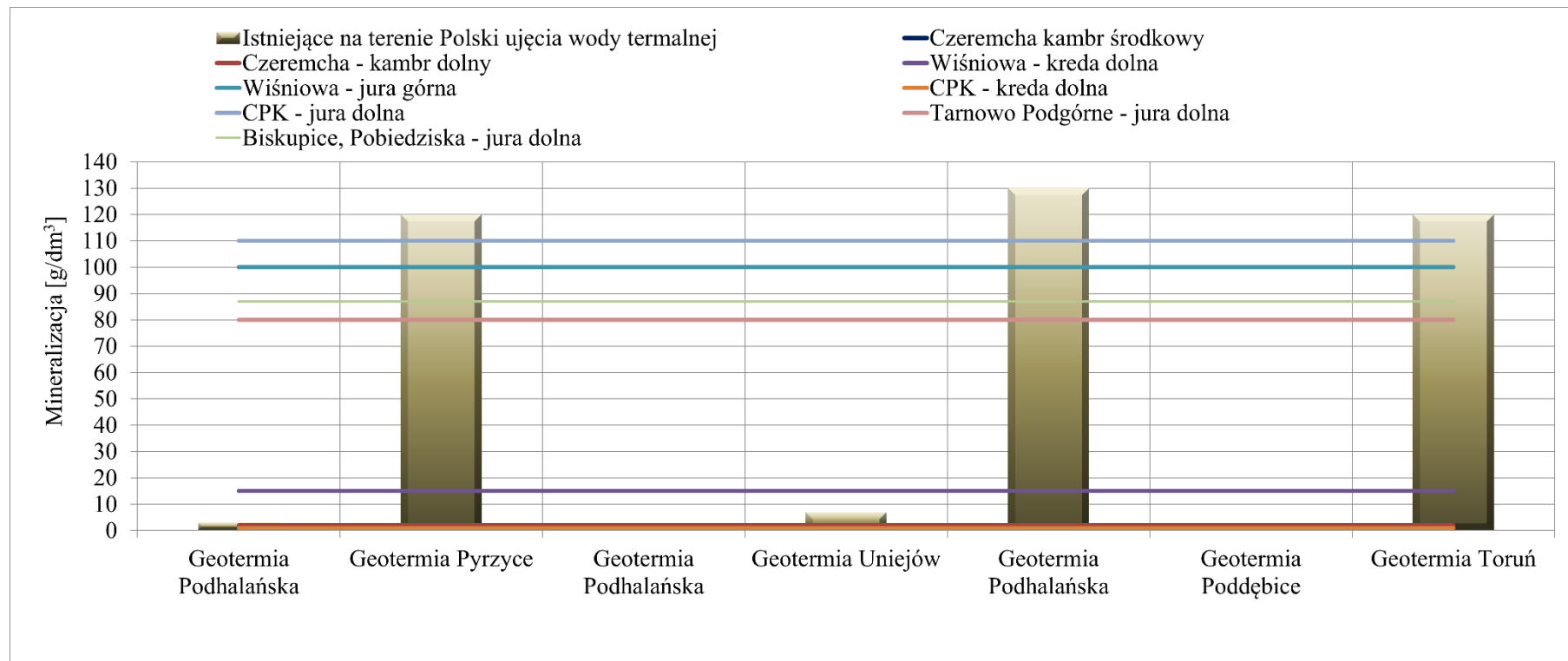
W przypadku zainteresowania wykorzystaniem zasobów głębokiej geotermii w jakiejś lokalizacji WAT może przeprowadzić bardziej szczegółowe analizy geologiczne hydrologiczne, jak również stosowne prace projektowe – projekt robót geologicznych, jak również projekty wykonawczy instalacji grzewczej.



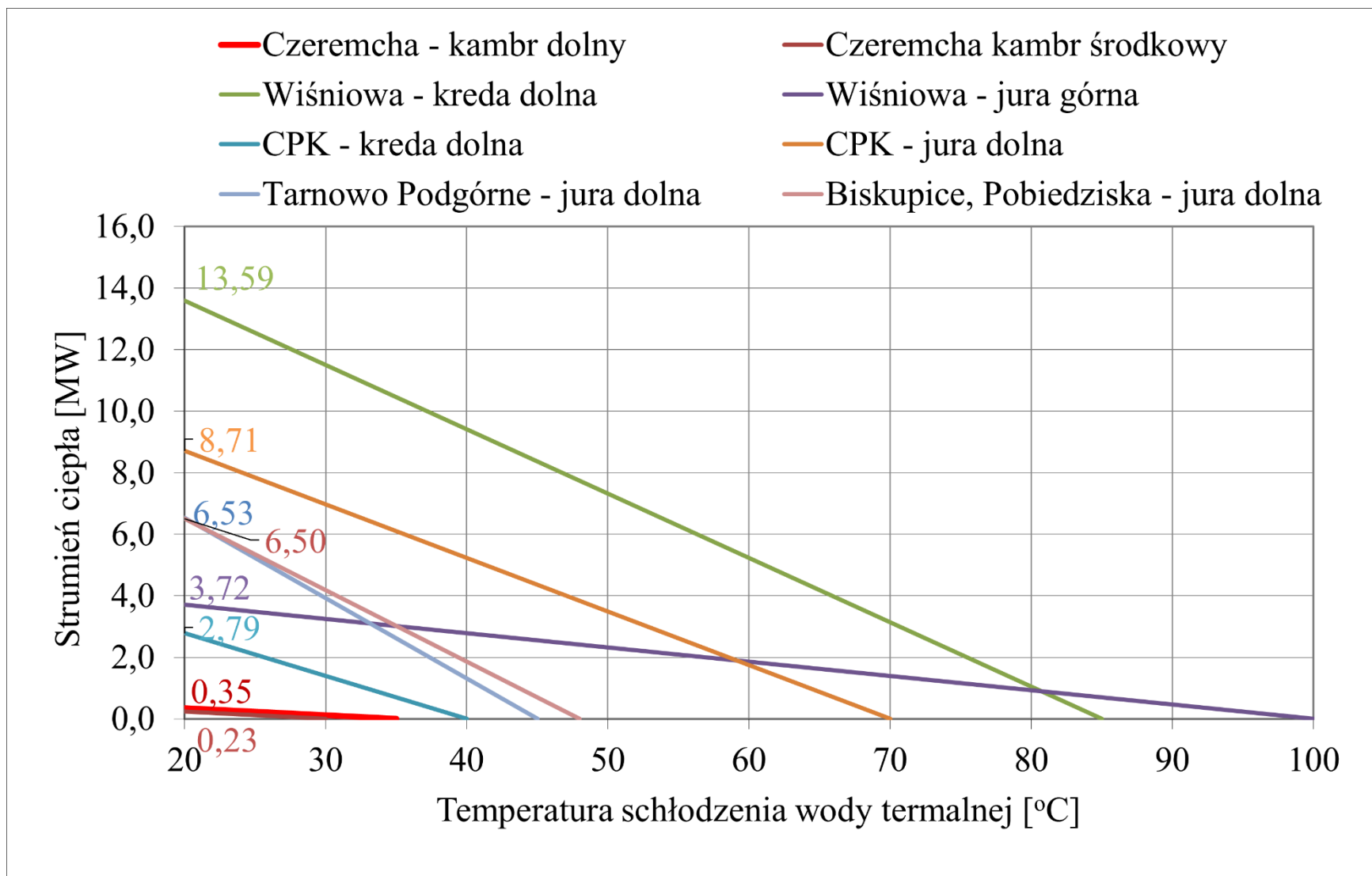
Rys. 39. Porównanie temperatury wody termalnej w ciepłowniach geotermalnych w Polsce  
 Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o



Rys. 40. Porównanie wydajności wody termalnej w ciepłowniach geotermalnych w Polsce  
 Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o



Rys. 41. Porównanie mineralizacji wody termalnej w ciep lowniach geotermalnych w Polsce  
 Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o



Rys. 42. Potencjalna moc cieplna ujęcia możliwa do uzyskania w obszarach analizowanych  
 Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

Tabela 14. Porównanie parametrów geotermalnych analizowanych rejonów

Parametr	Jednostka	Czeremcha – kambr środkowy	Czeremcha – kambr dolny	Wiśniowa – kreda dolna	Wiśniowa – jura górna	CPK – kreda dolna	CPK – jura dolna	Tarnowo Podgórne – jura dolna	Biskupice i Pobiedziska – jura dolna
Strefa głębokości warstw wodonośnych	[m p.p.m.]	750-850	850-1050	3700-4250	>4500	1300-1500	2400-2800	805-1170	1340 - 1570
Potencjalna wydajność eksploatacyjna	[m <sup>3</sup> /h]	20 m <sup>3</sup> /h	20 m <sup>3</sup> /h	180 m <sup>3</sup> /h	40 m <sup>3</sup> /h	120 m <sup>3</sup> /h	150 m <sup>3</sup> /h	225 m <sup>3</sup> /h	200 m <sup>3</sup> /h
Mineralizacja ogólna	[g/dm <sup>3</sup> ]	<2 g/l?	<2 g/l?	15 g/l	100 g/l	<1 g/l	110 g/l	80 g/l	87 g/l
Temperatura wody w złożu	[°C]	30°C	35°C	85°C	100°C	40°C	70°C	45°C	48 °C
Potencjalna moc cieplna źródła geotermalnego	[MW]	0,23	0,35	13,59	3,72	2,79	8,71	6,53	6,50

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

### 4.3. Geotermia płytka

Poza wodami geotermalnymi ciepło zawarte w gruncie w coraz większym stopniu odzyskuje się także za pomocą pomp ciepła z płytkich partii skorupy ziemskiej o temperaturach sięgających kilkunastu stopni Celsjusza. Jest to sposób nie tylko ogrzewania pomieszczeń, ale także ich chłodzenia. Pompy ciepła wykorzystują energię geotermalną pochodzącą z gruntu i wody zalegającej na niewielkich głębokościach. Geotermia płytka (niskotemperaturowa) nie daje możliwości bezpośredniego wykorzystania ciepła ziemi - wymaga ona stosowania pomp ciepła jako urządzeń wspomagających, które doprowadzają do podniesienia energii na wyższy poziom termodynamiczny. W tym przypadku ciepło geotermiczne stanowi dla pompy grzewczej tzw. dolne źródło ciepła, które ze względów ekonomicznych zawsze musi znajdować się w pobliżu miejsca zainstalowania pompy. Dolnym źródłem ciepła, oprócz ciepła geotermicznego, mogą być również inne nośniki, takie jak np.: powietrze atmosferyczne, wody powierzchniowe, ciepło odpadowe powstające w wielu procesach produkcyjnych i technologicznych. O większej atrakcyjności gruntu i wód podziemnych jako dolnego źródła ciepła przesądza jednak stabilność temperaturowa i związana z tym wyższa stabilność energetyczna.

Do pomp ciepła wykorzystujących płytką energię geotermalną zaliczamy:

1. Pompa ciepła typu woda/woda – woda jest pobierana ze studni zasilających, a następnie kierowana na wymiennik ciepła, w którym znajduje się parownik. Ciepło jest oddawane czynnikowi niskowrzącemu. Wodę ze studni zasilających po przejściu przez wymiennik transportuje się studnią chłonną z powrotem do gruntu.
2. Pompa ciepła typu solanka/woda. W tym celu wykorzystuje się dwa różne typy wymienników:
  - Sondy głębinowe (wymienniki pionowe) – umieszczone w gruncie w odwiertach o głębokości zwykle do 100 m.
  - Kolektor gruntowy rurowy (wymienniki poziome) – układany poziomo, około 20 cm poniżej lokalnej strefy przemarzania.



### *Pompa ciepła typu woda/woda*

Woda może stanowić bardzo efektywne dolne źródło ciepła dla pompy ciepła. Największy potencjał energetyczny ma woda odpadowa z procesów technologicznych, a najłatwiejsza do pozyskania jest woda pobierana bezpośrednio ze środowiska. Temperatura wody zasilającej pompę ciepła nie powinna być niższa niż 7°C.

Z wód powierzchniowych (mogą być to rzeki, stawy) woda przetłaczana jest pompą eksploatacyjną bezpośrednio do parownika. Zaletą tego rozwiązania jest niski koszt, jednak wody powierzchniowe cechują duże roczne wahania temperatury.

W przypadku wód podziemnych, najpowszechniej wykorzystuje się wody gruntowe. W celu ich zagospodarowania wierce się zazwyczaj dwa otwory w odległości od siebie około 15-20 metrów. Ze studni czerpalnej pobierana jest woda, która po oddaniu ciepła w parowniku, wtłaczana jest z powrotem do gruntu studnią chłonną. Woda w obiegu tym schładzana jest o około 4-5°C. Zaletą tego rozwiązania jest stabilność temperatury źródła, wady to dość wysokie koszty inwestycyjne i możliwość pojawienia się zanieczyszczeń oraz wystąpienia korozji oraz utrata właściwości chłonnych studni przeznaczonych do zrzutu schłodzonej wody.

Mimo, iż rozwiązanie z dwoma studniami głębinowymi jest najlepsze pod względem energetycznym (największa ilość pozyskiwanego ciepła) to jednak instalacje tego typu nie są zbyt popularne. Mała popularność tego rozwiązania spowodowana jest głównie trudnościami z zatłaczaniem schłodzonej wody do studni chłonnej. W tym przypadku z biegiem czasu będzie następowała kolmatacja studni chłonnej, a co za tym idzie zmniejszanie się ilości ciepła, które będzie stanowiło dolne źródło dla pompy ciepła.

### *Pompa ciepła typu solanka/woda*

Najbardziej rozpowszechnione są pompy ciepła pobierające energię z gruntu za pomocą gruntowego wymiennika ciepła, przez który przepływa ciecz niezamarzająca zwana solanką. Pompy ciepła typu solanka/woda wysoką pozycję na rynku zdobyły ze względu na bardzo dobre parametry eksploatacyjne i niezależność od zmian temperatury zewnętrznej. Obieg solanki jest zamknięty. Zastosowanie niezamarzającego płynu jest bardzo istotne, ponieważ solanka ochłodzona w parowniku, zanim ponownie odbierze ciepło z gruntu, może osiągnąć temperaturę niższą od 0°C. Wymiennikiem gruntowym może być kolektor płaski, spiralny lub pionowy. Pompy ciepła typu solanka/woda mają niższą efektywność niż te same urządzenia

wykorzystujące wodę jako dolne źródło ciepła, ponieważ temperatura solanki jest niższa niż temperatura wody.

Zazwyczaj w obwodzie dolnego źródła ciepła, którym jest kolektor ziemny, znajduje się ciecz niezamarzająca do około  $-15^{\circ}\text{C}$ . Mimo to sama pompa ciepła ma zabezpieczenie elektroniczne, które wyłącza urządzenie wtedy, gdy temperatura w obwodzie kolektora ziemnego osiągnie temperaturę  $-7^{\circ}\text{C}$ . Ma to na celu z jednej strony zabezpieczenie wymienników ciepła przed zamarznięciem i rozsądzeniem ich od środka a z drugiej chroni pompę grzejącą przed nieefektywną pracą.

### *Wymiennik pionowy*

Pionowe wymienniki ciepła zwane popularnie sondami ziemnymi wykorzystują głównie ciepło pochodzenia geotermicznego. Stosowane mogą być w przypadku, kiedy wymiary działki nie pozwalają na zastosowanie wymienników poziomych. Wymiennik pionowy wykorzystuje odwierty których głębokości wynoszą zazwyczaj powyżej 20 m, w których umieszczone są rury w kształcie litery U, w których krąży niezamarzający czynnik neutralny dla środowiska, pobierający ciepło z gruntu i oddający je w pompie ciepła. Na ogół stosuje się kilka sond, a ich ilość zależy od ilości ciepła jakie należy pobrać z gruntu. Bardzo ważne w tym przypadku będzie dobranie odpowiednich odległości pomiędzy poszczególnymi sondami. Należy dążyć do takiej koncentracji sond względem siebie, aby przepływające wody gruntowe nie przenosiły oziębienia z jednej sondy na drugą. Dobór pionowych wymienników ciepła jest bardzo mocno uzależniony od warunków geologicznych i hydrologicznych. Strumień ciepła doprowadzanego do wymiennika zależy głównie od rodzaju gruntu (Tabela 1).

Tabela 1 Współczynnik mocy cieplnej pobieranej z gruntu przez wymiennik pionowy przy 2400 h pracy<sup>43</sup>

Rodzaj gruntu	Współczynnik mocy cieplnej przy 2400 h pracy [W/m]
Żwir, piasek - suche	< 20
Żwir, piasek - zawodniony	55 - 65
Żwir, piasek – silnie zawodniony	80 - 100
Ił, glina	30 - 40
Wapień (masywny)	45 - 60
Piaskowiec	55 - 65
Kwaśne skały magmowe	55 - 70
Zasadowe skały magmowe	35 - 55
Gnejs	60 - 70

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

Ponieważ w praktyce prawie zawsze stosuje się kilka sond jednocześnie, to pojawia się kwestia ich wzajemnego usytuowania. Odległość jednej sondy od drugiej nie powinna wynosić mniej niż 5 m<sup>44</sup>. Im głębsza sonda tym większy musi być odstęp. Np. sondy o głębokości 100 m wymagają odległości około 10 m. Istotne jest też usytuowanie sond w stosunku do kierunku przepływu wód gruntowych. Chodzi o to, aby przepływająca woda gruntowa ochłodzona przez jedną sondę nie schładzała sondy sąsiedniej. Najlepszym rozwiązaniem byłoby umieszczenie sond w jednym rzędzie prostopadłym do kierunku przepływu wód gruntowych i podziemnych.

#### *Wymiennik poziomy*

Ciepła akumulowane jest w warstwie gruntu o grubości około 10 m, na tej głębokości temperatura równa jest średniej rocznej temperaturze powietrza. W naszych warunkach klimatycznych wynosi ona około 10°C. Jednak ze względu wysokość kosztów inwestycyjnych poziome gruntowe wymienniki ciepła układane są na głębokości 1,2 - 1,5 m. Na tej głębokości temperatura gruntu zmienia się sinusoidalnie w przekroju rocznym i wynosi około 17°C w lipcu i około 5°C w styczniu. Odbiór ciepła z gruntu na tej głębokości jest w okresie letnim w pełni zrekompensowany i nie powoduje zakłócenia wegetacji roślin powyżej wymiennika ciepła.

<sup>43</sup> Kapuściński J., Rodzoch A.: Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie: stan aktualny i perspektywy rozwoju: uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Warszawa, 2010.

<sup>44</sup> Kapuściński J., Rodzoch A.: Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie: stan aktualny i perspektywy rozwoju: uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Warszawa, 2010.

Gruntowe poziome wymienniki ciepła mogą być wykonywane w różnych konfiguracjach: jako układy płaskie szeregowe lub wężownicowe oraz spiralne. Wymienniki wykonywane są przeważnie z rur tworzywowych (PVC, polietylenowych, polipropylenowych lub polibutylenowych) układanych w gruncie na głębokości 1,2 - 1,5 m. W zasadzie rury wymienników powinny być układane na głębokości około 30 cm poniżej głębokości przemarzania gruntu.

Przyrost temperatury nośnika ciepła w wymienniku gruntowym wynosi 3 - 4 K, a gęstość strumienia ciepła przejmowanego od gruntu zależy od jego rodzaju, a przede wszystkim wilgotności. W przypadku gruntów nasyconych wodą gęstość strumienia pobieranego ciepła przekracza 30 W/m<sup>2</sup>, a gruntach suchych nie przekracza 10 W/m<sup>2</sup> (Tabela 2).

Tabela 2 Współczynnik mocy cieplnej pobieranej z gruntu

Rodzaj gruntu	Jednostkowa moc cieplna pobrana z gruntu [W/m <sup>2</sup> ]
Suche, niezwiązane podłoże	8
Podłoże związane, wilgotne	16-24
Podłoże nasycone wodą, piasek, żwir	32

Źródło: Kapuściński J., Rodzoch A.: Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie: stan aktualny i perspektywy rozwoju: uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Warszawa, 2010.

Dobór niezbędnej długości rur wymiennika gruntowego zależy głównie od dwóch czynników. Od mocy jaka ma być pobierana z gruntu i od jego wydajności cieplnej. Rury poziomego gruntowego wymiennika ciepła muszą być układane z zachowaniem minimalnego odstępu co powoduje, że kolektor taki musi zajmować odpowiednią powierzchnię działki. Dodatkowo rury wymiennika nie mogą być ułożone pod podjazdami, wybrukowanymi lub wybetonowanymi przejazdami, terenami zalesionymi lub nawet pod pojedynczo rosnącymi drzewami. W przypadku drzew chodzi nie tylko o ewentualną kolizję korzeni i rur ale także o to, że grunt zacieniony nie akumuluje tyle ciepła co grunt odkryty.

Do analiz porównawczych w zakresie wykorzystania geotermii płytkiej w wybranych lokalizacjach wybrano rozwiązanie polegające na zabudowie wymienników pionowych, które charakteryzują się większą efektywnością grzewczą w stosunku do kolektorów poziomych, stabilnością temperaturą dolnego źródła oraz niewielką powierzchnią zajmowanego terenu. W tym celu porównano przypowierzchniową budowę geologiczną w rejonie analizowanych lokalizacji i określono współczynnik mocy cieplnej możliwej do pozyskania ze 100 m odwiertu.

#### 4.3.1. Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie

Przypowierzchniową budowę geologiczną rejonu Czeremchy przeanalizowano na podstawie Szczegółowej mapy geologicznej Polski (arkusz 459 – Czeremcha).<sup>45</sup> Obszar osady Czeremcha położony jest na utworach czwartorzędowych, wieku plejstoceniowego, datowanych na stadiał dolny zlodowacenia Warty, należącego do zlodowaceń środkowopolskich. Osady te wykształcone są jako piaski i żwiry wodnolodowcowe, gliny zwałowe, lokalnie przykryte piaskami eluwialnymi i eolicznymi. Poniżej zalegają piaski i mułki rzeczno-jeziorne oraz tory interglacjału mazowieckiego oraz piaski i żwiry fluwioglacjalne oraz mułki łą i piaski zastoiskowe zaliczane do zlodowacenia Sanu 2. Głębiej występują osady zlodowacenia Nidy – gliny zwałowe oraz piaski i żwiry wodnolodowcowe. Od głębokości około 100 m zalegają utwory neogenu, miocenu – piaski i mułki z przewarstwieniami węgla brunatnego (rys. 43).

Na podstawie przewidywanego profilu geologicznego określono, że współczynnik mocy cieplnej w rejonie Czeremchy wynosi około 4605 W/100 m odwiertu (Tabela 3).

---

<sup>45</sup> Kmieciak M.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 459 – Czeremcha. PIG-PIG, Warszawa, 2007.

Tabela 3 Przewidywany profil geologiczny i współczynnik mocy cieplnej otworu do 100 m w lokalizacji Czeremcha

Głębokość od - do [m]	Stratygrafia	Profil litologiczny	Miąższość [m]	Średni współczynnik mocy cieplnej [W/m] przy 2400 godzinach pracy	Iloczyn współczynnika mocy cieplnej [W/m] i miąższości otworu [m]
0,0 – 2,0	Czwartorzęd	Gliny zwałowe	2,0	35 W/m	2 m x 35 W/m= 70 W
2,0 – 10,0		Piaski, suche	8,0	20 W/m	8 m x 20 W/m= 160 W
10,0 - 36,0		Gliny zwałowe	26,0	35 W/m	26 m x 35 W/m= 910 W
36,0-45,0		Piaski zawodnione	9,0	60 W/m	9 m x 60 W/m = 540 W
45,0-55,0		Mułki i ropy zastoiskowe	10,0	35 W/m	10 m x 35 W/m= 350 W
55,0-85,0		Gliny zwałowe	35,0	35 W/m	35 m x 35 W/m= 1225 W
85,0-100,0		Piaski, silnie zawodnione	15,0	90 W/m	15 m x 90 W/m= 1350 W
<b>Razem:</b>					<b>4605 W</b>

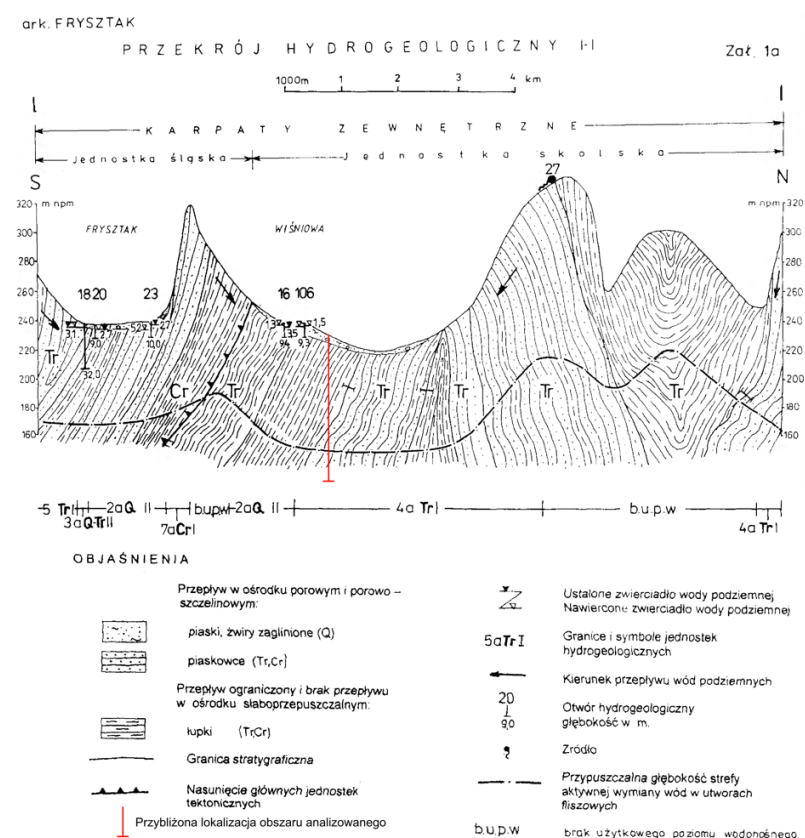
Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o



### 4.3.2. Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie

Przypowierzchniową budowę geologiczną rejonu Wiśniowej przeanalizowano na podstawie Szczegółowej mapy geologicznej Polski (arkusz 1003 – Frysztak).<sup>46</sup> Obszar wsi Wiśniowa położony jest na cienkiej pokrywie utworów czwartorzędowych, wieku holoceniowego, wykształconych jako żwiry, piaski i gliny (mady) rzeczne tarasów nadzalewowych. Poniżej zalegają lessy i mułki lessopodobne wieku plejstoceniowego, zaliczane do zlodowacenia Wisły. Głębiej występują skały fliszowe zaliczane do warstw krośnieńskich, wykształcone jako piaskowce oraz mułowce i iłowce (rys. 44).

Na podstawie przewidywanego profilu geologicznego określono, że współczynnik mocy cieplnej w rejonie Wiśniowej wynosi około 4625 W/100 m odwiertu (Tabela 4).



Rys. 44. Przekrój hydrogeologiczny w rejonie Wiśniowej zgodnie z Objaśnieniami do Mapy hydrogeologicznej Polski (arkusz 1003 – Frysztak)<sup>47</sup>

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

<sup>46</sup> Birkenmajer-Szymakowska F. i in.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 1003 – Frysztak. PIG-PIG, Warszawa, 2009.

<sup>47</sup> Chowaniec J., Witek K.: Mapa hydrogeologiczna Polski, arkusz 1003 – Frysztak. PIG-PIB, Warszawa, 1998.



Tabela 4 Przewidywany profil geologiczny i współczynnik mocy cieplnej otworu do 100 m w lokalizacji Wiśniowa

Głębokość od - do [m]	Stratygrafia	Profil litologiczny	Miąższość [m]	Średni współczynnik mocy cieplnej [W/m] przy 2400 godzinach pracy	Iloczyn współczynnika mocy cieplnej [W/m] i miąższości otworu [m]
0,0 – 5,0	Czwartorzęd	Piaski, zawodnione	5,0	60 W/m	5 m x 60 W/m = 300 W
5,0 – 10,0		Lessy	5,0	35 W/m	8 m x 20 W/m = 175 W
10,0 - 60,0	Paleogen + neogen	łłowce	50,0	35 W/m	50 m x 35 W/m = 1750 W
60,0 - 100,0		Piaskowce	40,0	60 W/m	40 m x 60 W/m = 2400 W
<b>Razem:</b>					<b>4625 W</b>

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.3.3. Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie

Przypowierzchniową budowę geologiczną rejonu CPK przeanalizowano na podstawie Szczegółowej mapy geologicznej Polski (arkusz 557 – Żyrardów).<sup>48</sup> Obszar CPK położony jest na utworach czwartorzędowych, wieku plejstoceniowego, datowanych na zlodowacenie Warty, należące do zlodowaceń środkowopolskich. Osady te wykształcone są jako gliny zwałowe, lokalnie przykryte utworami holocenu. Poniżej zalegają ropy, mułki i piaski zastoiskowe. Głębiej występują osady zlodowacenia Sanu – ropy, mułki i piaski zastoiskowe. Poniżej stwierdzono gliny zwałowe zlodowacenia Nidy. Od głębokości około 90 m zalegają utwory neogenu, pliocenu – ropy, miejscami mułki i piaski. (rys. 45).

Na podstawie przewidywanego profilu geologicznego określono, że współczynnik mocy cieplnej w rejonie CPK wynosi około 4125 W/100 m odwiertu (Tabela ).

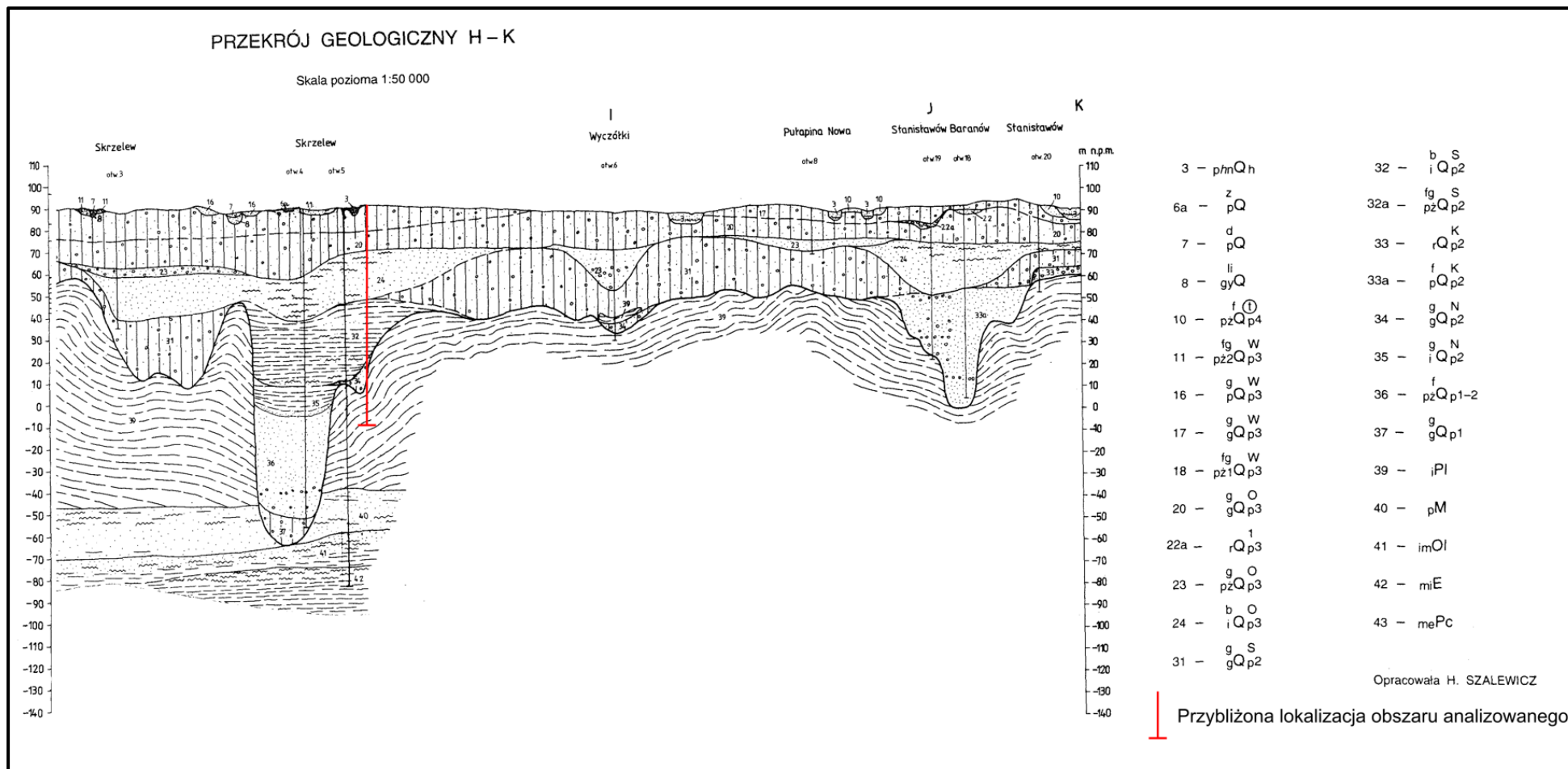
---

<sup>48</sup> Szalewicz H.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 557 – Żyrardów. PIG-PIG, Warszawa, 1993.

Tabela 20. Przewidywany profil geologiczny i współczynnik mocy cieplnej otworu do 100 m w lokalizacji CPK

Głębokość od - do [m]	Stratygrafia	Profil litologiczny	Mięższość [m]	Średni współczynnik mocy cieplnej [W/m] przy 2400 godzinach pracy	Iloczyn współczynnika mocy cieplnej [W/m] i miąższości otworu [m]
0,0 – 20,0	Czwartorzęd	Gliny zwałowe	20,0	35 W/m	20 m x 35 W/m= 700 W
20,0 – 45,0		Piaski i mułki, zawodnione	25,0	60 W/m	25 m x 60 W/m= 1500 W
45,0 – 75,0		Iły, mułki	30,0	35 W/m	30 m x 35 W/m= 1050 W
75,0-90,0		Gliny zwałowe	15,0	35 W/m	15 m x 35 W/m = 525 W
90,0-100,0		Iły, mułki	10,0	35 W/m	10 m x 35 W/m= 350 W
<b>Razem:</b>					<b>4125 W</b>

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o



Rys. 45. Przekrój geologiczny w rejonie CPK zgodnie ze Szczegółową mapą geologiczną Polski (arkusz 557 – Żyrardów)  
Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.3.4. Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie

Przypowierzchniową budowę geologiczną rejonu Tarnowa Podgórniego przeanalizowano na podstawie Szczegółowej mapy geologicznej Polski (arkusz 470 – Buk).<sup>49</sup> Obszar Tarnowa Podgórniego położony jest na utworach czwartorzędowych, wieku plejstoceniowego, datowanych na stadiał pomorsko-leszczyński zlodowacenia Bałtyckiego, należącego do zlodowaceń północnopolskich. Osady te wykształcone są jako piaski i żwiry wodnolodowcowe. Poniżej zalegają piaski i żwiry wodnolodowcowe dolne na łąkach, mułkach i piaskach zastoiskowych. Głębiej występują osady zlodowacenia Warty – gliny zwałowe oraz gliny zwałowe oraz piaski i żwiry wodnolodowcowe z przewarstwieniami mułków i łąków zlodowacenia Odry. Poniżej stwierdzono gliny zwałowe zlodowaceń południowopolskich. Od głębokości około 55 m zalegają utwory neogenu, miocenu – łąki, miejscami mułki i piaski warstw poznańskich górnych. (rys. 46).

Na podstawie przewidywanego profilu geologicznego określono, że współczynnik mocy cieplnej w rejonie Tarnowa Podgórniego wynosi około 3950 W/100 m odwiertu (Tabela ).

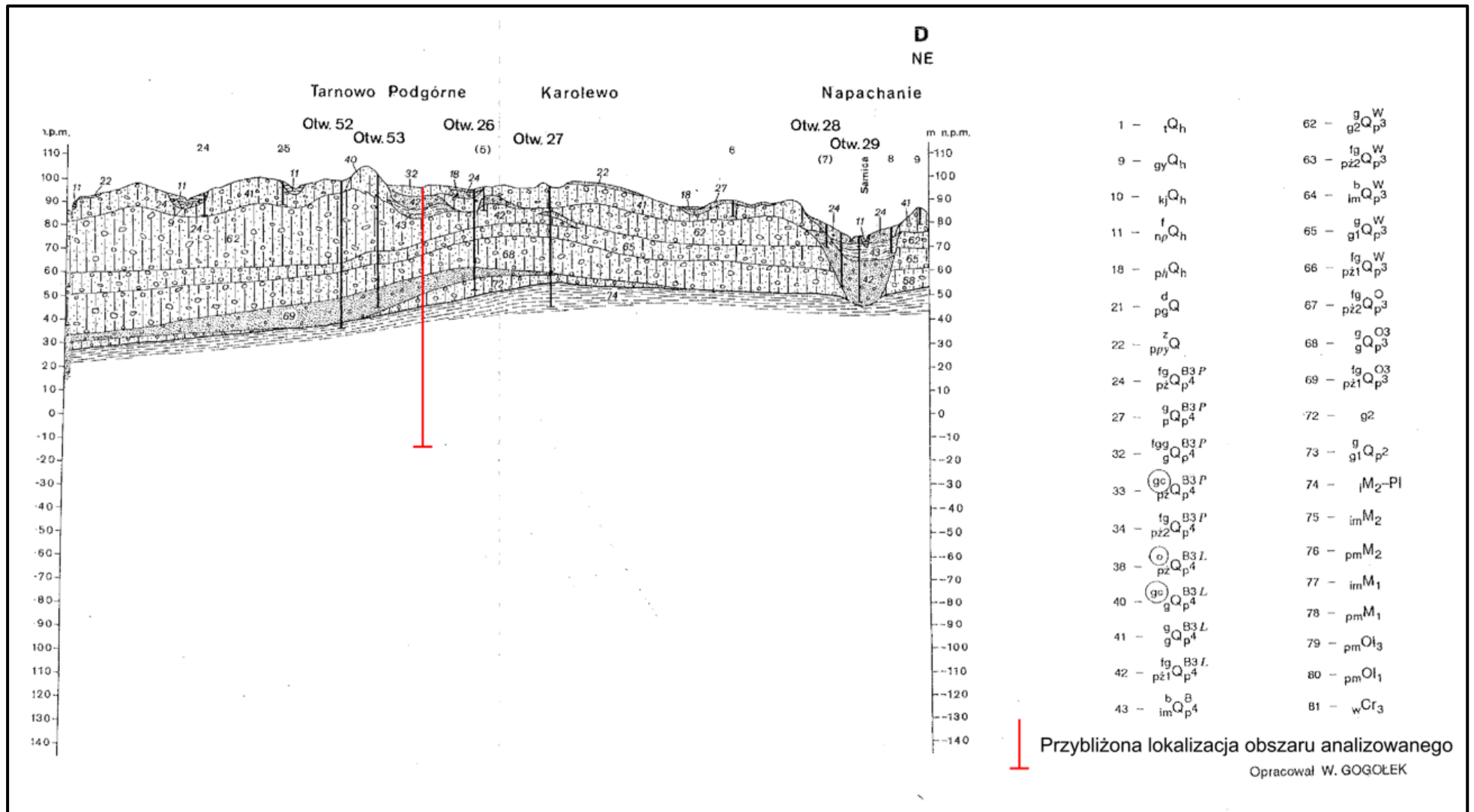
---

<sup>49</sup> Gogołek W.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 470 – Buk. PIG-PIG, Warszawa, 1992.

Tabela 21. Przewidywany profil geologiczny i współczynnik mocy cieplnej otworu do 100 m w lokalizacji Tarnowo Podgórne

Głębokość od - do [m]	Stratygrafia	Profil litologiczny	Mięższość [m]	Średni współczynnik mocy cieplnej [W/m] przy 2400 godzinach pracy	Iloczyn współczynnika mocy cieplnej [W/m] i mięższości otworu [m]
0,0 – 5,0	Czwartorzęd	Piaski suche	5,0	20 W/m	5 m x 20 W/m= 100 W
5,0 – 15,0		Piaski różnoziarniste, zawodnione	10,0	60 W/m	10 m x 60 W/m= 600 W
15,0 – 20,0		Iły, mułki	5,0	35 W/m	5 m x 35 W/m= 175 W
20,0-45,0		Gliny zwałowe	25,0	35 W/m	25 m x 35 W/m = 875 W
45,0-50,0		Piaski różnoziarniste, silnie zawodnione	5,0	90 W/m	5 m x 90 W/m= 450 W
50,0-55,0		Gliny zwałowe	5,0	35 W/m	5 m x 35 W/m= 175 W
55,0-100,0		Iły, mułki	45,0	35 W/m	45 m x 35 W/m= 1575 W
<b>Razem:</b>					<b>3950 W</b>

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o



Rys. 46. Przekrój geologiczny w rejonie Tarnowa Podgórne zgodnie ze Szczegółową mapą geologiczną Polski (arkusz 470 – Buk)  
 Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.3.5. Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie

Przypowierzchniową budowę geologiczną terenu Biskupic i Pobiedzisk przeanalizowano na podstawie Szczegółowej mapy geologicznej Polski (arkusz 472 – Swarzędz i 473 – Pobiedziska).<sup>50</sup> Na obszarze w okolicach Biskupic i Pobiedzisk miąższość osadów czwartorzędowych wynosi około 30,0 m. Na omawianym terenie ciągłą pokrywę leżącą pod osadami zlodowaceń północnopolskich tworzą gliny zwałowe, których miąższość w rejonie Pobiedzisk wynosi 15,0 metrów. Piaski i żwiry wodnolodowcowe zlodowacenia północnopolskiego osiągają na omawianym terenie miąższości do ok. 30,0 m. Pod nimi zalegają gliny zwałowe zlodowacenia środkowopolskiego i starsze utwory neogeńskie wykształcone głównie jako ily, miejscami mułki ilaste, piaski z wkładkami węgla brunatnego (warstwy poznańskie) (rys. 47.).

Na podstawie przewidywanego profilu geologicznego określono, że współczynnik mocy cieplnej w rejonie Biskupic i Pobiedzisk wynosi około 4725 W/100 m odwiertu (Tabela ).

---

<sup>50</sup> Miętkiewicz M., Sydow S.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 473 – Pobiedziska PIG-PIB, Warszawa, 2004.  
Cincio Z.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 472 – Swarzędz PIG-PIB, Warszawa, 1996.





Tabela 22. Przewidywany profil geologiczny i współczynnik mocy cieplnej otworu do 100 m w lokalizacji Biskupice i Pobiedziska

Głębokość od - do [m]	Stratygrafia	Profil litologiczny	Miąższość [m]	Średni współczynnik mocy cieplnej [W/m] przy 2400 godzinach pracy	Iloczyn współczynnika mocy cieplnej [W/m] i miąższości otworu [m]
0,0 – 15,0	Czwartorzęd	Gliny zwałowe	15,0	35 W/m	15 m x 35 W/m = 300 W
15,0 – 55,0	Paleogen + neogen	Piaski i żwiry	40,0	65 W/m	40 m x 60 W/m = 175 W
55,0 - 100,0	Neogen	Iły	45,0	40 W/m	45 m x 40 W/m = 2400 W
<b>Razem:</b>					<b>4725 W</b>

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.3.6. Porównanie i podsumowanie

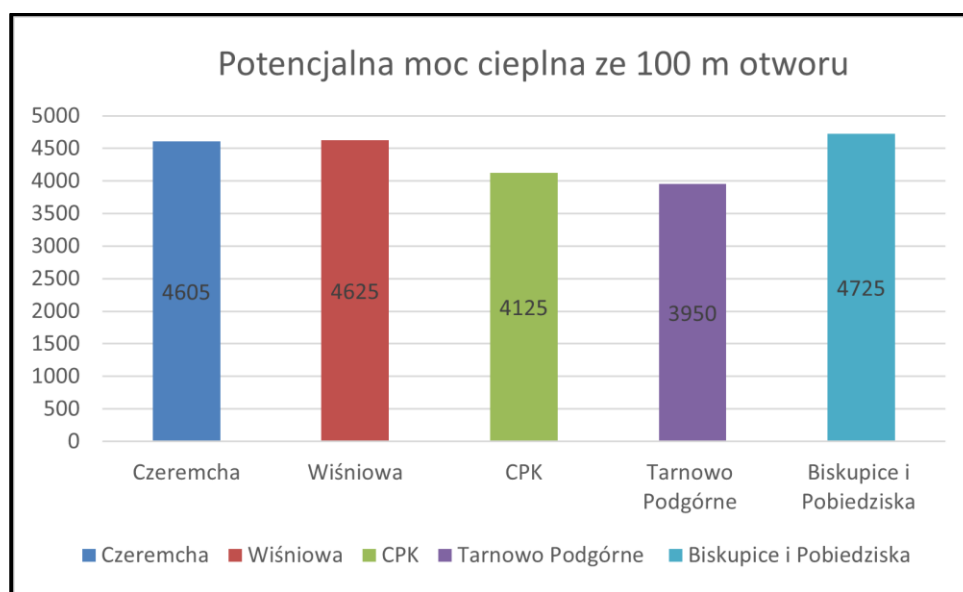
Podczas szacowania mocy cieplnej możliwej do uzyskania z płytkiej geotermii w analizowanych obszarach geotermalnego określono przewidywany profil geologiczny do głębokości 100 m i na tej podstawie określono moc cieplną możliwą do uzyskania z jednego stumetrowego odwiertu. Porównanie oszacowanej mocy cieplnej możliwej do uzyskania przedstawiono na rys. 48 i w Tabeli .

Najwyższa możliwa do uzyskania moc cieplna oszacowana została w lokalizacjach Wiśniowa, Czeremcha oraz Biskupice i Pobiedziska (>4500 W/100 m). Również lokalizacje w rejonie CPK oraz Tarnowo Podgórne charakteryzują się wysokim potencjałem płytkiej geotermii (ok. 4000 W/100m).

Tabela 23. Porównanie możliwej do uzyskania mocy cieplnej ze 100 m odwiertu w analizowanych rejonach

Parametr	Jednostka	Czeremcha	Wiśniowa	CPK	Tarnowo Podgórne	Biskupice i Pobiedziska
Potencjalna moc cieplna ze 100 m otworu	[W]	4605	4625	4125	3950	4725

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o



Rys. 48. Porównanie mocy cieplnej otworów w wybranych lokalizacjach

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

Podkreślić należy, że rzeczywista moc cieplna uzyskiwana z 1 metra otworu rzadko odpowiada orientacyjnie wyznaczonej mocy na etapie projektowania instalacji. Dlatego też, w przypadku większych inwestycji, koryguje się założenia projektowe po odwiercieniu pierwszego otworu, co oznacza konieczność zmniejszenia lub zwiększenia sumarycznej długości wymiennika pionowego.<sup>51</sup>

W celu właściwego doboru instalacji w przypadku dużych obiektów wykonuje się test reakcji termicznej TRT, wykonywany w pierwszym z planowanych do odwiercienia otworów. Polega on na iniekcji energii cieplnej o znanej wartości. Na powierzchni prowadzony jest pomiar temperatury cieczy wchodzącej i wychodzącej, co pozwala na określenie przewodności cieplnej otworu wykorzystując równanie przepływu ciepła w funkcji czasu. Wykonanie testu TRT pozwala odpowiedni dobór długości wymiennika pionowego, a co za tym idzie, często zmniejszenie kosztów inwestycji geotermalnej.<sup>52</sup>

W przypadku zainteresowania wykorzystaniem zasobów płytkiej geotermii w jakiejś lokalizacji WAT może przeprowadzić bardziej szczegółowe analizy geologiczne hydrologiczne, jak również stosowne prace projektowe – projekt robót geologicznych, jak również projekty wykonawczy instalacji grzewczej.

#### 4.4. Energia wodna

Energia wodna to energia fal morskich, energia zmagazynowana w stojących zbiornikach wodnych, czy energia płynących rzek. Woda pokrywa zdecydowanie większą część naszego globu i będąc ogromną masą w ciągłym ruchu jest magazynem energii. W turbinach wodnych następuje zamiana energii potencjalnej na kinetyczną, a ta następnie w generatorach zamieniana jest na energię elektryczną. Główne znaczenie dla energetyki mają wody śródlądowe. Energetyka wodna ma aż 22% udziału w całkowitej, światowej produkcji energii elektrycznej i jest w chwili obecnej najbardziej rozpowszechnionym źródłem energii odnawialnej.<sup>53</sup>

W Polsce wykorzystanie energii z zasobów wodnych, stanowi 11% udziału zainstalowanych mocy odnawialnych źródeł energii (dane wg stanu na 2019 rok). To czyni wodę trzecim najpopularniejszym źródłem energii alternatywnej w naszym kraju. Szacuje się, że zasoby hydroenergetyczne w Polsce wynoszą około 13,7 GWh na rok, z czego najwięcej, bo

---

<sup>51</sup> Kapuściński J., Rodzoch A.: Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie: stan aktualny i perspektywy rozwoju: uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Warszawa, 2010.

<sup>52</sup> Kapuściński J., Rodzoch A.: Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie: stan aktualny i perspektywy rozwoju: uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Warszawa, 2010.

<sup>53</sup> <http://seo.org.pl/energetyka-wodna/>

ponad 45%, przypada na Wisłę. Najbardziej znaną elektrownią jest ta w Solinie, zaś największa znajduje się na Pomorzu – w Żarnowcu i ma moc ok. 800 MW.

Istnieje kilka rodzajów elektrowni wodnych, dzielonych ze względu na stosowaną technikę pozyskania energii oraz jej źródła:

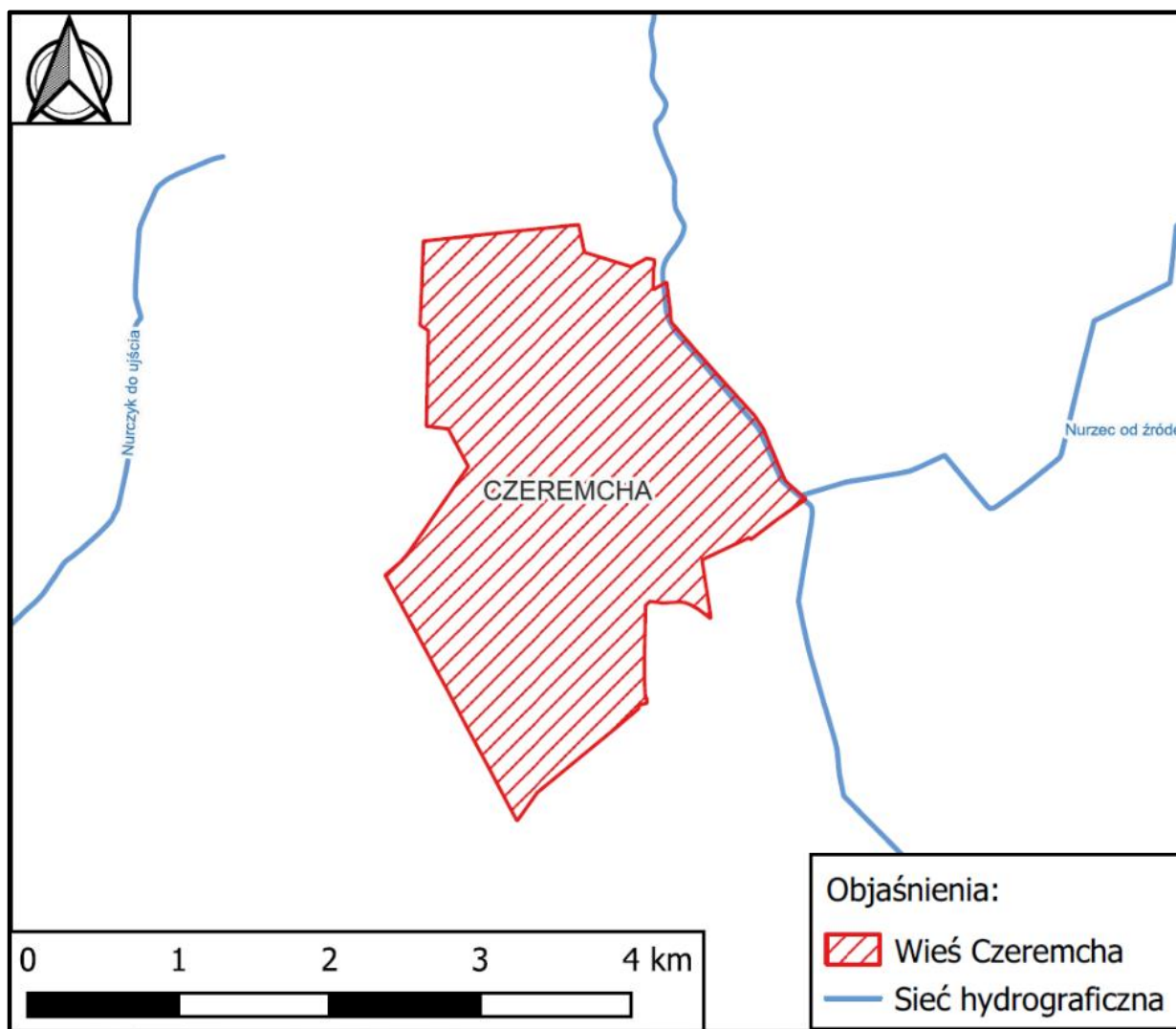
- elektrownie przepływowe – korzystające z siły płynących rzek, najbardziej efektywne w miejscach, gdzie występuje naturalny spadek wody;
- elektrownie zaporowe/regulacyjne – ich działanie opiera się na budowie wysokich zapór, dzięki którym możliwe jest spiętrzenie wody; buduje się je w okolicach jezior lub sztucznych zbiorników wodnych;
- elektrownie szczytowo-pompowe – umożliwiają dostosowanie produkcji energii do aktualnego zapotrzebowania – gdy potrzeby są mniejsze, wodę pompuje się do zbiornika (jeziora naturalnego bądź sztucznego) umieszczonego na wysokości; gdy zapotrzebowanie energetyczne się zwiększa, woda jest uwalniana, a jej energia generuje prąd;
- elektrownie pływowe – bazują na energii prądów i pływów morskich, a także regularnych zmianach poziomu wody w morzach i oceanach;<sup>54</sup>

W wybranych lokalizacjach możliwe do zastosowania są elektrownie przepływowe, wykorzystujące energię wód płynących. Pozostałe typy elektrowni wodnych ze względu na ich sposób działania nie są rozważane. Potencjał analizowanych lokalizacji pod kątem wykorzystania energii wodnej oszacowano na podstawie ich położenia na tle sieci hydrograficznej Polski (rys. 49-53).

---

<sup>54</sup> <https://eon.pl/dla-domu/portal-o-odnawialnych-zrodlach-energii/zielona-energia/energia-wodna-jak-powstaje-jak-jest-wykorzystywana>

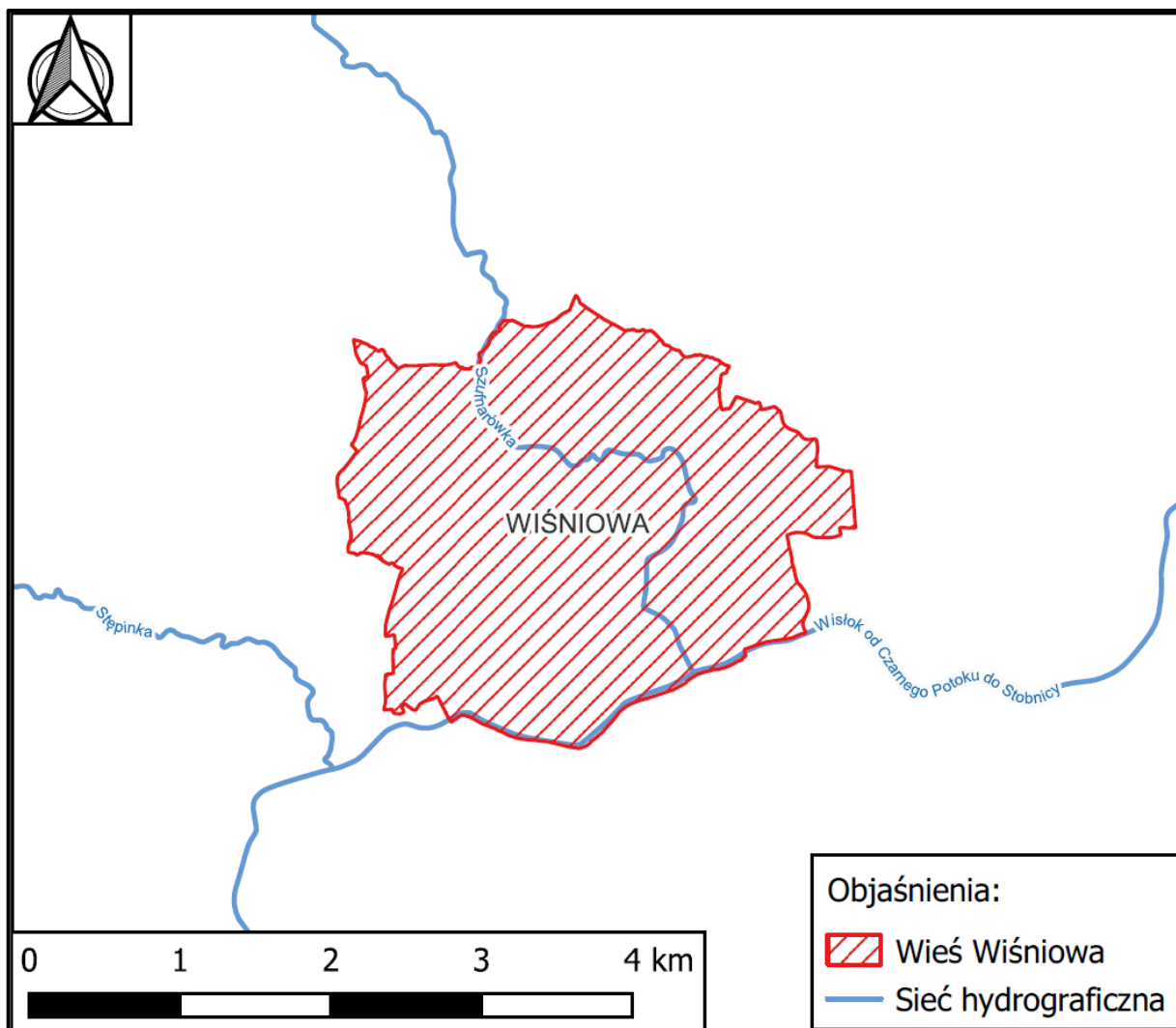
#### 4.4.1. Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie



Rys. 49. Lokalizacja m. Czeremcha na tle sieci hydrograficznej

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

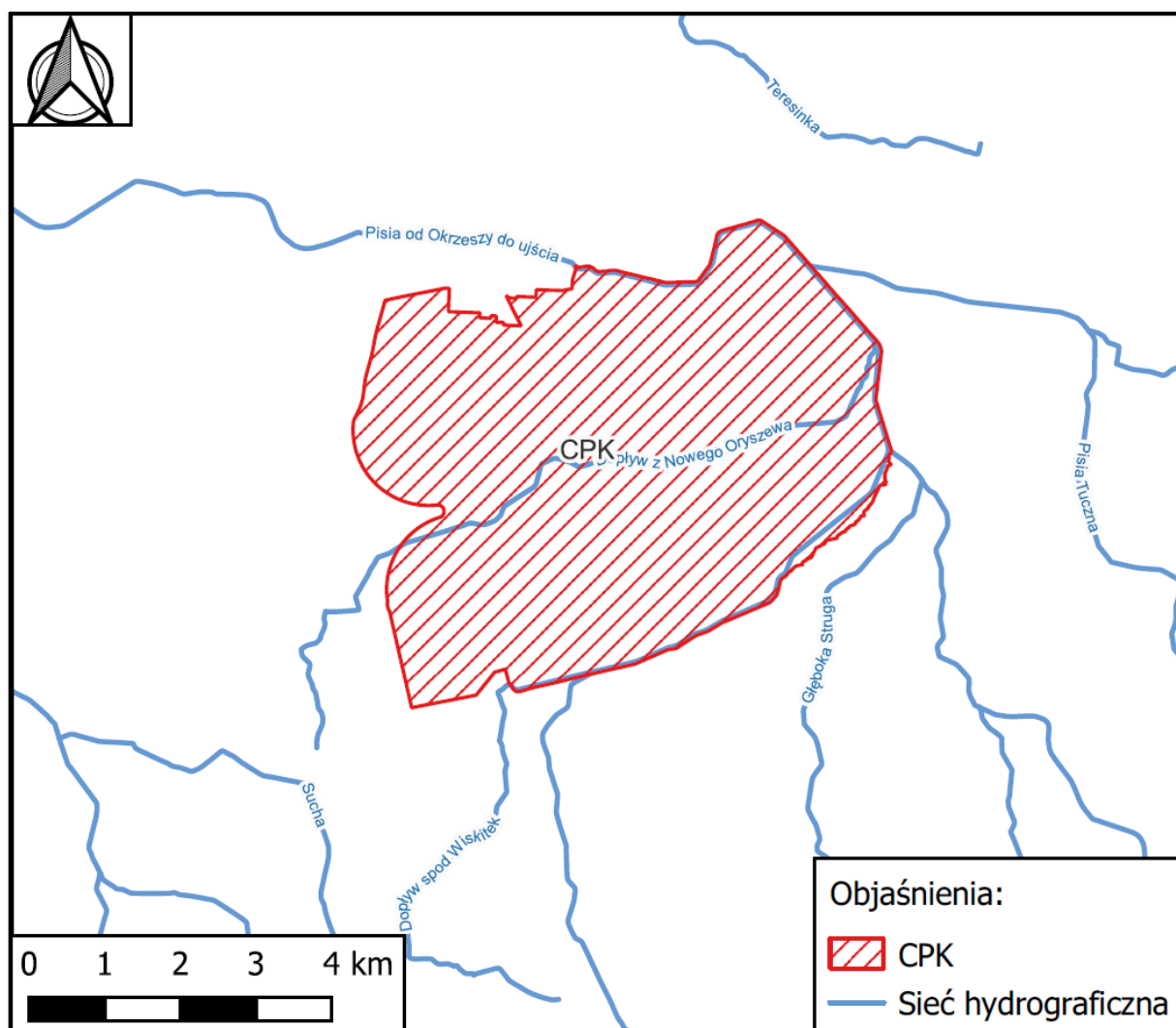
#### 4.4.2. Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie



Rys. 50. Lokalizacja m. Wiśniowa na tle sieci hydrograficznej

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.4.3. Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie

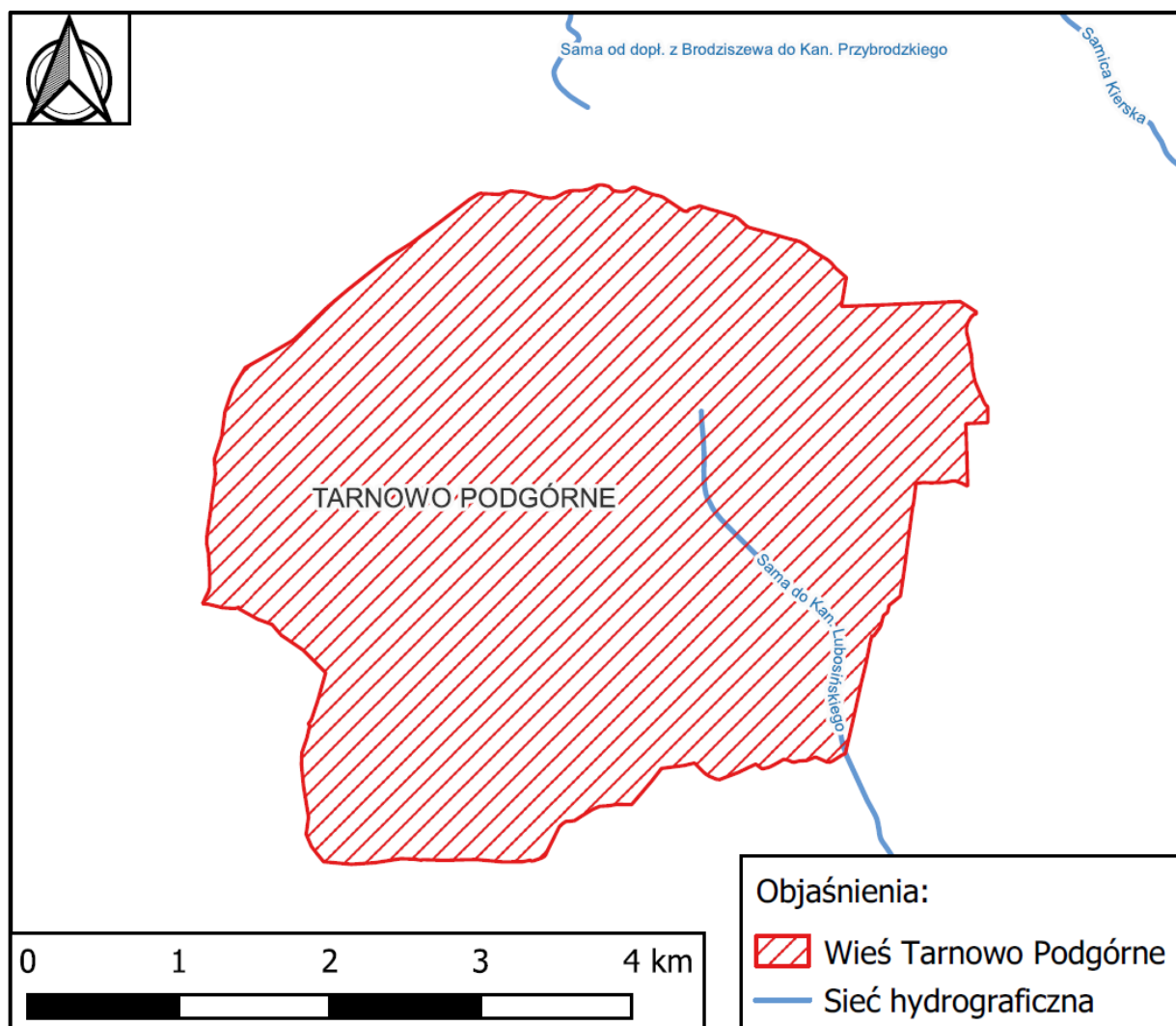


Rys. 51. Lokalizacja CPK na tle sieci hydrograficznej

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o



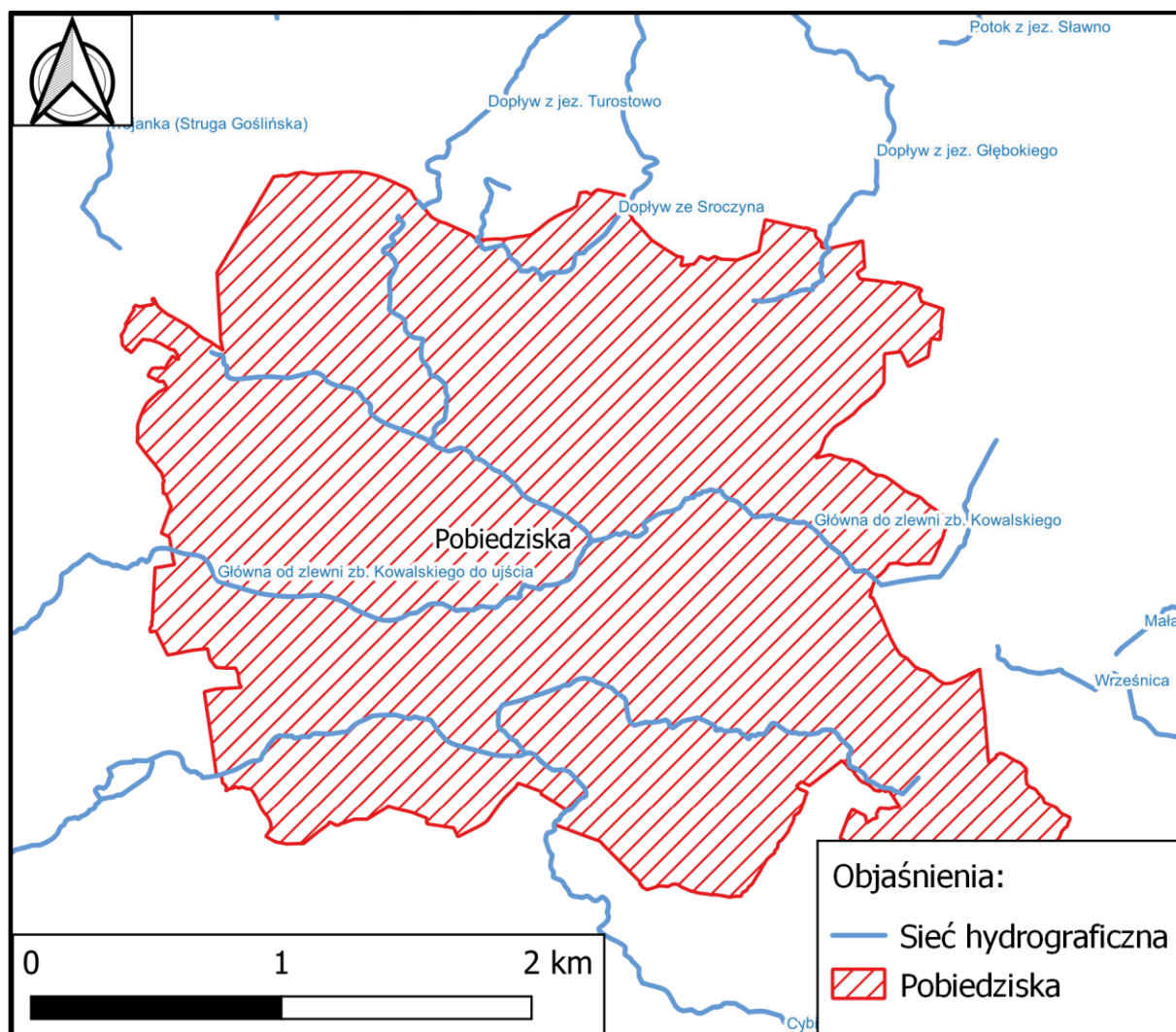
#### 4.4.4. Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie



Rys. 52. Lokalizacja m. Tarnowo Podgórne na tle sieci hydrograficznej

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.4.5. Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie



Rys. 53. Lokalizacja m. Biskupice i Pobiedziska na tle sieci hydrograficznej

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.4.6. Porównanie i podsumowanie

Porównując położenie analizowanych lokalizacji stwierdza się wstępnie, że potencjał wykorzystania energetyki wodnej mogą posiadać lokalizacje: CPK, Wiśniowa, gdzie zlokalizowane są rzeki, których przepływy mogą być wystarczająco duże do uruchomienia małych elektrowni wodnych, odpowiednio: Pisia, Wisłok. W pozostałych lokalizacjach występują wyłącznie niewielkie potoki lub ciekły, których potencjał do wykorzystania w celach energetycznych jest niewielki lub pomijalny. Ale pomimo to w przypadku niewielkiego spiętrzenia wody (budowa mini zapory, spad około 2-3 m, na rzeczkach Nurzec, w pobliżu m. Czeremcha lub rzeczka Szufnarówka w m. Wiśniowa, budowa takiej elektrowni jest możliwa,

a koszt jej budowy wynosi ok. 1 mln zł netto. Można dzięki temu otrzymać stabilne, tanie w utrzymaniu źródło energii elektrycznej, o mocy ok 30-50 KW. W przypadku zainteresowania wykorzystaniem zasobów energii kinetycznej wody w jakiejś lokalizacji WAT może przeprowadzić bardziej szczegółowe analizy hydrologiczne, jak również stosowne prace projektowe.

Tabela 24. Porównanie położenia analizowanych lokalizacji na tle sieci hydrograficznej

Lp.	Obiekt	Lokalizacja				
		Czeremcha	Wiśniowa	CPK	Tarnowo Podgórne	Biskupice i Pobiedziska
1	Nazwa	Nurzec od źródeł do Nurczyka	Szufnarówka	Dopływ z Nowego Oryszewa	Sama do Kan. Lubosińskiego	Dopływ z jez. Turostowo
	Typ	Potok lub strumień na obszarze będącym pod wpływem procesów torfotwórczych	Potok fliszowy	Potok nizinny piaszczysty	Ciek łączący jeziora	Potok lub strumień na obszarze będącym pod wpływem procesów torfotwórczych
2	Nazwa		Wisłok od Czarnego Potoku do Stobnicy	Pisia od Okrzeszy do ujścia		Cybina
	Typ		Mała rzeka fliszowa	Rzeka nizinna piaszczysto-gliniasta		Potok nizinny piaszczysty
3	Nazwa		Dopływ spod Wiskitek	Główna do zlewni zb. Kowalskiego		
	Typ		Potok nizinny piaszczysty			Ciek łączący jeziora
4	Nazwa		Dopływ ze Sroczyzna			
	Typ			Potok nizinny piaszczysty		
5	Nazwa		Główna do zlewni zb. Kowalskiego do ujścia			
	Typ		Kanały i zbiorniki zaporowe			
6	Nazwa		Dopływ z jez. Głębokiego			
	Typ		Potok nizinny lessowy lub gliniasty			
<b>Potencjał energetyki wodnej</b>		<b>Brak</b>	<b>Umiarkowany</b>	<b>Umiarkowany</b>	<b>Brak</b>	<b>Brak</b>

Zródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

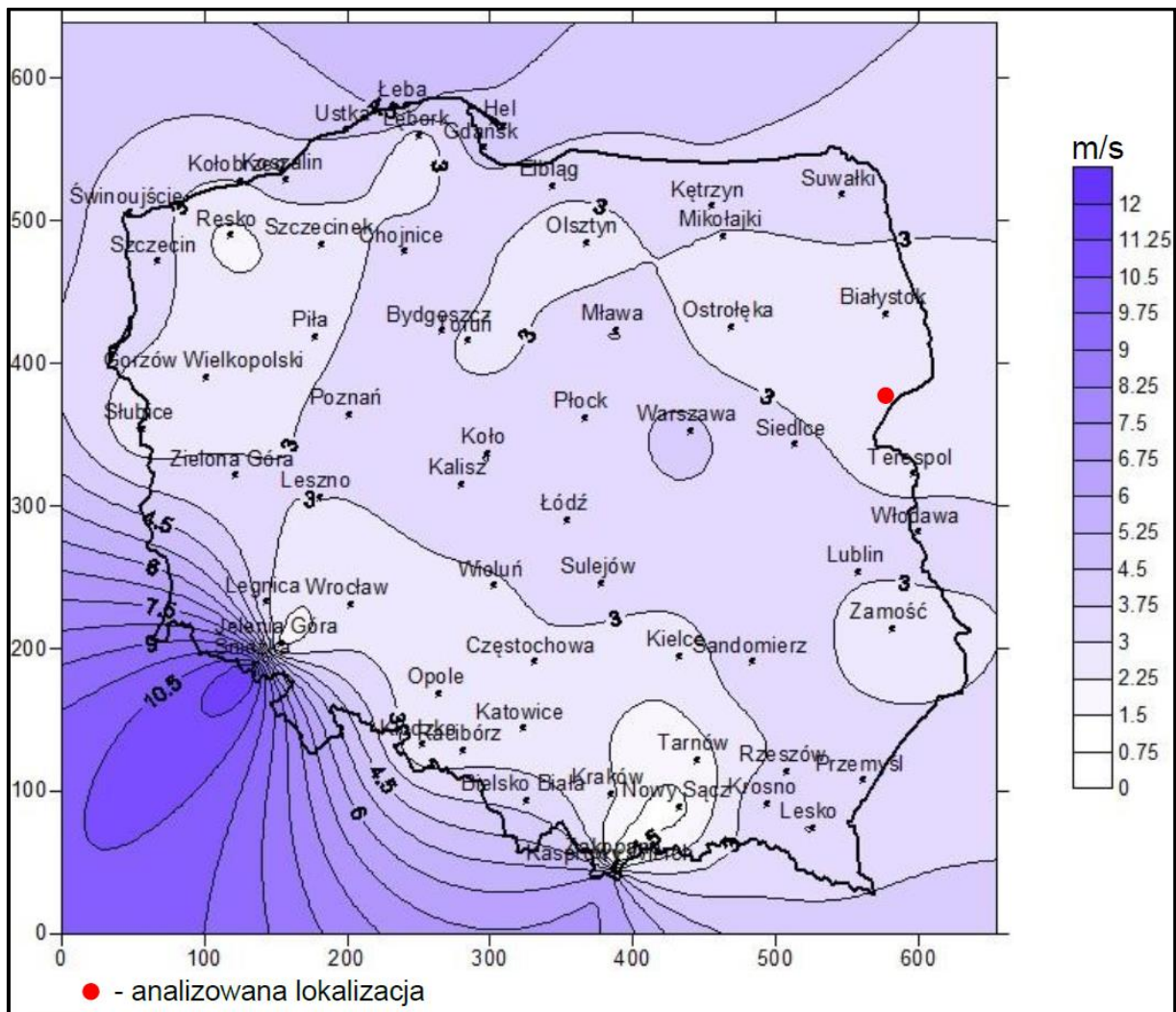
W przypadku zainteresowania budową małej elektrowni wodnej w jakiejś lokalizacji WAT może przeprowadzić bardziej szczegółowe analizy hydrologiczne, jak również stosowne prace projektowe.



## 4.5. Energia wiatru

W celu określenia potencjału energetyki wiatrowej w analizowanych lokalizacjach przedstawiono ich położenie na tle mapy wietrzności Polski (rys. 54-58).

### 4.5.1. Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie

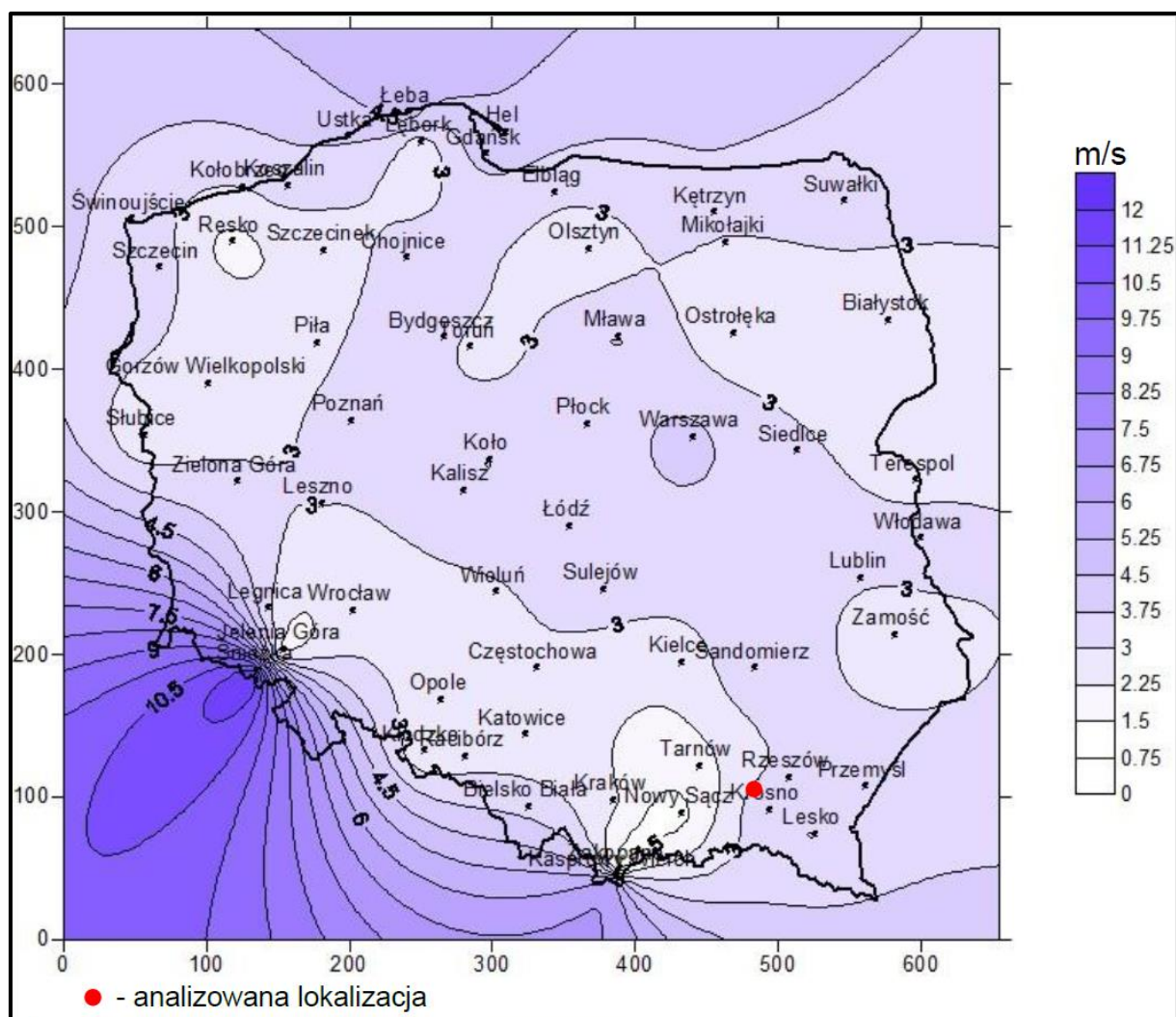


Rys. 54. Lokalizacja m. Czeremcha na tle mapy rocznej wietrzności Polski<sup>55</sup>

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

<sup>55</sup> Dygulska A., Perlańska E., (2015): Mapa wietrzności polski. Projekt Czysta Energia. Akademickie Centrum Czystej Energii, Słupsk.

#### 4.5.2. Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie



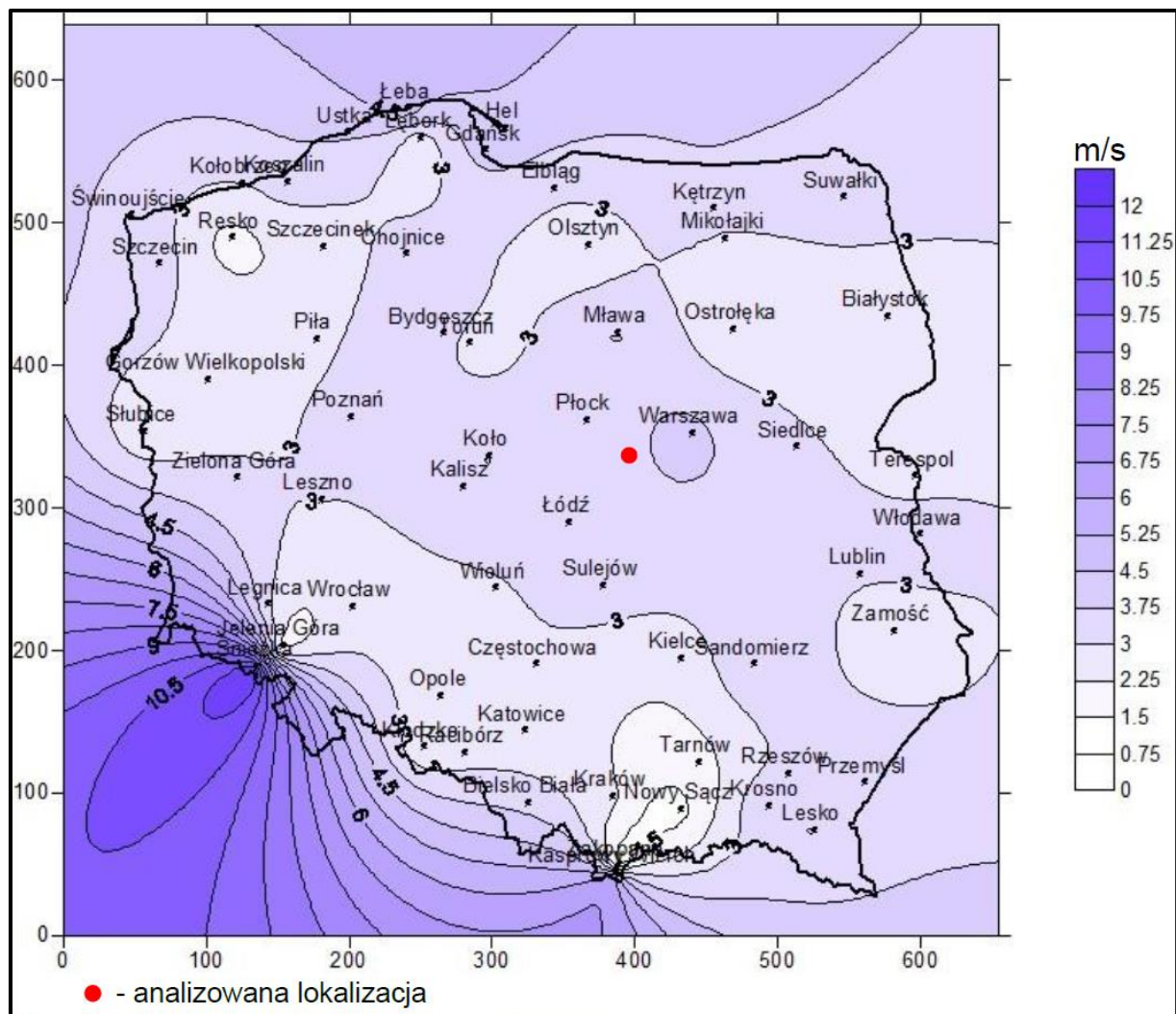
Rys. 55. Lokalizacja m. Wiśniowa na tle mapy rocznej wietrzności Polski<sup>56</sup>

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

<sup>56</sup> Dygulska A., Perlańska E., (2015): Mapa wietrzności polski. Projekt Czysta Energia. Akademickie Centrum Czystej Energii, Słupsk.



4.5.3. Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie



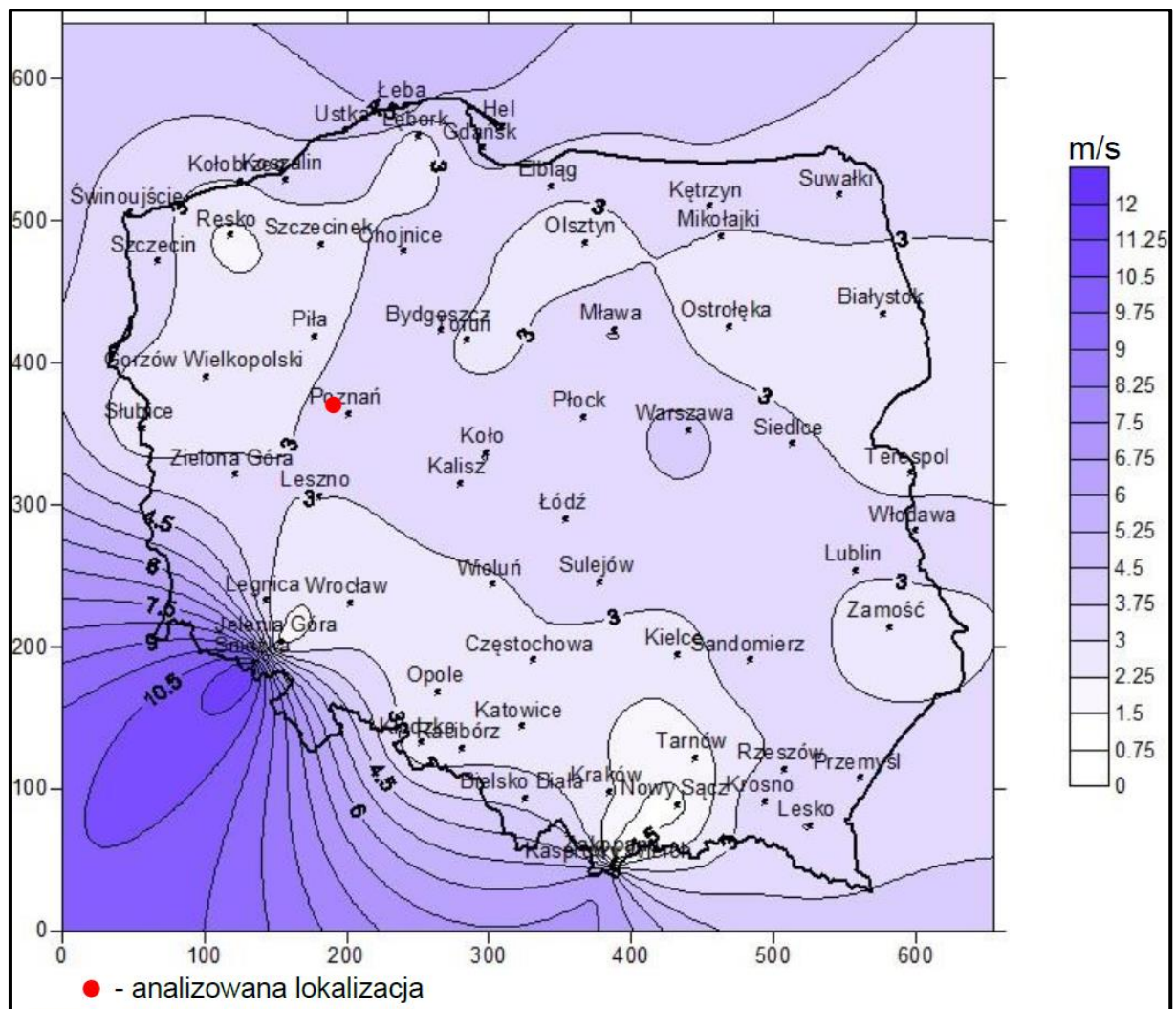
Rys. 56. Lokalizacja CPK na tle mapy rocznej wietrzności Polski<sup>57</sup>

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

<sup>57</sup> Dygulska A., Perlańska E., (2015): Mapa wietrzności polski. Projekt Czysta Energia. Akademickie Centrum Czystej Energii, Słupsk.



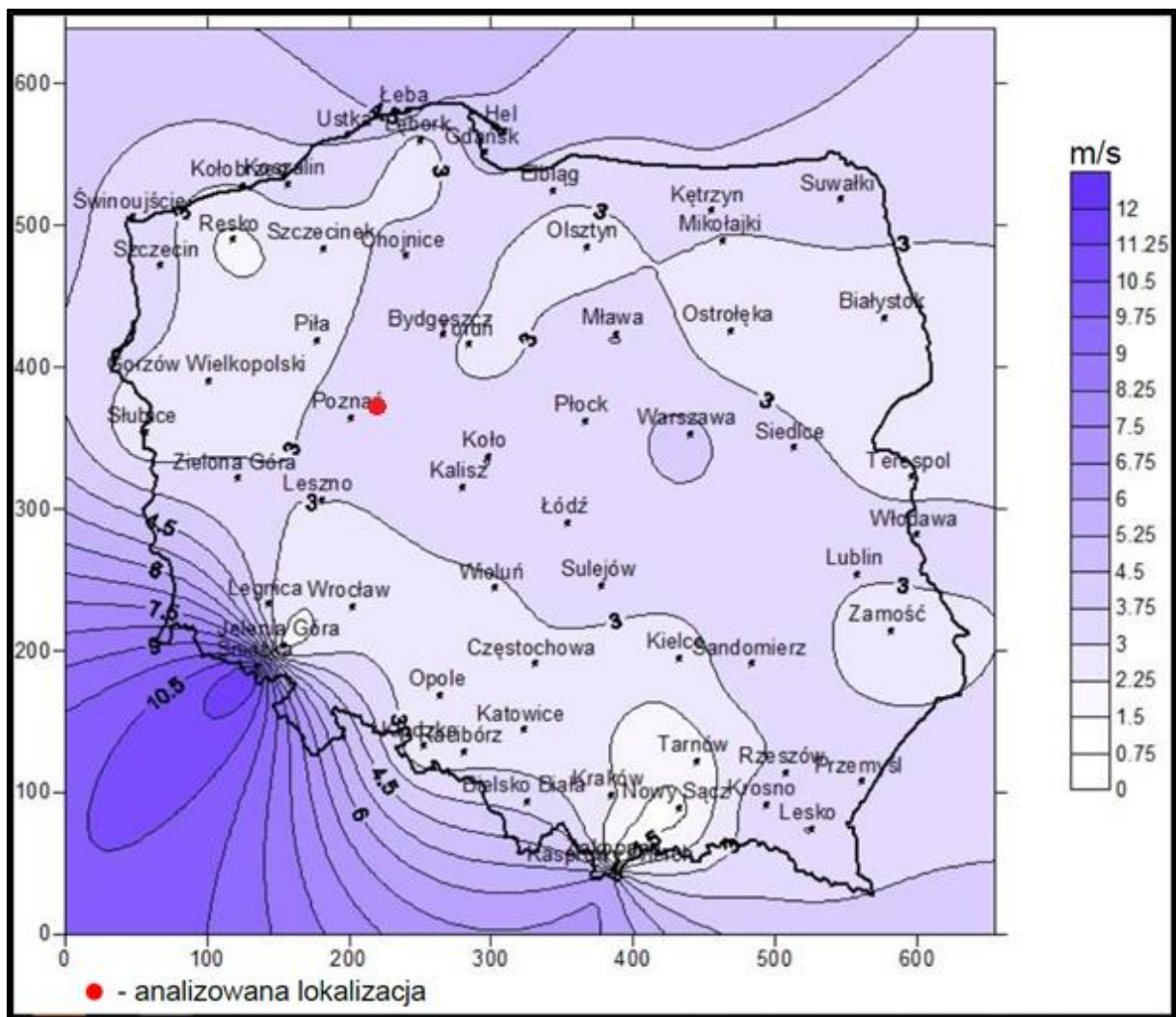
#### 4.5.4. Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie



Rys. 57. Lokalizacja m. Tarnowo Podgórne na tle mapy rocznej wietrzności Polski<sup>58</sup>  
Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

<sup>58</sup> Dygulska A., Perlańska E., (2015): Mapa wietrzności polski. Projekt Czysta Energia. Akademickie Centrum Czystej Energii, Słupsk.

#### 4.5.5. Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie



Rys. 58. Lokalizacja m. Pobiedziska i Biskupice na tle mapy rocznej wietrzności Polski<sup>59</sup>  
Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

#### 4.5.6. Porównanie i podsumowanie

Porównując położenie analizowanych lokalizacji stwierdza się, że najwyższy potencjał wykorzystania energetyki wiatru posiadają lokalizacje: CPK, Tarnowo Podgórne oraz obszar Biskupic i Pobiedzisk, gdzie średnie prędkości roczne wiatru wynoszą  $>3$  m/s. Lokalizacja Wiśniowa położona jest na obszarze, gdzie średnie roczne prędkości wiatru wynoszą około 3

<sup>59</sup> Dygulska A., Perlańska E., (2015): Mapa wietrzności polski. Projekt Czysta Energia. Akademickie Centrum Czystej Energii, Słupsk.

m/s, zaś w lokalizacji Czeremcha potencjał wykorzystania energetyki wiatrowej jest najniższy, ze względu na średnie roczne prędkości wiatru wynoszące 2,25-3 m/s (Tabela 5).

Tabela 5 Porównanie położenia analizowanych lokalizacji pod kątem wietrzności

Parametr	Lokalizacja				
	Czeremcha	Wiśniowa	CPK	Tarnowo Podgórne	Biskupice i Pobiedziska
Średnia roczna prędkość wiatru	2,25-3	3	>3	>3	>3
Średnia prędkość wiatru wiosną	2,25-3	3	>3	>3	>3
Średnia prędkość wiatru latem	1,5-2,25	2,25	>2,25	>2,25	>2,25
Średnia prędkość wiatru jesienią	2,25-3	3	>3	>3	>3
Średnia prędkość wiatru zimą	2,25-3	3	>3,75	3-3,75	3-3,75
Strefa energetyczna wiatru <sup>60</sup>	IV mało korzystna	IV/III mało korzystna/ korzystna	II bardzo korzystna	II bardzo korzystna	II bardzo korzystna

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

Należy mieć na uwadze, że prędkość i kierunek wiatru uzależnione oprócz regionalnych trendów, mogą lokalnie być modyfikowane przez poniżej wymienione wpływy:

- ukształtowanie terenu,
- temperatura powietrza,
- lokalny stan równowagi atmosfery,
- typ pokrycia terenu (szorstkość),
- obecność zbiorników wodnych,
- różnego rodzaju przeszkody terenowe (zabudowania, duże drzewa, itp.),
- kierunek wiatru.

<sup>60</sup> Ośrodek Meteorologii IMGW

Uzyskane wartości pozwalają oszacować możliwą moc turbiny wiatrowej przy danej prędkości wiatru i wymiarach wirnika turbiny. Moc ta jest mocą uzyskiwaną na zaciskach generatora i oddawaną do sieci elektroenergetycznej. Moc ta określona jest wzorem:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta_m \cdot \eta_{el} \cdot C_p$$

i zależy od następujących wielkości:

- $\rho$  gęstości powietrza – wielkości założonej dla danych warunków atmosferycznych: temperatury i wysokości (w tym przykładzie:  $\rho = 1,22[\text{kg/m}^3]$ ),
- prędkości wiatru:  $v$  [m/s],
- przekroju poprzecznego strumienia wiatru  $A$  [ $\text{m}^2$ ], obliczonego za pomocą wzoru:  $A = (\pi \cdot D^2)/4$ , gdzie  $D$  – jest średnicą okręgu omiatanego przez łopaty, czyli długością dwóch łopat,
- sprawności generatora, przetworników, transformatorów  $\eta_{el} = \text{ok.}85\%$ ,
- sprawności mechanicznej przekładni, wirnika i urządzeń pomocniczych;
- współczynnika wykorzystania energii wiatru  $C_p$  [-],

Teoretycznie maksymalny współczynnik wykorzystania wiatru  $C_p$  wynosi 0,593, a podstawą tego założenia jest prawo Betza (mówi o tym że  $C_p = 0,593$  jeśli stosunek prędkości wiatru przed wirnikiem  $v_1$  do prędkości wiatru za kołem wirnikowym  $v_2$  wynosi 1/3, czyli kiedy wirnik spowolni wiatr do 1/3 jego początkowej wartości). W praktyce jednak wartość współczynnika wykorzystania wiatru wynosi 20 – 40%.

### **Przykład obliczeniowy:**

#### Dane:

Gęstość powietrza:  $\rho = 1,22 \text{ kg/m}^3$ , średnia roczna prędkość wiatru w badanych miejscowościach  $v = 3 \text{ m/s}$ ,  $\eta_{el} = 85\%$ ,  $\eta_m = 95\%$ ,  $C_p = 0,593$ , długość łopaty małej turbiny = 3m

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta_m \cdot \eta_{el} \cdot C_p = 0,223 \text{ kW}$$

Natomiast przy prędkości wiatru 6 m/s,  $P = 2,293 \text{ KW}$ , a przy prędkości wiatru 10 m/s,  $P = 8,255 \text{ KW}$ .

Jak widać, przy prędkościach 3 m/s mała turbina wiatrowa, będzie dostarczać niewiele energii. Natomiast przy prędkościach wiatru powyżej 6 m/s mała turbina wiatrowa będzie mogła dostarczać powyżej 2 KW energii elektrycznej, a przy prędkości wiatru 10 m/s, turbina

dostarczać będzie pona 8 KW energii elektrycznej. Świadczy to o tym, że wykorzystanie takiej turbiny będzie możliwe jedynie w wietrzne dni.

W przypadku zainteresowania wykorzystaniem zasobów wiatru w jakiejś lokalizacji WAT może przeprowadzić bardziej szczegółowe analizy wietrzne, jak również stosowne prace koncepcyjne i projektowe w obszarze energii wiatrowej..

#### 4.6. Energia słoneczna

Promieniowanie elektromagnetyczne Słońca zapewnia energię wykorzystywaną we wszystkich procesach zachodzących na Ziemi w materii ożywionej (fotosynteza) i nieożywionej. Słońcu zawdzięczamy również pośrednio energię w postaci wiatru i fal morskich. Energia słoneczna jest całkowicie czystym i najbardziej naturalnym źródłem energii odnawialnej. Energia promieniowania elektromagnetycznego Słońca może być przekształcana bezpośrednio w energię elektryczną w ogniwach fotowoltaicznych lub na energię cieplną w kolektorach słonecznych. Dominującym składnikiem całkowitego bilansu energetycznego Ziemi jest promieniowanie słoneczne. Obecnie dąży się do jak największego wykorzystywania energii pochodzącej ze Słońca, przede wszystkim w celu wytwarzania energii elektrycznej oraz cieplnej<sup>61</sup>.

W Polsce istnieją umiarkowanie dobre warunki do stosowania różnych systemów wykorzystania energii promieniowania słonecznego. Na 1 m<sup>2</sup> powierzchni kraju dociera rocznie średnio ok. 1 000 kWh energii promieniowania słonecznego. Energia ta może być zamieniana na energię elektryczną za pomocą ogniw fotowoltaicznych lub na ciepło w kolektorach słonecznych (przejmowane przez pośredni czynnik grzewczy lub za pomocą biernych systemów grzewczych ogrzewając powietrze wentylujące). W warunkach polskich, największe szanse rozwoju w krótkim okresie mają technologie konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego, oparte na wykorzystaniu kolektorów słonecznych – do produkcji ciepła oraz ogniw fotowoltaicznych – do produkcji energii elektrycznej. Ze względu na wysoki udział promieniowania rozproszonego w całkowitym promieniowaniu słonecznym (wysoki stopień zachmurzenia oraz zapylenie atmosfery) oraz wysokie koszty inwestycyjne, praktycznego znaczenia w naszych warunkach nie mają słoneczne technologie

---

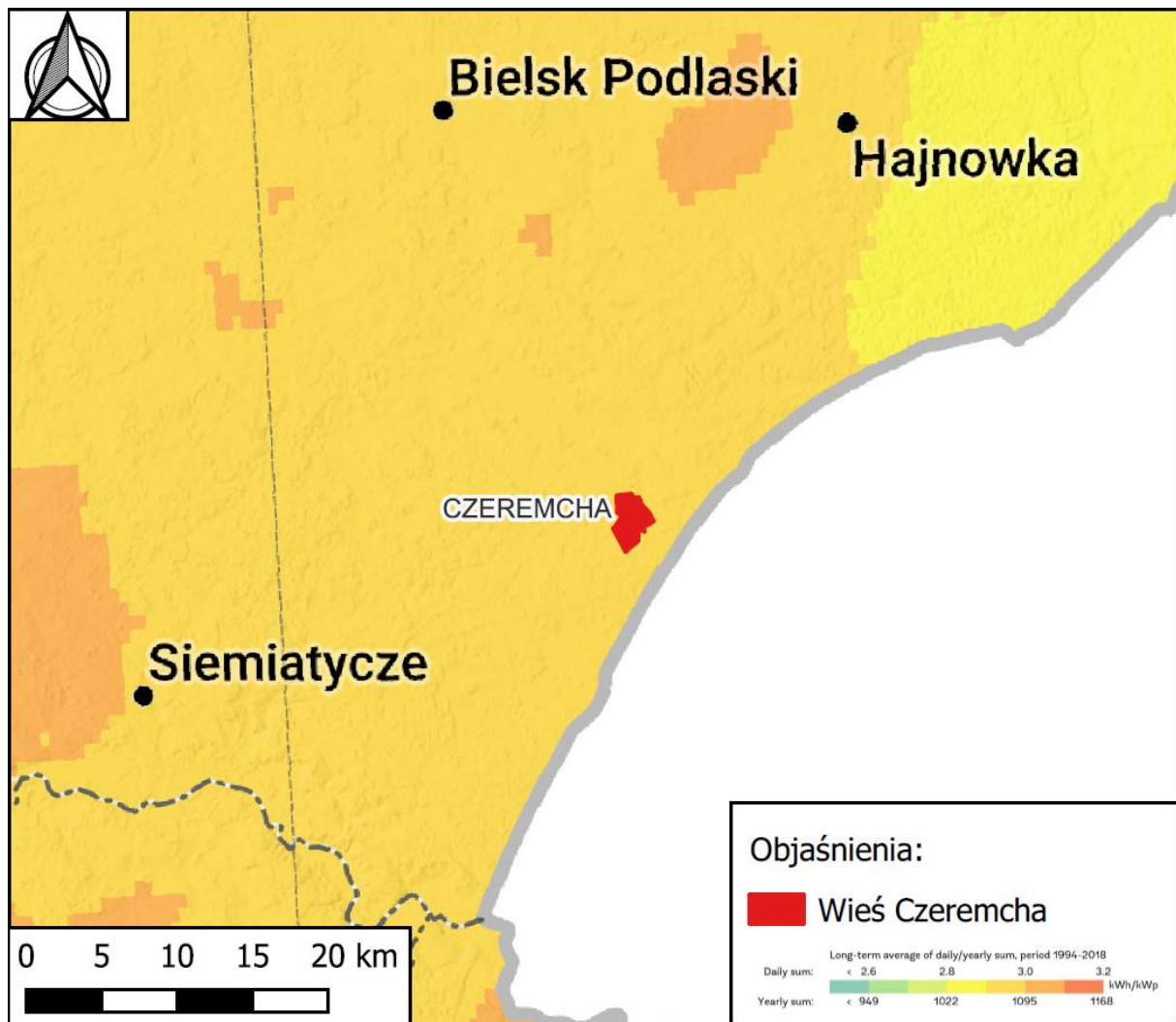
<sup>61</sup> Matuszczyk P., Popławski T., Flaszka J. 2015 - Potencjał i możliwości energii promieniowania elektromagnetycznego Słońca. Przegląd Elektrotechniczny, 1/2015, str. 183-187.

wysokotemperaturowe oparte na koncentratorach promieniowania słonecznego. W przypadku produkcji energii elektrycznej, stosowane są głównie instalacje PV małych mocy (głównie domy jednorodzinne lub budynki użyteczności publicznej), produkujące energię elektryczną na potrzeby własne, w systemie OFF-Grid. Jak wynika z raportu Instytutu Energetyki Odnawialnej, na koniec pierwszego kwartału 2023 r. funkcjonowało 3,4 tys. farm PV o łącznej mocy 3,35 GW, które stanowiły 26% mocy zainstalowanej w fotowoltaice. Najwyższy w historii wzrost mocy w 2022 roku zanotowały duże instalacje PV o mocy powyżej 1 MW, których udział w rynku fotowoltaiki w najbliższych latach będzie rósł.

W celu oceny potencjału energetyki słonecznej w analizowanych lokalizacjach przedstawiono ich położenie na tle mapy efektywności instalacji fotowoltaicznych w kWh/kWp, określającej jaką wydajność mogą osiągnąć panele fotowoltaiczne w standardowych warunkach pomiarowych (rys. 59-63).



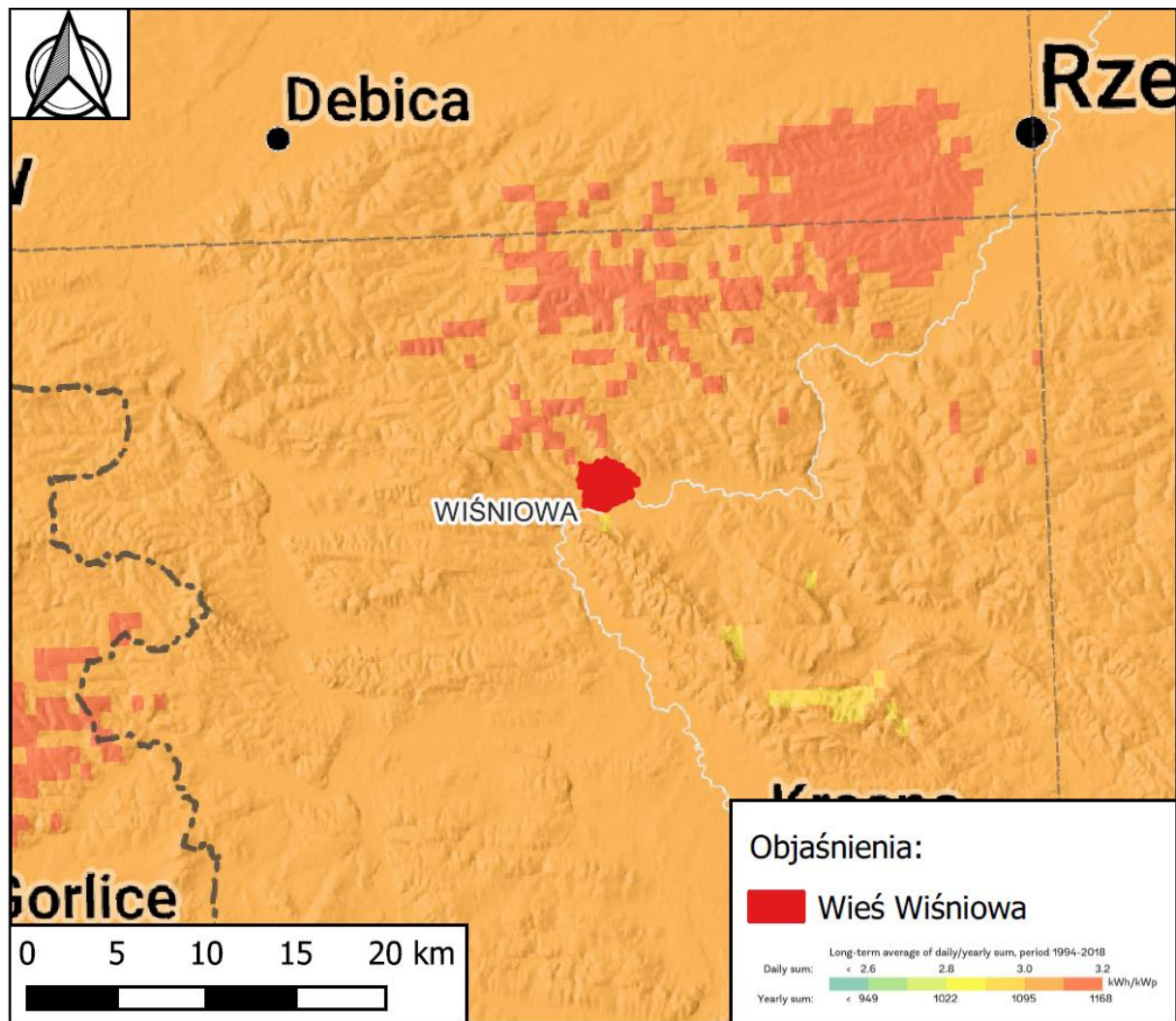
#### 4.6.1. Czeremcha, pow. hajnowski, woj. podlaskie



Rys. 59. Lokalizacja m. Czeremcha na tle mapy efektywności instalacji fotowoltaicznych (KWh/KW) <sup>62</sup>  
Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o

<sup>62</sup> © 2020 The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis

#### 4.6.2. Wiśniowa, pow. strzyżowski, woj. podkarpackie

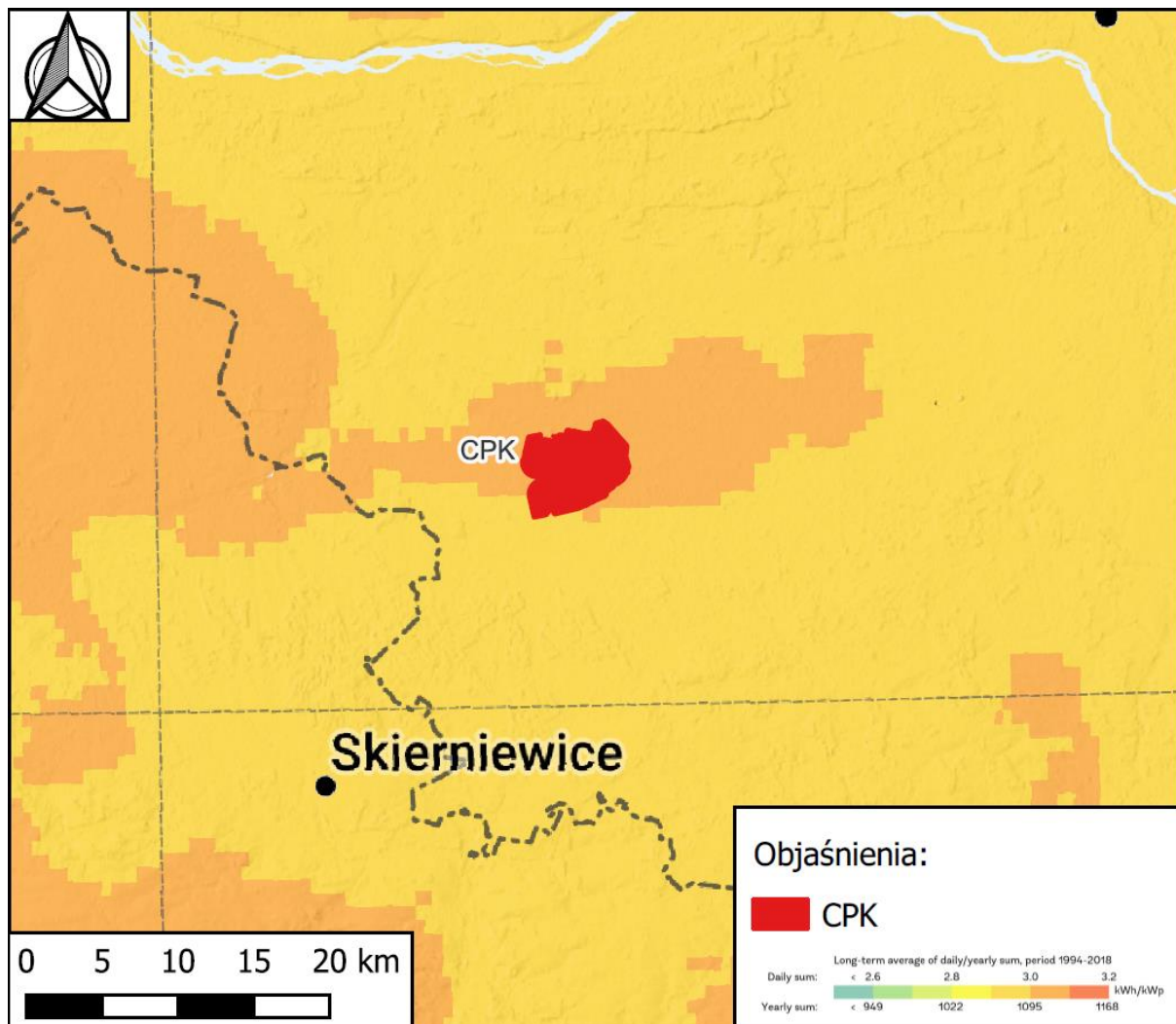


Rys. 60. Lokalizacja m. Wiśniowa na tle mapy efektywności instalacji fotowoltaicznych (KWh/KWp)<sup>63</sup>  
Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o.

<sup>63</sup> © 2020 The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis



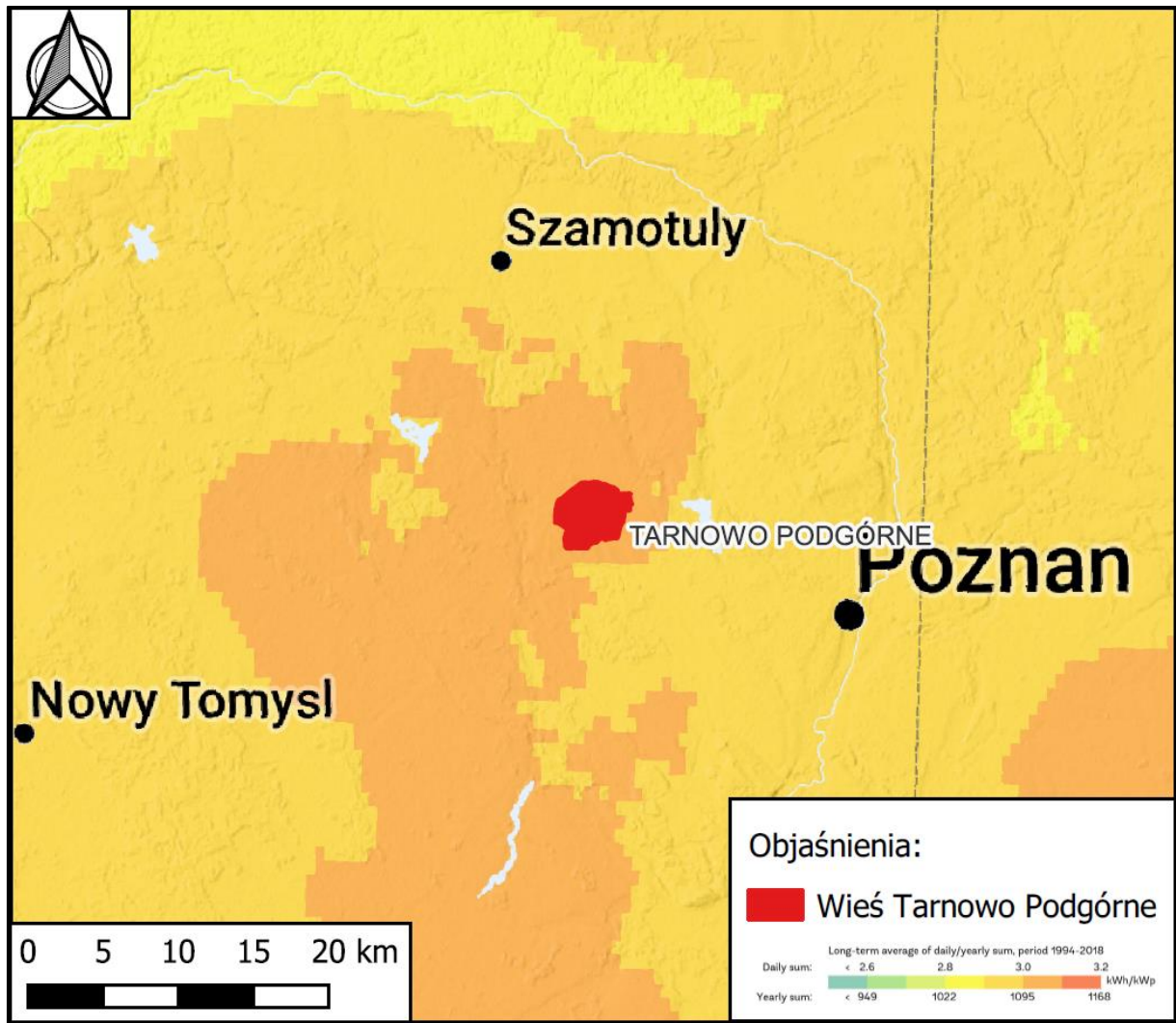
#### 4.6.3. Rejon Centralnego Portu Komunikacyjnego, Baranów, Wiskitki, Teresin, woj. mazowieckie



Rys. 61. Lokalizacja CPK na tle mapy efektywności instalacji fotowoltaicznych (KWh/KWp)<sup>64</sup>  
Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o.

<sup>64</sup> © 2020 The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis

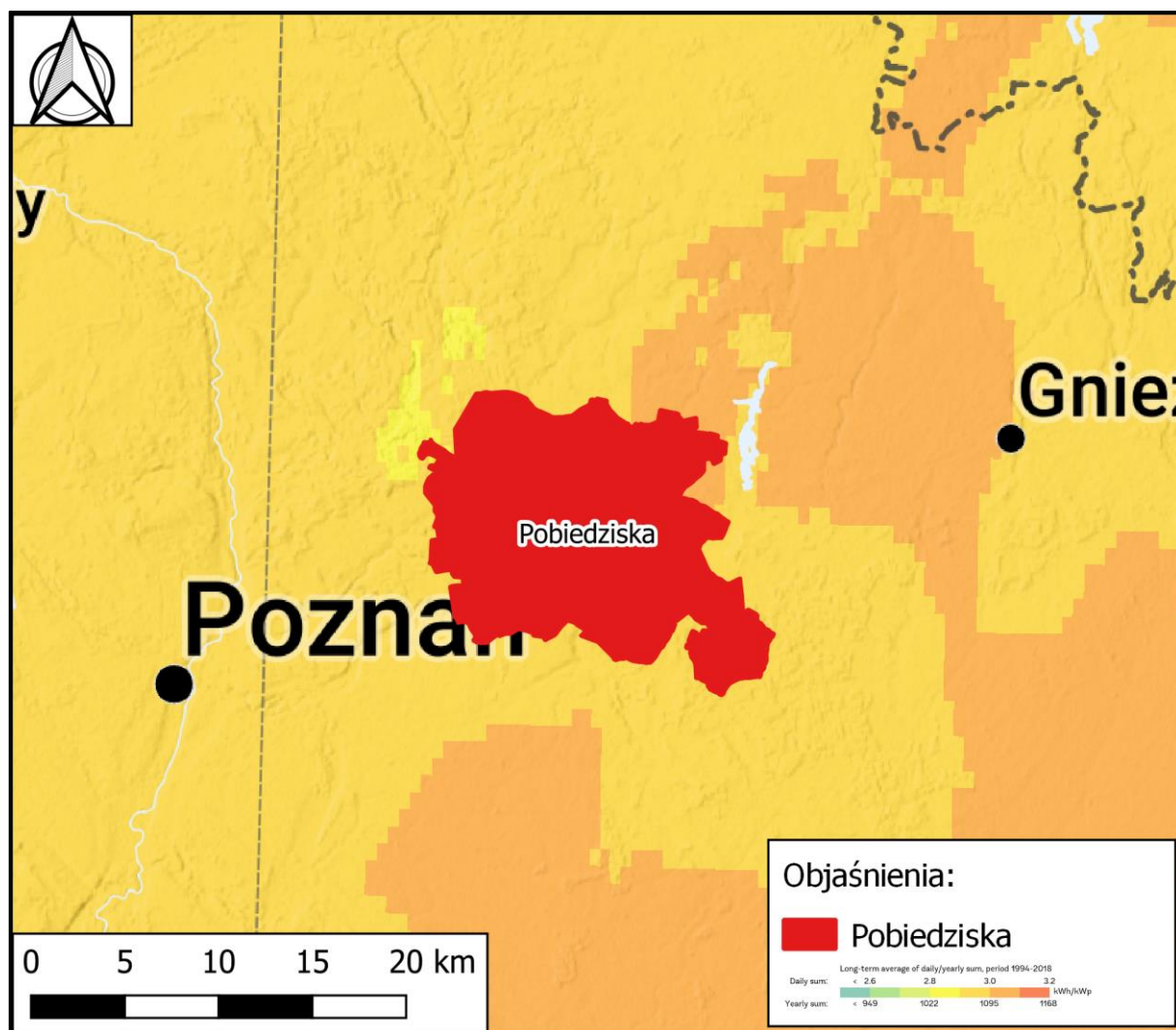
#### 4.6.4. Tarnowo Podgórne, pow. poznański, woj. wielkopolskie



Rys. 62. Lokalizacja m. Tarnowo Podgórne na tle mapy efektywności instalacji fotowoltaicznych (KWh/KWp)<sup>65</sup>  
Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o.

<sup>65</sup> © 2020 The World Bank, Source: Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis

#### 4.6.5. Biskupice i Pobiedziska, pow. poznański, woj. wielkopolskie



Rys. 63. Lokalizacja m. Biskupice i Pobiedziska na tle mapy efektywności instalacji fotowoltaicznych (kWh/kWp)

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o.

#### 4.6.6. Porównanie i podsumowanie

Porównując położenie analizowanych lokalizacji stwierdza się, że najwyższy potencjał wykorzystania energetyki słonecznej posiada lokalizacja: Wiśniowa oraz obszar Biskupic i Pobiedzisk, gdzie współczynnik kWh/kWp osiąga lokalnie wartość do 3.2 kWh/kWp. Lokalizacje CPK i Tarnowo Podgórne położone są na obszarach, gdzie współczynnik ten osiąga 3,0-3,1 kWh/kWp, zaś w lokalizacji Czeremcha potencjał wykorzystania energii słonecznej jest najniższy, ze względu wartość współczynnika na poziomie 2,9-3,0 kWh/kWp (Tabela ).

Tabela 26. Porównanie położenia analizowanych lokalizacji pod kątem efektywności instalacji fotowoltaicznych

Wartość współczynnika kWh/kWp	Lokalizacja				
	Czeremcha	Wiśniowa	CPK	Tarnowo Podgórne	Biskupice i Pobiedziska
Średnia suma dzienna	2,9-3,0	3,0-3,2	3,0-3,1	3,0-3,1	2,9 – 3,2
Średnia suma roczna	1059-1095	1132-1168	1095-1132	1095-1132	1059 - 1168
Potencjał wykorzystania energii słonecznej	umiarkowany	bardzo wysoki	wysoki	wysoki	wysoki

Źródło: opracowanie zespołu badawczego WAT wraz z firmą Multiconsult Polska Sp. z o.o.

## 5. Wnioski końcowe

Osiągnięcie celów Projektu wymaga wprowadzenia rozszerzonego i zintegrowanego podejścia energetycznego w poszczególnych etapach zadań, zakładającego, że wskazane przez zleceniodawców cele, jak również zaproponowane wskaźniki wykonalności, mają bezpośrednio lub pośrednio, przede wszystkim podłoże energetyczne. Oznacza to potrzebę położenia głównego nacisku na wysokojakościowe i niskoemisyjne systemy wytwarzania energii oraz systemy konwersji energii. A także położenie nacisku na naturalne i odnawialne źródła energii.

Oszczędnym, zeroemisyjnym systemem konwersji energii jest pompa ciepła, która nie wywarza energii lecz dokonuje jej transformacji. Jest ona urządzeniem technicznym (maszyną), zbudowanym z układu wymienników ciepła, w których znajduje się czynnik roboczy i sprężarka, zmieniająca stan termodynamiczny (ciśnienie i temperaturę) tego czynnika. Przy czym procesy przebiegają z wysoką sprawnością, pozwalając transformować energię cieplną z zeroemisyjnych źródeł odnawialnych. Na dzień dzisiejszy jest to jedyne urządzenie o tak wysokiej sprawności, wytwarzające niski ślad węglowy, dające szeroki i istotny obszar poprawy wielu wskaźników:

- komfort ciepła (wg. PN-EN ISO 7730:2006) – **wzrost o 30%**
- sprawność – **wzrost o 30%**
- bezobsługowość – **wzrost o 60%**
- zużycie energii elektrycznej – **spadek o 30%**
- emisja zanieczyszczeń – **spadek o 30%**
- poziom hałasu – **spadek o 70%**

Stosując koncepcję zintegrowanego i uniwersalnego podejścia energetycznego, już na etapie planowania projektu obiektu, jakim jest na przykład dworzec kolejowy, należy najpierw dokonać analizy i oceny zasobów energetycznych dla przewidywanej lokalizacji tego obiektu. A następnie przeprowadzić optymalizację celem wybrania najlepszego wariantu zasilania w energię elektryczną i energię ciepłą. W analizie tej powinno się uwzględnić lokalne zasoby energii słonecznej, energii gruntu, energii wnętrza Ziemi, energii wiatru i energii wody. Świadomość istniejących lokalnie zasobów energetycznych pozwoli na podejmowanie optymalnych decyzji lokalizacyjnych, jak również konstrukcyjnych. Niniejszy raport jest przykładem takich analiz dla 5 wybranych lokalizacji w Polsce, które dysponują różnymi zasobami energii. Na etapie prac koncepcyjnych i projektowych, proces optymalizacyjny powinien być realizowany na dwóch poziomach – poziomie ogólnym oraz na poziomie szczegółowym. Na poziomie ogólnym analizowane powinny wszystkie możliwe warianty zasobów energetycznych - ich wielkość i dostępność. Rezultatem tej analizy powinno być wskazanie tzw. perspektywicznych zasobów energetycznych. Analiza ta ma charakter głównie ilościowo jakościowy. Natomiast na poziomie szczegółowym, analizie poddawane powinny być te zasoby energetyczne, które uznano za perspektywiczne dla danej lokalizacji. Na tym poziomie analiza powinna mieć charakter analiz techniczno-ekonomicznych (Bednarski & Jerzemowska, 2007). Przy czym analiza taka prowadzona powinna być pod kątem wybranych wariantów źródeł energii i obejmować rachunek ekonomiczny, funkcjonalność, bezobsługowość, bezawaryjność (trwałość), niezawodność, spełnienie wymagań projektowych i inne czynniki i inne istotne dla funkcjonowania obiektu czynniki.

W niniejszym raporcie przedstawiono analizy na poziomie ogólnym, przy czym analizy dotyczące zasobów gruntu zostały przeprowadzone w pogłębionym zakresie. Analizy szczegółowe zostaną wykonane, gdy zostanie określona lokalizacja demonstracyjnej wersji dworca.



## Bibliografia

- Al-Ragom, F., AlJuwayhel, N., Sreekanth, K. J., & Al-Kandari, S. (2023). Experimental evaluation for potential drop in refrigerants under high-ambient conditions. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 39, 101358. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101358>.
- Balcer M.: Zakład Geotermalny w Mszczonowie - wybrane aspekty pracy, doświadczenia, perspektywy. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia Zrównoważony Rozwój nr 2/2007, s. 113 – 116.
- Basel, I. I. (2017). *Renewable Hydropower Technologies*. Rijeka: IntechOpen.
- Bednarski, L., & Jerzemowska, M. (2007). *Analiza finansowa w przedsiębiorstwie* (Wyd. 5 zm. / aktualizacja wyd. Magdalena Jerzemowska. ed.). Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Bertalanffy, L. v., Koźmiński, A. K., & Woydyłło-Woźniak, E. (1984). *Ogólna teoria systemów : podstawy, rozwój, zastosowania*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Biernat H., Kulik S., Noga B.: Instalacja geotermalna w Pyrzycach jako przykład pozyskiwania czystej i odnawialnej energii w ciepłownictwie oraz wód termalnych do balneologii i rekreacji. *Przegląd Geologiczny*, Tom 58, Nr 8/2010, s. 712 – 716.
- Birkenmajer-Szymakowska F. i in.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 1003 – Frysztak. PIG-PIG, Warszawa, 2009.
- Bujakowski, W., Balcer, M., Barbacki, A., Bielec, B., Tomaszewska, B., Pająk, L., . . . Dajek, B. K. (2017). *Otwór geotermalny Mszczonów IG-1: rekonstrukcja i wieloletnia eksploatacja*. Kraków: Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.
- Burton, T., Jenkins, N., Bossanyi, E., Sharpe, D., & Graham, M. (2021). *Wind energy handbook* (Third edition. ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Cardwell, D. S. L. (1971). *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Chiasson, A. (2016). *Geothermal heat pump and heat engine systems : theory and practice*. Chichester, England: ASME Press.
- Chowaniec J., Witek K.: Mapa hydrogeologiczna Polski, arkusz 1003 – Frysztak. PIG-PIB, Warszawa, 1998.
- Cincio Z.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 472 – Swarzędz PIG-PIB, Warszawa, 1996.
- Ćwik, B. (2017). *Postrzeżenie sygnałów ostrzegających organizację w sytuacjach niedeterministycznych*. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.
- Ćwik, B. (2023). *Skuteczność odczytu sygnałów ostrzegawczych w systemach monitoringu bezpieczeństwa*, Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2005). *Geothermal energy : utilization and technology*. Abingdon, Oxon ;: Earthscan.
- DiPippo, R. (2008). *Geothermal power plants principles, applications, case studies and environmental impact* (2nd ed.). Amsterdam ;: Butterworth-Heinemann.
- Dygulska A., Perłańska E., (2015): *Mapa wietrzności polski. Projekt Czysta Energia*. Akademickie Centrum Czystej Energii, Słupsk.
- Eiser, J. R., Bostrom, A., Burton, I., Johnston, D. M., McClure, J., Paton, D., . . . White, M. P. (2012). Risk interpretation and action: A conceptual framework for responses to natural hazards. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1, 5-16. doi:10.1016/j.ijdr.2012.05.002

- Finkbeiner, M. (2011). *Towards Life Cycle Sustainability Management edited by Matthias Finkbeiner* (1st 2011. ed.). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Fox, R. F. (1988). *Energy and the Evolution of Life*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Gałusza, M., Guła, A., & Paruch, J. (2008). *Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii: poradnik*. Kraków: "Tarbonus".
- Gogołek W.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 470 – Buk. PIG-PIG, Warszawa, 1992.
- Gulliver, J. S., & Arndt, R. E. A. (1991). *Hydropower Engineering Handbook*: McGraw-Hill.
- Gulotta, T. M., Salomone, R., Mondello, G., Saija, G., Lanuzza, F., & Briguglio, N. (2023). Life Cycle Assessment and Environmental Life Cycle costing of a unitised regenerative fuel cell stack. *Science of The Total Environment*, 901, 166007. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166007
- Gultekin, R., AvaĢ, K., GÖRġİŞEn, C., ÖZtÜRk, Ö., Yeter, T., & Alsan, P. B. (2023). Effect of deficit irrigation practices on greenhouse gas emissions in drip irrigation. *Scientia Horticulturae*, 310, 111757. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111757
- Gupta, R. S. (2001). *Hydrology and hydraulic systems*. Long Grove, IL: Waveland Press Inc.
- Góralczyk, I., & Tytko, R. (2016). *Fotowoltaika: urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne* (Wyd. 3 uzup. ed.). Kraków: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce.
- Górecki, W. (2010). Wody geotermalne na Niżu Polskim. *Przegląd Geologiczny*, 58(7).
- Górecki, W., & Hajto, M. (Cartographer). (2011). Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich: formacje fliszowe oraz utwory mioceńskie i mezozoiczno-paleozoiczne podłoża polskich Karpat Zachodnich
- Górecki, W., Mayer, W., Strzetelski, W., & Krach, J. (Cartographer). (2006). Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim.
- Górecki W. (red.): Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków 2006.
- Górecki W., Hajto M., Sowizdżał A., Kotyza J., 2015 – Wstępna ocena możliwości pozyskania i wykorzystania wód termalnych w rejonie Wiśniowej. Towarzystwo Geosynoptyków GEOS, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Surowców Energetycznych WGGiOŚ, Kraków.
- Hansell, M. H. (2005). *Animal Architecture*. Oxford: Oxford University Press.
- Haynie, D. (2001). *Biological Thermodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jastrzębska, M., & Piotrowicz, B. (2015). Produkcja energii cieplnej w pompach ciepła z sondą gruntową zamontowaną w fundamentach pośrednich obiektów budowlanych, w szczególności instalacji opartych o odnawialne źródła energii. In (pp. 158-166).
- Kapuściński J., Rodzoch A.: Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie: stan aktualny i perspektywy rozwoju: uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Warszawa, 2010.
- Kavanaugh, S. P., & Rafferty, K. D. (2014). *Geothermal heating and cooling : design of ground-source heat pump systems*. Atlanta: ASHRAE.
- Kępińska, B. (2021). Wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce w latach 2019–2021. *Przegląd Geologiczny*, 69(9), 559–565.
- Kmieciak M.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 459 – Czeremcha. PIG-PIG, Warszawa, 2007.
- Leyland, B. (2014). *Small hydroelectric engineering practice* (1st edition ed.). Leiden, Netherlands: CRC Press/Balkema.

- Lindsay, R. B. (1975). *Energy: Historical Development of the Concept*. Stroudsburg, PA.: Dowden, Hutchinson & Ross.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). *Wind energy explained : theory, design and application* (2nd ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Matuszczyk P., Popławski T., Flaszka J. 2015 - Potencjał i możliwości energii promieniowania elektromagnetycznego Słońca. *Przegląd Elektrotechniczny*, 1/2015, str. 183-187.
- Miętkiewicz M., Sydow S.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz 473 – Pobiedziska PIG-PIB, Warszawa, 2004.
- Myers, D. (2013). *Solar radiation : practical modeling for renewable energy applications* (1st edition ed.). Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group.
- Müller, I. (2007). *A History of Thermodynamics: The Doctrine of Energy and Entropy*. Berlin: Springer.
- Noga B., Kosma Z.: Obecny stan wykorzystania wód termalnych i energii geotermalnej w Polsce. *Logistyka* 6/2011, s. 3079 – 3088.
- Odum, H. T. (1971). *Environment, Power, and Society*. New York: Wiley-Interscience.
- Ostwald, W. (2010). *Der Energetische Imperativ*: Nabu Press.
- Oszczak, W. (2015). *Ogrzewanie domów z zastosowaniem pomp ciepła* (Wydanie 1., (dodruk). ed.). Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- Prigogine, I. (2000). *Kres pewności: czas, chaos i nowe prawa natury*. Warszawa: W.A.B.
- Rusak, T. J. (2023). *Odnawialne źródła energii: fotowoltaika : nowe korzyści* *Fotowoltaika : nowe korzyści*.
- Sanz, M., Call, J., & Boesch, C. (2013). *Tool Use in Animals: Cognition and Ecology*: Cambridge University Press.
- Sapińska-Śliwa A., Kurpiak J.: Aktualne zagospodarowania wody i ciepła w Uniejowie. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, nr 1-2/2011, s. 225 – 235.
- Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2015). *Ground-Source Heat Pumps: Fundamentals, Experiments and Applications*: Academic Press.
- Schurz, W. L. (1939). *The Manila Galleon*. New York: E.P. Dutton.
- Smil, V., & Sugiero, J. (2022). *Energia i cywilizacja : tak tworzy się historia*. Gliwice: Editio.
- Smith, E. E. (1899). A Digest of Metabolism Experiments in Which the Balance of Income and Outgo Was Determined. *Journal of the American Chemical Society*, 21(9), 804-805. doi:10.1021/ja02059a015.
- Sokołowski J., Skrzypczyk L. (2021): Solanki, wody lecznicze i termalne. [w:] Szuflicki M., Malon A., Tymiński M. (red.), *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31.12.2020 r.* Państwowy Instytut. Geologiczny., Warszawa.
- Sowizdzał, A. (2018). The Energy Efficiency in a Commune. The Formal and Legal Requirements with Examples of a Good Practice.
- Stęplewska, U., Maćkowiak, K., & Kuleta, P. (2009). Syntetyczne czynniki chłodnicze - przegląd regulacji prawnych. *Przemysł Spożywczy*, 63(9), 29-26.
- Stupnicka E.: *Geologia regionalna Polski*. Wyd. UW 1997.
- Sukhatme, S. P., & Nayak, J. K. (2009). *Solar Energy: Principles of Thermal Collection and Storage*. New Delhi: McGraw-Hill Education Publishing Company.



- Ślimak Cz.: Projekt geotermalny na Podhalu - efekty funkcjonowania i perspektywy rozwoju. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, nr 1-2/2011, s. 221 – 224.
- Świerszcz, K. (2023). Current challenges of Local Government Units in thermal energy security management at the local level in the face of the challenges of the situation in the east. *Studia Wschodnioeuropejskie*, Nr eks. 19-t. 2/2023, s. 202-231. DOI: <https://doi.org/10.31971/24500267.20.20>.
- Świerszcz, K. (2022). *Stan bezpieczeństwa energii cieplnej w Polsce na tle Europy*. Warszawa: WAT. ISBN: 978-83-7938-370-2.
- Świerszcz, K. (2021). *Stan bezpieczeństwa energii cieplnej w Polsce na tle Europy*, Warszawa: WAT. ISBN: 978-83-7938-338-2.
- Świerszcz, K. (2020). *Heat poverty as a measure of local energy security*. Warszawa: WAT. ISBN 978-83-7938-251-4.
- Świerszcz, K. (2019). *Postrzeganie bezpieczeństwa energetycznego w kontekście przeciwdziałania ubóstwu energetycznemu społeczności lokalnej z wykorzystaniem zasobów geotermalnych na terenie Gminy Wiśniowa*. Warszawa: WAT.
- Świerszcz, K. (2022). Air Pollution as an Indicator of Local Environmental Safety Based on the Example of the Town of Barlinek, *Polish Political Science Yearbook*, vol. 51 (2022), pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.15804/ppsy202231>.
- Świerszcz, K. (2020). Indicators and Measures of Thermal Energy Poverty in the Shaping of the National Energy Security Policy, Based on the Example of Poland, *Journal of Eastern Europe Research in Business and Economics*, IBIMA publishing. <http://ibimapublishing.com/articles/JEERBE/2020/507596/> Vol. 2020 DOI: 10.5171/2020.507596.
- Świerszcz K., & Jagusiak B. (2022). The level of energy security in the aspect of heat poverty of households on the example of the town Barlinek, Poland, *Proceedings of the 39th International Business Information Management Association Conference (IBIMA), Innovation Management and information Technology impact on Global Economy in the Era of Pandemic*, Granada, Spain, 30-31 May 2022, p. 139-151. ISBN: 978-0-9998551-8-8, ISSN: 2767-9640.
- Świerszcz, K. (2020). Current Challenges in Sustainable Management of Local Energy Security in Reducing Heat Poverty - A Case Study of a Selected Region of Poland, *Proceedings of the 37th International Business Information Management Association Conference (IBIMA), Innovation Management and information Technology impact on Global Economy in the Era of Pandemic*, Cordoba, Spain 30-31 May 2021, p. 192-202. ISBN: 978-0-9998551-6-4, ISSN: 2767-9640.
- Świerszcz, K. (2021). Management of Local Heat Poverty in Households - on the Selected Example, *Journal of Eastern Europe Research in Business and Economics*, 2021, IBIMA publishing. <http://ibimapublishing.com/articles/JEERBE/2020/507596/> Vol. 2020 (2021), Article ID IBIMA Publishing *Journal of Eastern Europe Research in Business and Economics* <http://ibimapublishing.com/articles/JEERBE/2021/922351/> Vol. 2021. DOI: 10.5171/2021.922351.
- Świerszcz, K. (2020). Indicators and Measures of Thermal Energy Poverty in the Shaping of the National Energy Security Policy, Based on the Example of Poland, *Proceedings of the 35th International Business Information Management Association Conference (IBIMA)*, Granada, Spain 1-2 April 2020, p. 9193-9210. ISBN: 978-0-9998551-4-0.
- Świerszcz, K., Szczurek, T., Mitkow, S., Zalewski, J., & Ćwik B. (2019). Knowledge of the Problem of Fuel Poverty Among Local Government Authorities - in the Aspect of Local Energy Security, *Journal of Eastern Europe Research in Business and Economics (JEERBE)*, IBIMA Publishing, USA 2019. Journal website: [www.ibimapublishing.com](http://www.ibimapublishing.com)

<http://ibimapublishing.com/articles/JEERBE/2019/780276/> Vol. 2019 (2019), 12 pages. ISSN: 2169-0367. DOI: 10.5171/2019.780276.

- Świerszcz, K., Szczurek, T., Mitkow Sz., Zalewski, J., & Ćwik, B. (2019). Level of Local Government's Awareness of Heat Energy Poverty in Households as an Indicator of the Degree of Energy Security at the Local Level, Proceedings of the 33th International Business Information Management Association Conference (IBIMA), Granada, Spain 10-11 April 2019, p. 588-599. ISBN: 978-0-9998551-2-6.
- Świerszcz, K., & Grenda, B. (2019). Geothermal Energy as Near-Ground Emissions Reduction Potential in the Energy and Climate Security Policy Strategy as Illustrated by the Podhale Region", Proceedings of the 4th International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE2019), IEEE PRESS, Chengdu, China, September 21-23, 2019, p. 110-116. DOI: 10.1109/ICPRE48497.2019.9034863.
- Świerszcz, K., & Grenda, B. (2018). Geothermal Energy as an Alternative Source and a Countermeasure Against Low Emission in the Ecological Security Strategy, Proceedings of the 2018 Joint International Conference on Energy, Ecology and Environment (ICEEE 2018) and International Conference on Electric and Intelligent Vehicles (ICEIV 2018), 1-6. ISBN: 978-1-60595-590-2, ISSN: 2475-8833.
- Świerszcz, K. (2018). Energia geotermalna jako alternatywny zasób przeciwdziałania niskiej emisji w strategii bezpieczeństwa ekologicznego, w: Wyzwania i zagrożenia bezpieczeństwa i obronności w XXI wieku, w wymiarze społecznym i technologiczno-środowiskowym. In Z. Trejnis & L. Kościelecki (Eds.), ASPRA-JR, Warszawa, p. 309-339. ISBN 978-83-7545-913-5.
- Świerszcz, K. (2018). Wpływ energii geotermalnej w przeciwdziałaniu zanieczyszczeniu środowiska naturalnego, w: Wyzwania i zagrożenia bezpieczeństwa i obronności RP w XXI wieku w wymiarze społecznym i technologiczno-środowiskowym. In Z. Trejnis, & L. Kościelecki (Eds.), ASPRA-JR, Warszawa, p. 307-338. (ISBN 978-83-7545-913-5).
- Świerszcz, K. (2018). Podmiotowość bezpieczeństwa energetycznego w wybranych regionach Polski na przykładzie zasobów geotermalnych. Przegląd Nauk o Obronności, nr 1(5), 2018 s. 93-105. DOI: 10.5604/01.3001.0012.9742.
- Świerszcz, K. (2018). Znaczenie geotermii w strategii bezpieczeństwa energetycznego na przykładzie poszczególnych regionów Polski, In K. Stańczyk, & R. Chyrzyński (Eds.), Dylematy współczesnej obronności i bezpieczeństwa państwa. Aspekty ekonomiczno-społeczne, Toruń: Wydawnictwo Adam Marszałek, p. 115-139. ISBN 978-83-66220-40-9.
- Świerszcz, K., & Ćwik, B. (2017). Energy Security in Terms of Geothermal Resources in Selected Regions of Poland, Scientific Research, Bulgaria, vol. 15, 2017, p. 1-6. ISSN: 1312-7535.
- Świerszcz K., & Ćwik, B. (2017). Geothermal Energy as a Part of Non-Military Defence Strategy in the Context of the Prevention of Energy Poverty of Local Communities, *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, t. XVIII, z. 5, cz. I, Bezpieczeństwo i zarządzanie kryzysowe. Zarządzanie bezpieczeństwem, Łódź – Warszawa: SAN, p. 135-150. ISSN 2543-8190.
- Świerszcz, K. (2016). Obrona bezpieczeństwa energetycznego Polski w aspekcie geotermalnych dóbr narodowych, *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, t. XVII, z. 5, cz. I, „Współczesne aspekty bezpieczeństwa, Łódź – Warszawa: SAN, p. 197-208.
- Tejchman-Konarzewski, J., & Maier, T. (2006). *Modelowanie komfortu termiczno-wilgotnościowego i psychofizycznego w nowoczesnych domach mieszkalnych*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- Tomaszewska, B., Sowizdzał, A., & Drabik, A. (2018, 2018//). *The Energy Efficiency in a Commune. The Formal and Legal Requirements with Examples of a Good Practice*. Paper presented at the Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation, Cham.
- Varvoglis, H. (2014). *History and Evolution of Concepts in Physics*. Berlin: Springer.

- Wartak W., Wróbel A., Ignacok W.: PEC Geotermia Podhalańska S.A. - Zakład Geotermalny na Podhalu: doświadczenia, wybrane aspekty pracy, perspektywy. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia Zrównoważony Rozwój* nr 2/2007, s. 125 – 131.
- Yousefi, H., Habibifar, R., Farhadi, A., & Hosseini, S. M. (2023). Integrated energy, cost, and environmental life cycle analysis of electricity generation and supply in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104748. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104748>
- Żelaźniewicz A., Aleksandrowski P., Buła Z., Karnkowski P.H., Konon A., Oszczytko N., Ślęczka A., Żaba J., Żytko K.: Regionalizacja Tektoniczna Polski. Komitet Nauk Geologicznych PAN. Wrocław, 2011.