

Strategia wsparcia rozwoju wykorzystania płytkiej geotermii w Krakowie

Deliverable D.T4.2.3 Reviewed strategies
for the use of shallow geothermal energy
in the investigated pilot areas

18.09.2019

Opracował: M. Hajto

współpraca: B. Ciapała, G. Ząbek, M. Michna, B. Papiernik

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (AGH University of Science and Technology)

Kontakt:

mhajto@agh.edu.pl

Contact details of author:

Data:

18-09-2019

 **Geologische Bundesanstalt**

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE

 Freistaat
SACHSEN

 **CZECH
GEOLOGICAL
SURVEY**

 **GeoZS**
Geološki zavod
Slovenije



 **AGH**
AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

 **geoENERGIE
Konzept**

 **GIGA**
infosystems

 Bundesverband
Geothermie



City of
Ljubljana





SPIS TREŚCI:

A.	EXECUTIVE SUMMARY IN ENGLISH LANGUAGE	4
1.	Preface	4
1.1.	Definition / use of the term strategy in the context of the activities performed in Kraków pilot area	5
1.2.	The scope of the document and its addressees	6
1.3.	Reference to the GeoPLASMA-CE project including the link to the web-portal	8
B.	STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM	9
1.	Przedmowa	10
1.1.	Definicje używanych terminów w kontekście planowanych działań w obszarze pilotażowym Krakowa	12
1.2.	Cele, zakres i adresaci strategii	13
1.3.	Odniesienie do projektu, w tym do portalu internetowego GeoPLASMA-CE	14
2.	Wstęp	17
2.1.	Opis technologii geotermalnych pomp ciepła	17
2.1.1.	Systemy obiegu zamkniętego	18
2.1.2.	Systemy obiegu otwartego	19
2.1.3.	Zalety technologii geotermalnych pomp ciepła	20
2.2.	Charakterystyka obszaru pilotażowego Krakowa	23
2.2.1.	Geografia, zagospodarowanie terenu, ludność, gospodarka	25
2.2.2.	Warunki geologiczne	29
2.2.3.	Warunki hydrogeologiczne	31
3.	Gospodarka ciepła w Krakowie	35
3.1.	Uwarunkowania społeczno - ekonomiczne zawarte w wybranych dokumentach strategicznych dla Krakowa	35
3.2.	Struktura zużycia energii na cele ciepłownicze w Krakowie	37
3.3.	Koszty wytworzenia energii w Krakowie (ceny energii w Krakowie)	40
3.3.1.	Energetyka przemysłowa	40
3.3.2.	Koszty ciepła pochodzącego z geotermalnych pomp ciepła	43
3.4.	Stan wykorzystania ciepła Ziemi w rejonie Krakowa (dane statystyczne i rynkowe dotyczące geotermalnych pomp ciepła)	45
4.	Aktualne uwarunkowania dla rozwoju zastosowań płytkiej geotermii	52
4.1.	Systemy wsparcia w zakresie wykorzystania ciepła Ziemi w skali kraju, województwa małopolskiego oraz gminy miejskiej Krakowa (formalne, finansowe i organizacyjne)	53
4.2.	Wskazanie możliwości wzrostu wykorzystania geotermalnych pomp ciepła poprzez działania w ramach projektu GeoPLASMA-CE	56
4.3.	Identyfikacja lokalnych barier oraz wskazanie środków niwelujących zagrożenia zmierzające do większego wykorzystania geotermalnych pomp ciepła w Krakowie	57
5.	Przykłady zastosowań geotermalnych pomp ciepła w Krakowie (rozwiązania techniczne - studia przypadków)	59
6.	Opis proponowanej strategii efektywnego i zrównoważonego wykorzystania zasobów płytkiej energii geotermalnej w rejonie pilotażowym Krakowa	60
6.1.	Cel strategii, grupy docelowe, wartości docelowe i wskaźniki	60
6.2.	Przegląd proponowanych działań i środków zmierzających do osiągnięcia wyznaczonego celu	61
7.	Podsumowanie	61
C.	BIBLIOGRAFIA (REFERENCES)	64
D.	ANEKSY (ANNEXES)	68



Spis rysunków:

Rysunek 1	Proces cementowania przestrzeni pierścieniowej gruntowych wymienników ciepła (na podst. DPS, 2018)	19
Rysunek 2	Schemat instalacji gruntowych pomp ciepła systemu zamkniętego (z pionowym i poziomym wymiennikiem ciepła) i systemu otwartego w domu jednorodzinnym (GeoPLASMA-CE).....	20
Rysunek 3	Klasy energetyczne najbardziej popularnych technologii wytwarzania ciepła EHPA/PORTPC (na podst.: PORT PC, 2018).....	22
Rysunek 4	Układ głównych jednostek fizjogeograficznych na tle mapy geologicznej Krakowa (na podst. Kondracki, 2002)	26
Rysunek 5	Lokalizacja obszarów objętych formą ochrony przyrody w Krakowie	27
Rysunek 6	Lokalizacja obszarów występowania zagrożeń geogenicznych, gdzie należy spodziewać się występowania restrykcji w zakresie wykorzystania płytkiej geotermii w Krakowie	28
Rysunek 7	Walidacja terenów w rejonie Krakowa, obrazująca możliwość występowania konfliktów środowiskowych (tzw. „mapa światła drogowych”).....	29
Rysunek 8	Lokalizacja złóż oraz obszarów górniczych w rejonie Krakowa	31
Rysunek 9	Położenie Krakowa na tle głównych jednostek hydrogeologicznych (GZWP - głównych zbiorników wód podziemnych oraz JCWPd - jednolitych części wód podziemnych, zgodnie z RDW/2000/60/WE) oraz lokalizacja wybranych studni hydrogeologicznych	34
Rysunek 10	Struktura odbiorców energii cieplnej w 2017 r. (na podst.: „Raportu o stanie miasta 2017”)	39
Rysunek 11	Mapa istniejącej sieci ciepłowniczej obsługiwanej przez MPEC S.A., z zaznaczonymi obszarami nieperspektywnymi dla rozwoju sieci (udostępniono przez WGK UM Kraków, 2017).....	40
Rysunek 12	Ceny jednostkowe ciepła (1 GJ) ze źródeł wytwarzających ciepło w kogeneracji (na podst.: URE, 2018; „Energetyka ciepła w liczbach - 2017”)	43
Rysunek 13	Roczny koszt ogrzewania budynku o pow. 130 m ² wg WT 2017, wraz przygotowaniem c.w.u. (4 os. po 50 l/dobę) - dane styczeń 2018.....	45
Rysunek 14	Rynek pomp ciepła w Polsce w latach 2010-2017 (bez VRF) (na podst.: PORT PC)	46
Rysunek 15	Udział poszczególnych typów pomp ciepła w rynku w Polsce, w roku 2017 (na podst. Raportu PORT PC, 2018).....	47
Rysunek 16	Zestawienie głębokości otworów wierconych na potrzeby instalacji geotermalnych pomp ciepła w Krakowie (na podst. informacji WKS UM Krakowa oraz ekspertyzy DPS, 2018).....	49
Rysunek 17	Lokalizacja instalacji geotermalnych pomp ciepła oraz przeprowadzonych badań TRT w Krakowie (zestawiono na podst. informacji WKS UM Krakowa oraz ekspertyzy DPS, 2018)	51



Spis tabel:

Tabela 1	Podstawowe dane geograficzne i demograficzne obszaru pilotażowego Krakowa (na podst.: Chetstowska, Czerwińska, Filip, Żak, 2018; GUS, 2018) - status na 2017.....	24
Tabela 2	Zestawienie podstawowych parametrów rynku ciepła w Krakowie (opracowano na podst.: MPEC, 2018 - wg stanu na 2017 r.)	37
Tabela 3	Zestawienie danych statystycznych dotyczących rynku geotermalnych pomp ciepła w Krakowie (na podst.: WKŚ UMK oraz DPS, 2018).....	48
Tabela 4	Bariery dla rozwoju technologii pomp ciepła w Polsce, rozpoznawane przez środowisko branżowe, związane z pompami ciepła.....	58



A. Executive summary in English language

1. Preface

The objectives of the project in the Kraków pilot area is to support the city of Kraków with information on possible use of shallow geothermal energy and integrate this information into development and management strategies of the city. Quantification of shallow geothermal potential for utilisation with both ground source heat pumps (GSHPs) and water source heat pumps (GWHPs) as well for heating and cooling purposes seems to be the main challenge of the project implementation.

It is worth to emphasise that use of GSHPs technology may play significant role in the fight against smog, especially in Kraków, where no other alternative efficient renewable energy sources were recognized so far. Air pollution, caused mainly by the widespread use of solid fossil fuels for heating purposes, still remains one of the most important ecological problems in the entire Poland. This also applies to Kraków despite that the city authorities pay special attention on environmental issues, including air protection since 2011, when the Kraków City Council announced (proclaimed) resolution on the adoption of “Low Emission Reduction Program for the City of Kraków” which assumes financing the activities aiming at the replacement of solid fuels with more environmental friendly approaches. Hazardous air quality is a common problem particularly during the colder months when many residents used to use solid fuels or even burn garbage, despite the fact that doing so is forbidden. On 15th of January, 2016 the Małopolska Regional Assembly adopted so called “antismog resolution” (ODMV, 2016). This means that in the whole of Kraków Municipality a total ban of heating coal and wood, as well as use of fireplaces will be introduced. The new regulations are expected to contribute to a significant improvement in air quality in the city. The resolution entered into force on 1st of September, 2019.

Combating the problem of smog becomes also the main goal of the latest government (10 years program) entitled “Clean Air”, launched in December 2018, aimed at encouraging and assist residents of large cities to invest in modern heating systems to substitute the often dilapidated coal furnaces in their homes which contribute substantially to high levels of air pollution. Such program with the budget about PLN 103 billion (ca. 25 billion € !) which will hopefully improve shameful statistics shows that as many as 20 Polish cities are listed among the 50 most polluted in the EU, considering PM_{2.5} (EEA, 2018). Unfortunately, Krakow ranks 1st on the list of cities in Europe in terms of PM_{2.5} pollution, with annual average value of 37 µg/m³, and in terms of PM₁₀ pollution on 5th place (annual average of 55 µg/m³). According to the information taken from the measuring station located at Krasieńskiego av. in Kraków, 130 days were recorded in 2017 (the standard is 35 days - EC, 2008), in which the frequency of exceeding the daily PM₁₀ concentration standard exceeds the value of 50 µg/m³ (WiOŚ, 2019 - <http://krakow.pios.gov.com> / 2019/04/02 / perspective-air-quality-of-krakow). According to European Environmental Agency statistics (EEA, 2016) premature deaths in Poland attributable to PM_{2.5}, was estimated to 48 270 of beings.

From the other side 10 percent of Cracovians are not connected to the municipal heating network, what should be seen as a considerable defeat in Kraków’s development. One way to reduce of low emission, pointed out even by the Kraków Authorities, is the use of heat pumps. The market of shallow geothermal energy in the City of Kraków is still poorly recognized. Many of private investors assembles a heat pumps for heating their private houses, but the information on the location and installed thermal power is not properly registered. These disadvantages were also raised during many meeting being organized within the framework of GeoPLASMA-CE project, including a bilateral meetings and Stakeholder’s Event held on 25th



of September 2018 at Kraków Magistrate.

As well known beyond the GSHP, the application of WSHP in Kraków, should also be taken into consideration. The Kraków City is located within the extent of several underground aquifers which provide an important source of fresh tap water and supply not only residents of the City but surrounding suburb communities as well. Possible increasing numbers of applications, may influence on conflicts use and cause thermal overload of the shallow groundwater bodies.

The Polish Water Act (PWA, 2001) focuses on the use of groundwater, especially the drinking water supply. All possible energetic uses of the groundwater are regulated by another regulations (e.g. Polish Geological and Mining Law, ACT of 9th of June 2011, as amended). At the current stage of development and application of heat pumps, we are primarily interested on promotion of the technology itself, including the use of high efficient *water sourced heat pumps* (open loop systems) in Kraków, considering the risks associated with the unreasonable management of groundwater heat, to avoid in future, arising from excessive densities of water intakes problems on energetic use of the groundwater body, that are facing currently in Vienna (within the groundwater body Marchfeld).

Another challenge is to support promotion of geothermal heat pump applicatins in Kraków, where the use of HP is recommended not only by a society of professionals, manufacturers and installers, but first of all by the city authorities. Strengthening public awareness about the benefits of GHPs use and delivery of scientific and technical support aimed to enhance their wider applications in Kraków is the most important challenge of the GeoPLASMA-CE. The concept of increasing the use of heat pumps is also included in the draft plan of “Low-carbon economy” developed in order for the Kraków Municipality Office in 2015 (PGN, 2015 - updated in 2018), which assume the potential of renewable energy - particularly by the use of the HPs to 100 MW and possible production of ca. 150 000 MWh/year of thermal energy - now share of this technology in the entire energy balance of Kraków may be neglected.

This " Strategy to support the development of shallow geothermal energy in Kraków" was developed by the AGH University of Science and Technology, within the framework of the EU project "GeoPLASMA-CE" (Interreg Central Europe) (www.geoplasma-ce.eu). The "Strategy...", will constitute the final result of the project, aims at a synthetic assessment - based on data came from other documents, eg. “A low-emission economy plan”, “Spatial development plan” and the results of our own work within the project aiming at increasing the implementation of geothermal heat pump systems in Kraków and the vicinity region.

1.1. Definition / use of the term strategy in the context of the activities performed in Kraków pilot area

In the Kraków pilot area, in the nomenclature of the Municipality Office two definitions concepts describing important documents indicating the directions of the city's development are applicable, namely:

- a) strategic program (strategy) - the basic tool for the implementation of the most important urban document “*Krakow Development Strategy. This is where I want to live. Krakow 2030*” (KDS) - <https://www.bip.krakow.pl/?mmi=209>). The strategic program (strategy) accomplishes the goals/objectives set in the KDS. Strategy is characterized by: declared results, time horizon, list of tasks, indicators. The strategy, above all, should have relevant resources provided, including: financial, human capacity, organizational, etc. To sum up, it is a program that should be implemented in its entirety and its implementation is monitored on an ongoing basis through the internal reporting and supervisory system (in Krakow so called **STRADOM**). It contains tasks implemented by municipal units. An example of the strategic program is “*A Low-carbon economy plan for the Municipality of Krakow*”.



- b) Policy (also plan, assumptions) - a document indicating the directions of activities for a given field. It is more general, of a declarative nature, because the tasks do not have to be precisely defined and have guaranteed resources. Such a document may be the basis for applying for financing from the city budget or external sources. It may contain tasks carried out by units independent of the municipality, eg. by residents, entrepreneurs, etc. An example of the policy is the document named "*Assumptions for the plan of supplying heat, electricity and gas fuels for the Municipality of Krakow*".

Due to the fact that the activities in the scope of the GeoPLASMA-CE project do not include an issues related to financing, the proposed solutions ("strategies") are based on geological and technical parameters, aimed at:

- a) determining the geothermal (technical*) potential of geothermal heat pumps, in the city scale (in J/a, kWh/a),
- b) determining the type of preferred (most effective) heat/cold extraction systems for a given location (open/closed loop system),
- c) determination of areas with high and low potential (geothermal potential map) for heating and/or cooling, and finally
- d) determination of environmental conditions, land-use conflicts and other constraints, related to the use of drilling technology during the exploration and exploitation of shallow geothermal resources in the scale of the Kraków.

The analysis of the above parameters, combined with the assumptions of the short- and medium-term prospects for the development of the Krakow city, will allow to identify the most effective technologies, ways and areas for using geothermal heat pumps. Due to the formal framework of the GeoPLASMA-CE project, we will not be able to determine detailed technical and economic solutions in the form of a "feasibility study" for a specific location.

1.2. The scope of the document and its addressees

The main objective of the presented strategy is the promotion of geothermal heat pump technologies (GHPs) and increasing their use in Krakow, and consequently to increase the share of renewable energy sources (RES) in the overall energy balance of the city. The low share of RES in Krakow is identified at strategic urban documents, including the "*Development Strategy of Krakow. Here I want to live. Krakow 2030.*" According to forecasts included in the "*Low-carbon economy plan for the Krakow Municipality*" (PGN, 2015 - updated on 09/2018), the total amount of energy produced from renewable energy, as a result of strategic measures, will amount to 151 003 MWh/year in 2020 (which corresponds to forecasted share of RES in final energy consumption as on 2020 - at the level of only 1.16%). Increasing the share of renewables in Krakow's energy mix aimed at reducing CO₂, in line with national commitments, ensuring sustainable city development, is one of Krakow's strategic goals, which can be implemented through an increased use of HPs. Long-term energy potential, related to heat pumps, is estimated at: 10,000 units, installed capacity of ca. 100 MW, and heat production potential at a level of 150,000 MWh/year (PGN, 2015, updated in 2018).

One of the main goal of the GeoPLASMA-CE project in Krakow aim at assessment and to verify existing estimates on theoretical (geological) and technical potential of the shallow geothermal energy, accumulated within the city's administrative boundaries.

The increase of SGE usage will depend on the technical and economic factors associated with the use of heat pumps. This increase will not be possible without strengthening public awareness of the benefits of



using shallow geothermal resources and without adequate scientific and technical support for the design, construction and use of the GHPs installation. An important issues in this respect is the development and provision of "tools" for planning and sustainable use of shallow geothermal resources. Within the GeoPLASMA-CE project, it is accomplished by developing a different maps, describing shallow geothermal potential, as well as geo-environmental conflict maps, that will be used to prepare a local strategy supporting the development of HPs market in Krakow.

The addressees of the Strategy are, first of all, a local self-government authorities, mainly departments of the Krakow's Municipality Office, responsible for issues related to municipal services, including supplying the city residents with energy/heat (Department of Municipal Services), environmental issues (Department of Environment Development, Department of Air Quality) and the Department of Spatial Planning of Krakow.

The developed "Strategy..." may also be the starting point for initiatives possible undertaken by operators of small heating networks and local heat producers for the needs of housing estates, large public utilities and entrepreneurs whose facilities are located outside the heat distribution network of Municipal District Heating Enterprise (MPEC S.A.). The interest in using the results of the GeoPLASMA-CE project in Krakow, at the current stage of project implementation, is already reported by MPEC S.A., which took the initiative and consider the possibility of using SGE for heating and cooling in prospective locations, where expansion of the heating network is economically and/or technically unfeasible. It would be an important key-factor, enriching the product offer of MPEC SA., which could significantly raise awareness on heat pump technologies and significantly increase current low share of RES in the final energy consumption balance in Krakow.

The "Draft strategy..." will be delivered to the project stakeholder's for consultation, and after the amendments, will be updated - considering an issues on geothermal potential and geo-environmental constrains and finally published. It will constitute a document, proposal of a scientific community, that provide the necessary information and the accompanying planning tools for sustainable use of shallow geothermal resources in Krakow. The information provided in the "Strategy..." will apply to the construction of relevant Krakow city documents: strategies and policies, including: "A low-carbon economy plan for Krakow Municipality" (PGN), "A low emission reduction plan" (PONE), "Assumptions for a Local Plans of Heat, Electricity and Gas Fuels Supply, for Krakow Municipality", as well as "Local Spatial Development Plan for Krakow Municipality" and other.

Particular sections of the "Strategy...", supplemented with GeoPLASMA-CE project documentation, can be used to assess the technical feasibility and possible support the investments from the public funds, eg. from the PONE program (RFEP&WM), taking into consideration consistency of the *Geological Projects* with local spatial development plans, as well as possible environmental conflict analysis resulting from: the *Environmental Protection Law (Journal of Laws 2001 No. 62 item 627)*, *Geological and Mining Law (Journal of Laws 2011 No. 163 item 981)*, *Water Law (Journal of Laws 2017 item 1566)* and other regulations and related documents. The above information may be used by Geological Administration bodies, including the Provincial Geologist, Poviats Geologist and subordinate geological surveys, who are responsible for any permits and licencing procedures related to shallow geothermal, and mineral resources use.

The developed "Strategy..." of shallow geothermal development and accompanying planning tools (eg potential maps, environmental conflict and others) and a dedicated online platform (<https://portal.geoplasma-ce.eu>) can be used by various groups of stakeholder's to which, including, among others: Krakow's residents, local self-government authorities, authorities and decision-makers at the regional level, development companies and investors in housing and commercial construction, drilling companies and installers involved in the design and launching the geothermal installations, as well as local geological administration surveys.



1.3. Reference to the GeoPLASMA-CE project including the link to the web-portal

Project "GeoPLASMA-CE - Shallow Geothermal Energy Planning, Assessment and Mapping Strategies in Central Europe" (in Polish translation: " „Opracowanie zasad planowania, strategii wykorzystania oraz metod oceny i wykonywania map potencjału płytkiej geotermii w Europie Środkowej” is carried out in 2016-2019, by 11 partners from 6 countries, and financed by the INTERREG Central Europe 2014-2020 international cooperation program. Project works are carried out in 6 selected pilot areas, including two cross-border regions: Vogtland-West Bohemia (borderland D/CZ) and Wałbrzych-Broumov (borderland PL-CZ), and in urban areas covering the cities of: Vienna, Bratislava, Ljubljana and Kraków. Works within pilot area Kraków are coordinated by the AGH - University of Science and Technology in Kraków.

The AGH UST task is to process geological and hydrogeological data, to develop a set of geothermal potential and other thematic, geo-environmental risk maps for the Kraków pilot area. These maps will allow to indentify areas that are characterized by the most favourable conditions for both open (OLS) and closed loop systems (CLS) instalations. The results of the project will be available on the dedicated online portal of the GeoPLASMA-CE project (<https://portal.geoplasma-ce.eu>). This portal will provide access to online services enable to preliminary identification of shallow geothermal resources and the occurrence of possible constrains related to the use of SGE in Kraków. The portal will also provide other useful tools, including guidelines for the proper and effective management of shallow geothermal energy resources, contact with experts, glossary of terms, and other.

One of the main challenge for the Kraków pilot area was development a coherent 3D digital geological model, which despite several decades of geological, engineering and hydrogeological activity, aimed at identification the technical conditions for infrastructure development and the possibility of use of groundwater to supply Krakow's inhabitants has not been created so far. The construction of such model can also be seen as a great, scientific and research achievement itself. The completed geological 3D model can be used while planning other infrastructure projects in Krakow, including the Kraków Metro project.

Collection and integration of overall geological and hydrogeological data constitute also a significant achievement of AGH UST Team. The database will be used to validate 2D/3D models which will enable estimation of geothermal potential for the use and simulation of periodical behaviour of the aquifer, including estimation of potential hydraulic and thermal mutual impact of existing and planned geothermal use. Results will be elaborated and presented in the form of user friendly 3D viewer tool that will be used by local stakeholders, including the authorities for management of shallow geothermal use in Kraków pilot area. Another GeoPLASMA-CE project task is focused on detailed information about these installed, working GHPs. Relevant data acquisition have been performed as joint activity of the AGH UST, Kraków Municipality Office and the Polish Organization of Heat Pump Technology Development (PORT PC).

Finally accomplishments arising also from providing of reliable qualitative information on environmental constrains resulting from a diverse use of surface and subsurface infrastructure in a densely populated Kraków area, considering use of groundwaters as a drinking water resource, in a form of user friendly tools and maps, that could form a base for planning and designing geothermal systems, what still the consumers, specialists and local authorities (dealing with permits and licence procedures, etc.) are awaiting for.



B. Streszczenie w języku polskim

Niniejszy dokument zawiera propozycje środków mających na celu zwiększenie udziału płytkiej energii geotermalnej w dostawie ciepła w Krakowie. Katalog środków jest skierowany przede wszystkim do interesariuszy z krakowskiego obszaru pilotażowego, obejmujących: mieszkańcy Krakowa, lokalne władze samorządowe, władze i decydenci na szczeblu regionu, firmy deweloperskie i inwestorzy w budownictwie mieszkaniowym i komercyjnym, firmy wiertnicze i instalatorskie zajmujące się projektowaniem i montażem geotermalnych pomp ciepła oraz organy administracji geologicznej i inni.

W pierwszej części dokumentu wyjaśniono pojęcie „strategii” w kontekście planowanych działań w obszarze pilotażowym Krakowa, która jest spójna z definicjami, pojęciami i nomenklaturą stosowaną w dokumentach miejskich. Powinno to zapewnić transparentność przekazu oraz umożliwić przetransponowanie proponowanych rozwiązań na płaszczyznę odpowiednich dokumentów miejskich.

W kolejnych rozdziałach dokonano krótkiego opisu zasad funkcjonowania geotermalnych systemów opartych o pompy ciepła, zwracając szczególną uwagę na możliwości i uwarunkowania związane z efektywnym wykorzystaniem ciepła Ziemi oraz ciepła zakumulowanego w wodach podziemnych do celów ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz do chłodzenia.

W kolejnym rozdziale przedstawiono ogólne informacje dotyczące obszaru pilotażowego i ustalono tzw. warunki brzegowe projektu, w tym zasięg obszaru badań, ogólne warunki demograficzne, geologiczne, hydrogeologiczne, środowiskowe i inne.

Na tle specyficznych uwarunkowań społeczno - ekonomicznych miasta, w rozdziale 3 dokonano analizy danych dotyczących gospodarki ciepłej Krakowa, ze szczególnym uwzględnieniem roli Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej w Krakowie, które zapewnia dostawę ciepła dla ok. 65% mieszkańców Krakowa. W rozdziale tym wskazano główne podmioty produkujące ciepło w Krakowie oraz zestawiono informacje nt. kosztów wytwarzania oraz sprzedaży ciepła w mieście.

W rozdziale 4 omówiono aktualne uwarunkowania dla rozwoju zastosowań płytkiej geotermii, w tym dokonano przeglądu funkcjonujących obecnie systemów wsparcia w zakresie instalacji geotermalnych pomp ciepła, ze szczególnym naciskiem na wskazanie źródeł finansowania tych inwestycji. Dokonano również analizy otoczenia rynku pomp ciepła w Krakowie, identyfikując lokalne bariery rozwoju omawianej technologii, wyływające z uwarunkowań o zasięgu europejskim, krajowym a także lokalnym, dotyczącym województwa małopolskiego oraz miasta.

W celu przybliżenia technologii geotermalnych pomp ciepła, w **rozdziale 5** opisano przykłady praktycznych zastosowań geotermalnych pomp ciepła w Krakowie, jako tzw. przykłady dobrych praktyk.

W rozdziale 6 zaprezentowano zarys koncepcji strategii efektywnego i zrównoważonego wykorzystania zasobów płytkiej energii geotermalnej w rejonie pilotażowym Krakowa, wskazując cele strategiczne, grupy oraz wartości docelowe i wskaźniki. W powyższym zakresie dokonano również przeglądu proponowanych działań i środków zmierzających do osiągnięcia wyznaczonego celu.

Uzupełnieniem dokumentu są 2 aneksy. Aneks nr 1 - dotyczący szczegółowego opisu przykładów zastosowań geotermalnych pomp ciepła w Krakowie oraz Aneks nr II - dotyczący zestawienia proponowanych działań w zakresie promocji oraz zwiększenia wykorzystania technologii pomp ciepła w krótko-, średnio- i długo-terminowej perspektywie czasowej.

Mamy nadzieję, że zarówno wyniki projektu GeoPLASMA-CE, jak i zaproponowana strategia promocji i rozwoju wykorzystania geotermalnych pomp ciepła wpłyną na podniesienie poziomu wiedzy i świadomości na temat możliwości wykorzystania tej technologii oraz przyczynią się do szerszego zastosowania geotermalnych pomp ciepła do ogrzewania i/lub chłodzenia różnego typu obiektów w naszym Mieście.



1. Przedmowa

Podstawowym celem projektu, realizowanego w krakowskim obszarze pilotażowym, jest wsparcie miasta Krakowa w zakresie informacji o możliwościach wykorzystania zasobów płytkiej geotermalnej oraz integracja wyników projektu z obowiązującymi obecnie dokumentami strategicznymi, w zakresie rozwoju i zarządzania miastem. Głównymi zadaniami postawionymi w projekcie było oszacowanie zasobów płytkiej geotermii oraz wskazanie najbardziej perspektywicznych lokalizacji dla zastosowań wykorzystujących technologię pomp ciepła w systemach zamkniętych, typu solanka-woda (GWC), jak i w systemach otwartych, typu woda-woda, do ogrzewania i chłodzenia. Warto tutaj podkreślić, że wykorzystanie technologii pomp ciepła może odegrać istotną rolę w walce ze smogiem, szczególnie w Krakowie, gdzie dotychczas nie rozpoznano innych alternatywnych, efektywnych odnawialnych źródeł energii. Zanieczyszczenie powietrza, spowodowane głównie powszechnym wykorzystaniem stałych paliw kopalnych do celów grzewczych, nadal pozostaje jednym z najważniejszych problemów rozwojowych w całej Polsce. Dotyczy to również Krakowa, pomimo tego, że władze miasta są prekursorami w zakresie rozwiązań formalnych, zmierzających do poprawy jakości powietrza w Polsce. Nie dość wspomnieć, że już w 2011 roku, Rada Miasta Krakowa proklamowała uchwałę w sprawie przyjęcia "**Programu redukcji niskiej emisji dla miasta Krakowa**". W konsekwencji licznych działań od 1 września 2019 roku obowiązuje całkowity zakaz spalania węgla i innych paliw stałych w mieście.

Zła jakość powietrza jest problemem z którym mieszkańcy Krakowa borykają się na co dzień. Jest to szczególnie uciążliwe w chłodniejszych miesiącach, kiedy wielu mieszkańców zwykło używać węgla oraz innych paliw stałych. Nierzadko, pomimo wyraźnego zakazu, palono nawet śmieci. W powyższym zakresie 15 stycznia 2016 r. Sejmik Województwa Małopolskiego przyjął tzw. "uchwałę antysmogową" (ODMV, 2016). Zgodnie z uchwałą, wprowadzone zostały ograniczenia w zakresie eksploatacji instalacji, w których następuje spalanie paliw, w tym węgla i drewna, a nawet wykorzystania kominków w rejonie Krakowa. Intencją uchwały było ograniczenie niskiej emisji oraz poprawa jakości powietrza w mieście. Zgodnie z uchwałą całkowity zakaz spalania paliw stałych (węgla, drewna, etc.) wchodzi w życie z dniem 1 września 2019 roku.

Zwalczanie problemu niskiej emisji stało się także głównym celem rządowego (2018-2029) "**Czyste powietrze**". Program „Czyste powietrze” to kompleksowy plan działań zaprojektowany w celu ograniczenia lub wyeliminowania emisji do atmosfery pyłów i innych szkodliwych substancji przed domy jednorodzinne. Program obejmuje dwa podstawowe sposoby realizacji tego celu: wymiana starych pieców i kotłów domowych na paliwo stałe oraz termomodernizacja budynków jednorodzinnych. Całkowity budżet projektu to kwota 103 mld zł (ok. 25 mld euro!), które miejmy nadzieję poprawią niechlubne statystyki, które wskazują, że aż 20 polskich miast jest wymienianych wśród 50 najbardziej zanieczyszczonych w UE, rozważając PM2.5 (EEA, 2018). Niestety Kraków zajmuje 1-szą pozycję na liście miast w Europie pod względem zanieczyszczenia PM2.5, wartość średnia roczna na poziomie 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a pod względem zanieczyszczenia PM10, na 5 miejscu (wartość średnia roczna na poziomie 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Według danych stacji pomiarowej zlokalizowanej przy al. Krasińskiego w Krakowie, w 2017 zanotowano 130 dni (norma wynosi 35 dni - EC, 2008), w których częstość przekraczania dobowej normy stężenia pyłu zawieszonego PM10 przekracza wartość 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WIOŚ, 2019 - <http://krakow.pios.gov.pl/2019/04/02/perspektywy-jakosci-powietrza-w-krakowie>). Według danych Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska (EEA, 2018) przedwczesne zgony w Polsce, które można przypisać PM2.5, oszacowano na 44 500 istot.

Pomimo znaczących nakładów inwestycyjnych miejskiej spółki ciepłowniczej MPEC S.A., wciąż ok. 10% Krakowian nie jest podłączonych do miejskiej sieci ciepłowniczej, co wynika z wielu czynników natury technicznej i/lub ekonomicznej. Jednym ze sposobów zmniejszenia niskiej emisji w Krakowie, wskazanym również przez pracowników Urzędu Miasta Krakowa, jest zastosowanie pomp ciepła.

Rynek pomp ciepła w Krakowie jest nadal słabo rozpoznany. Wielu prywatnych inwestorów montuje urządzenia do ogrzewania prywatnych domów, ale informacje na temat lokalizacji i zainstalowanej mocy



cieplnej nie są prawidłowo rejestrowane. Kwestie dotyczące niedostatecznego monitoringu rynku pomp ciepła oraz istniejących instalacji były wielokrotnie podejmowane podczas spotkań organizowanych w ramach projektu GeoPLASMA-CE, w trakcie spotkań dwustronnych z przedstawicielami krakowskiego magistratu oraz na spotkaniach z pozostałymi interesariuszami, w tym podczas konferencji, która odbyła się w Urzędzie Miasta Krakowa na Placu Wszystkich Świętych 3-4, 25 września 2018 r. oraz seminarium (szkolenia), które miało miejsce dn. 20 września 2019 roku w Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH w Miękinii k. Krzeszowic.

Analiza danych geologicznych i hydrogeologicznych wskazuje, że w rejonie Krakowa można wykorzystać zarówno ciepło Ziemi, jak i ciepło zakumulowane w zbiornikach wód gruntowych. Kraków znajduje się w zasięgu zbiorników wodonośnych, stanowiących istotne źródło zaopatrzenia mieszkańców miasta oraz ościennych gmin w wodę pitną. Nieprawidłowe wykorzystanie wód tych zbiorników, obejmujące technologie pomp ciepła może stanowić zagrożenie dla zbiorników wód pitnych. W świetle powyższych informacji analiza możliwości zaistnienia konfliktów środowiskowych jest nierozłącznym elementem oceny potencjału i możliwości wykorzystania wód podziemnych do celów energetycznych w Krakowie.

Ustawa *Prawo Wodne* (PWA, 2001) koncentruje się na wykorzystaniu wód podziemnych, w szczególności wody pitnej. Wszystkie możliwe zastosowania energetyczne wód podziemnych regulują inne przepisy (np. *Prawo Geologiczne i Górnicze* - ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r., z późniejszymi zmianami (PGG, 2011).

Na obecnym etapie rozwoju i zastosowania pomp ciepła, zalecamy rozważenie możliwości wykorzystania wysokoefektywnych energetycznie systemów opartych na wodach podziemnych (woda-woda) (ang. *OLS - open loop system*). Zwracamy jednakże uwagę, aby w celu uniknięcia nadmiernej eksploatacji wód i/lub ciepła, wynikającej ze zbyt gęstej siatki otworów i znaczącej ekstrakcji ciepła, nie doprowadzić do zagrożeń w długotrwałym funkcjonowaniu systemów ciepłowniczych opartych o wody podziemne, którego efekty zaobserwowano obecnie np. w Wiedniu (*projekt Marchfeld*).

Istotnym zadaniem, realizowanym w ramach projektu, jest promocja wykorzystania geotermalnych pompy ciepła w Krakowie. Jak wskazują opinie środowiska nauki oraz praktyków, instalatorów systemów pomp ciepła, wykorzystanie powyższej technologii jest jak najbardziej uzasadnione, nie tylko ze względów technicznych ale przede wszystkim środowiskowych. Zasadność zwiększenia udziału ciepła i chłodu produkowanego w Krakowie przy wykorzystaniu pomp ciepła podkreślają także osoby odpowiedzialne za kształtowanie środowiska oraz za kwestie związane z zaopatrzeniem miasta w energię, w tym przedstawiciele MPEC SA w Krakowie.

Jednym z najważniejszych wyzwań projektu GeoPLASMA-CE w Krakowie jest wzmocnienie świadomości społecznej w zakresie korzyści wyływających z zastosowania gruntowych pomp ciepła. Dotyczy to również udzielenia wsparcia naukowego i technicznego, w celu zwiększenia szerszego wykorzystania pomp ciepła w Krakowie. Powyższa koncepcja jest spójna z dokumentami miejskimi, w tym z „*Planem Gospodarka Niskoemisyjnej dla Miasta Krakowa*”, opracowanym w 2015 r. (PGN, 2015 - aktualizacja 2018), w którym potencjał energii odnawialnej, związany z wykorzystaniem pomp ciepła w Krakowie oszacowano na ok. 100 MW i (możliwa produkcja ok. 150 000 MWh/rok) energii cieplnej. Obecny udział technologii w całkowitym bilansie energetycznym Krakowa jest znikomy i wynosi ok. 0,3% (szerzej patrz rozdz. 3.4).

Projekt „*Strategii wsparcia rozwoju płytkiej geotermii w Krakowie*” został opracowany przez Akademię Górniczo-Hutniczą, w ramach unijnego projektu "GeoPLASMA-CE" (Interreg Central Europe - www.geoplasma-ce.eu). Strategia jest jednym z kluczowych dokumentów projektu. Dodażyliśmy wszelkich starań, aby dokument ten był spójny z zapisami zawartymi w dokumentach miejskich, w tym np. w: "Planie gospodarki niskoemisyjnej...", „Planie zagospodarowania przestrzennego...” i innych.

„Strategia...” będzie zawierała syntetyczną ocenę wyników osiągniętych w projekcie oraz listę działań i środków, które w synergii z innymi, obowiązującymi dokumentami miejskimi mogą przyczynić się do zwiększenia wykorzystania zasobów płytkiej geotermii w Krakowie oraz zwiększenia udziału OZE w bilansie energetycznym miasta, zarówno w krótko-, jak i długoterminowej perspektywie czasowej.

1.1. Definicje używanych terminów w kontekście planowanych działań w obszarze pilotażowym Krakowa

W obszarze pilotażowym miasta Krakowa, w nomenklaturze urzędu miasta funkcjonują 2 pojęcia opisujące istotne dokumenty wskazujące kierunki rozwoju miasta, a mianowicie:

- a) program strategiczny (strategia) - jest to podstawowe narzędzie realizacji najważniejszego dokumentu miejskiego jakim jest „*Strategia Rozwoju Krakowa*” (SRK). Program strategiczny realizuje cel/cele zapisane w SRK - <https://www.bip.krakow.pl/?mmi=209>. Strategia ma zadeklarowany wynik, horyzont czasowy, listę zadań, wskaźniki a przede wszystkim zapewnione zasoby: finansowe, kadrowe, organizacyjne itp. Czyli jest to program, który w całości powinien zostać zrealizowany, a jego realizacja jest na bieżąco monitorowane poprzez system sprawozdawczo-nadzorczy *STRADOM*. Zawiera zadania realizowane przez jednostki gminne. Dla przykładu programem strategicznym jest „*Plan Gospodarki Niskoemisyjnej*”.
- b) polityka (także plan, itp.) - dokument wskazujący kierunki działań dla jakiejś dziedziny. Jest bardziej ogólny, o charakterze deklaratywnym, bo zadania nie muszą być precyzyjnie zdefiniowane oraz mieć zagwarantowanych zasobów. Taki dokument może być podstawą do starania się o finansowanie z budżetu miasta lub zewnętrznie. Może zawierać zadania realizowane przez jednostki niezależne od gminy: mieszkańców, przedsiębiorców itp. Polityką są np. „*Założenia do planu zaopatrzenia Gminy Miejskiej Kraków w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe*”.

Ze względu na fakt, że działania w zakresie projektu GeoPLASMA-CE nie zawierają elementów związanych z finansowaniem, zaproponowane rozwiązania („strategie”) opierają się na parametrach geologicznych i technicznych, zmierzających do:

- a) określenia potencjału geotermicznego (technicznego*) geotermalnych pomp ciepła, w skali miasta (w J/rok; kWh/rok),
- b) określenia rodzaju preferowanych (najbardziej efektywnych) systemów ekstrakcji ciepła/chłodu dla danej lokalizacji (układ otwartej/zamknięty),
- c) wyznaczanie obszarów o wysokim i niskim potencjale (mapa potencjału geotermalnego) do celów ogrzewania i/lub chłodzenia oraz
- d) określenia uwarunkowań środowiskowych, obejmujących elementy zagospodarowanie przestrzennego miasta związane z wykorzystaniem technologii wiertniczych do rozpoznawania i udostępnienia zasobów płytkiej geotermii w skali Krakowa.

Analiza powyższych parametrów, w połączeniu z założeniami krótko- i średnioterminowe perspektyw rozwoju miasta Krakowa, pozwoli nam wskazać najbardziej efektywne technologie, sposoby i miejsca dla wykorzystania geotermalnych pomp ciepła. Ze względu na ramy formalne projektu GeoPLASMA-CE, nie będziemy w stanie określić szczegółowych rozwiązań techniczno-ekonomicznych, w formie „*studium wykonalności*” dla konkretnej lokalizacji.

W Polsce nie ma obowiązującej formalnie definicji „*energii geotermalnej*”. Potocznie mianem „*energii geotermalnej*” określa się naturalną energię wnętrza Ziemi, która zakumulowana jest w gruntach, skałach i płynach wypełniających pory i szczeliny skalne w skorupie ziemskiej.

Funkcjonuje natomiast definicja „*wód termalnych*” (PGG, z dnia 9 czerwca 2011 r. (Dz.U. z 2011 r. Nr 163, poz. 981 ze zmianami, tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 868): Art. 5 pkt. 2.2, wg której „*wodą termalną*” jest woda podziemna, która na wypywie z ujęcia ma temperaturę nie mniejszą niż 20°C (pkt. 4), z wyłączeniem wód pochodzące z odwadniania wyrobisk górniczych. Dodatkowo należy tutaj przypomnieć, że woda termalna jest kopalina, w związku z czym w zakresie poszukiwania i eksploatacji mają zastosowania zapisy Prawa Geologicznego i Górniczego, a eksploatacja podlega koncesjonowaniu przez Państwo.



W Europie energia geotermalna oznacza „...energię zmagazynowaną w postaci ciepła pod powierzchnią Ziemi” (Art. 2 Dyrektywy OZE Komisji Europejskiej (2009/28/EC)). Powyższa definicja jest pojemna i elastyczna, co pozwala na objęcie szeregu technologii wykorzystywanych do produkcji: ciepła, chłodzenia, przygotowania c.w.u oraz energii elektrycznej, w tym: systemy pomp ciepła zamknięte i otwarte, do ogrzewania, chłodzenia i c.w.u. w budynkach prywatnych, duże pompy ciepła do centralnego ogrzewania i chłodzenia, systemy ciepłownicze i chłodnicze, bezpośrednie zastosowania geotermii do ogrzewania i chłodzenia w usługach, przemyśle i rolnictwie, jednoczesne wytwarzanie ciepła i prądu, elektrownie (hydrotermalne i EGS), a także podziemne magazynowanie energii cieplnej.

1.2. Cele, zakres i adresaci strategii

Zasadniczym celem prezentowanej strategii jest promocja technologii geotermalnych pomp ciepła (GPC) i zwiększenie ich wykorzystania w Krakowie, a w konsekwencji wzrostu wskaźnika udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w ogólnym bilansie energetycznym miasta. Niski udział odnawialnych źródeł energii w Krakowie, identyfikowany jest w strategicznych dokumentach miejskich, w tym „Strategia Rozwoju Krakowa. Tu chcę żyć. Kraków 2030.” Według prognoz zawartych w „Planie gospodarki niskoemisyjnej dla Gminy Miejskiej Kraków” (PGN, 2015 - aktualizacja 09/2018) sumaryczna ilość produkowanej energii z OZE w wyniku realizacji działań strategicznych, w roku 2020 wyniesie 151 003 MWh/rok (co odpowiada udziałowi OZE w prognozowanym końcowym zużyciu energii w roku 2020 na poziomie zaledwie 1,16%). Zwiększenie udziału OZE w bilansie energetycznym Krakowa zmierzające do redukcji CO₂, zgodnie z zobowiązaniami krajowymi, przy zapewnieniu zrównoważonego rozwoju miasta jest jednym z celów strategicznych Krakowa, który może być realizowany poprzez zwiększony udział wykorzystania ciepła Ziemi. Długoterminowy potencjał energetyczny, ukryty w pompach ciepła szacowany jest na 10 000 szt., zainstalowaną moc 100 MW, potencjał wytwarzania energii cieplnej 150 000 MWh/rok. (PGN, 2015 - aktualizacja 2018).

Jednym z głównych celów projektu GeoPLASMA-CE w Krakowie będzie dokonanie oceny i weryfikacja oszacowań w zakresie istniejącego teoretycznego (geologicznego) i technicznego* potencjału energetycznego ciepła Ziemi, zakumulowanego w granicach administracyjnych miasta.

Wzrost wykorzystania zasobów ciepła Ziemi będzie uzależniony od technicznych i ekonomicznych czynników związanych z wykorzystaniem pomp ciepła. Wzrost ten nie będzie możliwy bez wzmocnienia świadomości społecznej na temat korzyści płynących z wykorzystania zasobów płytkiej geotermii oraz bez odpowiedniego wsparcia naukowo-technicznego w zakresie projektowania, wykonawstwa i użytkowania instalacji GPC. Istotnym elementem w tym zakresie jest opracowanie i udostępnienie „narzędzi” służących do planowania oraz zrównoważonego wykorzystania zasobów płytkiej geotermii. W projekcie GeoPLASMA-CE zrealizowane to jest poprzez opracowanie map potencjału energetycznego płytkiej geotermii oraz map konfliktowości i zagrożeń geo-środowiskowych, które posłużą do stworzenia lokalnej strategii wspomagającej rozwój rynku geotermalnych pomp ciepła w Krakowie.

Adresatami Strategii są, w pierwszej kolejności, lokalne władze samorządowe, głównie wydziały urzędu Miasta Krakowa, odpowiedzialne za kwestie związane z gospodarką komunalną, w tym zaopatrzenie mieszkańców miasta w energię/ciepło (Wydział Gospodarki Komunalnej UMK), kwestiami ochrony

* potencjał techniczny (na podst. Narodowego Laboratorium Energetyki Odnawialnej: <https://www.nrel.gov/gis/re-potential.html> - jest to możliwy do uzyskania zasób energii, biorąc pod uwagę wydajność oraz sprawność systemu jego pozyskania oraz uwarunkowania środowiskowe, w tym: ukształtowanie i zagospodarowanie terenu, itp. (ang. *Technical potential, after the National Renewable Energy Laboratory: https://www.nrel.gov/gis/re-potential.html - is achievable energy generation given system performance, topographic, environmental, and land-use constraints*))



środowiska (Wydział Kształtowania Środowiska UMK, Wydział ds. Jakości Powietrza UMK oraz Wydział Planowania Przestrzennego UMK).

Opracowana „Strategia...” może stanowić również punkt wyjściowy dla inicjatyw podejmowanych przez operatorów małych sieci ciepłowniczych i lokalnych wytwórców ciepła na potrzeby osiedli, dużych obiektów użyteczności publicznej oraz przedsiębiorców, których obiekty zlokalizowane są poza zasięgiem sieci ciepłowniczej Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej S.A.. Zainteresowanie wykorzystaniem wyników projektu GeoPLASMA-CE w Krakowie, już na obecnym etapie realizacji projektu, zgłasza również MPEC SA., który podjął inicjatywę i rozważa możliwość wykorzystania ciepła Ziemi do celów grzewczych i chłodzenia w perspektywicznych lokalizacjach, gdzie rozbudowa sieci ciepłowniczej jest nieuzasadniona ekonomicznie i/lub technicznie. Byłby to istotny element wzbogacenia oferty produktowej MPEC S.A., mogący w znacznym stopniu wpłynąć na popularyzację technologii pomp ciepła oraz wydatnie zwiększyć niski dotychczasowy udział OZE w końcowym zużyciu energii w Krakowie.

„Zarys strategii...” został udostępniony interesariuszom projektu do konsultacji, a po wprowadzeniu niezbędnych poprawek i uzupełnień w zakresie dotyczącym potencjału geotermalnego oraz uwarunkowań geosrodowiskowych związanych z wykorzystaniem GPC, zostanie opublikowany. Będzie to dokument, propozycja środowiska naukowego, dostarczający niezbędnych informacji i narzędzi w zakresie możliwości zrównoważonego wykorzystania płytkich zasobów geotermalnych w skali miasta. Informacje zawarte w „Strategii...” będą miały zastosowanie przy konstruowaniu istotnych dokumentów miejskich: strategii i polityk, w tym aktualizacji: *Planu Gospodarki Niskoemisyjnej (PGN)*, *Planu Ograniczania Niskiej Emisji (PONE)*, *Założeń do planu zaopatrzenia Gminy Miejskiej Kraków w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe*, *Planu zagospodarowania przestrzennego (MPZP)* i innych.

Elementy „Strategii...”, uzupełnione dokumentacją projektu, mogą być wykorzystane do oceny technicznej zasadności inwestycji w zakresie wykorzystania ciepła Ziemi wspieranych środkami publicznymi, np. z programu PONE (WFOŚiGW), spójności projektów geologicznych z miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego oraz wstępnej oceny konfliktowości środowiskowej projektów z zapisami wynikającymi z: Prawa Ochrony Środowiska (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627 ze zmianami, tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 1396), Prawa Geologicznego i Górniczego (Dz.U. 2011 nr 163 poz. 981 ze zmianami, tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 868), Prawa Wodnego (Dz.U. 2017 poz. 1566 ze zmianami, tekst jednolity Dz.U. 2018 poz. 2268) oraz innych rozporządzeń i dokumentów pokrewnych.

Powyższe informacje mogą być wykorzystane przez organy administracji geologicznej, Starostów powiatowych oraz podległe służby geologiczne np. Geologa Powiatowego opiniującego m.in. projekty robót geologicznych w zakresie wykorzystania ciepła Ziemi.

Opracowana „Strategia...” rozwoju płytkiej geotermii i towarzyszące jej narzędzia planistyczne (np. mapy potencjału, konfliktowości środowiskowej i inne) oraz dedykowana platforma internetowa (<https://portal.geoplasma-ce.eu>) z mogą być wykorzystywane przez różne grupy interesariuszy do których m.in. należą: mieszkańcy Krakowa, lokalne władze samorządowe, władze i decydenci na szczeblu regionu, firmy deweloperskie i inwestorzy w budownictwie mieszkaniowym i komercyjnym, firmy wiertnicze i instalatorskie zajmujące się projektowaniem i montażem geotermalnych pomp ciepła oraz organy administracji geologicznej.

1.3. Odniesienie do projektu, w tym do portalu internetowego GeoPLASMA-CE

Projekt „Opracowanie zasad planowania, strategii wykorzystania oraz metod oceny i wykonywania map potencjału płytkiej geotermii w Europie Środkowej” (w języku angielskim: GeoPLASMA-CE - Shallow Geothermal Energy Planning, Assessment and Mapping Strategies in Central Europe”) był realizowany w



latach 2016-2019 przez 11 partnerów z 6 krajów. Projekt był finansowany w ramach programu współpracy międzynarodowej *INTERREG Central Europe 2014-2020*.

Prace projektowe, w tym testowanie rozwiązań powstałych w trakcie realizacji projektu (map potencjału, konfliktów geosrodowiskowych i in.), prowadzono niezależnie w 6 wybranych obszarach pilotażowych, w tym w dwóch regionach transgranicznych: Vogtland-West Bohemia (pogranicze D/CZ) i Wałbrzych-Broumov (pogranicze PL/CZ) oraz w obszarach miejskich obejmujących miasta: Wiedeń, Bratysławę, Lublanę i Kraków. Prace w obszarze pilotażowym Krakowa była koordynowana przez Zespół AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Zadaniem zespołu AGH było przetworzenie danych geologicznych, hydrogeologicznych i geosrodowiskowych oraz opracowanie zestawu map potencjału geotermalnego i innych map tematycznych, w tym: map ryzyka geo-srodowiskowego dla krakowskiego obszaru pilotażowego. Mapy te pozwolą zidentyfikować obszary, które charakteryzują się najbardziej korzystnymi warunkami zarówno dla pomp ciepła wykorzystujących jako dolne źródło ciepła wody podziemne (ang. OLS - *open loop system*), jak i dla gruntowych wymienników ciepła, pracujących w systemach zamkniętych (ang. CLS - *closed loop systems*).

Wyniki są dostępne na dedykowanym GIS portalu internetowym projektu GeoPLASMA-CE (<https://portal.geoplasma-ce.eu>). Portal ten zapewnia dostęp do usług internetowych umożliwiających wstępną identyfikację zasobów płytkiej geotermii oraz określenie możliwości występowania geo-srodowiskowych ograniczeń związanych z korzystaniem z GPC w Krakowie. Portal dostarcza również innych przydatnych narzędzi i informacji, w tym wytycznych dotyczących właściwego zarządzania płytkimi zasobami energii geotermalnej, pozwala na kontakt z ekspertami, udostępni słownik terminów związanych z wykorzystaniem ciepła Ziemi i wiele innych przydatnych informacji, w tym informacji dla ekspertów.

Jednym z głównych wyzwań podjętych w ramach projektu w krakowskim obszarze pilotażowym było opracowanie spójnego, trójwymiarowego cyfrowego modelu geologicznego. Opracowanie spójnego geologicznego modelu 3D, z uwzględnieniem skomplikowanej tektoniki w obrębie Krakowa stanowi kamień milowy w zakresie rozpoznania budowy geologicznej Krakowa. Dość wspomnieć, że pomimo stu kilkudziesięciu lat prac geologicznych nad rozpoznaniem budowy wglębnej Krakowa, będzie to pierwszy model geologiczny 3D wykonany w skali całego miasta. Na bazie tego modelu skonstruowano również dynamiczny model hydrogeologiczny dla Krakowa. Wykonany model geologiczny może być wykorzystany przy planowaniu innych przedsięwzięć infrastrukturalnych w Krakowie, w tym projekcie Krakowskie Metro.

W trakcie realizacji projektu zgromadzono znaczną ilość danych geologicznych i hydrogeologicznych, która uzupełniona badaniami własnymi tworzy unikatową bazę danych dla Krakowa. Baza danych otworowych zestawionych w ramach projektu GeoPLASMA-CE w obszarze pilotażowym Krakowa zawiera dane pochodzące łącznie z 25 302 otworów (CBDG¹, CBDH² oraz BGD³). Baza ta była wykorzystana do konstrukcji modeli 2D/3D, które umożliwiły oszacowanie potencjału geotermalnego dla systemów solanka - woda oraz woda - woda w rejonie miasta. Wyniki zostały opracowane i przedstawione w formie przyjaznego dla użytkownika narzędzia internetowego, z którego mogą korzystać lokalni interesariusze, w tym służby geologiczne odpowiedzialne za racjonalne zarządzanie zasobami i wykorzystaniem ciepła Ziemi w skali Miasta. Lokalizację otworów wykorzystanej bazy danych przedstawiono na rysunek 1.

Opracowany portal internetowy udostępni informacje dotyczące zainstalowanych pracujących geotermalnych pomp ciepła. Inwentaryzacja funkcjonujących instalacji GPC została przeprowadzona w

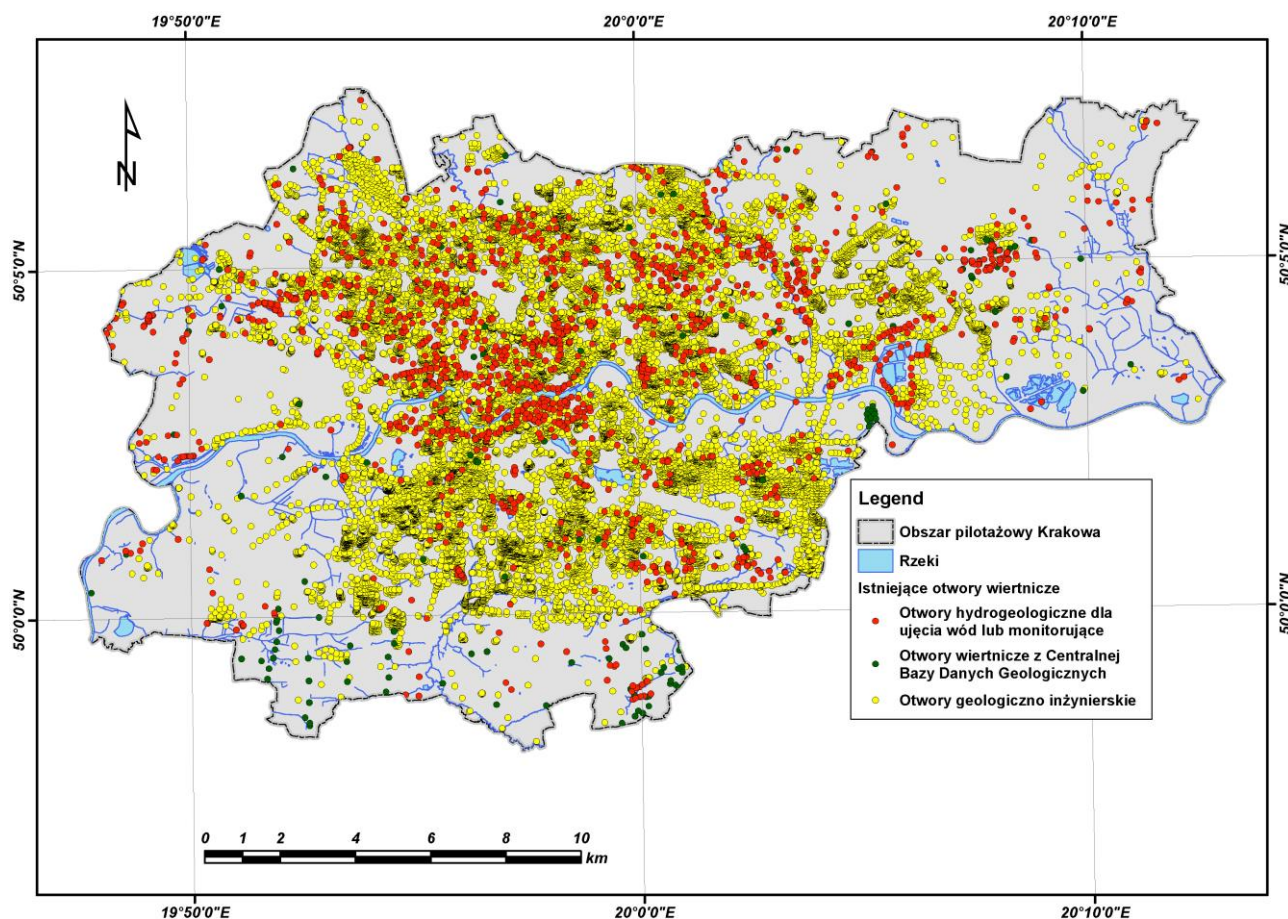
¹ Centralna Baza Danych Geologicznych

² Centralna Baza Danych Hydrogeologicznych

³ Baza Danych Geologiczno-Inżynierskich

ramach współpracy AGH, Urzędu Miasta Krakowa (Wydziału Kształtowania Środowiska), Polskiej Organizacji Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (PORT PC) oraz firm wiertniczych i instalatorskich funkcjonujących na rynku pomp ciepła w Polsce, w tym w szczególności w Krakowie.

Istotnym elementem wynikającym z projektu jest opracowanie i udostępnienie informacji dotyczących ograniczeń geosrodowiskowych wynikających ze zróżnicowanego wykorzystania infrastruktury na- i pod -powierzchniowej w zurbanizowanym obszarze Krakowa, z uwzględnieniem wykorzystanie zasobów wód podziemnych dla zaopatrzenia mieszkańców miasta w wodę pitną. Informacja ta jest dostępna w formie przyjaznych dla użytkownika narzędzi i map, które mogą stanowić podstawę do planowania, projektowania i lokalnego zarządzania zasobami geotermalnymi, na których brak zwracają uwagę zarówno użytkownicy, jak i specjaliści oraz służby geologiczne, opiniujące projekty robót geologicznych i udzielające stosownych zezwoleń.



Rysunek 1 Lokalizacja otworów wiertniczych w granicach administracyjnych Krakowa

2. Wstęp

2.1. Opis technologii geotermalnych pomp ciepła

Korzystanie z energii geotermalnej do celów ogrzewania (c.o.) i przygotowywania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), to technologia rozwijana w Polsce od wielu lat. Wykorzystuje się przy tym odnawialną energię geotermalną, aby za pomocą pompy ciepła wykorzystać ją do grzania lub chłodzenia.

Płytką energią geotermalną jest ciepło zmagazynowane w przypowierzchniowym, do ok. 200 m głębokości - ośrodku skalnym. Na obszarze Europy Środkowej temperatura skał na głębokości 20 metrów pod powierzchnią terenu wynosi zazwyczaj około 10°C, a każde dodatkowe 100 metrów głębokości podnosi temperaturę o około 2-3°C. Energia cieplna skał, a także wód gruntowych, wykorzystywana w instalacjach pomp ciepła, jest dostępna wszędzie, przez cały czas, bez względu na porę dnia czy porę roku. Co najważniejsze, skały lub wody gruntowe, które uległy ochłodzeniu wskutek odbioru ciepła przez gruntowy wymiennik ciepła są stale podgrzewane przez zalegające głębiej cieplejsze skały.

Ze względu na niską temperaturę wody grzewczej (do ok. 55°C) uzyskiwanej przez pompy ciepła, systemy te najlepiej wykorzystać do ogrzewania pomieszczeń przy wykorzystaniu ogrzewania powierzchniowego: instalacji podłogowej, grzejników niskotemperaturowych lub układu klimakonwektorów (z opcją chłodzenia - klimatyzacji w okresie letnim) oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). GPC dzielą się na dwa typy: tzw. systemy obiegu zamkniętego (solanka-woda), najbardziej popularne, które pobierają ciepło ze skał oraz systemy obiegu otwartego (woda-woda), rzadziej stosowane, wykorzystujące wody podziemne.

W zakresie wykorzystania płytkich zasobów energii geotermalnej rozróżniamy dwa typy: tzw. systemy obiegu zamkniętego (solanka-woda), najbardziej popularne, które pobierają ciepło ze skał oraz systemy obiegu otwartego (woda-woda), rzadziej stosowane, wykorzystujące wody podziemne. Pionowe gruntowe wymienniki ciepła (GWC) zwane również sondami gruntowymi lub kolektorami, stanowią najbardziej rozpowszechniony w Polsce system wykorzystania ciepła Ziemi. Medium przekazującym energię może być w tym przypadku: glikol etylenowy, glikol propylenowy, etanol, woda lub inny czynnik chłodniczy.

Przenoszenie ciepła ze źródła może następować na skutek różnych procesów. Dlatego też wśród pomp ciepła aktualnie znajdujących się na rynku, możemy wyróżnić: sprężarkowe, sorpcyjne pompy ciepła (absorpcyjne, transformatory ciepła, resorpcyjne pompy ciepła), termoelektryczne pompy ciepła, elektrodyfuzyjne oraz magnetyczne pompy ciepła.

Obecnie w ciepłownictwie najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest wykorzystanie sprężarkowych pomp ciepła, które wykorzystują energię geotermalną dostarczaną z dolnego źródła w postaci: pionowych gruntowych wymienników ciepła bądź studnie wody.

W sprężarkowej pompie ciepła, przemiana ciepła możliwa jest dzięki czynnikowi robocznemu, który krąży w zespole urządzeń i poddawany jest ciągłemu przemianom fizycznym. Działanie pompy ciepła bazuje na wykorzystaniu ciepła przegrzania i ciepła skraplania pary czynnika roboczego, służącego do podgrzewania nośnika ciepła w całej instalacji odbiorczej. Czynnik roboczy będący w stanie ciekłym, odprowadzany jest ze skraplacza. Następuje jego rozprężenie do ciśnienia panującego w skraplaczu do ciśnienia parowania. Przebywający w parowaczu czynnik roboczy, odparowuje w warunkach o obniżonej temperaturze. Ciepło niezbędne do zmiany fazy (stanu skupienia) czynnika roboczego pobiera się z dolnego źródła. W kolejnym etapie para czynnika roboczego, która odpywa z parowacza, zostaje sprężona w sprężarce do ciśnienia skraplania na rzecz energii doprowadzanej z zewnątrz (Rubik, 2011).

Istniejące pionowe GWC dają możliwość najtańszego chłodzenia, bez konieczności ponoszenia znaczących dodatkowych kosztów inwestycyjnych, co stanowi istotny argument przemawiający za ich stosowaniem w nieruchomościach mieszkalnych, biurowych, budynkach przeznaczonych na działalność gospodarczą, a także obiektach użyteczności publicznej i obiektach sakralnych. GWC stanowią też ważny element w obrębie inteligentnych sieci energetycznych (tzw. *smart grids*) wykorzystujących odnawialne źródła energii połączone z magazynami energii.

Okres eksploatacji pionowego GWC wynosi, w przypadku certyfikowanych produktów wykonanych w fachowy sposób, około 50-100 lat.

Pionowe gruntowe wymienniki ciepła wymagają w większości przypadków zgłoszenia do Starostwa Powiatowego. Najczęściej jednak bardziej sensownym i pozwalającym zaoszczędzić czas rozwiązaniem będzie zlecenie sporządzenia tego zgłoszenia fachowej firmie wiertniczej.

Ważną sprawą jest to, aby pionowe GWC nie oddziaływały wzajemnie negatywnie na siebie. Dlatego też w praktyce przyjęła się minimalna odległość między nimi, która w przypadku głębokości pionowych GWC do 70 m wynosi minimum 6 m, uwzględniając 3 m od granicy działki (wytyczne PORT PC). W przypadku głębokości pionowych GWC większej od 70 m odległość ta wynosi 8 m, uwzględniając 3 m od granicy działki. W przypadku pionowych GWC o głębokości większej od 100 m należy wykazać brak wzajemnego negatywnego oddziaływania w oparciu o modele symulacyjne.

2.1.1. Systemy obiegu zamkniętego

Systemy obiegu zamkniętego, typu solanka-woda (ang. CLS - *closed loop systems*) oparte są na wykorzystaniu pionowych gruntowych wymienników ciepła (GWC), które jak sama nazwa wskazuje, umieszczane są pionowo w odwiertach wykonanych w gruncie. W pionowych GWC krąży zwykle wodny roztwór glikolu, który odbiera ciepło z gruntu. Głębokość odwiertów dobiera się na podstawie obliczeń uwzględniających wielkość zapotrzebowania na ciepło/chłód budynku oraz parametrów termicznych profilu geologicznego, z uwzględnieniem warunków hydrogeologicznych (przepływ wód gruntowych) i innych czynników środowiskowych. Warunkiem poprawnego funkcjonowania układu dolnego źródła ciepła (GWC) jest poprawność wykonania odwiertu, w tym wypełnienie przestrzeni pierścieniowej wokół rur pionowego GWC. Jako wypełnienie zaleca się stosować cement termiczny, bądź inny materiał wskazany w projekcie robót geologicznych, charakteryzujący się wysoką przewodnością cieplną, zapewniającą dobrą wymianę ciepła pomiędzy gruntem a układem GWC. Odwierty mają z reguły głębokość od 30 do 250 m oraz średnicę 150 mm. Na wykonanie odwiertu o głębokości 100 m potrzebny jest w normalnych warunkach nie więcej niż jeden dzień roboczy. Jeszcze jeden dzień należy doliczyć na wykonanie przyłącza poziomego oraz napełnienie instalacji wodnym roztworem glikolu. W celu zapewnienia jakości oraz wykazania szczelności systemu przeprowadza się próby ciśnieniowe i przepływowe. Proces cementowania rur polietylenowych - elementu gruntowych wymienników ciepła, przedstawiono na rysunek 2.



Rysunek 2 Proces cementowania przestrzeni pierścieniowej gruntowych wymienników ciepła (na podst. DPS, 2018)

Zasadą dobrej praktyki jest, aby w przypadku realizacji instalacji pomp ciepła o mocy przekraczającej 30 kW, etap projektowania był poprzedzony wykonaniem tzw. testu reakcji termicznej (ang. thermal response test - TRT). Powyższe badanie własności termicznych gruntu *in situ* pozwoli nam na optymalizację wielkości (ilości otworów) i geometrii (odległości pomiędzy pionowymi GWC) dolnego źródła pompy ciepła na etapie projektu i zapobieżenie przewymiarowania lub niedowymiarowania parametrów dolnego źródła instalacji pomp ciepła.

Do grupy systemów zamkniętych GWC należą również instalacje wykorzystujące poziome wymienniki ciepła (tzw. kolektory ciepła). Układają się je poziomo na głębokości ok. 120 - 150 cm (czyli poniżej poziomu przemarzania gruntu). Wymagana powierzchnia poziomego GWC zależy od wielkości zapotrzebowania na ciepło budynku, właściwości cieplnych gruntu, z uwzględnieniem jego przepuszczalności przy opadach deszczu. Poziome GWC stanowią korzystną kosztowo alternatywę w przypadku, gdy nie ma możliwości wykonania pionowych GWC. Wadą są duże wymagania pod względem zajmowanej powierzchni, które po wykonaniu instalacji nie mogą być zabudowywane.

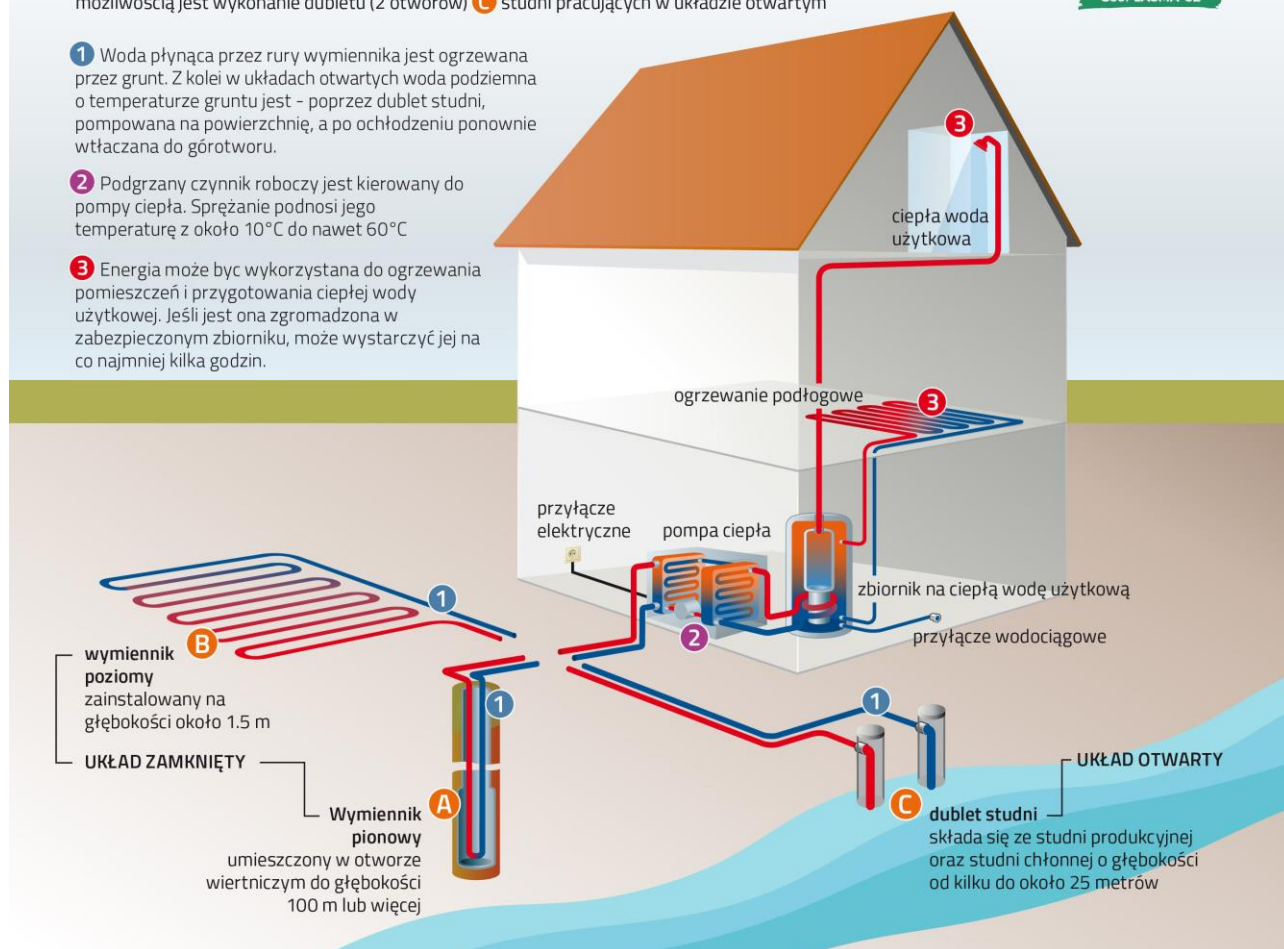
2.1.2. Systemy obiegu otwartego

W systemach otwartych, typu woda-woda (ang. OLS - *open loop systems*) pompy ciepła wykorzystują energię skumulowaną w wodach podziemnych, powierzchniowych lub morskich. Tam, gdzie wody podziemne są łatwo dostępne, wykonuje się dwa odwierty. Pierwszy z nich stanowi studnię czerpalną, drugi spełnia funkcję studni zrzutowej, którą "wykorzystana" woda zatłaczana jest z powrotem do zbiornika wód podziemnych, gdzie ulega naturalnemu podgrzaniu do temperatury wyjściowej. Pompa ciepła pobiera ciepło z wody i wykorzystuje je do ogrzewania, chłodzenia pomieszczeń oraz do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ciepło jest najczęściej rozprowadzane w budynku przez wodny system centralnego ogrzewania, bądź powietrzny, wykorzystujący klimakonwektory lub instalacje wentylacyjne. Zaletą wodnych pomp ciepła jest możliwość uzyskania szczególnie wysokiej efektywności, tj. wysokiego współczynnika COP (ang. *coefficient of performance*). Proces technologiczny odzysku ciepła/chłodu, przebiegający w układzie górnego źródła ciepła odbywa się w sposób analogiczny do systemu obiegu zamkniętego.

Uproszczony schemat rozwiązania technologicznego instalacji gruntowych pomp ciepła systemu zamkniętego (z pionowym i poziomym wymiennikiem ciepła) oraz systemu otwartego dla domu jednorodzinnego przedstawiono na rysunek 3.

Energia geotermalna pobierana jest z gruntu przy pomocy zespołu rur tworzących układ zamknięty, umieszczonych w pionowych odwiertach **A** lub poziomych wykopach **B**. Inną możliwością jest wykonanie dubletu (2 otworów) **C** studni pracujących w układzie otwartym

- 1** Woda płynąca przez rury wymiennika jest ogrzewana przez grunt. Z kolei w układach otwartych woda podziemna o temperaturze gruntu jest - poprzez dublet studni, pompowana na powierzchnię, a po ochłodzeniu ponownie włączana do górotworu.
- 2** Podgrzany czynnik roboczy jest kierowany do pompy ciepła. Sprężanie podnosi jego temperaturę z około 10°C do nawet 60°C
- 3** Energia może być wykorzystana do ogrzewania pomieszczeń i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Jeśli jest ona zgromadzona w zabezpieczonym zbiorniku, może wystarczyć jej na co najmniej kilka godzin.



Rysunek 3 Schemat instalacji gruntowych pomp ciepła systemu zamkniętego (z pionowym i poziomym wymiennikiem ciepła) i systemu otwartego w domu jednorodzinny (GeoPLASMA-CE)

2.1.3. Zalety technologii geotermalnych pomp ciepła

Pompy ciepła podaje się bardzo często jako alternatywę dla ogrzewania gazowego, olejowego czy elektrycznego. Niskie koszty eksploatacji to główny czynnik zapewniający atrakcyjność takiego sposobu ogrzewania. Efektywność pompy ciepła wyraża się w tak zwanym współczynniku efektywności COP (ang. *coefficient of performance*). Współczynnik ten określa stosunek ilości energii elektrycznej napędzającej pompę, niezbędnej do wytworzenia określonej mocy cieplnej pompy.

Współczynnik COP jest wartością obliczaną na podstawie pomiarów w testach laboratoryjnych w jednoznacznie określonych warunkach. Współczynnik COP nie jest wielkością stałą dla danego rodzaju pompy ciepła. Zmienia się on w czasie pracy urządzenia i zależy od wielu czynników. Najistotniejsze z nich to: temperatura dolnego źródła, temperatura zasilania górnego źródła, różnica pomiędzy temperaturą wody zasilającej instalację grzewczą (wpływającą do niej), a temperaturą jej powrotu. Przykładowo, dla tej samej pompy powietrznej o mocy 9 kW, sprawność może wynosić: 3,9; 4,1 lub 5,1.



Pierwsza wielkość, na poziomie (3,9), oznacza jej efektywność przy temperaturach: powietrza na zewnątrz domu 2°C, wody grzewczej - 35°C i różnicy temperatury w instalacji 5°C. Jeśli natomiast przyjmujemy temperaturę wewnętrzną 7°C, a w instalacji analogicznie jak poprzednio, czyli 35°C, to COP wyniesie 5,1. Producenci pomp ciepła podają COP uzyskiwany w warunkach laboratoryjnych, w dodatku dla bardzo konkretnych wartości, np. B0/W35 - czyli Brine (solanka/glikol) 0 stopni z gruntu i Water (woda) 35 stopni na podłogówkę lub A7/W35 - czyli Air (powietrze zewnętrzne) 7 stopni z powietrza i Water (woda) 35 stopni na ogrzewanie podłogowe.

Współczynnikiem bliższym rzeczywistym parametrom efektywności pomp ciepła jest sezonowy współczynnik efektywności - SCOP (ang. *Seasonal Coefficient of Performance*), określający stosunek ilości energii cieplnej wyprodukowanej w całym sezonie grzewczym do pobranej energii elektrycznej. Warto jednak i przy tym współczynniku pamiętać, iż przedstawia on wartości szacowane, a więc wyliczane na podstawie pewnych przyjętych założeń, które mają odzwierciedlać warunki panujące podczas całego sezonu grzewczego. Na SCOP ma wpływ obciążenie cieplne budynku, czyli moc grzewcza, jaką ten dom potrzebuje. Dla tej samej pompy zamontowanej w dwóch podobnych, a jednak innych budynkach, otrzymamy zupełnie inny SCOP. Budynki mogą mieć nawet to samo zapotrzebowanie na moc grzewczą, ale wystarczy, by upodobania użytkownika były inne - jeden będzie preferował temperaturę 20°C, a drugi 22°C. Ta sama pompa ciepła może pracować w domach o tych samych parametrach, ale w różnych instalacjach. W jednym ogrzewanie podłogowe będzie wymagało 30°C przy mrozach, a w drugim 40°C. Wpływ na SCOP będą miały też wahania temperatury, które w naszym klimacie, bywają bardzo duże, wystarczy przypomnieć sobie tegoroczną wiosnę.

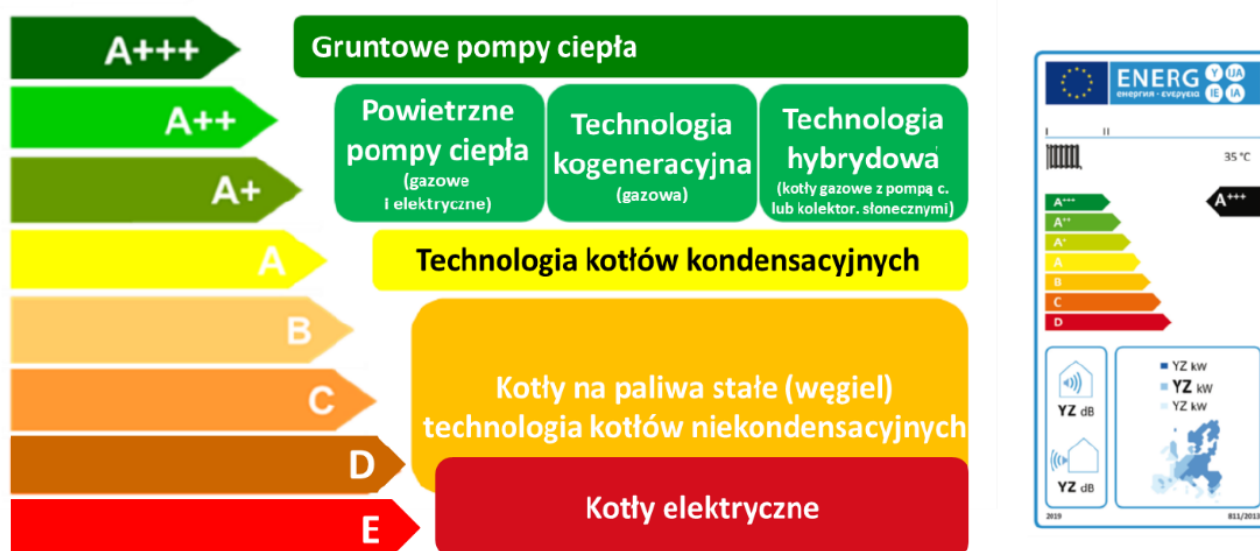
Tak więc i SCOP nie jest wskaźnikiem idealnie pokazującym sprawność pompy ciepła. Pojawia się, jako jego uzupełnienie, przeciętny współczynnik wydajności sezonowej SPF (ang. *seasonal performance factor*), czyli „współczynnik efektywności sezonowej netto w trybie aktywnym” (SCOPnet), dla pomp ciepła zasilanych energią elektryczną, będących przedmiotem naszego zainteresowania. Współczynnik ten mierzony dla konkretnej instalacji, w konkretnym sezonie grzewczym i przy konkretnych warunkach eksploatacji. Nie należy go mylić ani z COP, ani z SCOP, bo dane dotyczą tylko konkretnego domu konkretnego użytkownika.

Zgodnie z dyrektywą 2009/28/WE, zarówno dla pomp ciepła zasilanych energią elektryczną, jak i cieplną, określono minimalną sprawność (SPF), która warunkuje uznanie produkowanej energii za energię odnawialną. Zgodnie z Decyzją Komisji (DKE, 2013) jedynie pompy ciepła o SPF (SCOPnet) powyżej 2,5, produkują tzw. „energię odnawialną”. Dla przykładu, zgodnie z w/w Decyzją, wartości domyślne współczynnika SPF (SCOPnet), dla systemów geotermalnych pomp ciepła zasilanych energią elektryczną, typu grunt-woda (CLS) oraz woda-woda (OLS) wynoszą 3,5. Oczywiście możliwe jest uzyskanie wyższych wartości wskaźnika, nawet SPF=6,0. Uwzględniając wartość współczynnika efektywności geotermalnych pomp ciepła na poziomie (3,5), możemy stwierdzić, że za pomocą 1 kWh energii elektrycznej - zużytej do napędu pompy ciepła, przekazane zostaje 3,5 kWh użytecznego ciepła. Czym wyższy jest współczynnik efektywności, tym niższe koszty eksploatacji ponosi użytkownik.

Od maja 2015 producenci pomp ciepła mają możliwość uzyskania na oferowane produkty w Polsce (o mocy maksymalnej nie przekraczającej 100 kW) Europejskiego Znak Jakości na Pompy Ciepła (EHPA-Q). Znak ten może zostać przyznany wyłącznie trwałym, niezawodnym i energooszczędnym produktom o wysokim standardzie obsługi użytkowników, a jego zdobycie wiąże się ze spełnieniem rygorystycznych kryteriów (<http://portpc.pl/ehpaq-dla-producenta>). W ich zakres wchodzi m.in. pozytywna ocena z testów przeprowadzanych według określonych procedur i dokonanych zgodnie z wymaganiami Norm Europejskich EN14511 (w zakresie współczynnika efektywności COP), EN 16147 (w zakresie wydajności ciepłej wody użytkowej) oraz EN 12102 (w zakresie pomiaru hałasu i wyznaczania poziomu mocy akustycznej). Ponadto pompy ciepła muszą przejść badania testowe dotyczące bezpieczeństwa oraz pracy w skrajnych warunkach. Testy urządzeń wykonywane są w niezależnych ośrodkach badawczych, akredytowanych zgodnie z normą ISO 17025 i certyfikowanych przez EHPA.

Od września 2015 roku producenci gazowych, olejowych i elektrycznych urządzeń grzewczych mają także obowiązek rzetelnego informowania klientów o klasach energetycznych oferowanych urządzeń. Dotyczy to zarówno informacji podawanych w prospektach i ulotkach, jak również na stronach internetowych. Ponadto, zgodnie z obowiązującymi wymogami *ekoprojektu*, sprzedawca jest zobowiązany do udostępniania, tzw. karty oraz etykiety produktu. Oznakowanie w postaci etykiet energetycznych stosuje się do produktów związanych z energią o mocy poniżej 70 kW oraz podgrzewacze o pojemności do 500 litrów.

Zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady Europy (2009/125/WE), Dyrektywą 2010/30/UE z dnia 19 maja 2010 r oraz rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/1369 z dnia 4 lipca 2017 r., obrót produktami związanymi z energią ErP (ang. *energy-related products*) musi spełniać ogólne wymogi dotyczące *ekoprojektu* (CE), etykietowania produktów (ELD - ang. *energy labelling directive*) oraz udostępniania danych technicznych produktu (kart produktu). Wymogi ErP, ELD uwzględniają pełny cykl życia, a nie tylko efektywności urządzeń. Porównanie najbardziej popularnych technologii wytwarzania ciepła, na mapie wyszczególnionych klasy energetycznych przedstawiono na rysunek 4.



Rysunek 4 Klasy energetyczne najbardziej popularnych technologii wytwarzania ciepła EHPA/PORTPC (na podst.: PORT PC, 2018)

Jak widać na powyższym rysunku technologie pomp ciepła, w tym gruntowe pompy ciepła charakteryzują się najwyższymi klasami energetycznymi, od A+ do A+++.

Pompa ciepła jest doskonałym rozwiązaniem szczególnie tam, gdzie nie ma podłączenia do sieci gazowej, a występuje jedynie przyłącze energetyczne. Zanim jednak zainwestujemy, warto się zastanowić nad porządnym dociepleniem budynku. Zanim jednak zainwestujemy, warto zastanowić nad termomodernizacją obejmującą m.in. docieplenie budynku i inne.

Do innych zalet technologii pomp ciepła możemy zaliczyć:

- ✓ **Bezobsługowość:** przy odpowiednio dobranych parametrach dolnego i górnego źródła ciepła dla pompy ciepła nie ma potrzeby składowania opału, czyszczenia pieca i jego rozpalamia. W zależności od aktualnych potrzeb, systemy oparte o pompy ciepła pozwalają na zastosowanie jednego urządzenia do: ogrzewania, chłodzenia i przygotowania c.w.u.. Wbudowane mierniki ilości zużytej energii i energooszczędne pompy obiegowe dają użytkownikowi pełną kontrolę na pracą pompy ciepła i kosztami jej eksploatacji. Dodatkowe rozwiązania umożliwiają też łatwe



- podłączenie GPC do innych systemów opartych na wykorzystaniu OZE, np. instalacji fotowoltaicznej, produkującej energię elektryczną używaną do napędu pompy ciepła, co daje olbrzymią szansę na uzyskanie prawdziwej niezależności energetycznej;
- ✓ Ekologiczne źródło energii: w miejscu jej eksploatacji nie powstają żadne spaliny, zatem nie zanieczyszczamy środowiska naturalnego. Spaliny, które wydobywają się z elektrowni podczas produkcji energii elektrycznej, zużywanej przez pompę ciepła są o wiele mniej szkodliwe niż zanieczyszczenia emitowane z kominów domków jednorodzinnych;
 - ✓ Kompaktowe rozmiary: pompę ciepła można umiejscowić w np. pralni. Przy kotle grzewczym nie mamy już takiej możliwości;
 - ✓ Oszczędność przestrzeni: w przypadku pompy ciepła nie ma potrzeby budowania zbiornika na paliwo (olej lub gaz) oraz sprawdzania jego stanu.
 - ✓ Bezpieczeństwo eksploatacji: pompy ciepła są najbezpieczniejszym sposobem ogrzewania obiektu. Przy ich użyciu nie ma ryzyka wybuchu - tak jak w przypadku instalacji gazowej czy zacczadzenia - jak w przypadku instalacji olejowej czy paliwowej.
 - ✓ Brak konieczności wykonywania kosztownych instalacji kominowych oraz pomiarów spalin, niezbędnych w przypadku eksploatacji urządzeń wykorzystujących paliwa stałe, gaz, itp..

Technologia pomp ciepła jest wciąż uznawana za stosunkowo drogie rozwiązanie. Jednakże należy pamiętać, że wysokie koszty inwestycyjne dotyczą zakupu elementów instalacji oraz jej wykonania. Dodatkowo, działanie systemu uzależnione jest od dostawy energii elektrycznej - w przypadku zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej praca pompy nie jest możliwa. Należy jednakże pamiętać, że większość systemów c.o., w tym te oparte na paliwach stałych, wykorzystuje pompy obiegowe - zasilane energią elektryczną.

Firmy działające na rynku PC dostosowały swą ofertę do szerokiego wachlarza wymagań potencjalnego klienta i proponują zróżnicowane pod względem mocy urządzenia dedykowane specjalnie dla: domów jednorodzinnych, wielorodzinnych, obiektów biurowych, handlowych i innych. Bogata oferta firm jest dostępna w Internecie, gdzie potencjalny klient może uzyskać podstawowe informacje nt. urządzeń, proponowanych rozwiązań technologicznych, wraz z możliwością wykonania wstępnej oceny zapotrzebowania na energię oraz dokonać wstępnego doboru rodzaju i typoszeregu dedykowanej pompy ciepła.

Zwracamy równocześnie uwagę, aby każdorazowo, zarówno na etapie projektowania rozwiązań technologicznych, doboru odpowiedniego urządzenia, jak i opracowania projektu robót geologicznych, współpracować z fachowcami i firmami legitymującymi się odpowiednim doświadczeniem, certyfikatami i referencjami, co zapewni długotrwałą, bezawaryjną eksploatację systemu.

2.2. Charakterystyka obszaru pilotażowego Krakowa

Kraków jest drugim co do liczby mieszkańców (769 498 osób) i powierzchni (326,85 km²) miastem kraju i jednym z najstarszych miast w Polsce (GUS, 2018). Usytuowany jest nad rzeką Wisłą i jest stolicą województwa małopolskiego. Historia miasta sięga VII wieku. Kraków był i jest obecnie tradycyjnie jednym z wiodących ośrodków życia akademickiego, kulturalnego i artystycznego, a równocześnie jest jednym z najważniejszych ośrodków gospodarczych w Polsce.

Kraków uzyskał prawa miejskie w 1257 r. na podstawie prawa magdeburskiego. Niedługo później wzniesiono mury miejskie - by ochronić Kraków przed najeźdźcami. Pozostałości murów miejskich można podziwiać do dziś (np. brama Floriańska, prowadząca przez tzw. Trakt Królewski).



W 1978 r. Karol Wojtyła, arcybiskup krakowski, został wyniesiony na tron papieski jako papież Jan Paweł II - pierwszy słowiański papież w historii i pierwszy papież od 455 lat, nie pochodzący z Włoch. W tym samym roku rejon Starego Miasta Krakowa (centrum Krakowa) zostało po raz pierwszy wpisane na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO. Równocześnie Kraków został sklasyfikowany przez GaWC⁴ jako tzw. miasto globalne *Gamma*. Jest to jedno z najpiękniejszych miast w Europie, a także jedno z najbardziej unikalnych miejsc na świecie. Jego bogate dziedzictwo kulturowe w epokach architektury gotyckiej, renesansowej i barokowej obejmuje: Katedrę i Zamek Królewski na Wawelu, Bazylikę Mariacką, Kościół Świętych Piotra i Pawła i największy średniowieczny rynek w Europie (Rynek Główny). Kraków jest siedzibą Uniwersytetu Jagiellońskiego, jednego z najstarszych uniwersytetów na świecie i tradycyjnie najbardziej renomowanej uczelni wyższej w Polsce oraz jednej z wiodących uczelni technicznych AGH Akademii Górniczo-Hutniczej. W 2000 roku Kraków otrzymał tytuł Europejskiej Stolicy Kultury. W 2013 r. został oficjalnie zatwierdzony jako Miasto Literatury UNESCO, w lipcu 2016 roku miasto gościło Światowe Dni Młodzieży. Szczegółowe informacje statystyczne dotyczące Krakowa przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1 Podstawowe dane geograficzne i demograficzne obszaru pilotażowego Krakowa (na podst.: Chełstowska, Czerwińska, Filip, Żak, 2018; GUS, 2018) - status na 2017

Powierzchnia: 326,9 km ²	Maksymalna temperatura: 36,7°C (1 sierpnia)
Lokalizacja: współrzędne Pomnika Adama Mickiewicza na Rynku Głównym - w sercu Starego Miasta - 50°03'41"N i 19°56'16"E. Przekięcie równoleżnika 50°N i południka 20°E w pobliżu południowo-wschodniej granicy miasta (dzielnica X - Swoszowice).	Średnia temperatura najzimniejszego miesiąca - luty: 1,5°C
Szerokość od południa do północy: 18 km	Minimalna temperatura: -20,0°C (7 i 8 stycznia)
Szerokość od zachodu do wschodu: 31 km	Suma rocznych opadów: 797,3 mm
Najwyższy punkt: 383 m n.p.m. - Kopiec J. Piłsudskiego	Maksymalne opady - 19 sierpnia: 37,8 mm
Najniższy punkt: 187 m n.p.m. - ujście potoku Kościelnickiego	Liczba dni z pokrywą śnieżną: 50
Średnia temperatura powietrza w 2017: 9,9°C	Liczba dni z usłonecznieniem > 0,1 h: 277
Średnia temperatura najcieplejszego miesiąca: sierpień: 20,7°C	2017 rok był wyjątkowy ze względu na znaczną różnicę temperatur Długość sezonu grzewczego: 245 dni (MPEC, 2017)

Dane demograficzne

Liczba ludności: 769 498 (stan na 30 czerwca 2018)

Gęstość zaludnienia: 2,354/km²

⁴ miasta alfa, beta, gamma, to kategorie powstałe w wyniku utworzenia w 2008 r., przez brytyjski think tank Globalization and World Cities (GaWC), rankingu Global Cities Index, <https://www.lboro.ac.uk/gawc/group.html>



2.2.1. Geografia, zagospodarowanie terenu, ludność, gospodarka

Kraków leży w południowej części Polski, w dolinie Wisły, na przedpolu Karpat (Rysunek 5), na rzędnej 219 m n. p. m., w połowie drogi pomiędzy Jurą Krakowsko-Częstochowską - na północy, a Tatrami - 100 km na południe.

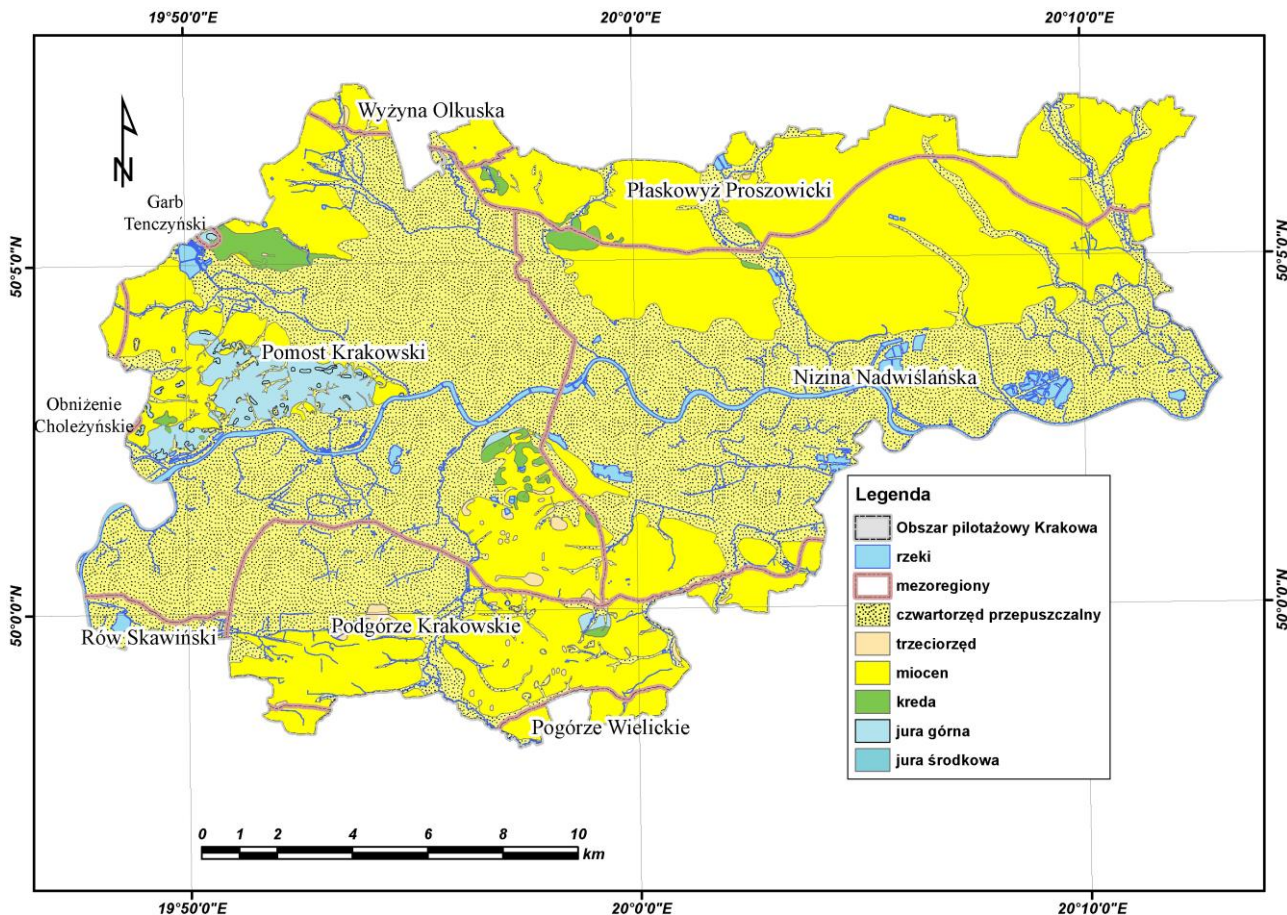
Zgodnie z podziałem fizyczno-geograficznym Polski (Kondracki, 2002) aglomeracja Krakowska znajduje się w strefie przejściowej pomiędzy dolinami: Oświęcimską od zachodu i Sandomierską od wschodu i należy do jednostki geomorfologicznej zwanej Bramą Krakowską (Rysunek 5). Od południa obszar ten graniczy z Pogórzem Wielickim, a od północy z Wyżyną Częstochową i Niecką Nidziańską. Jednostka geomorfologiczna Bramy Krakowskiej, w obszarze Krakowa, podzielona jest na mniejsze jednostki: Rów Skawiny, Obniżenie Choleżyńskiego i Bramę Krakowską (Rysunek 5).

Kraków zajmuje rozległy obszar, który częściowo położony jest w rejonie monokliny śląsko-krakowskiej, częściowo w zapadlisku przedkarpackim, a na południu sięga Karpat fliszowych, gdzie jeszcze w granicach miasta przebiega linia frontu nasunięcia karpackiego. Podłoże nasunięcia zbudowane jest z osadów mioceńskich (molasowych). Obniżoną strefę, rozciągającą się przed północnym brzegiem nasunięcia karpackiego, budują utwory tzw. zapadliska przedkarpackiego (Rysunek 5). Rów Skawiński rozciąga się od Spytkowic (na zachód od Krakowa - poza mapą), gdzie dolina Wisły zwęża się do szerokości 2 km, pomiędzy zrębem w miejscowości Kamień a progiem jednostki geologicznej Pogórza Wielickiego.

Dolina Wisły na długości ok. 22 km biegnie w kierunku WE, a następnie skręca na NE (Rysunek 5). Obniżona część obszaru Choleżyna stanowi rodzaj depresji, położonej pomiędzy Grzbieciem Tenczyńskim a Zrębem Kamienia (od zachodu i północy), Rowem Skawiny (na południu) i izolowanymi zrębami zbudowanymi z jurajskich skał wapiennych, występujących licznie na terenie Krakowa. Ta łukowato wygięta równina, położona 40-50 m nad dnem doliny Wisły i okalająca od północy Rów Skawiński, jest tektonicznym obniżeniem zbudowanym z ilów mioceńskich, pokrytych m.in. lessem. Osady starorzeczy tworzą złoża kruszyw naturalnych: piasków i żwirów eksploatowanych lokalnie na zachód od Krakowa.

Strukturę Bramy Krakowskiej tworzy ciąg wzgórz wapiennych i rozdzielających depresji tektonicznych, którymi płynie rzeka Wisła. Najbardziej znane wzgórza w rejonie Krakowa to: Tyniec, Sowiniec, Pychowice, Krzemionki, Wawel i Skalka. Niemal cała struktura geomorfologiczna Bramy Krakowskiej znajduje się w obrębie aglomeracji krakowskiej, stąd można zaobserwować bardzo duże zróżnicowanie w naturalnych warunkach środowiskowych, głównie pochodzenia antropogenicznego.

Północno-wschodnia część Krakowa położona jest na obszarze Niecki Nidziańskiej przez (Płaskowyż Proszowicki), a wschodnia część należy do zachodniego fragmentu Kotliny Sandomierskiej (Nizina Nadwiślańska). Główny podział jednostek geomorfologicznych w regionie krakowskim przedstawiono na Rysunek 5.



Rysunek 5 Układ głównych jednostek fizjogeograficznych na tle mapy geologicznej Krakowa (na podst. Kondracki, 2002)

W granicach administracyjnych Krakowa zlokalizowano pięć rezerwatów przyrody, o łącznej powierzchni 48,6 ha, co stanowi 0,14% powierzchni miasta. Do rezerwatów tych należą: Bielańskie Skatki (rezerwat florystyczny, ścisty, o powierzchni 1,73 ha, został założony 1950 roku w celu ochrony muraw kserotermicznych); Bonarka (rezerwat przyrody nieożywionej, rezerwat geologiczny założony w 1961 roku, zajmuje powierzchnię 2,29 ha), Paniańskie Skatki (rezerwat leśny i krajobrazowy o powierzchni 6,41 ha, założony został w 1953 roku, gdzie przedmiotem ochrony jest wąwóz jurajski z wychodniami skał wapiennych oraz naturalny las bukowy i grądowy), Skatki Przegorzalskie (rezerwat florystyczny, ścisty, o powierzchni 1,38 ha, został założony w 1959 r., gdzie elementem ochrony rezerwatowej jest skała z roślinnością kserotermiczną, las mieszany z przewagą dębu i krzewów ciepłolubnych) oraz Skotczanka (stepowy rezerwat faunistyczny, o powierzchni 36,52 ha utworzony w 1957 roku, objęty jest ochroną częściową, gdzie przedmiotem ochrony jest wzgórze wapienne ze zróżnicowanymi biocenozami, stanowisko fauny środowisk kserotermicznych, w tym ok. 500 gatunków rzadkich motyli i błonkówek).

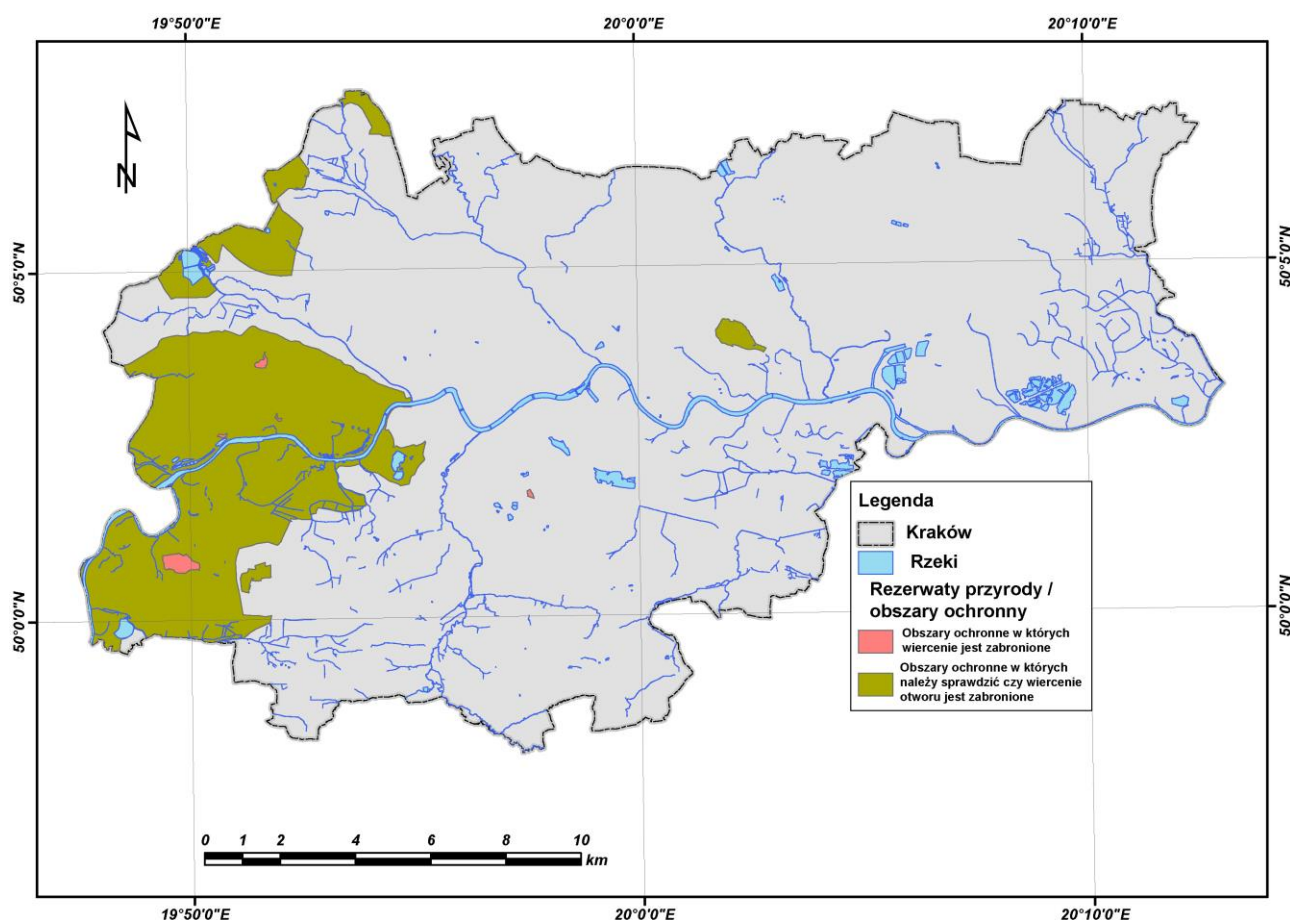
W granicach administracyjnych Krakowa zlokalizowano również fragmenty trzech parków krajobrazowych: Bielańsko-Tynieckiego, Tenczyńskiego i Dolinki Krakowskie, o łącznej pow. 4753,6 ha.

W zakresie specjalnych obszarów ochrony siedlisk sieci Natura 2000, w granicach administracyjnych Miasta Krakowa zlokalizowano trzy obszary (położone w całości lub w części): Dębnicko-Tyniecki obszar łąkowy (PLH120065), to 282,86 ha terenów położonych w południowo-zachodniej części Krakowa, na styku trzech jednostek geomorfologicznych: Pradoliny Wisły, izolowanych zrębów Bramy Krakowskiej i Wysoczyzny Krakowskiej; Łąki Nowohuckie (PLH120069), to użytek ekologiczny o powierzchni 59,75 ha oraz Skawiński

obszar łąkowy (PLH120079) o powierzchni 44,13 ha, obszar występowania czterech gatunków modraszków, a także *Maculinea alcon*. Łączna powierzchnia obszarów Natura 2000 w granicach miasta, to 384,39 ha.

Ponadto w Krakowie zlokalizowano: 12 użytków ekologicznych (o łącznej powierzchni 106,51 ha), 47 parków miejskich (o łącznej powierzchni 472,86 ha), 311 pomników przyrody, w tym 308 pojedynczych drzew, 1 aleja (aleja do klasztoru Benedyktynów obsadzona lipami drobnolistnymi), 1 głąz narzutowy (głąz „Rapa Kiwi” przy ul. Spółdzielców), 1 źródło (źródło Świętojańskie w Tyńcu u północnego wzniesienia Duża Biedzinka). Więcej informacji znajdą państwo na <http://krakow.rdos.gov.pl>.

Ze względu na wartość ekologiczną obszary te są prawnie chronione, a zakres ochrony, w tym możliwość ingerencji człowieka, warunkują przepisy ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz. U. z 2018 r. poz. 1614) oraz dokumenty pokrewne - rozporządzenia. Lokalizację obszarów chronionych w Krakowie pokazano na Rysunek 6.

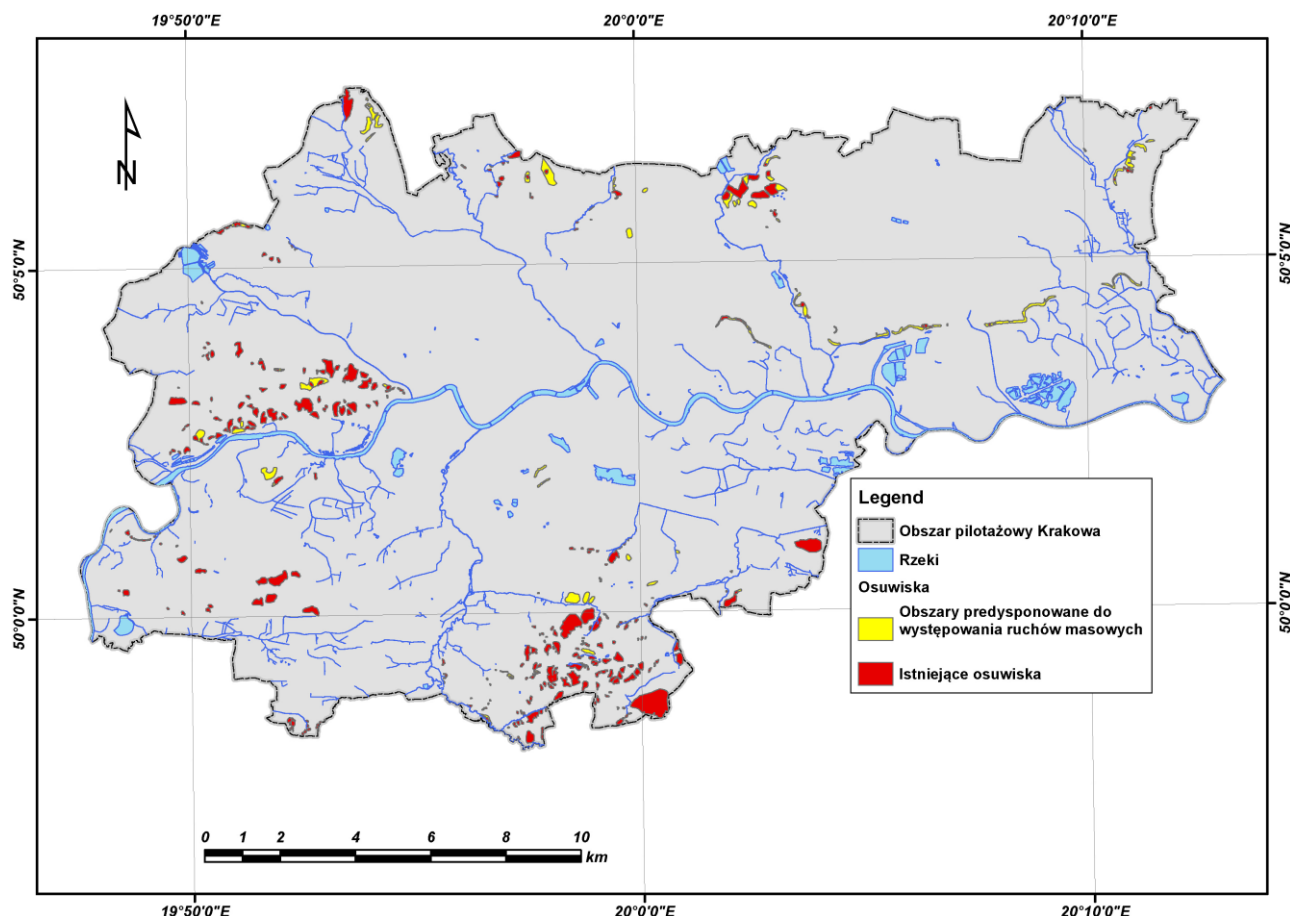


Rysunek 6 Lokalizacja obszarów objętych formą ochrony przyrody w Krakowie

Uwarunkowania dla lokalizacji wierceń w obszarze pilotażowym Krakowa mogą wynikać również z elementów związanych z budową geologiczną, w tym np. występowaniem obszarów zagrożonych osuwiskami, które to występują w rejonie: Zwierzyńca, Dębnik, Swoszowic, Prokocimia-Bieżanowa oraz na północy miasta, w rejonie Wzgórz Krzesławickich oraz Prądnika Białego. W rejonie miasta zlokalizowano również obszary górnicze, objęte ochroną na podstawie koncesji na prowadzenie działalności górniczej, które regulowane są zapisami PGG (Dz.U. z 2011 r. Nr 163, poz. 981 ze zmianami, tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 868). W tym zakresie zlokalizowano tutaj złoża wód leczniczych oraz kruszyw naturalnych. Więcej informacji na ten temat znajduje się w rozdziałach 2.2.2 oraz 2.2.3.

Wyszczególnione powyżej, rejony gdzie mogą wystąpić konflikty środowiskowe dla instalacji pomp ciepła w systemach solanka-woda oraz woda-woda, obejmują łącznie powierzchnię ok. 8,6 km², co stanowi ok. 2,7% powierzchni Krakowa, w jego granicach administracyjnych.

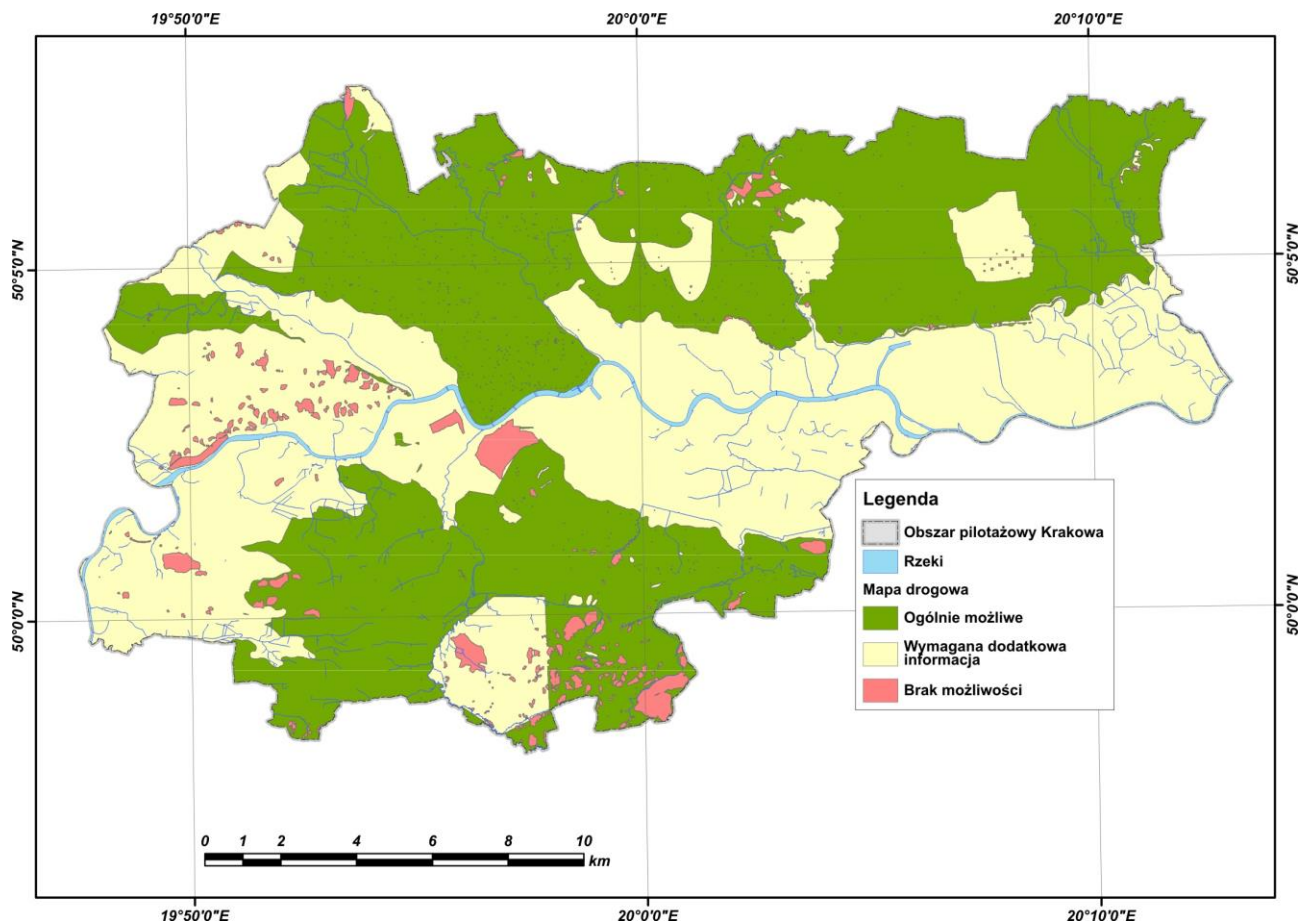
Lokalizację obszarów, gdzie mogą wystąpić konflikty środowiskowe - restrykcje w zakresie wykorzystania płytkiej geotermii w Krakowie, związane w szczególności z zagrożeniami powstałymi w trakcie wiercenia otworów przedstawiono na Rysunek 7.



Rysunek 7 Lokalizacja obszarów występowania zagrożeń geogenicznych, gdzie należy spodziewać się występowania restrykcji w zakresie wykorzystania płytkiej geotermii w Krakowie

Należy tutaj dodać, że nie są to jedyne czynniki, które powinny być uwzględnione na etapie lokalizacji miejsc budowy instalacji z wykorzystaniem wierceń. Walidacja konkretnych lokalizacji dla instalacji pomp ciepła będzie zrealizowana poprzez wykorzystanie „mapy światła drogowych”, co pozwoli na uwzględnienie różnych uwarunkowań środowiskowych i udostępnienie dodatkowych wskazówek dotyczących sposobu postępowania w razie identyfikacji konkretnego typu ryzyka i/lub konfliktu środowiskowego, w tym konieczność uzyskania dodatkowych zezwoleń, kontakt z organami administracji geologicznej, ochrony środowiska lub innymi stosownymi podmiotami.

Przykład „mapy światła drogowych”, przedstawiającej kategoryzację rejonu Krakowa, z zaznaczeniem obszarów, gdzie lokalizacja instalacji płytkiej geotermii nie budzi żadnych wątpliwości środowiskowych, gdzie decyzja dot. budowy instalacji powinna być poprzedzona szczegółową analizą dostępnych dokumentów - warunkujących sposób zagospodarowania terenu oraz gdzie istnieją istotne przeciwwskazania dla lokalizacji instalacji geotermalnych pomp ciepła, przedstawiono na Rysunek 8.



Rysunek 8 Walidacja terenów w rejonie Krakowa, obrazująca możliwość występowania konfliktów środowiskowych (tzw. „mapa świateł drogowych”)

2.2.2. Warunki geologiczne

Kraków położony jest w południowej części Polski, w dolinie Wisły - w odległości kilkunastu km od nasunięcia Karpat i około 100 km od Tatr. Z geologicznego punktu widzenia obszar Krakowa leży na granicy trzech dużych jednostek geologicznych: monokliny śląsko-krakowskiej, niecki nidziańskiej i zapadliska przedkarpackiego, a jego budowa geologiczna jest skomplikowana. Granica między monokliną śląsko-krakowską a nieką nidziańską przebiega w obrębie tzw. płyty ojcowskiej i umownie przyjmowana jest zgodnie z przebiegiem wychodni utworów kredy. Od południa granica płyty ojcowskiej przebiega wzdłuż rozległej strefy zrębów tektonicznych. Obszar ten - na południe od płyty ojcowskiej aż do nasunięcia Karpat - stanowi część zapadliska przedkarpackiego (Rutkowski, 1993).

W rejonie Krakowa można wyróżnić dwa wielkie kompleksy skalne, tzw. tektoniczne piętra strukturalne. Starszy - kompleks/piętro - obejmuje utwory dewonu, karbonu i starsze, które zostały zdeformowane tektonicznie podczas waryscyjskich ruchów górotwórczych (Żaba, 1999). Młodszy kompleks zbudowany z utworów permu, triasu, jury i kredy to tzw. piętro permsko-mezozoiczne. Skąły obydwu kompleksów zostały nachylone ku NE - prawdopodobnie w fazie laramijskiej - na pograniczu kredy i trzeciorzędu, co spowodowało powstanie budowy monoklinalnej (Gradziński, 1972; Rutkowski, 1993).

Tektoniczne przemodelowanie monokliny śląsko-krakowskiej następowało wieloetapowo (głównie w neogenie) i spowodowało powstanie zrębów i zapadlisk, wśród których w rejonie Krakowa wyróżniono: płytę ojcowską, rów krzeszowicki, zrąb Tenczynka, zapadlisko Cholerzyn-Półwieś oraz zrąb Lasu Wolskiego



(Rutkowski, 1993). Natomiast w południowej części obszaru Krakowa występują mniejsze, zrębowe struktury tektoniczne, np. w rejonie Pychowic, Kapelanki, Podgórze i Kurdwanowa.

Podobny charakter ma budowa geologiczna centrum miasta, a zręby tektoniczne zaznaczają się w morfologii terenu tworząc wyraźne wzniesienia. W czasach historycznych niektóre z nich wykorzystano do sytuowania różnych budowli. Między innymi - jedną z najważniejszych krakowskich budowli jaką jest Zamek Królewski na Wawelu, z oczywistych względów strategicznych również wybudowano na wzniesieniu/zrębie. Natomiast zrąb Lasu Wolskiego to miejsce gdzie wybudowano: klasztor Kamedułów (XVIIw.), dziewiętnastowieczne fortyfikacje i kopiec Kościuszki, a z kolei zrąb Bonarki zwieńczony został kopcem Krakusa (VIIw.).

Neogeńska tektonika w okolicach Krakowa związana jest głównie z fazami ruchów górotwórczych pobliskich Karpat. Występujące tu uskoki przynależą do kilku generacji, a ich ścisłe datowanie nie zawsze jest możliwe (Felisiak, 1992; Rutkowski, 1993).

W obrębie zrębów odstawiają się głównie wapienne skały górnourajskie, a miejscami również górnokredowe. Natomiast zapadliska wypełniają ilaste osady miocenu, wśród których lokalnie występują ewaporaty (ity z gipsem, gipsy). Utwory te należą do zapadliska przedkarpackiego, które w tym rejonie ma najmniejszą szerokość (ok. 10-15km) na terenie Polski, a jego północna granica ma charakter erozyjny (Ney, 1968).

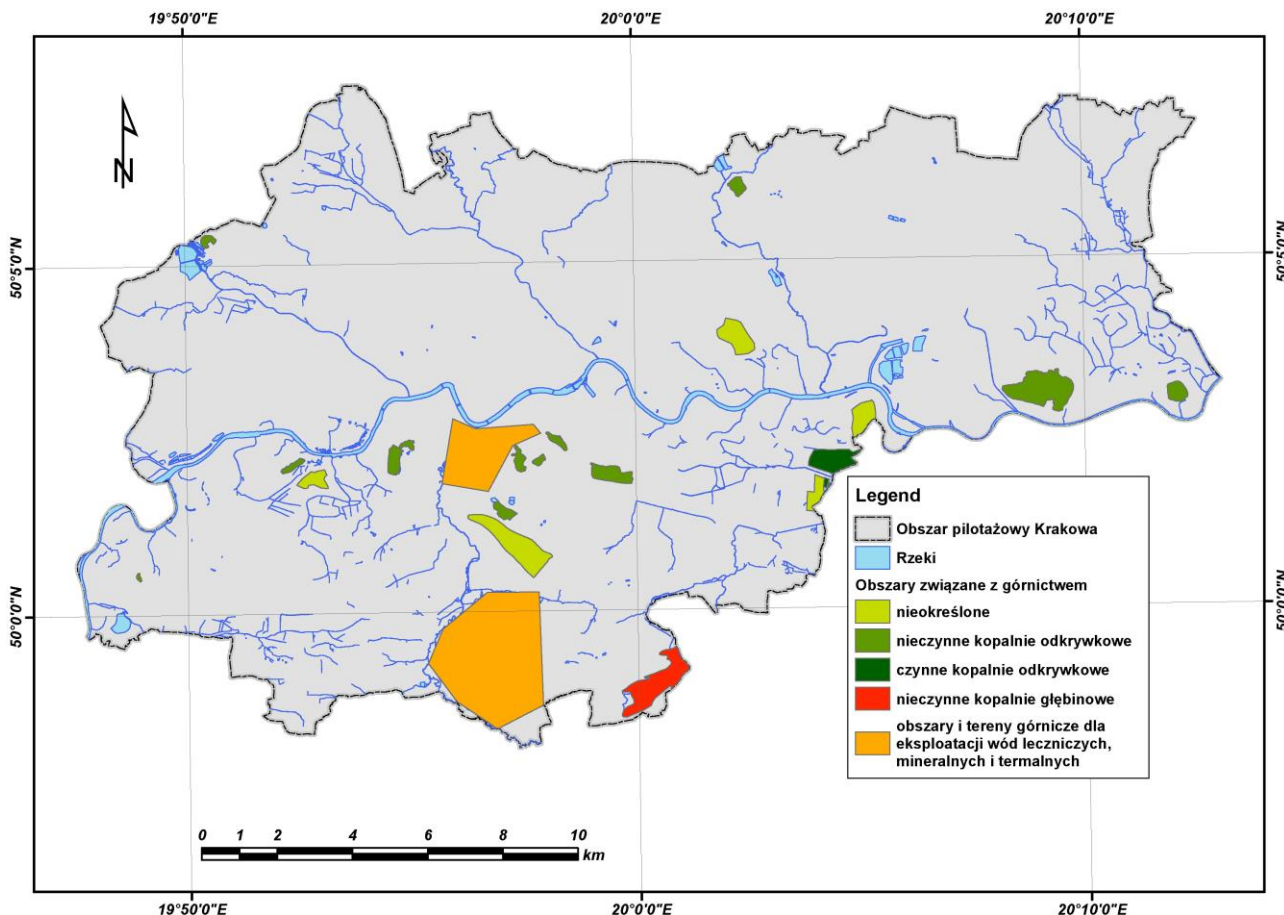
Najmłodsze utwory w profilu geologicznym rejonu Krakowa, reprezentowane są przez utwory czwartorzędowe (plejstoceny i holoceny) - wypełniające głównie paleodoliny Wisły i jej dopływów, a także inne morfologiczne obniżenia. Plejstoceny - to utwory związane ze zlodowaczeniami, takie jak: gliny zwalowe, piaski i żwiry fluwioglacjalne, aluwialne oraz lessy. Natomiast młodsze osady holoceny - tworzą serię tarasów głównie w dolinie Wisły i Rudawy, a reprezentowane są przez piaski, żwiry i mady rzeczne (Duda i in., 1997). Najmłodsze osady czwartorzędowe tzw. antropocenu - to utwory antropogeniczne, głównie w formie nasypów związanych z osadnictwem człowieka, a w centrum Krakowa - z nawarstwieniami historycznymi miasta (Duda i in., 1997; Wardas et al., 2007).

W Krakowie stwierdzono występowanie złóż kopalin, w tym: kruszyw naturalnych (piasków i żwirów), surowców ilastych dla ceramiki budowlanej, wapieni i margli dla przemysłu wapienniczego, a przede wszystkim złóż wód mineralnych i leczniczych.

Na obszarze Krakowie (wg stanu na dzień 01.08.2019r.) zlokalizowano cztery obszary górnicze (czynne koncesje). Pierwszy obszar związany jest z eksploatacją kruszyw naturalnych (piasków i żwirów - O.G. Brzegi II-Wschód). Pozostałe trzy obszary górnicze związane są z eksploatacją wód mineralnych (Mateczny I) oraz leczniczych wód mineralnych (Swoszowice - południowa część Krakowa) oraz Łagiewniki - szerzej patrz rozdz. 2.2.3.

Obszar górniczy Brzegi III Zachód został zniesiony decyzją Marszałka Województwa Małopolskiego (znak: SR-IX.7422.36.2019.BK z dnia 06.06.2019). Wymieniona decyzja ustanowiła nowy obszar i teren górniczy „Brzegi III - Zachód 2”, który swymi granicami nie wkracza już na teren miasta Krakowa.

Na terenie Krakowa znajdują się również złoża nieeksploatowane, tj.: złoża kruszywa naturalnego: Przewóz, Brzegi, Nowa Huta-Zalew, złoża wód mineralnych: Opatkowice (to nowe złożo, dla którego obecnie toczy się postępowanie koncesyjne) oraz złożo surowców skalnych - złożo Św. Piotra, SUROWCÓW ilastych: złożo Bonarka-Łagiewniki, które zostało „wybilansowane” decyzją Marszałka Województwa Małopolskiego z dnia 04.02.2019r. znak: SR-IX.7427.4.2019.RŁ i w następnym bilansie kopalin złóż w Polsce (za rok 2019) nie będzie już uwzględnione (jest uwzględnione w bilansie za rok 2018).



Rysunek 9 Lokalizacja złóż oraz obszarów górniczych w rejonie Krakowa

2.2.3. Warunki hydrogeologiczne

Występowanie wód podziemnych w Krakowie związane jest z warstwami wodonośnymi występującymi w utworach: paleozoiku i jury (wapienie krasowe), kredy (spękane margle i wapienie), miocenu i eocenu (drobnoziarniste piaskowce i piaski) oraz czwartorzędu (piaski i żwiry). Dominującą rolę odgrywają poziomy wodonośny: jurajski, neogenu (piaski bogucickie) oraz czwartorzędowy - plejstocenijski poziom wodonośny.

W rejonie Krakowa zlokalizowano również 3 główne zbiorniki wód podziemnych (Kleczkowski, 1990 a,b - z późniejszymi zmianami), a mianowicie: zbiornik Częstochowa E (GZWP nr 326), zbiornik doliny Rzeki Wisły (GZWP nr 450) oraz zbiornik Bogucice (GZWP nr 451) (Rysunek 10). Na obszarach ochronnych zbiorników wód podziemnych obowiązują zakazy, nakazy oraz ograniczenia w zakresie użytkowania gruntów lub korzystania z wody w celu ochrony zasobów tych wód, a przede wszystkim przed degradacją ich jakości (stanu chemicznego). Które wynikają m.in. z Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW, 2000). Ograniczenia te mogą mieć również wpływ na możliwości budowy instalacji geotermalnych pomp ciepła, realizowanych w systemie otwartym woda-woda (ang. WSHP).

GZWP nr 326 - wody poziomu jurajskiego występują w różnych typach zbiorników utworzonych w spękanych, szczelinowatych i skrasowiatach wapieniach, pociętych systemem uskoku tworzących zręby i rowy tektoniczne, o utrudnionej lub wyraźnej więzi hydraulicznej. Strefę zasilania poziomu stanowi północny pas rozpatrywanego obszaru, gdzie poziom zwierciadła ciśnieniowego występuje na rzędnych 240-260 m n.p.m. Zbiornik zlokalizowany jest w północnej części Krakowa. Obejmuje obszar wychodni

wapieni górnej jury występujących pod zróżnicowanym, głównie przepuszczalnym nakładem czwartorzędowym (Rysunek 10).

Dla GZWP 326 opracowano dokumentację hydrogeologiczną: „Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne dla ustanowienia obszarów ochronnych zbiornika wód podziemnych Częstochowa (E)-GZWP nr 326”, przyjęta bez zastrzeżeń przez Ministra Środowiska zawiadomieniem z dnia 07.08.2009 r. znak: DGiKGkdh-4791-4/6724/3422/09/M;

GZWP Nr 450 - wody związane są z piaszczysto-żwirowymi, plejstoceniowymi utworami czwartorzędowymi obejmującymi pradolinę Wisły oraz jej dopływy w granicach miasta Krakowa. Wody tego poziomu posiadają zwierciadło o charakterze swobodnym, tylko niekiedy występują pod ciśnieniem. Naturalną podstawę drenażu omawianego poziomu stanowi rzeka Wisła i jej dopływy, zwłaszcza w dolnych odcinkach: Rudawa, Białucha, Dłubnia, Potok Kościelniczy i Wilga. Czwartorzędowe utwory wodonośne zasilane są bezpośrednio przez opady, poprzez infiltrację wód powierzchniowych oraz z utworów jurajskich. Ujęcia wody bazujące na tym zbiorniku charakteryzują się zróżnicowaną głębokością (od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów) oraz przeważnie większymi wydajnościami (Rysunek 10).

Dla GZWP 450 opracowano dokumentację hydrogeologiczną: „Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 450 - Dolina rzeki Wisła (Kraków)”, zatwierdzona przez Ministra Środowiska decyzją z dnia 12.01.2016r. znak: DGK-II.4731.94.2015.AJ;

GZWP Nr 451 - wody związane są utworami wieku neogen i obejmują piaszczysty poziom wód zwykłych, słodkich, który związany jest z warstwami grabowieckimi lub chodenickimi (w obrębie tzw. piaskowców i piasków bogucickich). Zbiornik obejmuje swym zasięgiem południowo-wschodnią część Krakowa oraz, poza obszarem Miasta, tereny w gminach Wieliczka, Niepołomice i Kłaj. Na obszar Krakowa przypada ok. 18% powierzchni zbiornika. Wody podziemne ujmowane są przez kilkadziesiąt studzien wierconych, o głębokościach wynoszących od 60 do 200 m (Rysunek 10).

Dla GZWP 451 opracowano dokumentację hydrogeologiczną: „Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 451 - Subzbiornik Bogucice”, przyjęta bez zastrzeżeń zawiadomieniem Ministra Środowiska z dn. 30.09.2011 r. znak: DGiKGhg-4731-23/6876/44395/11/MJ.

Gospodarowanie wodami podziemnymi zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, obejmującego zasady i warunki ustalenia, kształtowania i ochrony zasobów wód podziemnych oraz zasady korzystania z wód podziemnych regulowane są zapisami: Ustawy Prawo Wodne (Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r - Dz.U. 2017 poz. 1566 ze zmianami, tekst jednolity Dz.U. 2018 poz. 2268) oraz Ustawy Prawo Geologiczne i Górnicze (Dz.U. 2011 nr 163 poz. 981 ze zmianami, tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 868). Instrumentem zarządzania zasobami wodnymi są pozwolenia wodnoprawne na pobór wód podziemnych oraz koncesje na wydobywanie wód podziemnych zaliczonych solanek, wód leczniczych i termalnych.

Wody podziemne GZWP są ogólnie dobrej jakości i mogą uzupełnić potrzeby Miasta. Wody poziomu czwartorzędowego ujmowane są dla potrzeb wodociągu miejskiego (ujęcie w Mistrzejowicach, składające się z trzech zespołów studni wierconych) oraz dla celów socjalno-bytowych Huty Arcelor Mittal Poland S.A. (ujęcia tzw. „Pasa A”, „Pasa D” oraz „Mistrzejowice”). Dla powyższych ujęć, zostały wydane Rozporządzenia Dyrektora RZGW w zakresie m.in. ustanowienia stref ochronnych, w których obowiązują ograniczenia, zakazy i nakazy wynikające wprost z ustawy Prawo Wodne oraz z innych decyzji administracyjnych. Wody podziemne stanowią również źródło awaryjnego systemu zaopatrzenia Krakowa, a ponadto źródło zaopatrzenia dla mieszkańców na peryferiach Miasta, gdzie brak jest sieci wodociągowej.

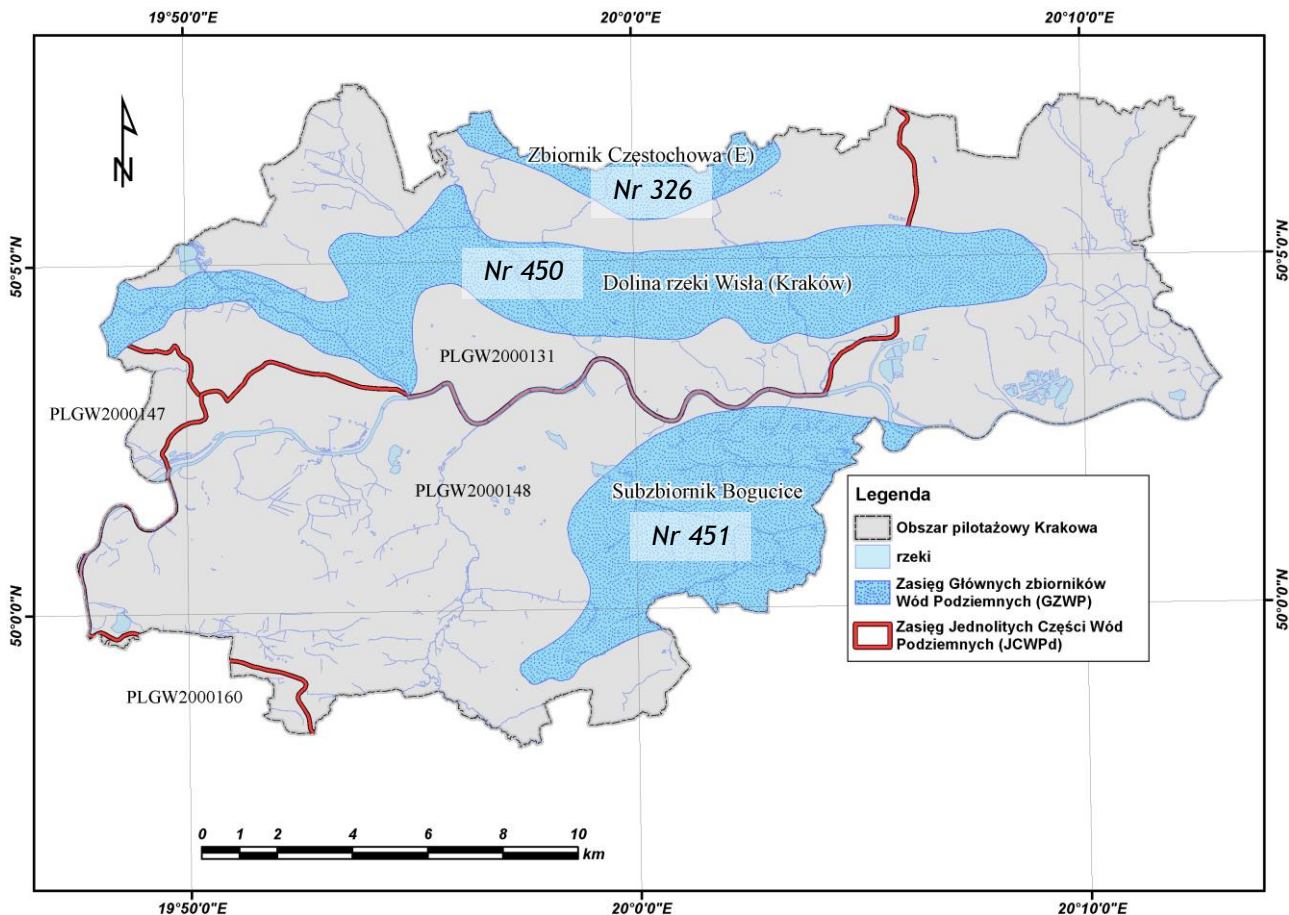
Wody podziemne na obszarze Miasta Krakowa są słabo izolowane od powierzchni terenu, a zatem mało odporne na przenikanie zanieczyszczeń. Zagrożenie determinowane jest przede wszystkim sposobem zagospodarowania przestrzennego oraz stanem środowiska przyrodniczego. Skuteczna ochrona jakości i



zasobów wód podziemnych stanowi jedno z najważniejszych zadań i problemów uwzględnianych przy sporządzaniu miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego.

Istotnym elementem wpływającym na specyficzne warunki hydrogeologiczne Krakowa są wody zmineralizowane i lecznicze. Wody te występują w dwóch poziomach zbiornikowych, a mianowicie: neogeńskim - poziom gipsowy wód zmineralizowanych, z którym związane są wody lecznicze „Swoszowic” (o składzie $SO_4-HCO_3-Ca-Mg$, H_2S) oraz paleogeńskim - który stanowią piaski wypełniające głębokie leje krasowe w wapieniach jury, z którymi związane są lecznicze wody siarczanowe „Matecznego” (o składzie $SO_4-Cl-Na-Mg-Ca$, H_2S). W rejonach tych ustanowiono *obszary górnicze*, objęte ochroną na podstawie koncesji na prowadzenie działalności górniczej, które regulowane są zapisami PGG (*Dz.U. z 2011 r. Nr 163, poz. 981 ze zmianami, tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 868*). W rejonie Krakowa udokumentowano także złoża: „Misericordia” oraz „Opatkowice”.

Obszary występowania GZWP charakteryzują się potencjalnie najbardziej korzystnymi warunkami hydrogeologicznymi dla lokalizacji systemów woda - woda (WSHPs). Lokalizację głównych jednostek hydrogeologicznych (GZWP oraz JCWPd) przedstawiono na rysunek 10.



Rysunek 10 Położenie Krakowa na tle głównych jednostek hydrogeologicznych (GZWP - głównych zbiorników wód podziemnych oraz JCWPd - jednolitych części wód podziemnych, zgodnie z RDW/2000/60/WE⁵)

Uwaga:

Główny zbiornik wód podziemnych (GZWP) - (na podst. Kleczkowski A.S., 1990 a;b) zbiornik wód podziemnych odpowiadający umownie ustalonym ilościowym i jakościowym kryteriom podstawowym: wydajność potencjalnego otworu studziennego powyżej 70 m³/h, wydajność ujęcia powyżej 10 000 m³/d, przewodność warstwy wodonośnej większa niż 10 m²/h, a woda nadaje się do zaopatrzenia ludności w stanie surowym lub po jej ewentualnym prostym uzdatnieniu za pomocą stosowanych obecnie i uzasadnionych ekonomicznie technologii. W obszarach deficytowych do wyznaczenia GZWP stosuje się indywidualne kryteria ilościowe (zbiornik ma lokalnie praktyczne znaczenie użytkowe).

⁵ jednolite części wód podziemnych (JCWPd) - (ang. *groundwater bodies*) obejmują te wody podziemne, które występują w warstwach wodonośnych o porowatości i przepuszczalności, umożliwiających pobór znaczący w zaopatrzeniu ludności w wodę lub przepływ o natężeniu znaczącym dla kształtowania pożądanego stanu wód powierzchniowych i ekosystemów lądowych



3. Gospodarka ciepła w Krakowie

Obowiązujące przepisy prawa, w szczególności *Ustawa o samorządzie gminnym*, z dnia 8 marca 1990 roku (tekst jedn. wg. Dz.U. 2018 poz. 994), nakładają na gminy obowiązek zabezpieczenia zbiorowych potrzeb ich mieszkańców, między innymi w zakresie zaopatrzenia w energię elektryczną i ciepłą oraz gaz.

Ponadto zgodnie z art. 18 ustawy z dnia 10 kwietnia 1997r. *Prawo energetyczne* (Dz. U. z 2017 r. nr 0 poz. 220) do zadań własnych gminy w zakresie zaopatrzenia w energię elektryczną, ciepło paliwa gazowe należy m.in. planowanie i organizacja zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną paliwa gazowa na obszarze gminy. Jednocześnie z zasad polityki energetycznej państwa wynikają cele planowania energetycznego na terenie gminy w zakresie:

- koordynacji planów rozwoju przedsiębiorstw energetycznych ze strategią rozwoju społeczno-gospodarczego gminy;
- zapewnienia bezpieczeństwa zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe;
- otwieranie lokalnego rynku energii na konkurencję;
- oszczędne i racjonalne zużycie paliw i energii oraz
- poprawa jakości środowiska.

Powyższe cele realizowane są przez badanie zgodności planów rozwoju przedsiębiorstw energetycznych działających na terenie gminy z „*Założeniami do planu zaopatrzenia Gminy Miejskiej Kraków w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe*”, przedstawiane w postaci corocznego sprawozdania.

Dokumentem wyjściowym, do którego odnoszą się wszystkie obecnie powstające dokumenty/sprawozdania, dotyczące kwestii gospodarki ciepłej w Krakowie jest dokument pn.: „*Założenia do planu zaopatrzenia Gminy Miejskiej Kraków w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe*” na lata 2014 - 2029, przyjęte uchwałą Nr CXIX/1870/14 Rady Miasta Krakowa z dnia 22 października 2014 r. Podmiotem odpowiedzialnym zarówno za przygotowanie „Założeń do planu...”, jaki i za sporządzanie sprawozdań jest Wydział Gospodarki Komunalnej Urzędu Miasta Krakowa.

Kraków jest drugim co do wielkości miastem, pod względem liczby mieszkańców, co wpływa na znaczne zapotrzebowanie na dobra podstawowe, w tym na energię - potrzebną zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia. W zakresie dostawy ciepła dla mieszkańców Krakowa realizację „Założeń...” zapewniają przedsiębiorstwa energetyczne, wytwarzające oraz dostarczające ciepło, w tym główny dystrybutor ciepła na obszarze Gminy Miejskiej Krakowa - Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej (MPEC S.A.), będące w 100% własnością Gminy Miejskiej Kraków. Obowiązek współpracy przedsiębiorstw z gminami, w celu zapewnienia spójności między tymi planami a *założeniami do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe, sporządzanymi przez gminy narzuca Prawo energetyczne* (Dz. U. z 2018 poz. 755 z późn. zm.).

3.1. Uwarunkowania społeczno - ekonomiczne zawarte w wybranych dokumentach strategicznych dla Krakowa

Najważniejszym dokumentem strategicznym, realizowanym na poziomie samorządowym w Krakowie, jest *Strategia Rozwoju Krakowa "Tu chcę żyć. Kraków 2030."*, dalej zwana „Strategią”. Strategia ta jest dokumentem określającym podstawowe kierunki rozwoju społeczno - gospodarczego w perspektywie do 2030 roku i jest efektem partycypacyjnego procesu, w którym uczestniczyli mieszkańcy Krakowa. Dokument został przyjęty Uchwałą Rady Miasta Krakowa z dnia 7 lutego 2018 r. (NR XCIV/2449/18). Strategii podporządkowane są pozostałe dokumenty miejskie, w tym: polityki, programy oraz projekty,



których zadaniem jest rozwiązywanie szczegółowych problemów i wspieranie poszczególnych działań, zmierzających do realizacji Strategii.

W dokumencie Strategii zidentyfikowano 14 podstawowych wyzwań rozwojowych z którymi, w przeciągu najbliższej dekady będzie borykało się Miasto. Priorytetowym wyzwaniem, znajdującym się na pierwszym miejscu listy, jest *poprawa jakości środowiska przyrodniczego*, w tym przede wszystkim powietrza. Zadania w tym zakresie będą obejmowały dostosowanie Miasta do polityki klimatycznej, szczególnie w zakresie ograniczania emisji zanieczyszczeń i poprawy efektywności energetycznej (budowanie „odporności” Miasta na negatywne skutki zmian klimatycznych).

Kraków realizuje ideę miasta inteligentnego (smart city), podejmując działania w sześciu obszarach: gospodarka (smart economy), jakość życia (smart living), kapitał ludzki i społeczny (smart people), mobilność (smart mobility), środowisko (smart environment) i zarządzanie (smart governance).

W obrębie obszaru związanego ze środowiskiem naturalnym zdefiniowano szereg „słabych stron”, które dotyczą zagadnień związanych z: zanieczyszczeniem powietrza (niską emisją), zanieczyszczenia tlenkami azotu (komunikacja) w centralnych obszarach miasta i wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych, nieekologiczne nawyki części mieszkańców Krakowa i Krakowskiego Obszaru Metropolitalnego, niska wydajność energetyczna budynków mieszkaniowych oraz użyteczności publicznej, niski udział odnawialnych źródeł energii (OZE) w bilansie energetycznym Krakowa i inne.

Realizacja wielu powyższych zagadnień może być wspierana poprzez wykorzystanie wyników i narzędzi powstałych w ramach realizacji projektu GeoPLASMA-CE.

Istotne elementy kształtowania polityki w skali Krakowa dotyczą kwestii zagospodarowania przestrzennego miasta. Polityka w powyższym zakresie jest realizowana zgodnie ze *Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Krakowa* (dokument ujednoczony uchwałą nr CXII/1700/14 z dnia 9 lipca 2014 r.). Od 22 listopada 2018 r. - obowiązuje 186 planów miejscowych (61,7% powierzchni Krakowa). Od 13 lutego 2019 r. 3 plany miejscowe oczekują na wejście w życie, a 50 planów miejscowych jest sporządzanych (https://www.bip.krakow.pl/?bip_id=1&mimi=412).

Istotnym dokumentem strategicznym, wyznaczającym kierunki rozwoju Gminy Miejskiej Kraków na lata 2014-2020, w zakresie działań inwestycyjnych i nie inwestycyjnych w obszarach związanych z użytkowaniem energii, jest *Plan Gospodarki Niskoemisyjnej dla Gminy Miejskiej Kraków* (PGN, 2015), przyjęty Uchwałą Nr XXVI/426/15 Rady Miasta Krakowa, dnia 7 października 2015 r. (https://www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=64559). Jego aktualizacja została przyjęta Uchwałą Nr LXXIII/1759/17, z dnia 31 maja 2017 r. wprowadziła m.in., w celu szczegółowym 1.2: zwiększenie wykorzystania energii wytwarzanej w wysokosprawnej kogeneracji oraz energii ze źródeł odnawialnych nowego działania: "Budowa źródeł ciepła i chłodu z zastosowaniem pomp ciepła wraz z urządzeniami towarzyszącymi dla Kompleksu Parkowo-Rekreacyjnego - CENTRUM JANA PAWŁA II "NIE LĘKAJCIE SIĘ" w Krakowie II ETAP inwestycji, faza druga - Budynek Muzeum". Działanie obejmuje między innymi zastosowanie odnawialnych źródeł energii (pomp ciepła) w obiekcie Muzeum Jana Pawła II znajdującym się na terenie Centrum Jana Pawła II „Nie lękajcie się!”. Przykład dobrej praktyki zastosowania gruntowych pomp ciepła w powyższych obiektach opisano w aneksie.

Istotne elementy kształtowania polityki społeczno - ekonomicznej Miasta Krakowa mają swoje odzwierciedlenie w *Wieloletniej Prognozie Finansowej Miasta Krakowa (WPF)*, której obowiązek sporządzania w jednostce samorządu terytorialnego (Gminie) wynika z zapisów Ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (Dz.U. 2009 nr 157 poz. 1240). Prognoza finansowa wskazuje m.in. narzędzia realizacji planów strategicznych, w tym w zakresie kształtowania środowiska i energetyki Miasta. Ostatnia, obowiązująca WPF dla Miasta Krakowa została przyjęta Uchwałą NR V/88/19 Rady Miasta Krakowa, dnia 10 stycznia 2019 r. (https://www.bip.krakow.pl/?dok_id=104881).



3.2. Struktura zużycia energii na cele ciepłownicze w Krakowie

Polityka energetyczna Miasta Krakowa realizowana jest na podstawie dokumentu pn.: „Założenia do planu zaopatrzenia Gminy Miejskiej Kraków w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe” na lata 2014 - 2029.

Energetyka miasta Krakowa oparta jest na węglu kamiennym. Dotyczy to zarówno energetyki przemysłowej, jak i małych wytwórców energii cieplnej produkujących ciepło na własne potrzeby. Raport Urzędu Regulacji Energetyki z 2018 roku, pn.: „Energetyka ciepła w liczbach - 2017” wskazuje, że 90,1% (tj. powyżej średniej krajowej) energii cieplej wykorzystywanej w województwie małopolskim pochodzi z węgla (URE, 2018). Stanowi to istotne wyzwanie zarówno w zakresie zastosowań wysokosprawnych technologii spalania, jak i monitorowania i poprawy stanu zanieczyszczenia powietrza na drodze sukcesywnej likwidacji niskoemisyjnych źródeł tych zanieczyszczeń w Krakowie.

Kraków jest drugim co do wielkości miastem pod względem liczby mieszkańców, co wpływa na duże zapotrzebowanie na dobra podstawowe, w tym na energię - potrzebną zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia. Długość sezonu grzewczego w 2017 roku wynosiła 245 dni. Sezon grzewczy 2018/2019 rozpoczęto 26 września, a zakończono 20 maja 2019. Sezon grzewczy trwał zatem 236 dni (5 664 godzin). Zarówno rezygnacja jak i wydłużenie okresu dostawy energii cieplnej może nastąpić na indywidualny wniosek odbiorcy, podpisany przez upoważnioną osobę.

Dostawcami ciepła do miejskiego systemu ciepłowniczego są trzy przedsiębiorstwa energetyczne: PGE Energia Ciepła S.A. (wcześniej EDF Polska S.A.) - 72,18% udziału w produkcji ciepła sieciowego, CEZ Skawina S.A. (analogicznie - 25,32%) oraz Krakowski Holding Komunalny S.A. (ZTPO) (2,5% rynku produkcji ciepła sieciowego). w 2018 roku ciepłownia należąca do ArcelorMittal Poland S.A. zakończyła dostawę ciepła do miejskiego systemu ciepłowniczego, a obszar obecnie zasilany przez to źródło (os. Na Wzgórzach i os. Na Stoku) jest zasilany przez pracujące na wspólny obszar źródła PGE Energia Ciepła S.A. oraz Krakowski Holding Komunalny S.A. (ZTPO). Na koniec 2018 roku MPEC S.A. dodatkowo posiadał 50 własnych ekologicznych kotłowni gazowych oraz jedną olejową o zainstalowanej mocy 29,5 MW (MPEC, 2019). Wszystkie podmioty dostarczają ciepło, którego nośnikiem jest gorąca woda. Od powyższych wytwórców MPEC S.A. kupuje łącznie ok. 10 600 TJ ciepła rocznie. Sprzedaż ciepła zrealizowana w 2018 roku wyniosła ok. 9 473 TJ (MPEC, 2019). Krakowski oddział PGE Energia Ciepła S.A jest największym producentem ciepła i energii elektrycznej dla miasta, z roczną produkcją prawie 7 800 TJ ciepła i 1 600 GWh energii elektrycznej zaspokaja 70% potrzeb Krakowa.

Uwzględniając powyższe fakty, w tym szacowany udział ciepła sieciowego, realizowany przez MPEC S.A. w całym rynku ciepłowniczym (ok. 65%) oraz roczny wolumen sprzedaży (ok. 7 800 TJ), całkowite zapotrzebowanie na ciepło w Krakowie można oszacować na ok. 15 000 TJ/rok (ok. 2,5 TWh/rok). Zestawienie podstawowych parametrów rynku ciepła w Krakowie przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2 Zestawienie podstawowych parametrów rynku ciepła w Krakowie (opracowano na podst.: MPEC, 2018 - wg stanu na 2017 r.)

Całkowite zapotrzebowanie na ciepło w Krakowie	Udział ciepła sieciowego w rynku ciepła	Sprzedaż ciepła sieciowego	Udział odbiorców sektora mieszkaniowego	Zapotrzebowanie na ciepło sektora mieszkaniowego w Krakowie	
				Całkowite	Realizowane przez MPEC S.A.
TJ/rok	%	TJ/rok	%	TJ/rok	
15 000 (ok. 2,5 TWh/rok)	65%	9 473	60,8	ok. 9 000	ok. 5 900



* wg stanu na rok 2018

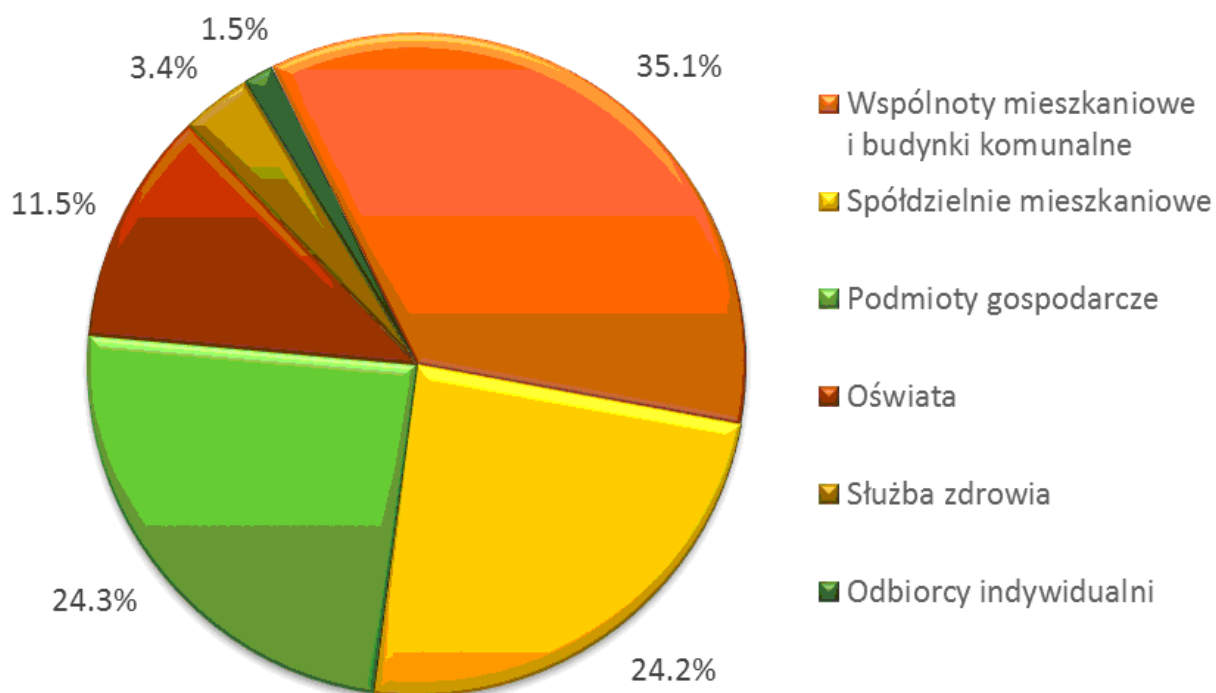
Kraków posiada rozległą sieć ciepłowniczą o długość ponad 879,6 km (na dzień 31.12.2018 r., na podst. „MPEC S.A. - Raport Roczny 2018”). W 2018 r. długość sieci ciepłowniczej per saldo zwiększyła się o 18,1 km w stosunku do 2017 r., jednakże sieć ta wciąż nie dociera do wszystkich mieszkańców, włączając szereg budynków i kamienic zlokalizowanych w centrum miasta.

Wciąż jednakże sieć ta nie dociera do wszystkich mieszkańców, włączając szereg budynków i kamienic zlokalizowanych w centrum miasta. W 2017 roku, w dokumencie strategicznym pn.: „*Plan rozwoju MPEC S.A. w Krakowie w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na ciepło. Plan wieloletni na lata 2017 - 2023*” MPEC określił potencjalne obszary rozwojowe, obejmujące swym zasięgiem Kraków i Skawinę. W sumie zdefiniowano 30 takich obszarów, o łącznym docelowym zapotrzebowaniu mocy 610,3 MW. Obszary rozwojowe zlokalizowane są głównie w centrum miasta. Sieć ciepłownicza dotrze także na nowe tereny na Prądniku Białym - tuż przy granicy z Gminą Zielonki. Rozwój sieci nastąpi też w rejonie kampusu w Pychowicach, przy ulicy Bohomolca, a także w Skawinie.

W ramach rozwoju rynku ciepła (program ciepłej wody użytkowej oraz likwidacji kotłowni i pieców węglowych) w latach 2018-2024 planuje się podłączyć nowych odbiorców o łącznym szacowanym zapotrzebowaniu na moc na 211,2 MW (MPEC, 2019). Realizując zadania inwestycyjne z tym związane w latach 2018-2024 Spółka zamierza wybudować nowe odcinki sieci i przyłącza ciepłe o łącznej długości ponad 80 km w średnicach 32-400 mm. Planuje także zamontować ok. 1 000 nowych, w pełni zautomatyzowanych węzłów cieplnych. w latach 2018-2024 planuje się zlikwidować 31 stacji wymienników ciepła (SWC) i zasilać bezpośrednio wysokim parametrem wraz z dostawą ciepłej wody użytkowej 460 istniejących już budynków. Dodatkowo, kontynuowany będzie program ciepłej wody użytkowej w 568 obiektach, zasilanych już wysokim parametrem, z równoczesną likwidacją piecyków gazowych. Wszystkie te działania pozwolą na likwidację 40,2 tys. piecyków gazowych. Plan rozwoju MPEC S.A. w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na ciepło obejmuje 1 028 budynków, co będzie wymagało zmodernizowania sieci niskoparametrowych na wysokoparametrowe o długości 69 km. Dzięki temu rynek dostaw ciepłej wody użytkowej zostanie powiększony o 102,5 MW (MPEC, 2019).

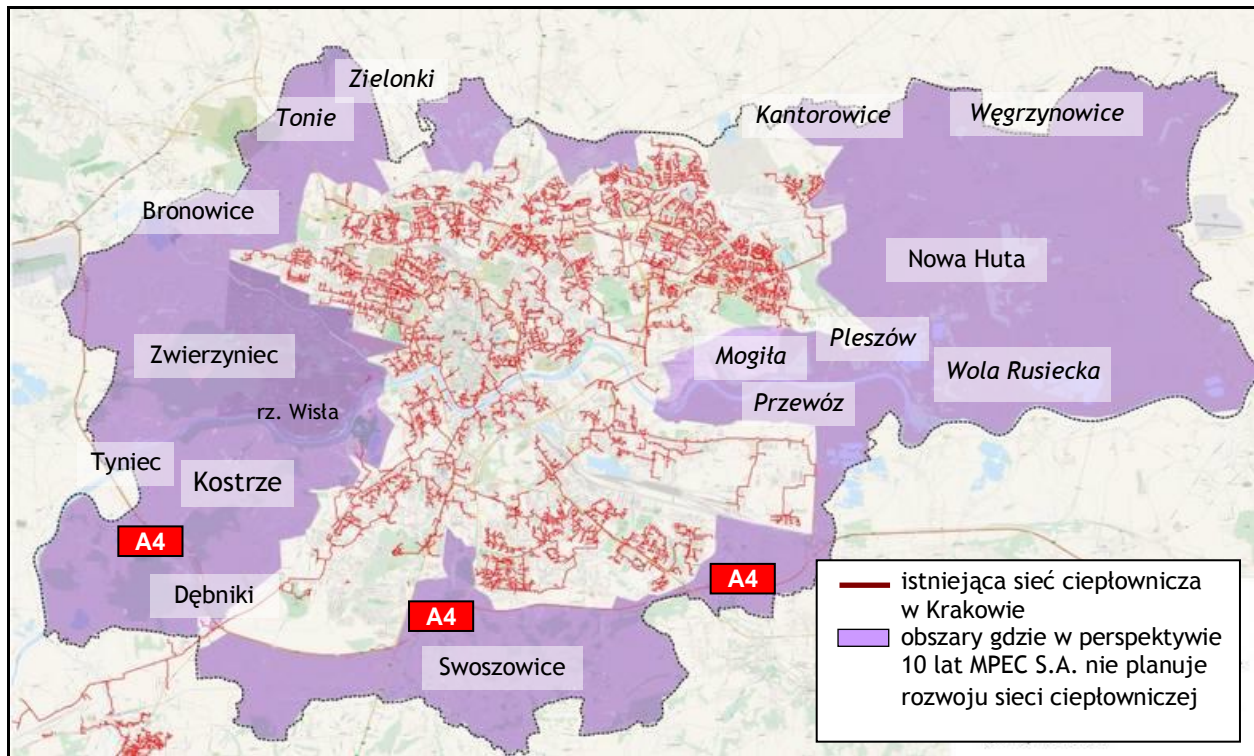
Obecnie krakowski MPEC S.A. pokrywa ponad 65% zapotrzebowania na ciepło na terenie miasta Krakowa i Skawiny. Obejmuje to 51 własnych kotłowni. Pozostałe 35% obiektów w Krakowie korzysta z ogrzewania indywidualnego (głównie gaz) oraz z lokalnych kotłowni. w celu doprowadzenia energii cieplnej do poszczególnych obszarów konieczne jest wybudowanie nowych odcinków sieci cieplnych, a w niektórych obszarach zwiększenie przepustowości części istniejących sieci.

Całkowita sprzedaż mocy cieplnej w 2018 roku wyniosła 1 807 MW (MPEC, 2019). Na podstawie dostępnych dokumentów, w tym „Planu rozwoju MPEC w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na ciepło. Wieloletni plan rzeczowo-finansowy Spółki na lata 2018-2024” największy udział w strukturze odbiorców MPEC S.A. w Krakowie (wg zamówionej mocy) ma sektor mieszkaniowy, który w sumie wykazuje zapotrzebowanie na ok. 60,83% mocy cieplnej (MPEC, 2019). Sektor ten obejmuje: wspólnoty mieszkaniowe i budynki komunalne (35,12%), spółdzielnie mieszkaniowe (24,23%) i odbiorców indywidualnych (1,48%). Podmioty gospodarcze zamawiają 24,28% ciepła, oświata 11,45%, a służba zdrowia 3,44%. Strukturę odbiorców energii cieplnej, z uwzględnieniem zamówionej mocy cieplnej w 2018 r. przedstawiono na rysunek 11.



Rysunek 11 Struktura odbiorców energii cieplnej wg stanu na 31.12.2018 r. (na podst. „Plan rozwoju MPEC S.A. w Krakowie na lata 2018-2024” - wartości zaokrąglone)

Pomimo rozległej sieci oraz nowych planów inwestycyjnych MPEC S.A., głównie ze względów na brak uzasadnienia ekonomicznego, nie rozważa się rozwoju sieci ciepłowniczej w kierunku osiedli peryferyjnych, takich jak: Kostrze, Tyniec, Bielany, Pleszów, Nowa Huta, Swoszowice i inne (Rysunek 12). Brak sieci ciepłowniczej w powyższych lokalizacjach stwarza szanse i potencjalne możliwości dla rozwoju geotermalnych pomp ciepła! Z punktu widzenia zaopatrzenia mieszkańców w ciepło, wydaje się stosowne, aby właśnie w tych miejscach rozważyć wykorzystanie instalacji geotermalnych pomp ciepła, tym bardziej, że większość z nich zlokalizowana jest w obrębie wydajnych, płytkich zbiorników wodonośnych.



Rysunek 12 Mapa istniejącej sieci ciepłowniczej obsługiwanej przez MPEC S.A., z zaznaczonymi obszarami nieperspektywnymi dla rozwoju sieci (udostępniono przez WGK UM Kraków, 2017)

3.3. Koszty wytworzenia energii w Krakowie (ceny energii w Krakowie)

Ze względu na zróżnicowanie uwarunkowań związane z produkcją ciepła sieciowego (energetyka przemysłowa) oraz produkcją ciepła w systemach rozproszonych, w tym z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, włączając technologię geotermalnych pomp ciepła, każde z tych zagadnienia opisano w osobnym podrozdziale.

3.3.1 Energetyka przemysłowa

W obszarze pilotażowym Krakowa energia elektryczna oraz ciepła wytwarzana jest przez kilka niezależnych podmiotów. Dodatkowo przedsiębiorstwa produkujące ciepło i energię elektryczną w kogeneracji (jak w Krakowie) raportują do URE (URE-C1) raportują swoje wyniki finansowe tylko w zakresie działalności ciepłowniczej, co stanowi znaczne utrudnienie, gdyż nie da się w ich przypadku jednoznacznie rozdzielić kosztów wytwarzania energii elektrycznej i ciepła wg miejsca powstania. W związku z powyższym oszacowanie kosztów wytworzenia energii jest zdaniem trudnym i wykracza poza ramy projektu GeoPLASMA-CE. Poniżej przedstawiono ogólny bilans w zakresie produkcji i średnich cen energii elektrycznej i ciepła dla użytkownika końcowego.

Jak powszechnie wiadomo ceny m.in. energii elektrycznej i ciepła w Polsce podlegają regulacji Prezesa URE, co wynika z art. 23 ust. 2 ustawy - Prawo energetyczne (Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. - Dz.U. 1997 nr 54 poz. 348). Kompetencje URE dotyczą również zatwierdzania i kontrolowania stosowania taryf



paliw gazowych, energii elektrycznej i ciepła pod względem zgodności z zasadami określonymi w ustawie i przepisach wykonawczych, w tym analizowanie i weryfikowanie kosztów przyjmowanych przez przedsiębiorstwa energetyczne jako uzasadnione do kalkulacji cen i stawek opłat w taryfach (URE, 2018).

Głównymi producentami energii elektrycznej w Krakowie są: PGE Energia Ciepła Oddział nr 1 w Krakowie (zainstalowana moc 480 MWe) oraz CEZ Skawina S.A.. (zainstalowana moc 330 MWe). Całkowite zużycie energii elektrycznej w gospodarstwach domowych w Krakowie w roku 2017 wyniosło 748 282 MWh. Cena jednostkowa energii elektrycznej, jako średnia ważona z roku jest uzależniona od taryfy (przemysłowa, nocna, dzienna) mieściła się w granicach 235,48 do 426,11 PLN/MWh. Analogicznie cena jednostkowa energii elektrycznej - łącznie obrót i dystrybucja, jako średnia ważona z roku, mieściła się w granicach 388,07 do 722,72 PLN/MWh. Głównym dystrybutorem energii elektrycznej w Krakowie jest TAURON Polska Energia S.A.

W połowie listopada 2017 r. Ministerstwo Energii przedstawiło do konsultacji projekt rozporządzenia w sprawie wprowadzenia specjalnej taryfy elektrycznej służącej do taniego ogrzewania elektrycznego. Przeprowadzone szczegółowe analizy dot. propozycji nowej taryfy elektrycznej przez Polską Organizację Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (PORT PC) pokazują, że niestety nie stwarza ona podstaw do uzyskania taniego ogrzewania. Istniejące już na rynku taryfy elektryczne są w wielu przypadkach bardziej korzystne finansowo oraz zapewniają dłuższy okres taniej taryfy elektrycznej niż nowa propozycja Ministerstwa Energii. Jedynym przykładem dobrych praktyk w zakresie kształtowania taryf dedykowanych dla urządzeń wykorzystywanych do ogrzewania (w tym pomp ciepła) są istniejące **taryfy G13 firmy TAURON Polska Energia S.A.** Zasięg tej oferty jest ograniczony jedynie do województw Małopolskiego i Śląskiego. Ponadto domyślna taryfa G11 oferuje nam najwyższe ceny i nie powinna być wyborem osób użytkujących pompy ciepła (PORT PC).

Rynek energii ciepłej w Krakowie zdominowany jest przez trzy podmioty wytwarzające ciepło, a mianowicie: PGE Energia Ciepła S.A. (wcześniej EDF Polska S.A.), CEZ Skawina S.A. oraz Krakowski Holding Komunalny S.A. (ZTPO). Szczegóły dotyczące udziału poszczególnych firm w rynku ciepłowniczym Krakowa opisano w rozdziale 3.2. Jedynym dystrybutorem ciepła sieciowego w Krakowie jest Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. w Krakowie. Całkowitą moc miejskiego systemu ciepłowniczego oszacowano na ok. 2260 MW (RSM, 2018).

Na koniec 2018 roku MPEC S.A. dodatkowo posiadał 50 własnych ekologicznych kotłowni gazowych oraz jedną olejową o zainstalowanej mocy 29,5 MW (MPEC, 2019). Wszystkie podmioty dostarczają ciepło, którego nośnikiem jest gorąca woda. Od powyższych wytwórców MPEC S.A. kupuje łącznie ok. 10 600 TJ ciepła rocznie. Sprzedaż ciepła zrealizowana w 2018 roku wyniosła ok. 9 473 TJ (MPEC, 2019). Krakowski oddział PGE Energia Ciepła S.A. jest największym producentem ciepła i energii elektrycznej dla miasta, z roczną produkcją prawie 7 800 TJ ciepła i 1 600 GWh energii elektrycznej zaspokaja 70% potrzeb Krakowa.

Poza głównymi ww. producentami ciepła sieciowego MPEC S.A. w 2018 roku eksploatowało 50 kotłowni lokalne będące własnością spółki. Zainstalowana moc w tych kotłowniach to 29,5 MW (MPEC, 2019). Są one opalane gazem i/lub olejem opałowym. Docelowo w 2023 r. mają produkować jedynie ok. 37 TJ ciepła rocznie. Strategia spółki zakłada sukcesywną likwidację tych kotłowni, do 24 sztuk w roku 2023 (MPEC, 2017). Do roku 2023 zakłada się likwidację 20 kotłowni w ramach realizacji programu PONE, a obiekty zasilane przez te źródła zostaną przyłączone do miejskiej sieci ciepłej. W związku z powyższym należałoby się zastanowić nad możliwością zastąpienia części z tych systemów, tych, które nie będą dołączone do sieci MPEC S.A., systemami wykorzystującymi pompy ciepła, w tym pompy geotermalne.

Koszty wytworzenia ciepła są pochodną wielu czynników: technicznych, technologicznych, środowiskowych i innych oraz makrootoczenia ekonomicznego funkcjonowania podmiotów wytwarzających energię, w tym energię ciepłą. Koszty wytworzenia ciepła mają zapewne istotny wpływ na kształtowanie cen rynkowych ciepła, jednakże nie należy zapominać, że decydującą rolę w kształtowaniu cen produkcji i sprzedaży

energii, w tym ciepła, odgrywa Prezes Urzędu Regulacji Energetyki, który m.in. zatwierdza taryfy cen ciepła.

Zgodnie z „*Raportem o stanie Miasta 2017*” (RSM, 2018), w zakresie Gospodarki komunalnej (Rozdz. V), średnie roczne jednostkowe koszty zakupu energii cieplnej w źródłach obcych (wspomnianych wcześniej podmiotach) wynosiły w 2017 r. 33,46 zł/GJ.

Zgodnie ze statystykami URE średnia cena ciepła ze źródeł w Polsce, w 2017 r., kształtowała się na poziomie 37,86zł/GJ, a w woj. małopolskim na poziomie 35,17 zł/GJ (URE, 2018).

Obecnie w Krakowie (luty 2019) obowiązuje taryfa dla ciepła oferowanego przez Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A., zatwierdzona przez Prezesa URE dn. 15.12.2018 r. (decyzja nr OKR-4210-30(8)/2018/215/XVII/JM) - cennik obowiązuje od 01.01.2019 r.. Cena ciepła oferowanego przez MPEC S.A. zawiera kilka elementów składowych związanych z wytworzeniem oraz przesyłaniem i dystrybucją ciepła.

Po stronie wytwarzania ciepła, składowymi są:

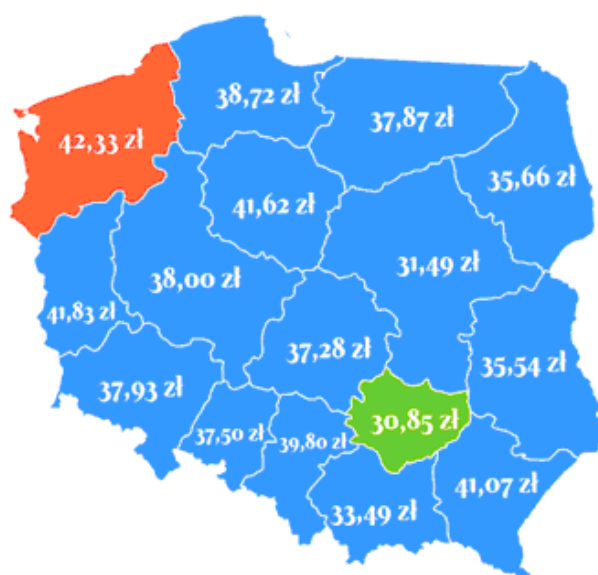
- cena za zamówioną moc cieplną (zł/MW/rok);
- miesięczna rata opłaty za zamówioną moc cieplną (zł/MW/m-c);
- cena ciepła (zł/GJ);
- cena nośnika ciepła (zł/m³)

Po stronie przesyłu i dystrybucji, składowymi są:

- stawka opłaty stałej za usługi przesyłowe (zł/MW/rok);
- miesięczna rata opłaty stałej za usługi przesyłowe (zł/MW/m-c) oraz
- stawka opłaty zmiennej za usługi przesyłowe (zł/GJ).

W zależności od Grupy Taryfowej (lokalizacji, rodzaju węzła, itp.) ceny ciepła dla odbiorcy końcowego są zmienne. Według „*Raportu o stanie Miasta 2017*” (RSM, 2018), w zakresie Gospodarki komunalnej (Rozdz. V), średnia cena jednostkowa sprzedaży ciepła (ciepło + przesył) przez MPEC S.A. w 2017 roku wynosiła 58,80 zł/GJ.

Należy tutaj przypomnieć, że zgodnie ze statystykami URE ceny za 1 GJ energii z sieci miejskiej różnią się w zależności od tego czy źródła wytwarzające ciepło pracują w kogeneracji, czy też nie. Jednostki, które wytwarzają zarówno energię elektryczną i ciepło użytkowe, mają niższe ceny. W tym przypadku średnia cena w Polsce w 2017 roku wyniosła 36,18 zł/GJ, a w województwie małopolskim - 33,49 zł/GJ (Rysunek 13). W sytuacji, gdy ciepłownia wytwarza ciepło bez kogeneracji, w większości regionów rachunki będą wyższe - średnia cena 41,18 zł/GJ (URE, 2018). Średnia cena jednostkowa ciepła w Polsce, w 2017 r., kształtowała się na poziomie 48,33 zł/GJ, a w woj. małopolskim na poziomie 46,80 zł/GJ (URE, 2018).



Rysunek 13 Ceny jednostkowe ciepła (1 GJ) ze źródeł wytwarzających ciepło w kogeneracji (na podst.: URE, 2018; „Energetyka cieplna w liczbach - 2017”)

Obniżenie kosztów jednostkowych ciepła dla odbiorcy końcowego w Krakowie jest, zdaniem MPEC S.A. możliwe, a obecnie jest realizowane głównie przez obniżenie strat ciepła i kosztów jego produkcji i dystrybucji. Obniżenie strat ciepła i kosztów MPEC realizuje poprzez ciągłą modernizację infrastruktury ciepłowniczej poprawiającej efektywność jej pracy. Natomiast, obniżenie kosztów u odbiorcy realizowane jest we współpracy z nim poprzez optymalizację dostaw określonej ilości energii ściśle dostosowanej do jego potrzeb, zapewniając mu wymagany komfort cieplny (MPEC, 2017).

3.3.2 Koszty ciepła pochodzącego z geotermalnych pomp ciepła

Koszty inwestycyjne związane z instalacją geotermalnych pomp ciepła można podzielić na dwie kategorie:

- koszty związane z pompą ciepła oraz
- koszty związane z dolnym źródłem ciepła.

Koszty zainstalowania samej pompy ciepła składają się z podobnych kategorii jak w przypadku ogrzewania olejowego lub gazowego, wyłączając koszty niezbędnych przewodów kominowych oraz konieczność zapewnienia specjalnego pomieszczenia na kotłownię z zasobnikiem na paliwo.

Właściwie dodatkowe koszty związane z projektem geotermalnym są zatem pochodną kosztów wykonania samego odwiertu. Dane dotyczące kosztów inwestycyjnych związanych z wykonaniem odwiertu zależą od wielu czynników, które projektant musi wziąć pod uwagę w miarę możliwości już w początkowej fazie realizacji projektu. Istotnym czynnikiem jest przy tym „wydajność” gruntu, którą określa przewodność cieplna skał oraz temperatura gruntu w danej lokalizacji. Możliwe są przy tym duże wahania regionalne. Dlatego też znajomość geologii podłoża gruntowego jest jednym z istotnych warunków umożliwiających optymalizację kosztów, tzn. ustalenie wymaganej głębokości odwiertu. W tym celu dla instalacji powyżej 30 kW zaleca się wykonanie specjalistycznego pomiaru własności termicznych gruntu *in situ*, poprzez tzw. badanie TRT - test reakcji termicznej (ang. *Thermal Response Test*).

Na podstawie danych wiertniczych dostępnych np. w bazach danych geologicznych Państwowego Instytutu Geologicznego - Instytutu Badawczego (PIG-PIB) można wyciągnąć wnioski dotyczące spodziewanego układu warstw geologicznych. Dane te należy przenieść do kalkulacji „mocy pobieranej ze źródła



geotermalnego”. Na wstępnym etapie planowania inwestycji w rejonie Krakowa pomocne będą informacje udostępnione w portalu projektu GeoPLASMA-CE (<https://portal.geoplasma-ce.eu/webgis/krakow>).

Zgodnie z wymogami Prawa Geologicznego i Górniczego, Prawa Wodnego i innych przepisów, roboty górnicze oraz wykonanie studni (instalacje woda-woda) charakteryzujące się określonymi parametrami (głębokość otworu, pobór wód, itp.) mogą być przeprowadzone na podstawie odpowiedniej dokumentacji: tj.: projektu robót geologicznych, operatu wodno-prawnego i innych, stosownie do obowiązujących przepisów. Dodatkowe dokumentacja powinna być przygotowana przez osoby legitymujące się odpowiednimi kwalifikacjami zawodowymi.

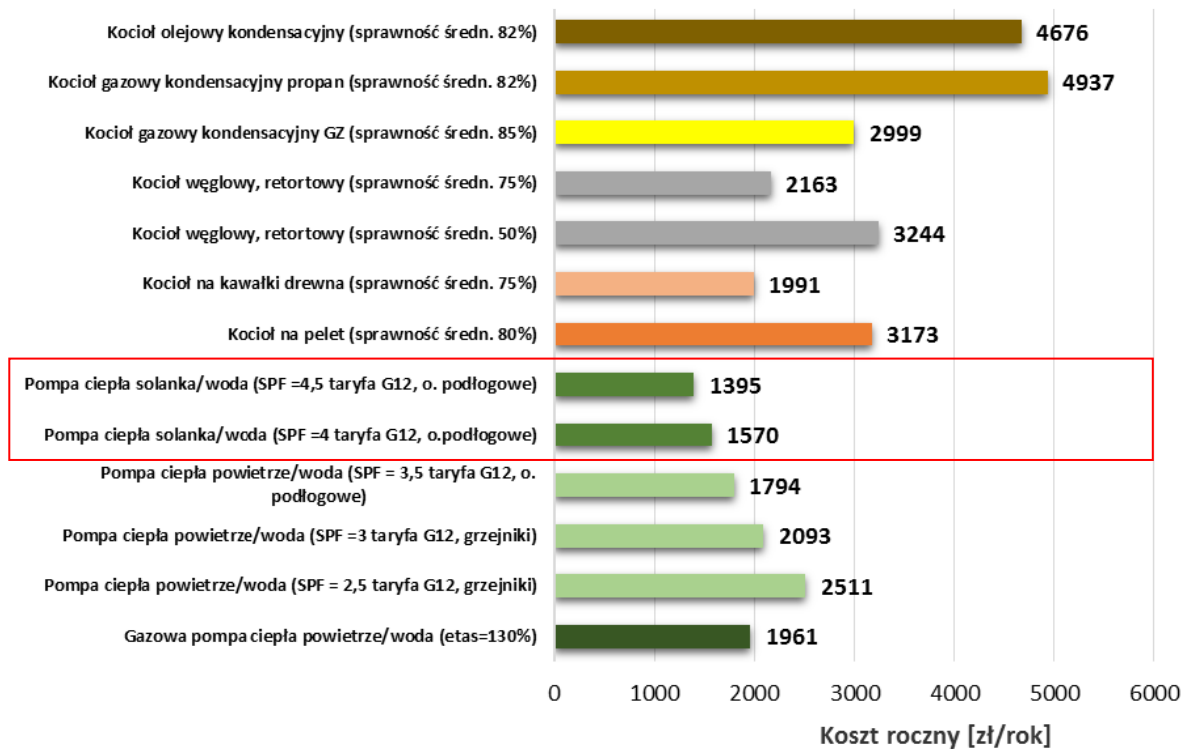
Przykład kalkulacji kosztów inwestycyjnych dla domu jednorodzinnego o powierzchni 150 m² oraz zapotrzebowaniu na ciepło ok. 6 kW został opracowany przez PORT PC i jest dostępny pod adresem: http://www.portpc.pl/pdf/Poradnik_inwestora_energia_geotermalna_i_pompy_ciepla_WEB_2014_09.pdf. Należy tutaj wspomnieć, że koszty eksploatacji pomp ciepła w dużej mierze są uzależnione od zużycia energii elektrycznej przez pompę ciepła (a więc od czasu pracy w trybie rocznym). Uwzględniając jednakże fakt, że 75% energii cieplnej pobierany jest z gruntu, przez co instalacja PC zmniejsza stopień zależności kosztów eksploatacyjnych od zmian cen energii elektrycznej (które wg ostatnich prognoz będą rosły). W opisywanym przykładzie koszt wykonania 2 otworów do gł. 70 m, (wraz z przyłączem poziomym i zasobnikiem na c.w.u.) oszacowano na ok. 17 000 zł, a koszt pompy ciepła (urządzenia) na 25 000 zł, co w sumie daje kwotę 42 000 zł.

W opisywanym przykładzie, zgodnie z przyjętymi założeniami (rocznego wzrostu cen energii 3%) inwestycja w instalację geotermalną opłaci się już nawet w przypadku umiarkowanych zmian cen energii. Dodatkowe koszty w wysokości 17 000 PLN (w stosunku do konwencjonalnych rozwiązań alternatywnych) związane z wykonaniem odwiertu zamortyzują się już po upływie 2 lat (olej opałowy) względnie 6,5 lat (gaz).

PORT PC udostępnia również arkusz kalkulacyjny pozwalający ocenić ekonomiczną zasadność inwestycji w instalację pompy ciepła dla domu jednorodzinnego i porównać wyniki z kosztami innych instalacji, tym: kotła gazowo-kondensacyjnego, kotła węglowego, olejowego wraz z zastosowaniem innych technologii OZE. Arkusz dostępny jest pod adresem: http://www.portpc.pl/pdf/KosztyVDI2067_PORTPC.xls.

Prosta analiza przypadku wskazuje, że łączne koszty roczne związane z wykorzystaniem geotermalnej pompy ciepła do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej są porównywalne z instalacją kotła gazowo-kondensacyjnego, a o wiele niższe od pozostałych rozwiązań technologicznych.

Przykład kalkulacji rocznych kosztów ogrzewania budynku wraz z przygotowaniem c.w.u. dla różnych mediów został opracowany na potrzeby „Raportu Rynkowego PORT PC 2017” (PORT PC, 2018) przedstawiono na rysunek 14. Wyliczenia sporządzono dla budynku jednorodzinnego o pow. 130 m², zamieszkałego przez 4 osoby, wykonanego w standardzie warunków technicznych z 2017 roku oraz przy założeniu zużycia c.w.u. na poziomie 200 l/dobę o temperaturze 55°C. W opisanym przypadku koszty rocznego użytkowania gruntowych pomp ciepła (solanka/woda), odpowiadają kosztom zużycia energii elektrycznej (taryfa G12) do napędu pompy. Dla obu geotermalnych pomp ciepła koszty ogrzewania w wysokości 1 395 i 1 570 zł/rok są prawie dwukrotnie lub trzykrotnie niższe niż dla kondensacyjnych kotłów na paliwo gazowe. Należy jednakże zwrócić uwagę, że przyjęta w obliczeniach sprawność kotła gazowego kondensacyjnego jest nieco zaniżona, w rzeczywistych warunkach sprawności tych kotłów oscylują w granicy 100% (*przypisek autora*).



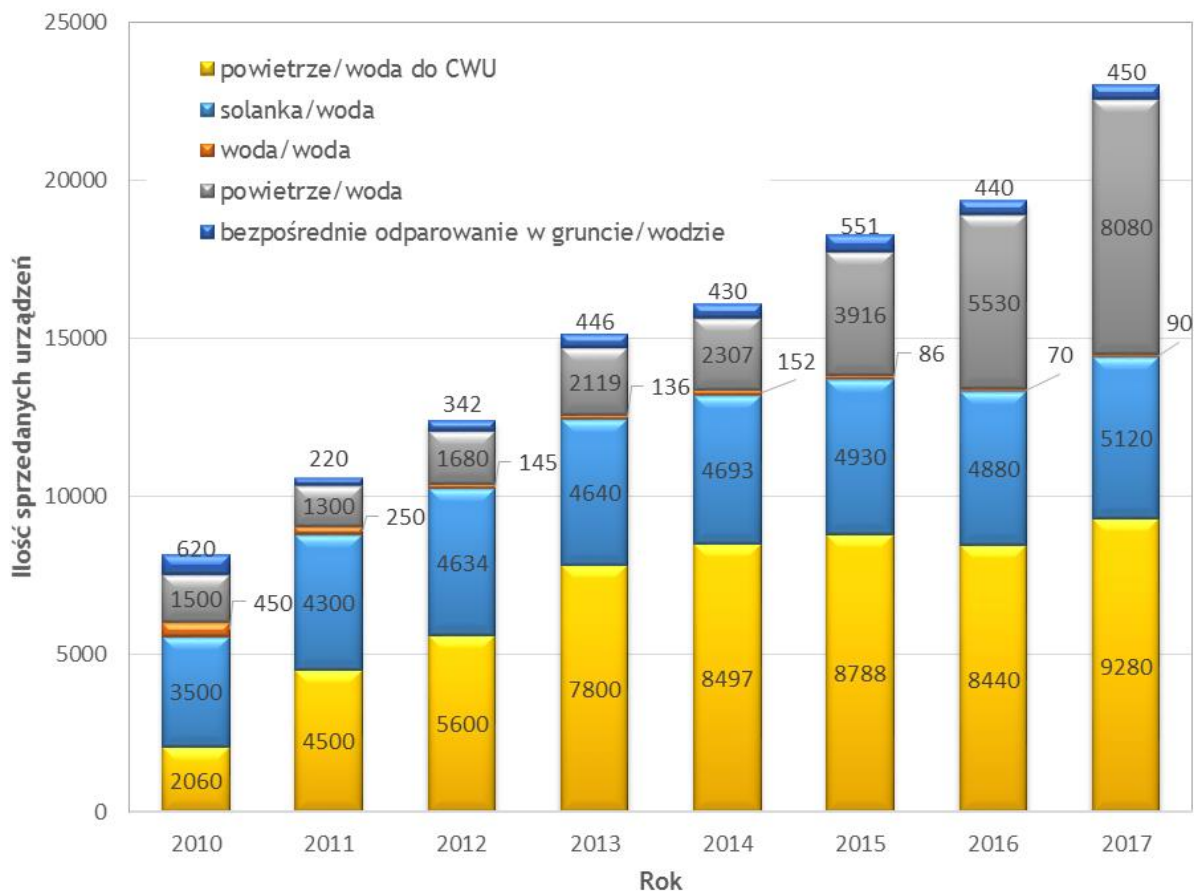
Rysunek 14 Roczny koszt ogrzewania budynku o pow. 130 m² wg WT 2017, wraz przygotowaniem c.w.u. (4 os. po 50 l/dobę) - dane za styczeń 2018

3.4 Stan wykorzystania ciepła Ziemi w Krakowie na tle danych statystycznych PORT PC (stan na 03.2019)

Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (PORT PC) od 2011 roku prowadzi badania rynku pomp ciepła w Polsce. W okresie tym rynek harmonijnie wzrasta, na przestrzeni ostatnich zmienia się jednak udział poszczególnych technologii, głównie za sprawą zwiększenia sprzedaży pomp ciepła typu powietrze/woda. Szacowana łączna liczba pracujących pod koniec 2017 roku pomp ciepła w Polsce, wykorzystywanych do ogrzewania i do przygotowania c.w.u., wynosiła ok. 163 000 urządzeń. Łączna, zainstalowana moc grzewcza tych urządzeń jest szacowana na ok. 1,36 GW (PORT PC, 2018).

Według raportu⁶ Polskiej Organizacji Rozwoju Pomp Ciepła, rok 2017 w Polsce był kolejnym z rzędu, w którym zaobserwowano wzrost sprzedaży ilości pomp ciepła. W tym roku rynek pomp ciepła stosowanych do instalacji centralnego ogrzewania wzrósł o ok. 30%, zaś cały rynek pomp ciepła odnotował wzrost na poziomie ok. 20%. Z szacunków PORT PC wynika, że tylko w roku 2017 sprzedano łącznie ok. 27 000 szt. pomp ciepła.

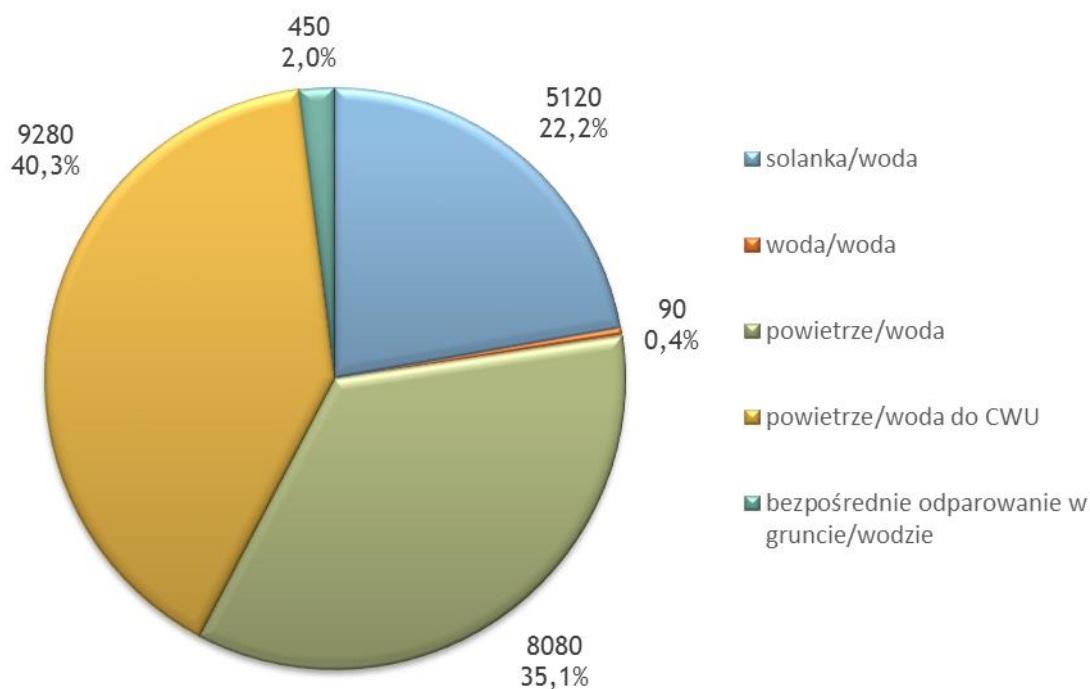
⁶ Raport Rynkowy PORT PC, 2018 - opiera się na badaniach przeprowadzonych przez firmę Bisnode Polska na zlecenie: Polskiej Organizacji Rozwoju Technologii Pomp Ciepła oraz Stowarzyszenia Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych (SPIUG) oraz na własnych analizach rynku (http://portpc.pl/pdf/raporty/Raport_Rynkowy_PORT_PC_2018.pdf)



Rysunek 15 Rynek pomp ciepła w Polsce w latach 2010-2017 (bez VRF⁷) (na podst.: PORT PC)

W 2017 roku sprzedaż w sektorze gruntowych pomp ciepła nieznacznie wzrosła w stosunku do roku 2016. Liczbę sprzedanych w 2017 roku urządzeń oszacowano na około 5 200 sztuk, co w porównaniu do roku poprzedzającego daje wzrost sprzedaży na poziomie ok. 5%. Gruntowe pompy ciepła wciąż stanowią znaczny udział w rynku pomp ciepła służących do ogrzewania czy chłodzenia pomieszczeń. Warto zwrócić uwagę na zmiany rynku tych urządzeń w segmencie małych i większych mocy grzewczych. Sprzedaż gruntowych pomp ciepła o mocy grzewczej <20 kW (łącznie tylko do ogrzewania i rewersyjnych) w stosunku do 2016 r. jest na tym samym poziomie, z tą uwagą, że w 2017 r. wzmocniła się tendencja do stosowania rewersyjnych pomp ciepła i nastąpił 40% wzrost ich sprzedaży. Warto tutaj podkreślić, że gruntowe pompy ciepła o mocy >20 kW (ogrzewanie i rewersyjne łącznie) odnotowały wzrost sprzedaży aż o 43%. Łączna moc grzewcza zainstalowana sprężarkowych elektrycznych pomp ciepła została oszacowana na poziomie 230 MW w roku 2017, wobec mocy grzewczej 205 MW zainstalowanej w 2016 roku. Udział poszczególnych typów pomp ciepła w rynku w Polsce, w roku 2017 przedstawiono na Rysunek 16.

⁷ ang. *Variable Refrigerant Flow* - zmienny przepływ czynnika chłodniczego, co oznacza regulację wydajności urządzeń chłodniczych poprzez zmianę strumienia czynnika przepływającego przez parowacz



Rysunek 16 **Udział sprzedaży poszczególnych typów pomp ciepła w rynku w Polsce, w roku 2017 (na podst. Raportu PORT PC, 2018)**

Rynek pomp ciepła w Krakowie jest słabo rozpoznany. Wiele osób i prywatnych inwestorów montuje urządzenia do ogrzewania swoich domów, jednakże nawet podstawowe informacje na temat lokalizacji oraz zainstalowanej mocy cieplnej, nie są rejestrowane.

Kwestie dotyczące niedostatecznego monitoringu rynku pomp ciepła oraz istniejących instalacji były wielokrotnie podejmowane podczas spotkań organizowanych w ramach projektu GeoPLASMA-CE, w trakcie spotkań dwustronnych z przedstawicielami krakowskiego magistratu oraz na spotkaniach z pozostałymi interesariuszami, w tym podczas konferencji, zorganizowanej przez AGH oraz WGK UMK, która odbyła się 25 września 2018 r. w Urzędzie Miasta Krakowa.

Jedynym oficjalnym źródłem informacji o projektach instalacji pomp ciepła jest Starosta (art. 161 ust. 2 pkt 5 ustawy Prawo Geologiczne i Górnicze), który wykonuje swoje zadania przy pomocy Geologa Powiatowego (art. 156 ust. 1 pkt 3 i ust. 2 pkt 3). Starosta zobowiązany jest do przyjęcia zgłoszenia lub wniesienie sprzeciwu w stosunku do złożonego do starosty Projektu robót geologicznych zgłaszanych przez inwestorów, mających na celu wykonanie prac geologicznych "w celu wykorzystania ciepła Ziemi".

Na podstawie oficjalnych informacji udostępnionych przez Wydział Kształtowania Środowiska Urzędu Miasta Krakowa, w obszarze Krakowa (NUTS: PL213) zarejestrowano **18 dokumentacji powykonawczych** (stan na 03.2019). W ramach raportowanych projektów wykonano 275 otworów, o łącznej długość ok. 29 380 m. Z powyższych danych wynika, że średnio na 1 instalację przypada 15,3 otworów, co sugeruje, że dokumentacje powykonawcze złożono zwykle w przypadku dużych projektów/instalacji. Zdaniem ekspertów z branży pomp ciepła, firm wiertniczych, instalatorów, powyższe dane są wielokrotnie zaniżone.



Ekspertyza⁸ wykonana na zlecenie AGH, w ramach projektu GeoPLASMA-CE, dotycząca analizy rynku pomp ciepła w obszarze pilotażowym Krakowa (DPS, 2018), wykonana na podstawie danych pochodzących z trzech dużych firm wiertniczych o zasięgu ogólnopolskim, tj.: DPS Sp z o.o., SATOR Grzegorz Skowroński, RS Grill Sp z o.o. wykazała, że w rejonie Krakowa wykonano 52 203 m bieżące wierceń - w nieznaną liczbę otworów. Przy czym eksperci wskazują, że dane te uwzględniają jedynie 25 większych inwestycji.

Ponadto, powyższe firmy oraz inne, mniejsze firmy wiertnicze (ok. 40% rynku) wykonują znaczną ilość otworów, obsługując małe inwestycje, głównie domy jednorodzinne. Ilość małych instalacji w Krakowie oszacowano na ok. 200. Przyjmując, że każda z tych instalacji wymaga odwiercenia 2 odwiertów po 100 mb, oszacowano dodatkowo ok. 40 000 mb odwiertów w Krakowie. Sumaryczną długość odwiertów wykonanych w celu wykorzystania płytkiej geotermii na terenie miasta Krakowa oszacowano na ok. 92 000 mb.

Z danych firm członkowskich PORT PC oraz innych niezrzeszonych firm wiertących w Polsce wynika, że w granicach administracyjnych miasta Krakowa wykonano łącznie ok. 225 instalacji gruntowych pomp ciepła. Większość z tych instalacji to odwierty dla domów jednorodzinnych, gdzie wierce się zazwyczaj 2-3 otwory, każdy po 75-100 m. Jak widać rozbieżności w danych, pomiędzy danymi zarejestrowanymi przez UMK, danymi rynkowymi a oszacowaniami są znaczące. Tabela 3 przedstawia zestawienie danych statystycznych dotyczących rynku geotermalnych pomp ciepła w Krakowie.

Tabela 3 Zestawienie danych statystycznych dotyczących rynku geotermalnych pomp ciepła w Krakowie (na podst.: WKŚ UMK oraz DPS, 2018, stan na 03.2019)

Parametr / Źródło informacji	WKŚ UM Kraków	Dane rynkowe (na podst. ekspertyzy DPS, 2018)	Szacunki (na podst. ekspertyzy DPS, 2018)
Ilość projektów /instalacji/	18	25 ⁽¹⁾	225
Ilość otworów	275	520 ⁽²⁾	750
Metraż odwierconych otworów [m]	29 380	52 203	92 000

(1) - średnie i duże instalacje (>30 kW)

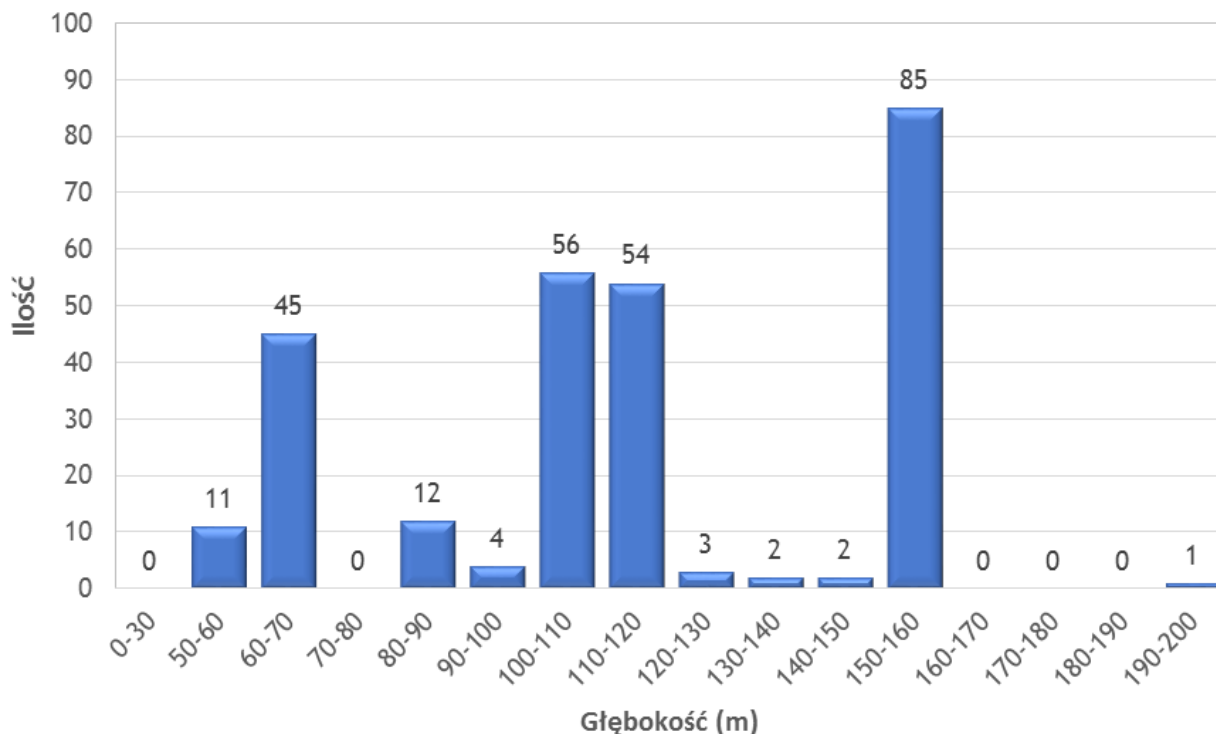
(2) - wartość szacowana (przy założeniu, że średnia gł. otworu 100 m)

Niestety nie jest znana ilość instalacji typu woda/woda (tzw. systemy otwarte, ang. OLS - *open loop System*). Przedstawiciele firmy VATRA S.A., produkującej i instalującej systemy pomp ciepła w Krakowie, mówią o znanych im 4 tego typu realizacjach w Krakowie.

Pomimo powszechnie występujących w rejonie Krakowa wód podziemnych, na relatywnie niewielkich głębokościach, dominującym sposobem wykorzystania zasobów tzw. płytkiej geotermii są pompy ciepła stosujące poziome dolne źródła ciepła oraz podrzędnie wymienniki otworowe, a systemy tzw. otwarte, wykorzystujące jako dolne źródło ciepła poziomy wód w głębszych należą wciąż do rzadkości. Zestawienie dostępnych danych dotyczących głębokości otworów wierconych na potrzeby instalacji geotermalnych

⁸ GeoPLASMA-CE - D.T3.2.1: Contract on assessment of operational data of existing shallow geothermal use in the pilot area Krakow (DPS, 2018)

pomp ciepła w Krakowie przedstawiono na Rysunek 17.



Rysunek 17 Zestawienie głębokości otworów wierconych na potrzeby instalacji geotermalnych pomp ciepła w Krakowie (na podst. informacji WKS UM Krakowa oraz ekspertyzy DPS, 2018)

Zgodnie z informacjami zawartymi w ekspertyzie dotyczącej m. in. inwentaryzacji danych technicznych i operacyjnych instalacji płytkowej geotermii w Krakowie (DPS, 2018) największą instalacją płytkowej geotermii w Krakowie, a chyba nawet w Polsce, jest instalacja zlokalizowana w Centrum Jana Pawła II, gdzie moc zainstalowana w pompach ciepła wynosi ok. 1 350 kW. Pompy ciepła wykorzystywane są do ogrzewania i chłodzenia. Wykonawcą całej instalacji jest krakowska firma VATRA S.A.

Drugą co do wielkości jest instalacja, w której dolne źródło oparte jest na wodach podziemnych, woda-woda. Łączną moc instalacji, która dostarcza ciepło do hali produkcyjnej, oszacowano na 400 kW (www.vatra.pl).

Trzecia instalacja, biorąc pod uwagę zainstalowaną moc - 363 kW, to instalacja GWC w Szpitalu Specjalistycznym im. Ludwika Rydygiera, na Osiedlu Złotej Jesieni 1, gdzie odwiercono 32 otwory o głębokości nie przekraczającej 200 m każdy (informacja RS Drill Sp. z o.o.). W trakcie wiercenia powyższych otworów wykonano w ramach projektu GeoPLASMA-CE dwa specjalistyczne badania testu reakcji termicznej skał (TRT).

Kolejną relatywnie dużą instalację GWC zlokalizowano w budynkach Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego przy ul. Gronostajowej (Kampus na Ruczaju). Wykonano tutaj 55 odwiertów, każdy o gł. 110 m. Moc zainstalowanych pomp ciepła wynosi 233 kW. Instalacja dostarcza ciepło do celów grzewczych (c.o.), przygotowania c.w.u. oraz, w okresie letnim, wykorzystywana jest do chłodzenia.

W centrum Krakowa, przy ulicy Smoleńsk 4, zlokalizowano instalację gruntowych pomp ciepła, o sumarycznej mocy 96,4 kW, która została zrealizowana w 2012 roku. Dwie pompy ciepła Vitocal 300G firmy Viessmann, wykorzystywane są do ogrzewania, chłodzenia, a przede wszystkim do przygotowywania c.w.u. dla Centrum Dzieła Pomocy św. Ojca Pio. Wykonano tutaj 34 otwory, każdy średnio o gł. 30 m.



Kolejna instalacja gruntowych pomp ciepła, o mocy ok. 220 kW, mieści się w Szpitalu im. Jana Pawła II. Instalacja GWC, zbudowana z 40 otworów o gł. 100 m każdy oraz czterech sprężarkowych pomp ciepła, funkcjonuje również w Opactwie Benedyktynów w Tyńcu (zachodnia część Krakowa). Pokrywa ona 87% rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i wentylacji obiektów Opactwa (PORT PC).

Kolejną instalacją opartą o gruntowe wymienniki ciepła zlokalizowano w nowopowstającym Archiwum Narodowym w Krakowie, między ul. Rakowicką i Wita Stwosza. Zarówno w powyższej, jak i wcześniej wspomnianej inwestycji wykonywanej w nowopowstających obiektach Szpitala Specjalistycznego im. Ludwika Rydygiera w Krakowie sp. z o.o, w trakcie prac wiertniczych, zespół projektu GeoPLASMA-CE zapewnił wykonanie specjalistycznych pomiarów własności termicznych górotworu, tzw. testów reakcji termicznej (TRT).

Brak szczegółowych informacji dotyczących funkcjonujących instalacji geotermalnych pomp ciepła w Krakowie nie pozwala na określenie sumarycznej ilości produkowanego ciepła/chłodu, wyrażonego w J/rok, bądź kWh/rok. Oszacowania łącznej mocy geotermalnych pomp ciepła wskazują, że w Krakowie zainstalowano ok. 5 MW. Zważywszy, że zainstalowana całkowita moc cieplna w Krakowie wynosi ok. 1 807 MW (MPEC, 2019), obecny udział technologii w całkowitym bilansie produkcji ciepła Krakowa stanowi niespełna 0,3%.

Analiza udostępnionych przez Wydział Kształtowania Środowiska Urzędu Miasta Krakowa dokumentacji powykonawczych dotyczących zrealizowanych projektów robót geologicznych w Krakowie, wskazuje, że najbardziej powszechne jest stosowanie wypełnienia żwirowo-bentonitowego. Używany bywa także sam żwir oraz wypełnienia profesjonalne, takie jak: HEKOTERM, lub TermorotaS. W niektórych otworach stosowano miejscami odtworzenie struktury urobkiem, część otworów jest uszczelniona w pierwszych metrach od wierzchu cementem gipsowym.

Dominują wymienniki wiercone świdrem o średnicy 127 mm (5"), 143 mm oraz 101,6 mm. Rury - w większości to U-rurki, pojedyncze (w większości) i podwójne, ale też w niektórych dokumentacjach brak jest informacji, lub informacja dot. typ zastosowanych rur (pojedyncza czy podwójna) jest niejednoznaczna. Średnice rur stosowanych to 32 do 40 mm, o różnych grubościach ścianek.

Analiza dostępnych dokumentacji wskazuje również Głębokości otworów wśród wymienników, których dokumentacje zgromadziłem do tej pory: od 51 do 195 m. Temperatury od 8,6 do 14,2°C.

Rynek pomp ciepła w Polsce jest stosunkowo młody i dynamicznie się rozwija. Niestety należy z przykrością stwierdzić, że pomimo szybkiego wzrostu rynku nie funkcjonują żadne systemy informacyjne zbierające dane statystyczne dotyczące pomp ciepła, w tym gruntowych wymienników ciepła, pozwalające na dokładniejsze określenie chociażby: ilości otworów, ich głębokości, typu zastosowanych technologii (system otwarty lub zamknięty), zainstalowanej mocy i innych. W związku z powyższym statystyki dotyczące informacji o zainstalowanych pompach ciepła mają jedynie charakter pogładowy. Dotyczy to zarówno całego kraju, jak i obszaru pilotażowego w Krakowie, chociaż w tym zakresie ściśle współpracujemy zarówno z Urzędem Miasta Krakowa, jak i stowarzyszeniem producentów, instalatorów i użytkowników pomp ciepła - PORT PC.

Analiza danych zgromadzonych w archiwum Urzędu Miasta Krakowa, uzupełniona informacjami rynkowymi, zebranymi w formie ekspertyzy, przy współudziale firm wiertniczych oraz instalatorów pomp ciepła (DPS, 2018) oraz badania przeprowadzone w ramach realizacji projektu GeoPLASMA-Ce pozwoliły na opracowanie mapy pogładowej lokalizacji instalacji geotermalnych pomp ciepła (Rysunek 18).



Legenda

- Lokalizacja instalacji pomp ciepła o mocy > niż 150 kW
- Lokalizacja instalacji pompy ciepła (ilość otworów)
- Lokalizacja instalacji pompy ciepła z wykonanym TRT
- Granica obszaru pilotażowego

Rysunek 18 Lokalizacje instalacji geotermalnych pomp ciepła oraz przeprowadzonych badań TRT w Krakowie (zestawiono na podst. informacji WKS UM Krakowa oraz ekspertyzy DPS, 2018)

Analiza mapy wskazuje na wyraźny deficyt informacji w rejonie wschodniej części Krakowa - Nowej Huty. Dotyczy to nie tylko tzw. informacji operacyjnych o funkcjonujących pompach ciepła, ale również możliwości pozyskania innego rodzaju danych, w tym geologicznych, termicznych i innych.

Dodatkowe informacje na temat wykonanych instalacji pomp ciepła w rejonie Krakowa można znaleźć na stronie projektu *Repowermap* (<http://www.repowermap.org>). Należy jednak podkreślić, że udostępnione przez poważy portal informacje dotyczą całkowitej liczby instalacji i nie są w pełni reprezentatywne, zważywszy na fakt, że większość instalacji pomp ciepła w Krakowie została zbudowana na potrzeby domów jednorodzinnych, o jednostkowej mocy cieplnej nie przekraczającej 20 kW.



4. Aktualne uwarunkowania dla rozwoju zastosowań płytkiej geotermii w Polsce

Według zapowiedzi Komisji Europejskiej niebawem nastąpi wzmocnienie polityki klimatyczno-energetycznej, a co za tym idzie zostanie wyznaczony jeden wyraźny cel, którym będzie obniżenie emisji CO₂ o ok. 40% do 2030 roku w porównaniu z 2005 rokiem. Kwestia redukcji CO₂ stanie się kluczowym zagadnieniem klimatycznym w skali Europy.

W Unii Europejskiej 45% emisji pochodzi z przemysłu, czyli sektora podlegającego ETS⁹. W Polsce to około 50 proc. W ramach ETS istnieje pula darmowych uprawnień. Wynosi ona 43% i to się nie zmieni. Reszta będzie sprzedawana na aukcjach. Co roku, podobnie jak teraz, liczba uprawnień będzie się zmniejszać, przy czym tempo redukcji od 2021 roku będzie większe i wyniesie 2,2% rocznie w porównaniu z 1,74% rocznie do 2020 roku.

Projekt „Krajowego Planu na Rzecz Energii i Klimatu na lata 2021-2030” (KPEiK, 2019) trafił do konsultacji publicznych, które zakończyły się 18 lutego 2018 r.. Plan ma zostać zgłoszony do KE do końca 2019 roku. Przewiduje on, że węgiel pozostanie głównym paliwem w elektroenergetyce. Udział OZE w finalnym zużyciu energii ma wynieść 21% w 2030 r. Plan, który pokrywa się z opublikowanymi pod koniec listopada założeniami „*Polityki Energetycznej Polski do 2040 roku*” (PEP, 2040) zakłada, że węgiel pozostanie najważniejszym paliwem w polskiej elektroenergetyce do 2030 r., choć jednocześnie jego udział ma spaść do 60% (obecnie 77%) w 2030 roku i dalej do 2040 r. W „Planie...”, ze względu na przewidywany wzrost zużycia energii zapisano też rozwój infrastruktury wytwórczej i przesyłowej "W obszarze rozwoju infrastruktury wytwórczej energii elektrycznej do 2030 r. przewidywane jest zwiększenie udziału OZE z obecnych 14% do ok. 27%.

Polska deklaruje osiągnięcie do 2030 r. 21% udziału OZE w finalnym zużyciu energii brutto, czyli zużycie łącznie w elektroenergetyce, ciepłownictwie i chłodnictwie oraz na cele transportowe. By dojść do tego poziomu autorzy przewidują, że udział odnawialnych źródeł energii w 2022 r wyniesie 15%, ok. 17% w 2025 r. i ok. 19% w 2027 r.

Jednym z narzędzi pozwalających realizować założenia wynikające z dokumentów strategicznych Polski jest technologia pomp ciepła, do której odwołują się również powyższe dokumenty strategiczne. Nie dość wspomnieć, że treści PEP, 2040 wskazuje, że „Jeśli na danym terenie nie ma możliwości podłączenia do sieci ciepłowniczej, potrzeby ciepłone powinny być pokrywane przez źródła indywidualne o możliwie najniższej emisyjności, zwłaszcza: instalacje gazowe, instalacje niepalnych OZE (w tym pompy ciepła), ogrzewanie elektryczne oraz wykorzystanie kotłów na paliwa stałe co najmniej V klasy”.

Zastosowanie pomp ciepła pozwala na wykorzystanie największego potencjału redukcji emisji CO₂ z wszystkich dostępnych i powszechnych technologii grzewczych (poza kotłami do spalania biomasy). Sprężarkowa pompa ciepła zasilana energią elektryczną emituje pośrednio ok. 200-250 g CO₂/kWh, co oznacza, że jest ok. 40-60% mniej niż typowa emisja CO₂ z kotła węglowego. Zgodnie z „*Krajowym planem rozwoju mikroinstalacji odnawialnych źródeł energii do 2030 roku*”, pośrednia emisja CO₂ dla energii elektrycznej z sieci spadnie w 2030 roku do ok. 375 g/kWh (z uwzględnieniem strat na przesył to 450 g/kWh) energii elektrycznej (KPRM-OZE, 2015) - wartość 375 g/kWh jest z tego raportu. Zdaniem ekspertów UM Krakowa założone przez autorów raportu obniżenie jest nierealne. Faktyczne wartości u

⁹ ETS - Unijny system handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS) jest kluczowym elementem polityki UE na rzecz walki ze zmianą klimatu oraz jej podstawowym narzędziem służącym do zmniejszania emisji gazów cieplarnianych w sposób optymalny (https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_pl)



odbiorcy końcowego (podane przez KOBiZE), to: za rok 2013 r. - 831,50 kg CO₂/MWh, za 2014 - 825,412 kg CO₂/MWh, za 2015 - 798 kg CO₂/MWh, za 2016 - 781 kg CO₂/MWh. Abstrahując od konkretnych wartości, utrzymanie niżkowego trendu udziału pośredniej emisji CO₂ dla energii elektrycznej z sieci, spowoduje to dalszy spadek emisji CO₂ dla sprężarkowych pomp ciepła!

Biorąc pod uwagę możliwości rozwoju rynku pomp ciepła oraz wykorzystania płytkich zasobów geotermalnych w Krakowie, należy zwrócić uwagę na cztery zasadnicze aspekty:

- ✓ otoczenie rynku pomp ciepła (uwarunkowania społeczno-polityczne, w tym akceptacja technologii);
- ✓ techniczne (dostępność zasobów geotermalnych i efektywnych technologii) oraz
- ✓ finansowe (opłacalność inwestycji, w tym systemy wsparcia) oraz
- ✓ prawne.

Analizując powyższe zagadnienia należy podkreślić, że istnieją obecnie zarówno sprzyjające warunki otoczenia, wynikające z przyjętych zobowiązań w zakresie ochrony powietrza w Krakowie, w tym dążność do maksymalnego zmniejszenia użycia paliw stałych, spalanych poza ciepłowniami i elektrociepłowniami zawodowymi w całej Małopolsce, gdzie od 2026 roku paliwa stałe będzie można spalać wyłącznie w urządzeniach klasy V (PN-EN 303-5:2012), lub tych spełniających normy ecodesign¹⁰. Przypomnijmy tylko, że od 1 października 2017 roku obowiązuje w Polsce zakaz produkcji, a od 1 lipca 2018 zakaz sprzedaży kotłów na paliwa stałe, które posiadają oznaczenia produktu poniżej V klas.

Rozwojowi wykorzystania geotermii, a w szczególności geotermalnych pomp ciepła w Krakowie może sprzyjać także proekologiczna polityka jedyne go dystrybutora ciepła sieciowego MPEC S.A.. Priorytetem firmy, poza sukcesywnym podłączaniem do sieci ciepłej budynków, będzie również analiza możliwości technicznych zaopatrzenia w ciepło i/lub chłód obszarów Krakowa zlokalizowanych poza zasięgiem obecnej, bądź planowanej, sieci ciepłowniczej - przy wykorzystaniu płytkiej geotermii. Powyższe koncepcje dotyczą, w pierwszej kolejności, możliwości zaopatrzenia w ciepło geotermalne budynków komunalnych, a w następnej - miejmy nadzieję, innych odbiorców, nie mogących skorzystać ze standardowej oferty MPEC S.A., tj. dostawy ciepła sieciowego.

4.1. Systemy wsparcia w zakresie wykorzystania ciepła Ziemi w skali kraju, województwa małopolskiego oraz gminy miejskiej Krakowa (formalne, finansowe i organizacyjne)

Pomimo tego, że pompy ciepła rozpoznawane są powszechnie jako urządzenia wykorzystujące odnawialne źródła energii, wspierające walkę z emisją CO₂ oraz ograniczające niską emisję, nie ma obecnie żadnego krajowego programu dedykowanego wsparciu rozwój wykorzystania tej technologii.

Technologia pomp ciepła jest wymieniana, obok innych OZE, w szeregu dokumentach i programach zarówno krajowych jak i w skali województw oraz poszczególnych gmin, jako narzędzie walki o poprawę jakości powietrza, poprawę efektywności energetycznej i innych, zmierzający do realizacji zakładanych celów, wynikających ze zobowiązań krajowych i unijnych w zakresie zmniejszenia udziału paliw kopalnych oraz wzrostu wykorzystania OZE w tzw. miksie energetycznym Polski. Kluczowe dokumenty strategiczne i

¹⁰ pod tym pojęciem należy rozumieć Dyrektywę Parlamentu Europejskiego 2009/125/WE ustanawiającą ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektowania produktów związanych z energią



polityki, wskazujące kierunki rozwoju rynku energetycznego na szczeblu krajowym zostały przywołane w rozdziale 4.

W oparciu o przepisy unijne dotyczące pomocy publicznej na energię, wsparcie odnawialnych źródeł energii powinno opierać się o systemy konkurencyjne, promujące redukcję kosztów związanych z osiągnięciem celów (KPEiK, 2019). Z dokumentu wynika również, że tworzone mechanizmy wsparcia i promocji wytwarzania energii z OZE do ok. 2030 r. mają stawiać w uprzywilejowanej pozycji rozwiązania zapewniające maksymalną dyspozycyjność (wysoka efektywność i współczynnik wykorzystania, sterowalność, wykorzystanie magazynu energii), z relatywnie najniższym kosztem wytworzenia energii, a ponadto zaspokajające lokalne potrzeby energetyczne (ciepło, energia elektryczna, transport), ale także związane z gospodarką odpadami (zgodną z hierarchią zagospodarowania odpadów) i wykorzystaniem miejscowego potencjału.

Głównym dysponentem zarówno środków krajowych, jak i zagranicznych, w tym przede wszystkim unijnych w Polsce, jest Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie (WFOŚiGW), którego misja zawarta jest w sformułowaniu: „Skuteczne i efektywne wspieranie działań na rzecz środowiska ze szczególnym uwzględnieniem działań służących absorpcji środków zagranicznych obsługiwanych przez Narodowy Fundusz”. Działania NFOŚiGW są wspomagane przez Bank Ochrony Środowiska (BOŚ), a organizacyjnie - na niższych szczeblach poprzez sieć Wojewódzkich Funduszy Ochrony Środowiska (WFOŚiGW), dystrybuujące znaczące środki w zakresie środowiska i szerokopojętej energetyki w skali województw oraz poszczególnych gmin.

Środki dystrybuowane są z wykorzystaniem podstawowych instrumentów finansowych, obejmujących: dotacje, pożyczki oraz dotacjo-pożyczki, a beneficjentami mogą być zarówno osoby prywatne, jak i jednostki samorządu terytorialnego (w tym gminy), a także przedsiębiorcy i inne podmioty np. klastry. Środki NFOŚiGW (WFOŚiGW) wypłacane są w ramach reguł funkcjonujących w obrębie np. Programów Ograniczenia Niskiej Emisji, które uwzględniają lokalne uwarunkowania społeczno-gospodarcze poszczególnych gmin, wynikające z obowiązującej polityki władz lokalnych, zawartej w dokumentach strategicznych, politykach oraz decyzjach władz lokalnych, w tym uchwałach Rady Miejskiej i innych obowiązujących dokumentach.

Obecnie w Krakowie dofinansowanie instalacji pomp ciepła można uzyskać z następujących źródeł/programów:

- ✓ Program PONE /zasięg: Kraków/: w ramach propozycji BOŚ Banku i WFOŚiGW w Krakowie, w zależności od rodzaju inwestycji, osoba fizyczna może uzyskać do 6 000 złotych na częściową spłatę kredytu bankowego na pompę ciepła. Pomoc finansowa dotyczy wymiany kotłów grzewczych węglowych na pompę ciepła o mocy do 40 kW (koszty kwalifikowane do 3 000,00 zł za 1 kW/mocy) oraz podłączenie do sieci ciepłowniczej, w tym geotermalnej (koszty kwalifikowane do 830 zł za 1 kW/mocy). Dotacja na częściową spłatę kapitału nie może przekroczyć 50% kosztów kwalifikowanych i nie więcej niż 6 000 zł na jedno zadanie oraz nie więcej niż 50% kwoty kredytu. Jeśli natomiast inwestycja polega na zakupie i montażu pompy ciepła o mocy do 40 kW (koszty kwalifikowane do 3 000 zł za 1 kW/mocy) do ogrzewania budynku lub do ogrzewania budynku oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej to dotacja na częściową spłatę kapitału nie może przekroczyć 30% kosztów kwalifikowanych i nie więcej niż 5 000 zł na jedno zadanie oraz nie więcej niż 30% kwoty kredytu;
- ✓ Program Czyste Powietrze /zasięg: Małopolska/: inwestycje polegające na wymianie starych źródeł ciepła (pieców i kotłów na paliwa stałe) i montaż nowych źródeł ciepła wraz z przyłączami: kotły na paliwa stałe, węzły cieplne, systemy ogrzewania elektrycznego, kotły olejowe, kotły gazowe kondensacyjne, pompy ciepła powietrzne, pompy ciepła odbierające ciepło z gruntu lub wody w Małopolsce. Kwota dofinansowania zależy od miesięcznego dochodu w gospodarstwie domowym. Dotacja dla osoby fizycznej może wynosić do 30% (przy dochodach powyżej 1 400 zł na



osobę) aż do maksymalnie 90% (przy dochodach do 600 zł na osobę). Wartość kosztów kwalifikowanych od 7 000 zł do 53 000 zł. Maksymalny koszt kwalifikowany na jeden budynek jest uzależniony od zastosowanych rozwiązań, dla gruntowej lub wodnej pompy ciepła - do 45 000 zł, instalacje wewnętrzne do 15 000 zł. Dofinansowanie udzielane jest za pośrednictwem WFOŚiGW w Krakowie.

<https://powietrze.malopolska.pl/dofinansowanie/#czystepowietrze>

<https://www.wfos.krakow.pl/portalebencijenta>

- ✓ Program Czyste Powietrze /zasięg: Małopolska/: oferta (1.5.3.2) pożyczki skierowana do osób fizycznych przez WFOŚiGW w Krakowie. Oferta obejmuje zakup i montaż pomp ciepła o minimalnej mocy 40 kW. Pożyczka - do 100% kosztów kwalifikowanych netto. Oprocentowanie preferencyjne oraz możliwość umorzenia pożyczonego kapitału zgodnie z obowiązującymi Zasadami finansowania zadań ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie. Brak opłat i prowizji. Maksymalna wysokość dofinansowania wyliczana na podstawie wskaźników Funduszu: do 4 200 zł/kW (brutto) dla gruntowych pompy ciepła o mocy niższej od 1MW oraz do 3 500 zł/kW (brutto) dla gruntowych pompy ciepła o mocy wyższej lub równej 1 MW. Finansowanie dotyczy zakupu materiałów i urządzeń oraz prac montażowych związanych z wykonaniem pompy ciepła oraz dolnego źródła ciepła. <https://www.wfos.krakow.pl/oferty/pompy-ciepla-4>
- ✓ Program Czyste Powietrze /zasięg: Małopolska/: oferta (1.1.3.2) pożyczki, dotacji lub dotacjo-pożyczki skierowana przez WFOŚiGW w Krakowie do Jednostek Samorządu Terytorialnego. Pożyczka - do 100% kosztów kwalifikowanych netto. Oprocentowanie preferencyjne oraz możliwość umorzenia pożyczonego kapitału zgodnie z obowiązującymi Zasadami finansowania zadań ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie. Brak opłat i prowizji. Dotacja - do 30% kosztów kwalifikowanych. Dotacjo-Pożyczka (pożyczka bez możliwości umorzenia) - dla podmiotów mogących ubiegać się o dotację istnieje możliwość pozyskania pożyczki stanowiącej dopełnienie do 100% kosztów kwalifikowanych netto. Maksymalna wysokość dofinansowania wyliczana na podstawie wskaźników Funduszu: do 4 200 zł/kW (brutto) dla gruntowych pompy ciepła o mocy niższej od 1MW oraz do 3 500 zł/kW (brutto) dla gruntowych pompy ciepła o mocy wyższej lub równej 1MW. <https://www.wfos.krakow.pl/oferty/pompy-ciepla>.

Wszelkich informacji dotyczących programów wsparcia finansowego oferowanego przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Krakowie można uzyskać za pośrednictwem Portalu Beneficjenta: <https://www.wfos.krakow.pl/portalebencijenta>. Można tam założyć konto beneficjenta, a podstawowe formalności załatwić drogą elektroniczną.

W Krakowie obowiązuje „**Program ograniczania niskiej emisji dla Miasta Krakowa**”, którego działania są finansowane z Regionalnego Program Operacyjnego Województwa Małopolskiego na lata 2014-2020 (środki Unijne). Perspektywa finansowa projektu w okresie od 2016.10.01 do 2019.12.31 wynosi 90 786 414,36 zł., z czego wartość dofinansowania to 74 808 892,17 zł. Jednostką realizującą projekt jest Wydział ds. Jakości Powietrza (JP) Urzędu Miasta Krakowa.

W związku z obowiązującą uchwałą antysmogową zakaz spalania paliw stałych na terenie Krakowa obowiązuje od 1 września 2019 r. Po tym terminie pozostałe środki zostaną przeznaczone na termomodernizację budynków.



4.2. Wskazanie możliwości wzrostu wykorzystania ciepła Ziemi poprzez działania w ramach projektu GeoPLASMA-CE

Pomimo rozległej sieci oraz nowych planów inwestycyjnych MPEC S.A., głównie ze względów ekonomicznych nie rozważa się rozwoju sieci ciepłowniczej w kierunku osiedli peryferyjnych, takich jak: Kostrze, Tyniec, Bielany, Pleszów, Nowa Huta, Swoszowice i inne (Rysunek 12). Brak sieci ciepłowniczej w powyższych lokalizacjach stwarza szanse i potencjalne możliwości dla rozwoju geotermalnych pomp ciepła! Z punktu widzenia zaopatrzenia mieszkańców w ciepło, wydaje się stosowne aby właśnie w tych miejscach rozważyć instalowanie geotermalnych pomp ciepła, tym bardziej, że większość z nich zlokalizowana byłaby w obrębie wydajnych, płytkich zbiorników wodonośnych.

Wstępna analiza planów inwestycyjnych spółki Kraków Nowa Huta Przyszłości S.A, obejmujących znaczący obszar rewitalizacji zdegradowanych terenów dawnej huty stali, tj. ok. 40 ha obszaru inwestycyjnego (spośród 600 ha objętych projektem), wskazuje na istnienie znaczącego potencjału dla wykorzystania płytkich zasobów energii geotermalnej w tym rejonie Krakowa. Ukryty potencjał dotyczy w pierwszej kolejności możliwości zastosowania geotermalnych pomp ciepła, zarówno OLS jak i CLS do chłodzenia wielkokubaturowych budynków, stanowiących część Parku Naukowo-Technologicznego „Branice” oraz Centrum Logistyczno-Przemysłowego „Ruszcza” i innych. Abstrahując od potencjału geotermalnego tych terenów, techniczne możliwości wykorzystania pomp ciepła potęguje fakt, że projekt znajduje się na wstępnym etapie realizacji, w którym wykorzystanie ciepła geotermalnego może być uwzględnione i stanowić jeden z istotnych elementów infrastruktury na tym terenie. Wyniki projektu GeoPLASMA-CE dadzą dodatkowo odpowiedź, czy zastosowanie geotermalnych pomp ciepła na tym terenie będzie zasadne pod względem technicznym. Ekonomiczna zasadność inwestycji z wykorzystaniem pomp ciepła w konkretnej lokalizacji, w tym w rejonie projektu Kraków Nowa Huta Przyszłości powinna być wykonana w kolejnym etapie, uwzględniającym szczegółowe dane dotyczące otoczenia całego projektu.

Obecne szacunki wykonane w ramach projektu GeoPLASMA-CE wskazują, że w rejonie Krakowa zlokalizowano ok. 200 małych instalacji geotermalnych pomp ciepła o sumarycznej mocy cieplnej ok. 2 MW (DPS, 2018). Uwzględniając dodatkowo 24 większe instalacje, gdzie sumarycznie zainstalowano ok. 3 MW mocy cieplnej - uzyskujemy niespełna 5 MW zainstalowanej mocy geotermalnej w pompach ciepła w Krakowie. Przypomnijmy, że szacunki nie uwzględniają instalacji pomp ciepła z wymiennikiem poziomym oraz pomp powietrznych (nie będących przedmiotem naszego zainteresowania).

Zakładając optymistyczny scenariusz wykorzystania ciepła geotermalnego, tj utrzymanie corocznego wzrostu rynku geotermalnych pomp ciepła w Polsce na poziomie 5% (PORT PC, 2019) wielkość zainstalowanej mocy w Krakowie w roku 2050 można oszacować na ok. 22 MW. Zważywszy na wielkość zapotrzebowania na moc cieplną Miasta, szacowaną w 2018 roku na ok. 1 807 MW (MPEC, 2019), **geotermalne pompy ciepła w 2050 roku mogą stanowić zaledwie ok. 1,2% tej wielkości.** Mogą one jednak być doskonałym źródłem ciepła oraz chłodu dla obiektów znajdujących się poza zasięgiem sieci ciepłowniczej, o których wspomniano wcześniej i stanowić uzupełnienie oferty ciepłowniczej dla mieszkańców naszego Miasta.



4.3. Identyfikacja lokalnych barier oraz wskazanie środków niwelujących zagrożenia zmierzające do wzrostu zastosowania geotermalnych pomp ciepła w Krakowie

Wykorzystanie płytkiej zasobów geotermalnych w koncepcjach ogrzewania i chłodzenia jest silnie uzależnione oraz poziomu wiedzy na temat możliwości technicznych oraz zasobowych wykorzystania technologii pomp ciepła na większą skalę w obszarze zurbanizowanym Krakowa.

W ramach projektu GeoPLASMA-CE, w celu wstępnej identyfikacji wymagań i barier rozwoju płytkiej geotermii przeprowadzono ankietę, która była skierowana do interesariuszy w poszczególnych obszarach pilotażowych. W okresie od listopada 2017 r. do kwietnia 2018 r. przeprowadzono 47 takich ankiet, z czego 8 w rejonie Krakowa. W ankiecie wzięli udział przedstawiciele: Wydziału Gospodarki Komunalnej, Wydział Kształtowania Środowiska Urzędu Miasta Krakowa, Stowarzyszenia Metropolia Krakowska, Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie, Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego (PSG), Polskiej Organizacji Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (POERT PC) oraz Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej w Krakowie (MPEC S.A.) i Kraków Nowa Huta Przyszłości S.A..

Celem przeprowadzonych badań ankietowych było przede wszystkim określenie poziomu świadomości na temat obecnej i przyszłej roli płytkiej geotermalnej wśród grupy głównych zainteresowanych stron w krakowskim obszarze pilotażowym. Kolejnym celem było zidentyfikowanie potrzeb potencjalnych użytkowników wyników projektu w zakresie planowania i zarządzania energią oraz w zakresie identyfikacji możliwości występowania konfliktów środowiskowych w Krakowie. W tym celu posłużono się analizą SWOT.

Wyniki analizy porównawczej przeprowadzonych badań w 6 obszarach pilotażowych opublikowano w raporcie pn. „Joint report on the user demands and barriers for the implementation of shallow geothermal methods in energy planning strategies”, jako zadanie D.T4.1.2 projektu GeoPLASMA-CE i opublikowane w internecie (<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/GeoPLASMA-CE/CE177-GeoPLASMA-CE-D.T4.1.2-Joint-report-demands-barriers-03.pdf>).

Większość biorących w badaniu osób postrzega płytką geotermię jako stabilne, bezemisyjne źródło energii odnawialnej do ogrzewania i chłodzenia, nie emitujące hałasu - w odróżnieniu od np. powietrznych pomp ciepła. Kolejnym, powszechnie identyfikowanym, atutem technologii geotermalnych pomp ciepła jest możliwość wykorzystania tych urządzeń zarówno do ogrzewania, jak i do chłodzenia. Znakomita większość ankietowanych osób podkreśla natomiast wysokie koszty inwestycyjne, związane z budową instalacji. Fakt ten upatrywany jest jako główna bariera rozwoju technologii pomp ciepła w Europie Centralnej, w tym w Polsce.

Technologia pomp ciepła jest wciąż powszechnie postrzegana jako "luksusowe" źródło energii, co utrudnia przełamanie barier u decydentów, w tym np. ustalenie specjalnych taryfy dostawy prądu dla osób wykorzystujących pompy ciepła do celów ogrzewania i przygotowania c.w.u. Niski poziom świadomości z kolei prowadzi do braku woli politycznej do wspierania płytkiej geotermii, co powoduje, że w obiegu publicznym powiela się nieprawdziwe informacje na temat niskiej wydajności i niekorzystnym wpływie technologii na środowisko etc.. Brak dostępu do wiedzy i złożone procedury prawne stanowią również istotne bariery dla dalszego rozwoju rynku geotermalnych pomp ciepła także w Polsce. Co prawda należy przyznać, że wciąż ok. 77% energii elektrycznej w Polsce produkuje się z węgla, co również, w biegowym pojęciu, nie sprzyja promocji technologii pomp ciepła.

Powyższe fakty powodują, że rynek jest w zasadzie zdominowany przez inwestycje prywatne przy raczej niskim poziomie interwencji politycznej. Z drugiej strony brak grup interesów we wszystkich zaangażowanych regionach może również tłumaczyć ogólny niski poziom świadomości. Większość zainteresowanych stron jest jednak przekonana, że znaczenie płytkiej energii geotermalnej w dostarczaniu ciepła poprawi się w przyszłości.

Wszystkie w/w czynniki dominują również w Krakowskim obszarze pilotażowym. Dodatkowo relatywnie niski poziom świadomości w zakresie działania pomp ciepła, w tym pomp geotermalnych oraz funkcjonowania systemów wykorzystujących te urządzenia, pogłębiony jest właściwie brakiem tzw. przykładów dobrych praktyk. Dotyczy to w szczególności możliwości wykorzystania pomp ciepła w systemach woda-woda oraz możliwości stosowania technologii do chłodzenia.

Nieliczni zwracają uwagę, że wykorzystanie geotermalnych pomp ciepła, wymaga wykonania wierceń, które mogą stanowić zagrożenie dla zbiorników wód podziemnych, wykorzystywanych do celów konsumpcyjnych w Krakowie. Należy jednakże podkreślić, że jest to jedynie kwestia doboru odpowiedniej technologii, staranności wykonania robót geologicznych (wiercenia) oraz stosownego monitoringu instalacji w trakcie długoletniej eksploatacji.

Ograniczenia w wykorzystaniu pomp ciepła, w szczególności pomp dużej mocy (powyżej 100 kW) w Krakowie mogą wynikać także z planowania przestrzennego, a w szczególności z zapisów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Według danych na stronie Biuletynu Informacji Publicznej Miasta Krakowa Urzędu Miasta Krakowa od 18 czerwca 2019 r. obowiązuje 191 planów miejscowych (64,1% powierzchni Krakowa). Od 10 lipca 2019 r. sporządzane są 64 plany (https://www.bip.krakow.pl/?bip_id=1&mmi=412).

Tabela 4 przedstawia zestawienie barier hamujących rozwój technologii pomp ciepła, zdaniem środowiska branżowego, zrzeszonego w PORT PC.

Tabela 4 Zidentyfikowane bariery dla rozwoju technologii pomp ciepła w Polsce, rozpoznawane przez środowisko branżowe, związane z pompami ciepła

Rodzaj bariery	Elementy szczegółowe
Bariery informacyjne i edukacyjne	<ul style="list-style-type: none"> - Brak ogólnopolskiej kampanii informacyjnej o pompach ciepła, - Rozpowszechniona „błędna wiedza/mity” o pompach ciepła, - Zmiany technologiczne w pompach ciepła następują o wiele szybciej niż typowy dociera przekaz informacji, - Brak ogólnej wiedzy o pompach ciepła wśród pracowników administracji publicznej, specjalistów branżowych, decydentów
Bariery prawne	<ul style="list-style-type: none"> - Duże i szybkie zmiany w zakresie prawodawstwa europejskiego związane z technologią pomp ciepła, - Niewystarczająca ilość stosownych przepisów i rozporządzeń wspierających zastosowanie pomp ciepła w Polsce, - Brak warunków technicznych) dotyczących technologii pomp ciepła, - Brak norm dotyczących pomp ciepła w języku polskim
Brak wsparcia finansowego	<ul style="list-style-type: none"> - Brak specjalnych (dedykowanych) taryf energetycznych dla pomp ciepła, - Technologia pomp ciepła najmniej wspierana finansowo spośród wszystkich technologii grzewczych korzystających z OZE w Polsce, - W przypadku pojedynczych programów wsparcia brak jednoznacznych kryteriów jakościowych i ilościowych (konieczność opieki merytorycznej)



<p>Otoczenie rynku pomp ciepła w Polsce</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Brak polskich programów badawczych badających realną efektywność pomp ciepła (pomiar współczynnika SPF w budynkach jednorodzinnych), - Zbyt mała współpraca uczelni technicznych z przemysłem, - Brak polskiego certyfikowanego instytutu badawczego zajmującego badaniem efektywności pomp ciepła, - Niedobór fachowej kadry (studia kierunkowe: pompy ciepła)
<p>Praktyka wykonywanych instalacji z pompami ciepła</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Znaczna liczba problemów systemowych (zawilgocone budynki, błędy budowlane itp.) rzutujących na wizerunek pomp ciepła, - Ciągłe występujące błędy instalacyjne, - Znaczna liczba firm „garażowych” i importerów bez zapewnienia prawidłowej opieki serwisowej, - Brak instytucji odwoławczych dla klientów w zakresie reklamacji jakości.

5. Przykłady zastosowań geotermalnych pomp ciepła w Krakowie (rozwiązania techniczne - studia przypadków)

W celu przybliżenia technologii geotermalnych pomp ciepła opisano 3 przykłady praktycznych zastosowań gruntowych pomp ciepła, typu solanka/woda, czyli tzw. gruntowych wymienników ciepła, zwanych również zamkniętymi systemami geotermalnymi (*ang. CLS - closed loop systems*). Wszystkie przedstawione instalacje zlokalizowano w budynkach użyteczności publicznej, jako duże i średnie, na skalę Polski i obszaru pilotażowego Krakowa, instalacje. Opisy instalacji były poprzedzone wizjami lokalnymi, które odbyły się w lutym 2019, gdzie na miejscu zebrano podstawowe informacje dotyczące koncepcji oraz zasad funkcjonowania poszczególnych systemów, z uwypukleniem roli geotermalnych pomp ciepła. Zaprezentowane przykłady dotyczą instalacji pomp ciepła w następujących obiektach:

- 1) III Kampus UJ: ogrzewanie i chłodzenie budynku Wydziału Geografii i Geologii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie (ul. Gronostajowa 3a, 30-387 Kraków);
- 2) Centrum Jana Pawła II w Krakowie: II Etap inwestycji, ogrzewanie i chłodzenie budynków Muzeum (ul. Totus Tuus 34, 30-610 Kraków);
- 3) Centrum Dzieła Pomocy św. Ojca Pio: ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej (ul. Smoleńsk 4, 31-107 Kraków).

Szczegółowy opis powyższych instalacji stanowi [ANEKS NR 1](#) do niniejszego dokumentu/strategii.

Inne przykłady zastosowań pomp ciepła, jako tzw. instalacje referencyjne udostępnione są na stronie internetowej Polskiej Organizacji Rozwoju Technologii pomp Ciepła (PORT PC): <http://portpc.pl/referencje>.



6. Opis proponowanej strategii efektywnego i zrównoważonego wykorzystania zasobów płytkiej energii geotermalnej w rejonie pilotażowym Krakowa

6.1. Cel strategii, grupy docelowe, wartości docelowe i wskaźniki

Podstawowym celem projektu, realizowanego w krakowskim obszarze pilotażowym, jest wsparcie miasta Krakowa w zakresie informacji o możliwościach wykorzystania zasobów płytkiej geotermalnej oraz integracja wyników projektu z obowiązującymi obecnie dokumentami strategicznymi, w zakresie rozwoju i zarządzania miastem. Głównymi zadaniami postawionymi w projekcie było oszacowanie zasobów płytkiej geotermii, dla zastosowań wykorzystujących technologię pomp ciepła w systemach zamkniętych, typu solanka-woda (GWC), jak i w systemach otwartych, typu woda-woda, do ogrzewania i chłodzenia.

Warto tutaj podkreślić, że wykorzystanie technologii pomp ciepła może odegrać istotną rolę w walce ze smogiem, szczególnie w Krakowie, gdzie dotychczas nie rozpoznano innych alternatywnych, efektywnych odnawialnych źródeł energii. Zanieczyszczenie powietrza, spowodowane głównie powszechnym wykorzystaniem stałych paliw kopalnych do celów grzewczych, nadal pozostaje jednym z najważniejszych problemów rozwojowych w całej Polsce. Dotyczy to również Krakowa, pomimo tego, że władze miasta są prekursorami w zakresie rozwiązań formalnych, zmierzających do poprawy jakości powietrza w Polsce. Nie dość wspomnieć, że w 2011 roku Rada Miasta Krakowa proklamowała Uchwałę Nr XX1/275/11 (z dnia 6 lipca 2011 r.), określając zasady udzielania dotacji na realizację zadań, dofinansowanych z budżetu Miasta Krakowa. W 2016 roku Sejmik Województwa Małopolskiego przyjął uchwałę antysmogową, która zakładała całkowity zakaz spalania węgla i innych paliw stałych w mieście od 1 września 2019 roku.

Jednym z najważniejszych wyzwań projektu GeoPLASMA-CE w Krakowie jest wzmocnienie świadomości społecznej w zakresie korzyści wyływających z zastosowania gruntowych pomp ciepła. Dotyczy to również udzielenia wsparcia naukowego i technicznego, w celu zwiększenia szerszego wykorzystania pomp ciepła w Krakowie. Powyższa koncepcja jest spójna z dokumentami miejskimi, w tym z „*Planem Gospodarka Niskoemisyjnej dla Miasta Krakowa*”, opracowanym w 2015 r. (PGN, 2015 - aktualizacja 2018), w którym potencjał energii odnawialnej, związany z wykorzystaniem pomp ciepła w Krakowie oszacowano na ok. 100 MW i (możliwa produkcja ok. 150 000 MWh/rok) energii cieplnej. Obecny udział technologii w całkowitym bilansie energetycznym Krakowa jest znikomy i wynosi ok. 0,3%.

W powyższym kontekście promocja geotermalnych pomp ciepła w Krakowie oraz osiągnięcie celu na poziomie zainstalowanej mocy ok. 20 MW wydaje się możliwe do osiągnięcia w perspektywie długoterminowej 30 lat. Osiągnięcie założonego celu jest realne, uwzględniając sprzyjającą atmosferę oraz przychylność przedstawicieli władz lokalnych, w tym kierownictwa poszczególnych wydziałów Urzędu Miasta Krakowa - odpowiedzialnych m. in. za kreowanie polityki Miasta w zakresie dostawy ciepła, energii elektrycznej i gazu, ochrony środowiska, jakości powietrza i innych. Szansę na przyspieszenie wykorzystania technologii pomp ciepła w Krakowie upatrujemy również poprzez wyraźne zainteresowanie rozwojem tych technologii w Krakowie wykazane przez główny podmiot zajmujący się dystrybucją ciepła w Krakowie - Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. (MPEC S.A.).



6.2. Przegląd proponowanych działań i środków zmierzających do osiągnięcia wyznaczonego celu

Mając na uwadze potrzeby i opisane wcześniej cele związane z promocją technologii oraz zwiększeniem ilości instalacji geotermalnych pomp ciepła w Krakowie Zespół projektu GeoPLASMA-CE Akademii Górniczo-Hutniczej, pod kierunkiem Marka Hajto, opracował zestaw 8 szczegółowych działań, które będą pomocne w realizacji założonego celu.

Realizacja rekomendowanych działań uwzględnia ramy czasowe, tj.: (a) do realizacji w trakcie trwania projektu GeoPLASMA-CE, (b) krótkoterminowe - do 1,5 roku po zakończeniu projektu GeoPLASMA-CE, (c) średnioterminowe - w okresie do 3 lat oraz (d) długoterminowe - w okresie ponad 3 lat. Każde z zadań posiada zdefiniowaną barierę do przezwyciężenia, cel proponowanego działania, inicjatora działania i potencjalnych innych wykonawców, grupy docelowe, podstawy podjęcia działania, jego opis i kryteria sukcesu. Największą uwagę położono na promocję technologii oraz wzmocnienie świadomości społecznej, a w drugiej kolejności na dostarczenie podstawowych informacji technicznych dotyczących działania pomp ciepła oraz systemów opartych na tych urządzeniach.

Lista działań promujących wykorzystanie pomp ciepła w krakowskim obszarze pilotażowym obejmuje następujące zagadnienia:

- 1) Edukacja i informacja (wzrost świadomości poprzez edukację i informowanie);
- 2) Informowanie inwestorów o potencjale geotermalnym oraz możliwości występowania zagrożeń środowiskowych przed (w trakcie) wydawania pozwoleń (poprawa jakości instalacji pomp ciepła);
- 3) Podstawowe zasady funkcjonowania płytkiej geotermii - szkolenie dla pracowników Urzędu Miasta wraz z pokazem dobrych praktyk (uaktywnienie pracowników Urzędu Miasta i innych urzędów);
- 4) Aktualizacja dokumentów strategicznych Krakowa (wzrost świadomości w zakresie istnienia potencjału płytkiej geotermii i możliwości jego wykorzystania w Krakowie);
- 5) Utworzenie pilotażowego projektu dotyczącego lokalnej sieci ciepłowniczej opartej na technologii pomp ciepła - wyspa ciepła w Krakowie (zaopatrywanie mieszkańców Krakowa w ciepło, poza zasięgiem sieci ciepłowniczej, wzrost świadomości);
- 6) Wspólna kampania informacyjna dotycząca możliwości wykorzystania płytkiej geotermii w Krakowie (Wzrost świadomości - informacja i edukacja);
- 7) Wstępna ocena potencjału geotermalnego i możliwości jego wykorzystania w projekcie Kraków Nowa Huta Przyszłości - studium przypadku (Przygotowanie stosownego dokumentu, dotyczącego potencjału technicznego i możliwości wykorzystania płytkiej geotermii na etapie planowania infrastruktury);
- 8) Utworzenie Centrum Badawczego certyfikującego pompy ciepła (Obniżenie kosztów inwestycyjnych i wzrost świadomości społecznej).

Szczegółowy opis powyższych działań stanowią ANEKS NR 2 do niniejszego dokumentu/strategii.

7. Podsumowanie

Technologia pomp ciepła jest już dojrzałym i sprawdzonym od lat rozwiązaniem do ogrzewania i chłodzenia budynków. Pompy ciepła umożliwiają realizację strategii dekarbonizacji i elektryfikacji sektora produkcji ciepła w budynkach. Elektryfikacja ogrzewania jest możliwa niemal wyłącznie dzięki technologii pomp ciepła, a przede wszystkim ich wysokiej efektywności energetycznej. Z jednej jednostki



dostarczonej energii elektrycznej produkują one obecnie 3-6 jednostek energii cieplnej lub chłodniczej. Dzięki temu nie są one zagrożeniem dla sektora energetycznego, a wręcz odciążeniem poprzez współpracę z inteligentnymi sieciami (Smart Grid). Sektor ogrzewania i chłodzenia konsumuje 51% wyprodukowanej energii i przyczynia się do 27% emisji CO₂ w Europie (CCC, 2019; ENC, 2019). W Polsce wg KPD, 2010 sektor ogrzewania i chłodzenia stanowi aż 57% całkowitego zużycia końcowej energii.

Pompa ciepła jako „elastyczny konsument energii” umożliwia integrację magazynowania energii w połączeniu z panelami fotowoltaicznymi, co przekłada się na całkowitą neutralność w zakresie emisji CO₂. Ponadto pompy ciepła są technologią gotową do współpracy z inteligentnymi sieciami energetycznymi Smart Grid, które zwiększają efektywność sieci energetycznych, niezawodność oraz bezpieczeństwo poszczególnych ogniw łańcucha dostaw energii.

Efektywność ekonomiczna gruntowych pomp ciepła jest bardzo wysoka szczególnie w zakresie chłodzenia. Mają one możliwość pracy w trybie pasywnego chłodzenia (tzw. *free cooling*), które angażuje energię elektryczną jedynie do pracy pomp obiegowych, przez co staje się bardzo ekonomicznym rozwiązaniem. Oczywiście gruntowe pompy ciepła mogą pracować również w trybie aktywnego chłodzenia, czyli z zaangażowaniem sprężarki i przy niższych temperaturach zasilania, co jest często wymagane w krajach o cieplejszym klimacie. Każdy z trybów chłodzących ma bardzo pozytywny wpływ na grunt, w którym znajduje się dolne źródło ciepła, przyczyniając się do jego regeneracji i sprawniejszej pracy całego układu w okresie zimowym. Innymi słowy oba tryby mają na siebie spore oddziaływanie. Dlatego tak ważnym jest, aby dokładnie zweryfikować ilość energii w poszczególnych trybach pracy (zimowym i letnim), żeby móc z dużą dokładnością określić optymalną wielkość dolnego źródła ciepła. Narzędziem służącym do tego zadania jest np. test reakcji termicznej gruntu oraz wieloletnia (25 lub 50 lat) symulacja pracy pompy ciepła.

Dzięki takim programom jak *Energy Earth Designer* lub *FeFlow* można zasymulować pracę pompy ciepła przy określonym układzie dolnego źródła, w określonych warunkach gruntowych i klimatycznych oraz przy obliczonym zapotrzebowaniu szczytowym na energię w trybie grzewczym i chłodzącym, ale co najważniejsze również przy określonej ilości energii w tych trybach. To właśnie ilość energii jest podstawowym kryterium doboru wielkości dolnego źródła ciepła oraz mocy grzewczej i chłodzącej pompy ciepła przy założeniu konkretnych ilości godzin pracy. Tylko po takiej analizie można z pełną odpowiedzialnością zaproponować optymalny, sprawny i rentowny układ z pompą ciepła, bez konieczności przewymiarowywania (zwiększone koszty inwestycyjne) lub zagrożenia niedoszacowania (znaczne obniżenie sprawności). Zaleca się, aby dogłębne analizy energetyczne wykonywać dla układów >30 kW mocy grzewczej (symulacja energetyczna) oraz >100 kW mocy grzewczej (badanie TRT oraz symulacja energetyczna).

Promowanie wykorzystania pomp ciepła w krakowskim obszarze pilotażowym powinno uwzględniać w szczególności układy technologiczne wykorzystujące ciepło zgromadzone w wodach podziemnych zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia, które charakteryzują się wyższą efektywnością (SCOP).

To be continued ...

Ponadto proponuję się uzupełnić opracowanie o:

1. informację o ewentualnych zagrożeniach dla środowiska gruntowo - wodnego na etapie realizacji i eksploatacji pionowych gruntowych wymienników ciepła (GWC), w tym realizowanych w obszarach górniczych utworzonych dla eksploatacji wód leczniczych.



2. przykładową konstrukcję otworu wiertniczego wykonywanego dla gruntowego wymiennika ciepła (GWC), przedstawioną na załączniku graficznym, z uwzględnieniem średnicy otworu, sposobu zamykania horyzontów wodonośnych i innych elementów koniecznych dla prawidłowego zaprojektowania wiercenia w celu wykorzystania ciepła Ziemi - pod kątem ochrony środowiska.

C. Bibliografia (*References*)

ANGELINO L., DUMAS P., GINDRE C., LATHAM A., [ED.] 2016; MARKET REPORT 2015. EUROPEAN GEOTHERMAL ENERGY COUNCIL - EGEC. FIFTH EDITION, APRIL 2016.

ANTICS M., BERTANI R., SANNER B., 2016; SUMMARY OF EGC 2016 COUNTRY UPDATE REPORTS ON GEOTHERMAL ENERGY IN EUROPE. KEYNOTE, COUNTRY UPDATE REPORT. EUROPEAN GEOTHERMAL CONGRESS STRASBOURG, FRANCE, 19-24 SEPT 2016.

CHELSTOWSKA A., CZERWINSKA A., FILIP R., 2015; STATE OF THE CITY REPORT - KRAKÓW IN NUMBERS 2015. CITY DEVELOPMENT DEPARTMENT OF THE MUNICIPALITY OF KRAKÓW ([HTTPS://WWW.BIP.KRAKÓW.PL/PLIK.PHP?ZID=163640&WER=0&NEW=T&MODE=SHW](https://www.bip.krakow.pl/plik.php?zid=163640&wer=0&new=t&mode=shw)).

DKE, 2013; DECYZJA KOMISJI Z DNIA 1 MARCA 2013 R. USTANAWIAJĄCA WYTYCZNE DLA PAŃSTW CZŁONKOWSKICH DOTYCZĄCE OBLICZANIA ENERGII ODNAWIALNEJ Z POMP CIEPŁA W ODNIESIENIU DO RÓŻNYCH TECHNOLOGII POMP CIEPŁA NA PODSTAWIE ART. 5 DYREKTYWY PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2009/28/WE (NOTYFIKOWANA JAKO DOKUMENT NR C (2013) 1082 (2013/114/UE)).

DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY EUROPY (2009/125/WE); Z DNIA 21 PAŹDZIERNIKA 2009 R. USTANAWIAJĄCA OGÓLNE ZASADY USTALANIA WYMOGÓW DOTYCZĄCYCH EKOPROJEKTU DLA PRODUKTÓW ZWIĄZANYCH Z ENERGIĄ.

DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY EUROPY (2010/30/UE); Z DNIA 19 MAJA 2010 R. W SPRAWIE WSKAZANIA POPRZEZ ETYKIETOWANIE ORAZ STANDARDOWE INFORMACJI O PRODUKCIE, ŻUŻYCIA ENERGII ORAZ INNYCH ZASOBÓW PRZEZ PRODUKTY ZWIĄZANE Z ENERGIĄ.

ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2017/1369 Z DNIA 4 LIPCA 2017 R.; USTANAWIAJĄCE RAMY ETYKIETOWANIA ENERGETYCZNEGO I UCHYLAJĄCE DYREKTYWĘ 2010/30/UE

DUDA R., HALADUS A., WITCZAK S., 1997; HYDROGEOLOGICAL MAP OF POLAND. 1:50 000, KRAKÓW. POLISH GEOLOGICAL INSTITUTE. WARSAW.

DPS, 2018; EKSPERTYZA DOTYCZĄCA DANYCH TECHNICZNYCH I OPERACYJNYCH INSTALACJI PŁYTKIEJ GEOTERMII, W TYM GEOTERMALNYCH POMP CIEPŁA: GRUNTOWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA I INSTALACJI TYPU WODA-WODA, WRAZ Z ANALIZĄ MOŻLIWOŚCI WYKONANIA SPECJALISTYCZNYCH POMIARÓW TRT W OBSZARZE PILOTAŻOWYM KRAKOWA - GEOPLASMA-CE (ZADANIE W RAMACH D.T3.2.1)

DŻUŁYNSKI, S., 1953; TEKTONIKA POŁUDNIOWEJ CZĘŚCI WYŻYNY KRAKOWSKIEJ. ACTA GEOLOGICA POLONICA, 3: 325-440.

EC, 2008; Directive 2008/50/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 21 MAY 2008 ON AMBIENT AIR QUALITY AND CLEANER AIR FOR EUROPE ([HTTP://EC.EUROPA.EU/ENVIRONMENT/AIR/LEGIS.HTM#CEILINGS](http://ec.europa.eu/environment/air/legis.htm#ceilings)).

EEA, 2016; AIR QUALITY IN EUROPE — 2016 REPORT. THE EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). LUXEMBOURG: PUBLICATIONS OFFICE OF THE EUROPEAN UNION, 2016. PP. 88 ([HTTP://WWW.EEA.EUROPA.EU/PUBLICATIONS/AIR-QUALITY-IN-EUROPE-2016/AT_DOWNLOAD/FILE](http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at_download/file)).

EEA, 2018; AIR QUALITY IN EUROPE — 2018 REPORT. THE EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). LUXEMBOURG: PUBLICATIONS OFFICE OF THE EUROPEAN UNION, 2018. PP. 88 ([HTTPS://WWW.EEA.EUROPA.EU/PUBLICATIONS/AIR-QUALITY-IN-EUROPE-2018/AT_DOWNLOAD/FILE](https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018/at_download/file)).

EHPA, 2016; EUROPEAN HEAT PUMP MARKET AND STATISTICS REPORT 2016, CHAPTER 5.15 POLAND, P 180 (COMMERCIAL VERSION).

GORECKI W., [ED.], HAJTO M., ET AL., 2011; ATLAS OF GEOTHERMAL WATERS AND ENERGY RESOURCES IN THE WESTERN CARPATHIANS. [ED.] AGH KSE, KRAKÓW, PP 1-772.



GUS, 2018 - BAZA DEMOGRAFIA: WYNIKI BADAŃ BIEŻĄCYCH: STAN I STRUKTURA LUDNOŚCI: LUDNOŚĆ: 2018: LUDNOŚĆ STAN W DNIU 30 VI: LUDNOŚĆ WEDŁUG PŁCI I MIAST: MAŁOPOLSKIE.

HAJTO M., 2011; GEOTHERMAL ANALYSIS OF THE POLISH WESTERN CARPATHIANS [IN] GORECKI W, [ED.], HAJTO M., ET AL., 2011; ATLAS OF GEOTHERMAL WATERS AND ENERGY RESOURCES IN THE WESTERN CARPATHIANS. [ED.] AGH KSE, KRAKÓW, PP 181-226.

HAJTO M., SZEWCZYK J., 2013; ANALIZA TERMICZNA OBSZARU ZAPADLISKA PRZEDKARPACKIEGO [IN] GORECKI W, [ED.], SOWIŹDŻAŁ A., ET AL., 2013; GEOTHERMAL ATLAS OF THE CARPATHIAN FOREDEEP. AGH KSE, KRAKÓW, PP 87-99.

HAJTO M., CIAPAŁA B., MITAN K., LACHMAN P., STARNOWSKA M., SMUCZYŃSKA M., KOCZOROWSKI J., TETŁAK T., 2017; QUANTITATIVE REPORT ON THE DATA INVENTORY AND CONCEPTS OF FIELD MEASUREMENTS AT THE PILOT AREA: KRAKÓW. DELIVERABLE D.T3.1.1 OF THE GEOPLASMA-CE PROJECT (INTERREG-CE).

KEPIŃSKA B., 2015; GEOTHERMAL ENERGY COUNTRY UPDATE REPORT FROM POLAND, 2010-2014. PROCEEDINGS WORLD GEOTHERMAL CONGRESS 2015. MELBOURNE, AUSTRALIA, 19-25 APRIL 2015.

KLECZKOWSKI A.S., 1990A; OBJAŚNIENIA MAPY OBSZARÓW GŁÓWNYCH ZBIORNIKÓW WÓD PODZIEMNYCH (GZWP) W POLSCE WYMAGAJĄCYCH SZCZEGÓLNEJ OCHRONY 1:500 000. IHiGI AGH, KRAKÓW.

KLECZKOWSKI A.S. (RED.), 1990B; MAPA OBSZARÓW GŁÓWNYCH ZBIORNIKÓW WÓD PODZIEMNYCH (GZWP) W POLSCE WYMAGAJĄCYCH SZCZEGÓLNEJ OCHRONY 1:500 000. IHiGI AGH, KRAKÓW.

KONDRACKI J., 2002; THE REGIONAL GEOGRAPHY OF POLAND. ED. 3 SUPPL. PWN. WARSAW. PP 440.

KPEiK, 2019; KRAJOWY PLAN NA RZECZ ENERGII I KLIMATU NA LATA 2021-2030.
([HTTPS://WWW.GOV.PL/DOCUMENTS/33372/436746/PROJEKT_KPEiK_na_lata_2021-2030.pdf](https://www.gov.pl/documents/33372/436746/PROJEKT_KPEiK_na_lata_2021-2030.pdf))

KPRM-OZE, 2015; KRAJOWY PLAN ROZWOJU MIKROINSTALACJI ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII DO ROKU 2030. INSTYTUT ENERGETYKI ODNAWIALNEJ W RAMACH KAMPANII „WIĘCEJ NIŻ ENERGIA” ([HTTPS://IEO.PL/PL/RAPORTY/53-KRAJOWY-PLAN-ROZWOJU-MIKROINSTALACJI-OZE-DO-ROKU-2030-IEO-DLA-WNE/FILE](https://ieo.pl/pl/raporty/53-krajowy-plan-rozwoju-mikroinstalacji-oze-do-roku-2030-ieo-dla-wne/file))

MPEC, 2017; PLAN ROZWOJU MPEC S.A. W KRAKOWIE W ZAKRESIE ZASPOKOJENIA OBECNEGO I PRZYSZŁEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA CIEPŁO. PLAN WIELOLETNI NA LATA 2017 - 2023.

NOWICKI Z. [ED.], CHOWANIEC J., FREIWALD P., PATORSKI R., WITEK K., 2007; GROUNDWATERS OF VOIVODESHIP CITIES IN POLAND. OF THE POLISH GEOLOGICAL SURVEY.

NOWICKI Z., SADURSKI A., 2007; REGIONALIZACJA WÓD PODZIEMNYCH POLSKI W ŚWIETLE PRZEPISÓW UNII EUROPEJSKIEJ [W:] PACZYŃSKI B., SADURSKI (RED.), (2007). HYDROGEOLOGIA REGIONALNA POLSKI

ODMV, 2016; OFFICIAL JOURNAL OF THE MAŁOPOLSKA VOIVODESHIP. RESOLUTION No. XVIII/243/16 ON 15TH OF JANUARY 2016, CONCERNING INTRODUCTION OF LIMITATIONS ON THE OPERATION OF INSTALLATIONS, WHICH COMBUSTING FUELS WITHIN THE MUNICIPALITY OF KRAKÓW ([HTTP://EDZIENNIK.MALOPOLSKA.UW.GOV.PL/WDU_K/2016/812/AKT.PDF](http://edziennik.malopolska.uw.gov.pl/wdu_k/2016/812/akt.pdf)) (UCHWAŁA NR XVIII/243/16 SEJMIKU WOJEWÓDZTWA MAŁOPOLSKIEGO Z DNIA 15 STYCZNIA 2016 ROKU, W SPRAWIE WPROWADZENIA NA OBSZARZE GMINY MIEJSKIEJ KRAKÓW OGRANICZEŃ W ZAKRESIE EKSPLOATACJI INSTALACJI, W KTÓRYCH NASTĘPUJE SPALANIE PALIW).

PEP, 2040; POLITYKA ENERGETYCZNA POLSKI DO 2040 ROKU.
([HTTPS://WWW.GOV.PL/DOCUMENTS/33372/436746/PEP2040_projekt_v12_2018-11-23.pdf/ee3374f4-10c3-5ad8-1843-f58dae119936](https://www.gov.pl/documents/33372/436746/PEP2040_projekt_v12_2018-11-23.pdf/ee3374f4-10c3-5ad8-1843-f58dae119936))

PGN, 2015 - AKTUALIZACJA 2018; PLAN GOSPODARKI NISKOEMISYJNEJ DLA GMINY MIEJSKIEJ KRAKÓW / A LOW-CARBON ECONOMY PLAN FOR THE KRAKOW MUNICIPALITY. AKTUALIZACJA WYKONANA PRZEZ WYDZIAŁ GOSPODARKI KOMUNALNEJ URZĘDU MIASTA KRAKOWA KRAKÓW, WRZESIEŃ 2018 R. UPDATED BY THE DEPARTMENT OF MUNICIPAL SERVICES, SEPTEMBER 2018.

PORT PC, 2018; RAPORT RYNKOWY PORT PC 2018. RYNEK POMP CIEPŁA W POLSCE W LATACH 2010-2017 PERSPEKTYWY

ROZWOJU RYNKU POMP CIEPŁA DO 2030 ROKU. OPRACOWANIE PORT PC, KWIECIEŃ 2018 R.

PWA, 2001; Water Law. Act of 18th of July 2001 on (Official Journal Nro.115, Item 1229, as amended).

RUTKOWSKI J., 1993; DETAILED GEOLOGICAL MAP OF POLAND WITH EXPLANATIONS, 1:50 000 KRAKÓW. POLISH GEOLOGICAL INSTITUTE. WARSAW.

RSM, 2018; RAPORT O STANIE MIASTA 2017. PREZYDENT MIASTA KRAKOWA. URZĄD MIASTA KRAKOWA, WYDZIAŁ ROZWOJU MIASTA

RDW, 2000; RAMOWA DYREKTYWA WODNA. DYREKTYWA 2000/60/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY Z DNIA 23 PAŹDZIERNIKA 2000 R. USTANAWIAJĄCA RAMY WSPÓLNOTOWEGO DZIAŁANIA W DZIEDZINIE POLITYKI WODNE.

RUBIK M., 2011; POMPY CIEPŁA W SYSTEMACH GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ : MONOGRAFIA , s. 13-15, 174-178.

URE, 2018; ENERGETYKA CIEPŁA W LICZBACH - 2017. BUŃCZYK A., BOGUSŁAWSKI P., DEPARTAMENT RYNKÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ I CIEPŁA. URZĄD REGULACJI ENERGETYKI.

URE, 2018; ZADANIA PREZESA URE. [HTTPS://WWW.URE.GOV.PL/PL/URZADZ/INFORMACJE-OGOLNE/KOMPETENCJE-PREZESA-UR/6533,ZADANIA-PREZESA-URE.HTML](https://www.ure.gov.pl/pl/urzadz/informacje-ogolne/kompetencje-prezesa-ur/6533,zadania-prezesa-ure.html) (DOSTĘP: 19.02.2019)

USTAWA Z DNIA 16 KWIETNIA 2004 R. O OCHRONIE PRZYRODY. OBWIESZCZENIE MARSZAŁKA SEJMU RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ Z DNIA 20 LIPCA 2018 R. W SPRAWIE OGŁOSZENIA JEDNOLITEGO TEKSTU USTAWY O OCHRONIE PRZYRODY. Dz.U. 2018 POZ. 1614 - [HTTP://PRAWO.SEJM.GOV.PL/ISAP.NSF/DOCDETAILS.XSP?ID=WDU20180001614](http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/docDetails.xsp?id=WDU20180001614)

USTAWA O SAMORZĄDZIE GMINNYM (Dz.U. 1990 NR 16 POZ. 95); USTAWA Z DNIA 8 MARCA 1990R. TEKST JEDNOLITY (Dz.U. 2018 POZ. 994) [HTTP://PRAWO.SEJM.GOV.PL/ISAP.NSF/DOCDETAILS.XSP?ID=WDU19900160095](http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/docDetails.xsp?id=WDU19900160095);

ZAŁOŻENIA DO PLANU ZAOPATRZENIA GMINY MIEJSKIEJ KRAKÓW W CIEPŁO, ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ I PALIWA GAZOWE NA LATA 2014 - 2029, PRZYJĘTE UCHWAŁĄ NR CXIX/1870/14 RADY MIASTA KRAKOWA Z DNIA 22 PAŹDZIERNIKA 2014 R. [HTTPS://WWW.BIP.KRAKOW.PL/_INC/RADA/UCHWALY/SHOW_PDF.PHP?ID=74847](https://www.bip.krakow.pl/_inc/rada/uchwaly/show_pdf.php?id=74847)

ASSUMPTIONS FOR A LOCAL PLANS OF HEAT, ELECTRICITY AND GAS FUELS SUPPLY, FOR KRAKOW MUNICIPALITY: [HTTPS://WWW.BIP.KRAKOW.PL/?SUB_DOK_ID=21499](https://www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=21499)

LOCAL SPATIAL DEVELOPMENT PLAN FOR KRAKOW MUNICIPALITY: [HTTPS://WWW.BIP.KRAKOW.PL/?BIP_ID=1&MMI=48](https://www.bip.krakow.pl/?bip_id=1&mmi=48)

A LOW-CARBON ECONOMY PLAN FOR KRAKOW MUNICIPALITY: [HTTPS://WWW.BIP.KRAKOW.PL/?SUB_DOK_ID=64559](https://www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=64559)

WHO, 2016; Public health, environmental and social determinants of health (PHE). WHO Global Urban Ambient Air Pollution Database (update 2016) http://www.who.int/entity/phe/health_topics/outdoorair/databases/WHO_AAP_database_May2016_v3web.xlsx?ua=1.

ZALEWSKI W., 2001: POMPY CIEPŁA SPRĘŻARKOWE, SORPCYJNE I TERMOELEKTRYCZNE. PODSTAWY TEORETYCZNE. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE., MASTA, s. 14-16, 140-144

ŻABA, J., 1999; THE STRUCTURAL EVOLUTION OF THE LOWER PALEOZOIC SUCCESSION IN THE UPPER SILESIA BLOCK AND MAŁOPOLSKA BLOCK BORDER ZONE (SOUTHERN POLAND). PRACE PANSTWOWEGO INSTYTUTU GEOLOGICZNEGO W WARSZAWIE.

WIOŚ, 2019; STAN JAKOŚCI POWIETRZA W KRAKOWIE ORAZ JEGO PERSPEKTYWY; WOJEWÓDZKI INSPEKTORAT OCHRONY ŚRODOWISKA W KRAKOWIE. OPUBLIKOWANO 2 KWIETNIA 2019 (DOSTĘP: 28.09.2019) - <http://krakow.pios.gov.pl/2019/04/02/perspektywy-jakosci-powietrza-w-krakowie>

[HTTP://KRAKÓW.STAT.GOV.PL](http://krakow.stat.gov.pl), 2016; CENTRAL STATISTICAL OFFICE - STATISTICAL OFFICE IN KRAKÓW. THE SERVICE OF CENTRAL STATISTICAL OFFICE

www.pap.pl; Polish Press Agency (<http://www.pap.pl/aktualnosci/news,780741,sejmik-malopolski-przyjal-uchwale-antysmogowa-dla-calego-wojewodztwa.html>)



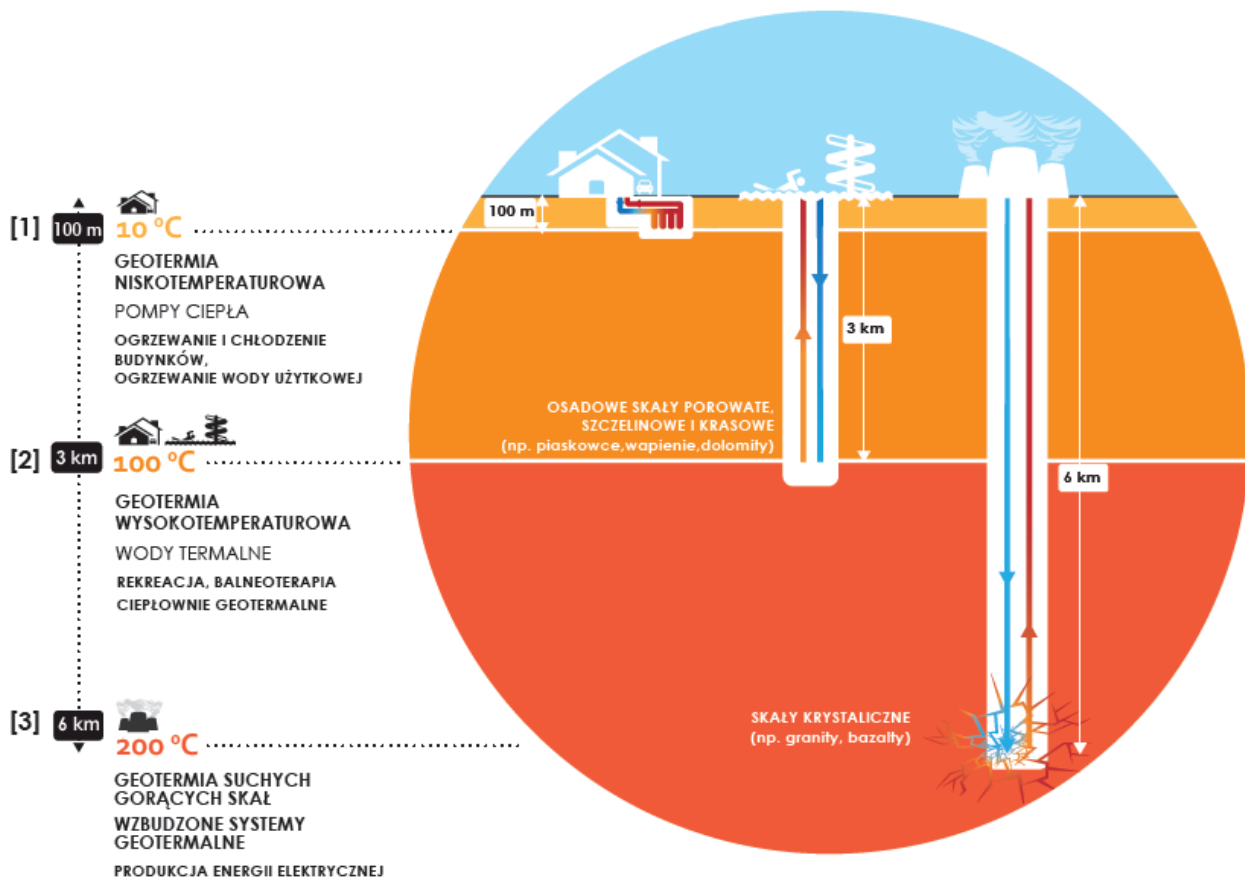
CCC, 2019; The Construction Climate Challenge:

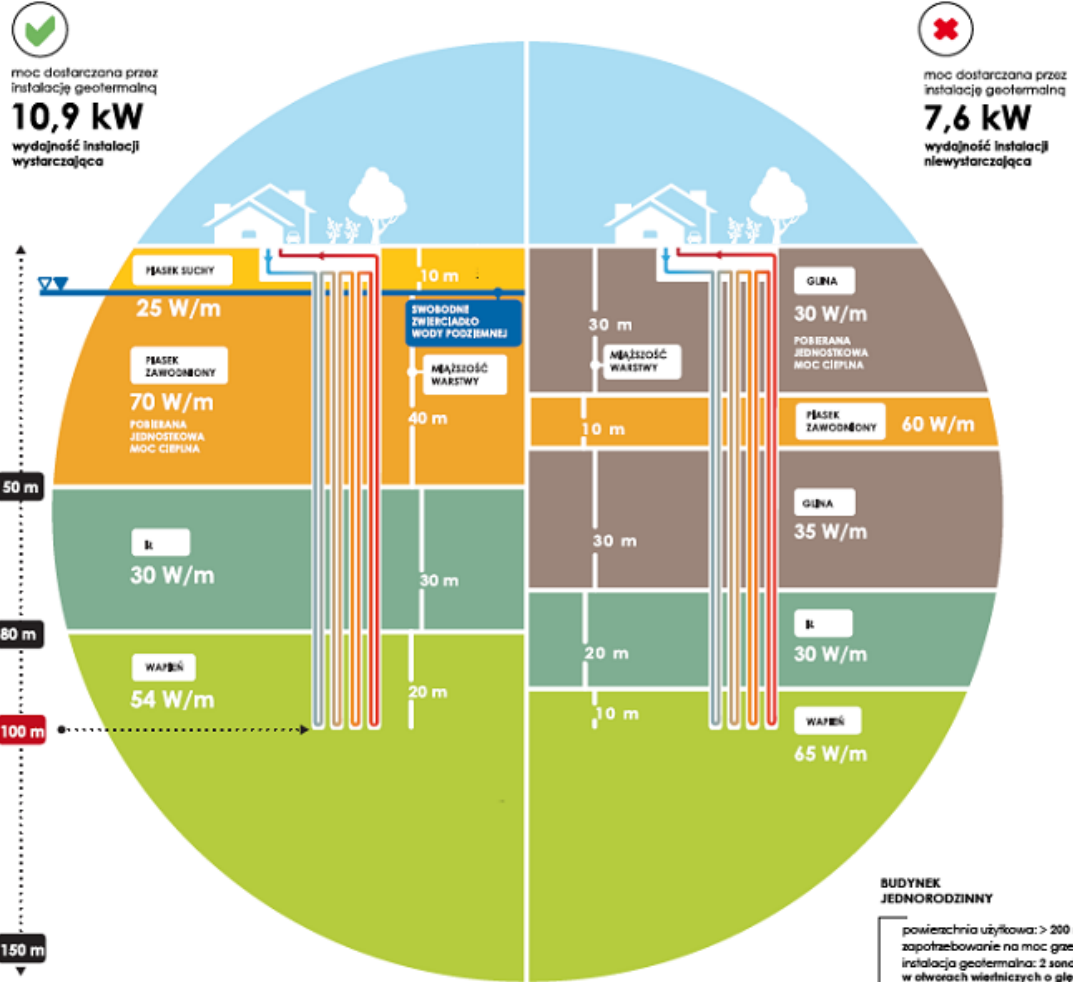
<https://constructionclimatechallenge.com/2019/08/16/the-decarbonization-of-heating-and-cooling-is-about-to-accelerate> (dostęp: 18.09.2019)

ENC, 2019; The European association of cities in energy transition. <https://energy-cities.eu/district-heating-and-cooling-planning-made-easier-with-hotmaps> (dostęp: 18.09.2019)



D. Aneksy (Annexes)





**ZNAJOMOŚĆ WARUNKÓW
GRUNTOWO-WODNYCH JEST PODSTAWĄ
OBLICZEŃ PROJEKTOWYCH
SYSTEMU GRZEWczego I OPTYMALIZACJI
KOSZTÓW INSTALACJI**

