

Pre-feasibility studies of geothermal energy uses for heating in selected towns and pilot project proposals

Lądek Zdrój

B. Kiełczawa, E. Liber-Makowska – **WUST**,

L. Pająk, W. Bujakowski – **MEERI PAS**,

M. Stefaniuk, A. Cygal, C. Ostrowski, M. Sada – **AGH UST**,

O.P. Einarsson, H. Tulinius, I.M. Gałeczka – **OS**,

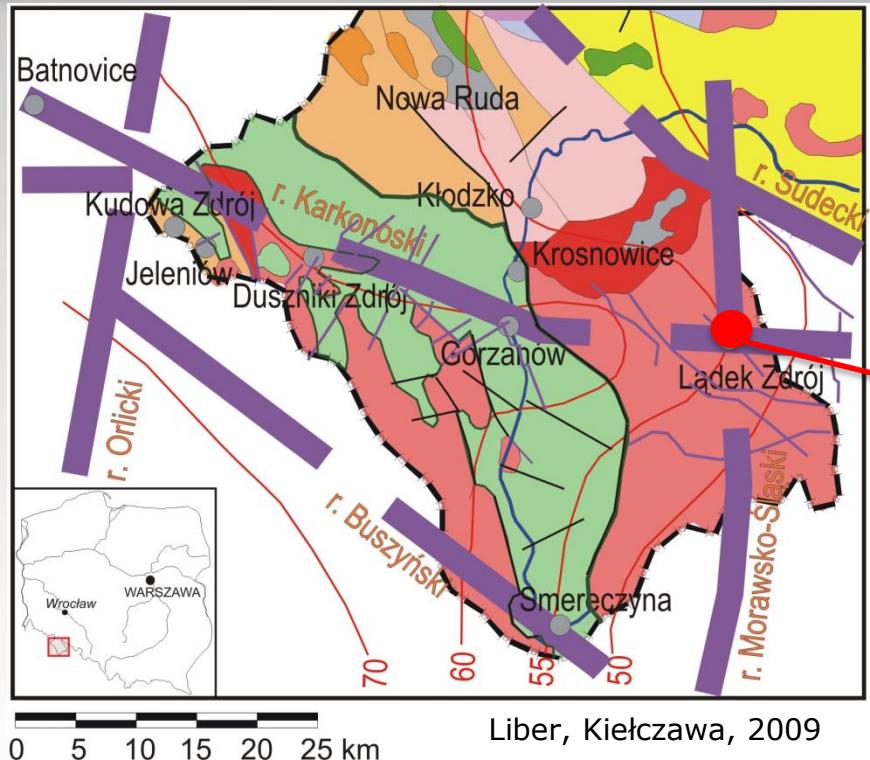
K. Midttomme – **CMR**,

A. Ogórek – **expert**

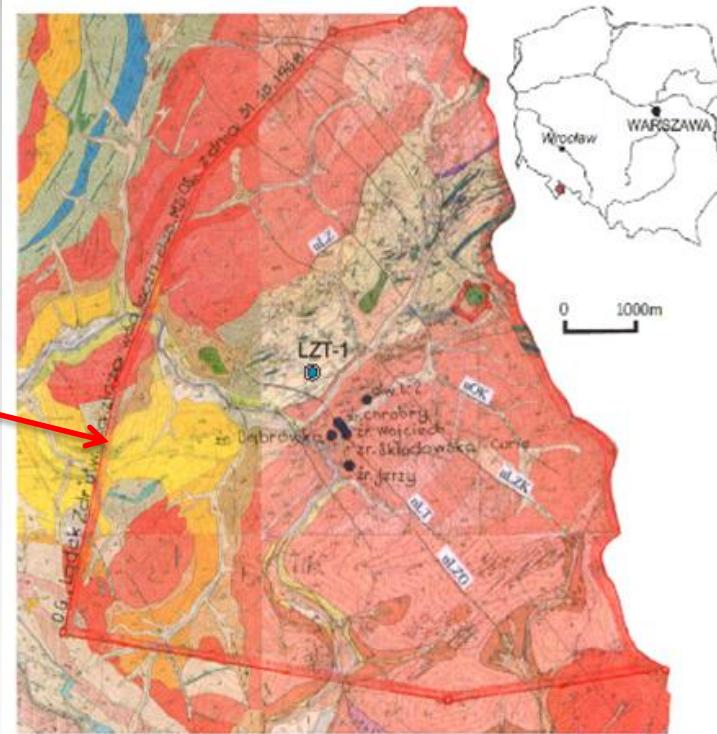
Perspektywiczne obszary występowania wód termalnych na tle budowy geologicznej Ziemi Kłodzkiej

Prospective areas of the thermal waters occurrences on the base of the geological sketch of the Kłodzko region

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



- 1 – faults:
 - a – prospective for thermal waters and waters with higher temperature,
 - b – other faults;
- 2 – rivers;
- 3 – deep fracture;
- 4 – isolines of heat flow dencity [mW/m²]

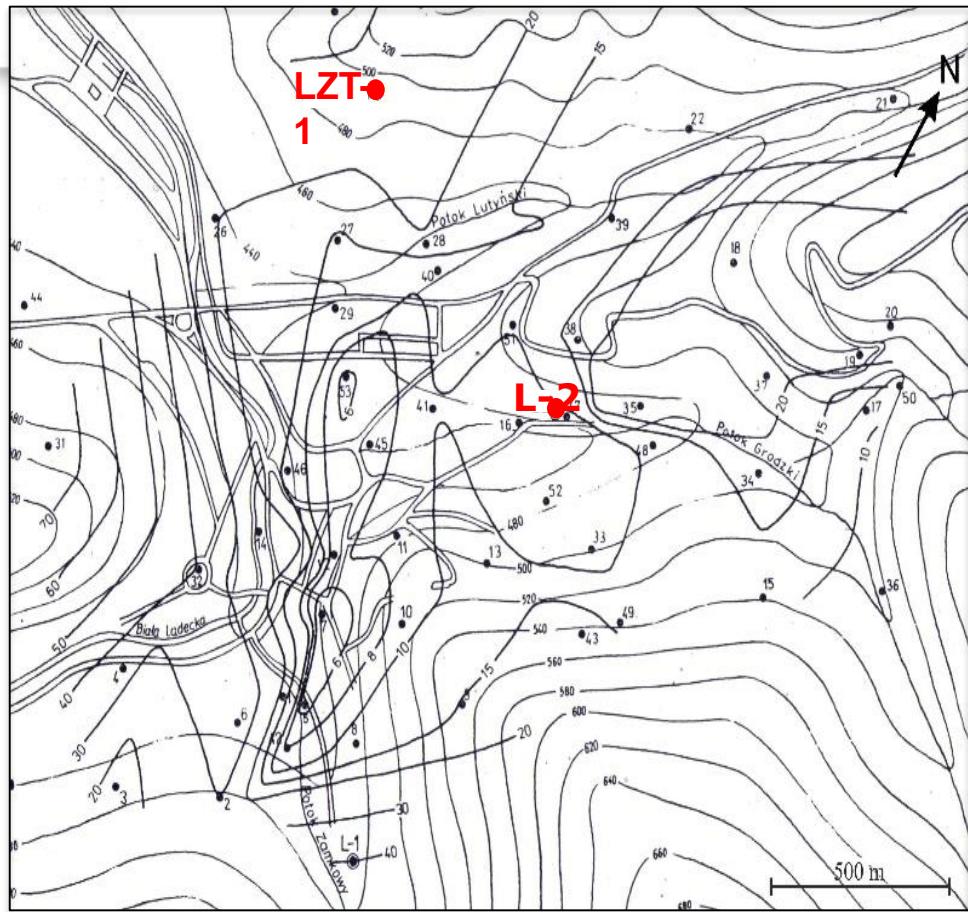


Mapa geologiczna /The geological map Cwojdziński, 1977; Cymerman & Cwojdziński 1984; Frąckiewicz & Teisseyre, 1973; Gierwelaniec, 1968

Ujęcia wód termalnych na tle budowy geologicznej metamorfiku Lądka-Śnieżnika
Thermal waters intakes on the background of the Lądek-Śnieżnik metamorphic complex

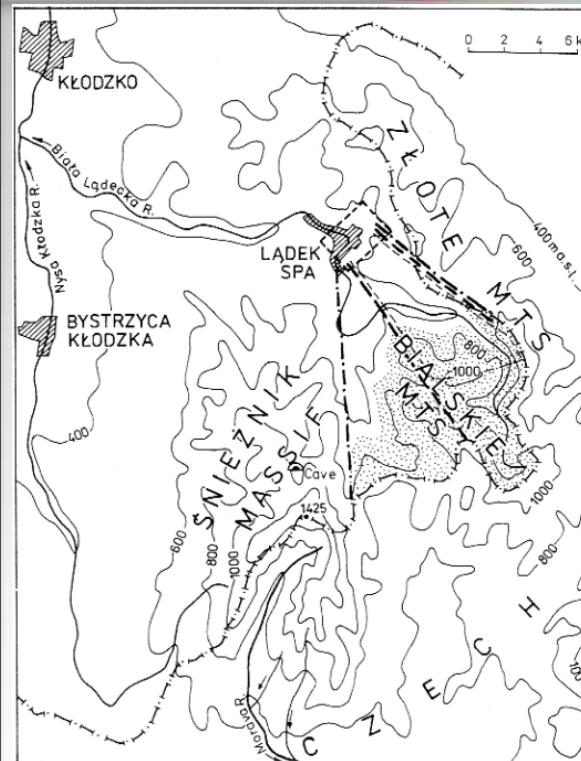
Anomalia geotermiczna rejonu Lądka-Zdroju

Geothermal anomalies in Lądek region



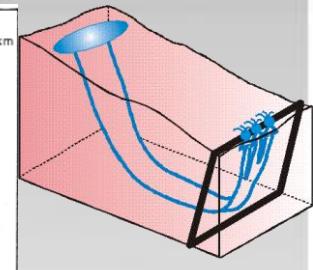
Cieżkowski et all., 2016

Linia ciągła – wartość stopnia geotermicznego
(na głęb. 30m)
Solid line – geothermal degree (at the depth 30m)



Zuber et all., 1995
Położenie obszarów
zasilania wód termalnych

*Recharge areas (dotted)
of thermal waters*



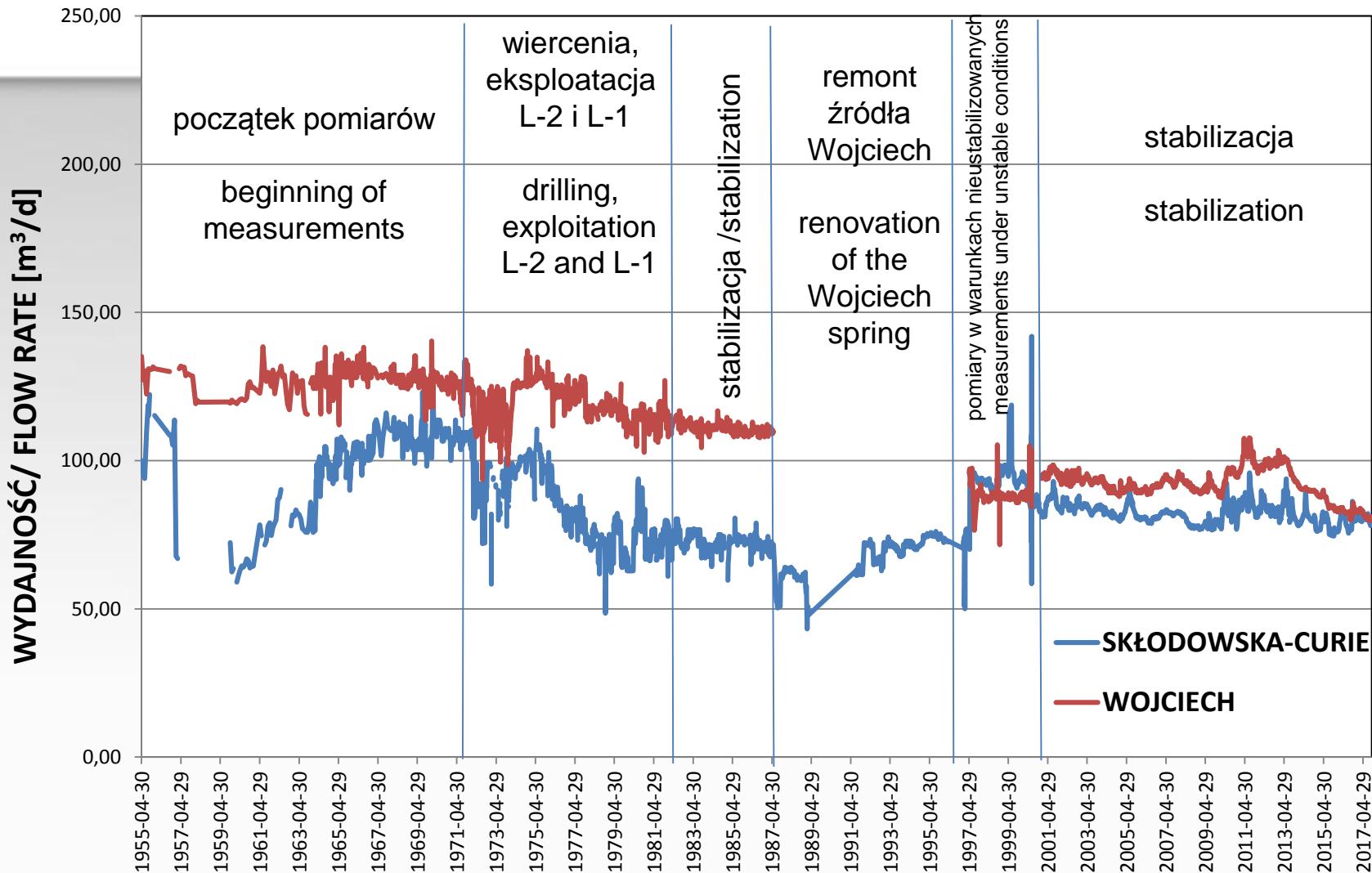
Liber, 2001

Schemat złożu wód
szczelinowych
głębokiego krażenia.
Objaśnienia: 1-skały
szczelinowe,
2- obszar zasilania,
3-źródło,
4-przepływ wód
podziemnych.

*The deep circulation
fissure groundwaters
deposit diagram.
Explanation: 1-fissure
rocks, 2-recharge area,
2-spring,
4-groundwater flow.*

Zmiany warunków eksploatacji

Changes of exploitation conditions



Zmiennosć wydajności ujęć wód termalnych Wojciech i Skłodowska-Curie w latach 1955-2017
 The variability of outflow rate of thermal water intakes Wojciech and Skłodowska-Curie in 1955-2017

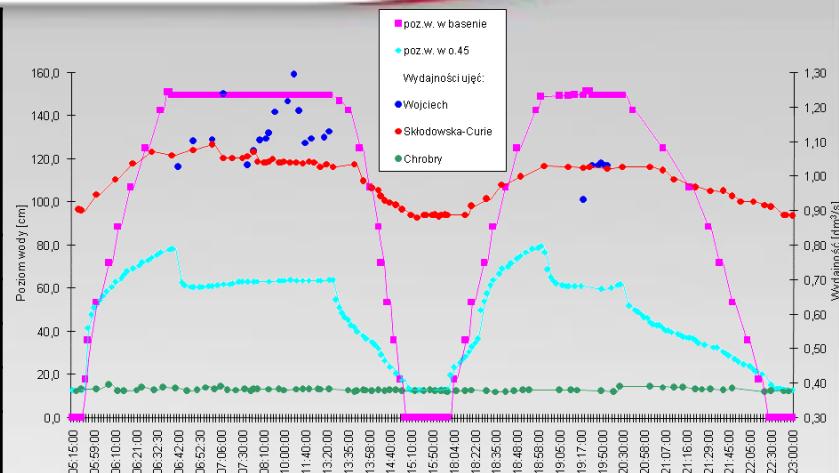
Współoddziaływanie ujęć wód termalnych

Interaction among thermal waters intakes

| Badane ujęcia <i>Tested intakes</i> | Okres badań <i>Period of observation</i> | Liczba par danych <i>Number of data pairs</i> | Współczynnik korelacji r <i>Correlation coefficient r</i> |
|--|---|--|--|
| Wojciech - Jerzy | 1964-2000 | 319 | 0,66 |
| Jerzy – Skłodowska Curie | 1964-2000 | 319 | 0,64 |
| Dąbrówka - Jerzy | 1964-1996 | 384 | 0,69 |
| | 1988-1996 | 82 | 0,69 |
| Wojciech – Skłodowska Curie | 1997-2000 | 37 | -0,52 |
| Dąbrówka - Wojciech | 1964-1996 | 280 | 0,83 |
| Wojciech – L 2 | 1976-2000 | 175 | 0,51 |
| Dąbrówka – Skłodowska Curie | 1964-1996 | 357 | 0,79 |
| | 1997-2000 | 38 | 0,62 |
| Dąbrówka – L 2 | 1976-1996 | 239 | 0,69 |
| | 1988-1996 | 78 | 0,73 |

Współczynniki korelacji pomiędzy średnimi miesięcznymi wydajnościami badanych ujęć wód leczniczych

Correlation coefficients among the average monthly flow rate of tested healing waters intakes



| Ujęcie | Wydajność | | Różnica | |
|------------------|-----------|------|---------|----|
| | min | max | | |
| | dm³/s | % | | |
| Skłodowska-Curie | 0,79 | 1,15 | 0,36 | 45 |
| Dąbrówka | 0,16 | 0,19 | 0,03 | 18 |
| Chrobry | 0,32 | 0,39 | 0,07 | 22 |

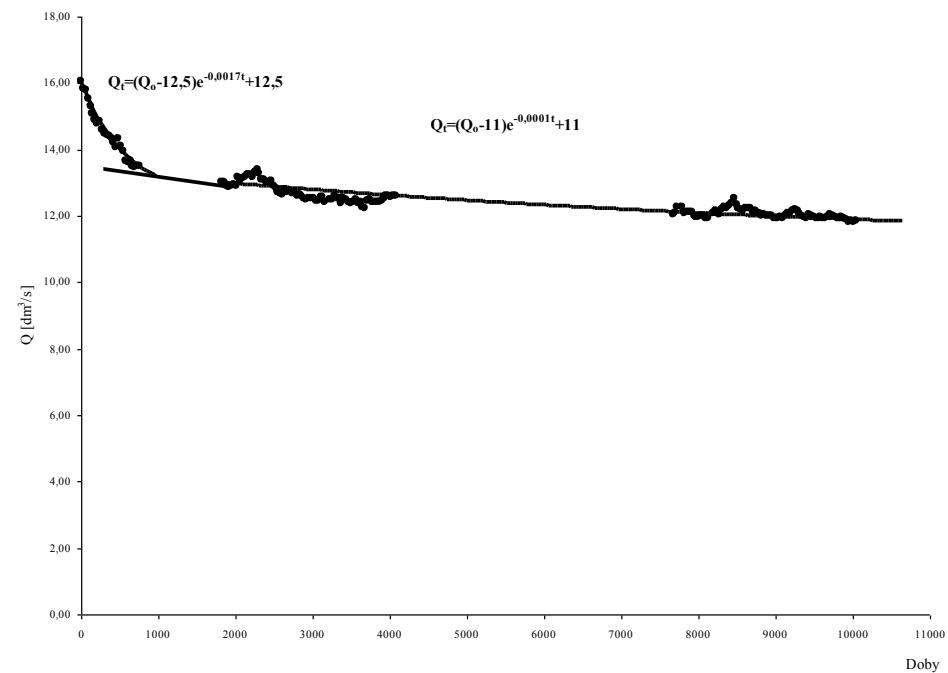
Wpływ wysokości zwierciadła wody w basenie Wojciech na poziom wody w otworze 45 i wydajności źródeł wód termalnych w dniach w 2000 r. (Liber, 2001)

The influence of water level in Wojciech pool on the water level in No. 45 borehole and on outflow rate of thermal springs in 2000 (Liber, 2001)

Opróżnianie zbiornika wód szczelinowych głębokiego krażenia

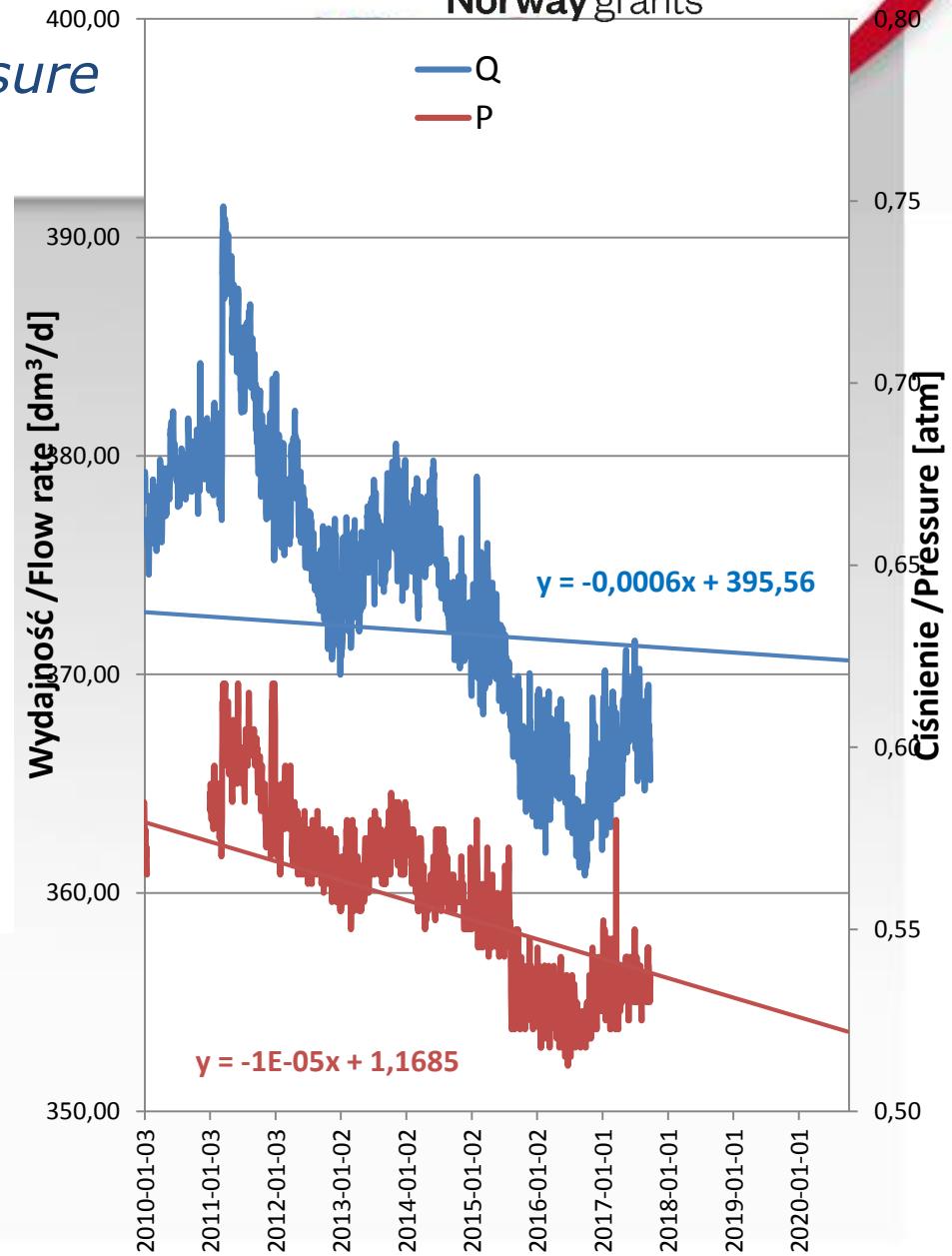
*Dewatering of deep circulation fissure
groundwaters reservoir*

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

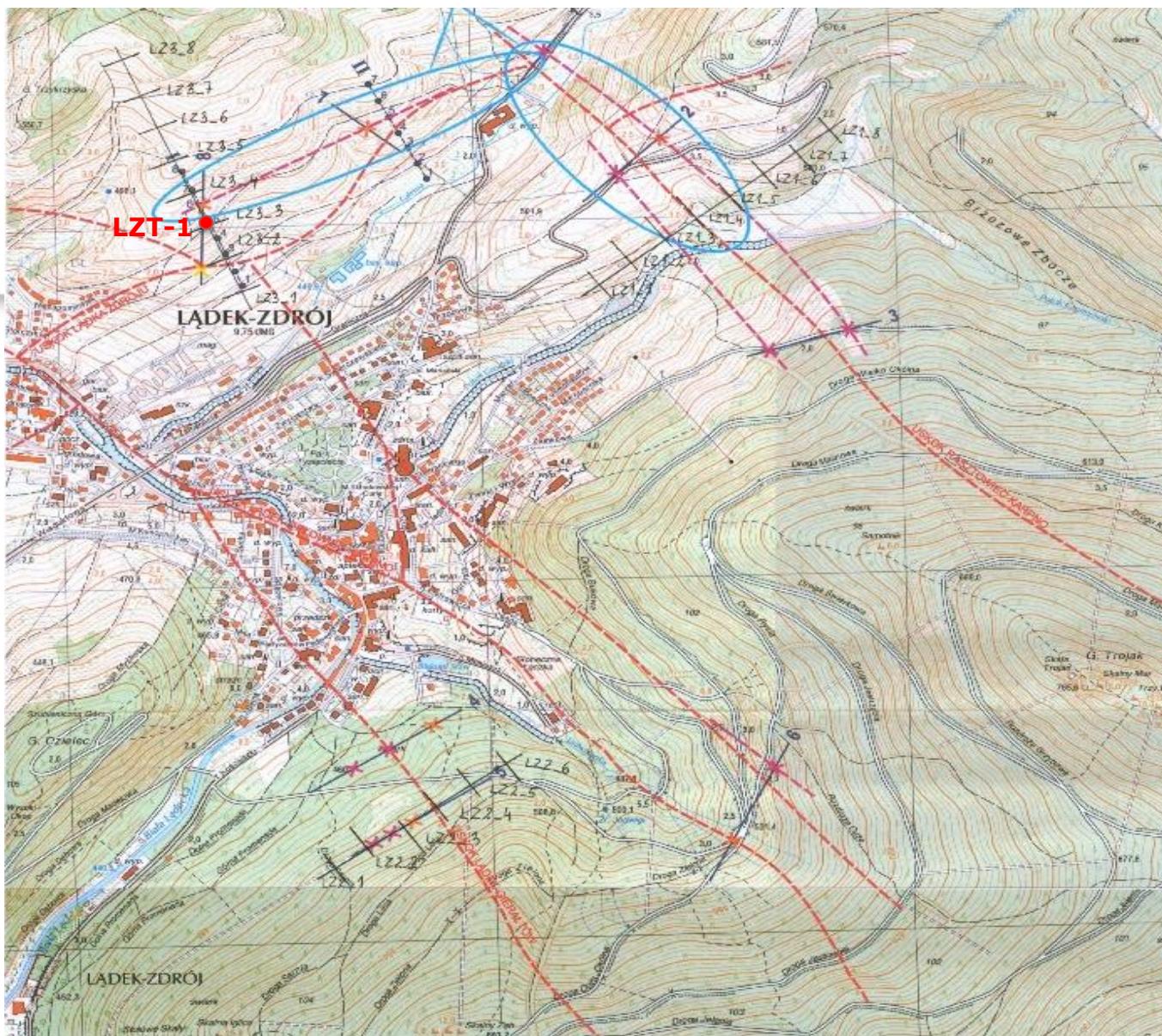


Krzywe regresji sumy wydajności ujęć wód termalnych w latach 1976-2004 oraz ujęcia L-2 w latach 2010-2017

The regression curves of the sum of outflow rate thermal waters intakes in 1976-2004 and L-2 well in 2010-2017



Iceland
Liechtenstein
Norway grants



**Location of geophysical survey at the background of topographic map (scale 1: 10 000),
after „Report of geophysical survey for recognizing of conditions of occurrence of
geothermal waters at the area of Lądek-Zdrój”**

VLF profile

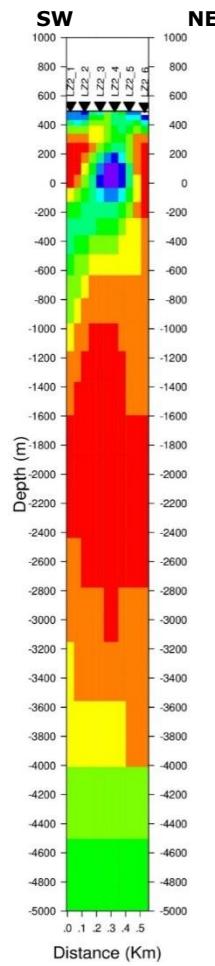
resistivity sounding site
resistivity sounding profile

fault location acc.
to J. Gierwelaniec
tectonic outline

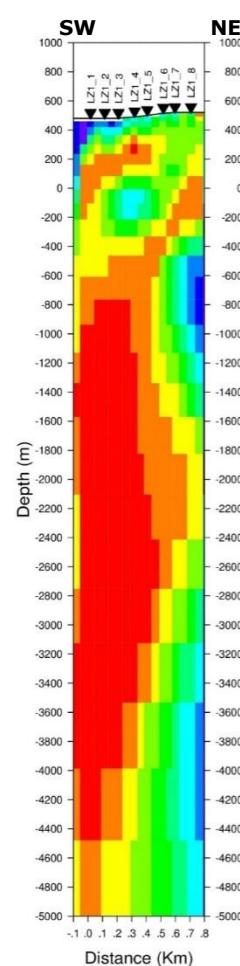
VLF anomalous zones
of I, II, III range

fault location acc.
To correlation of VLF
anomalous zones

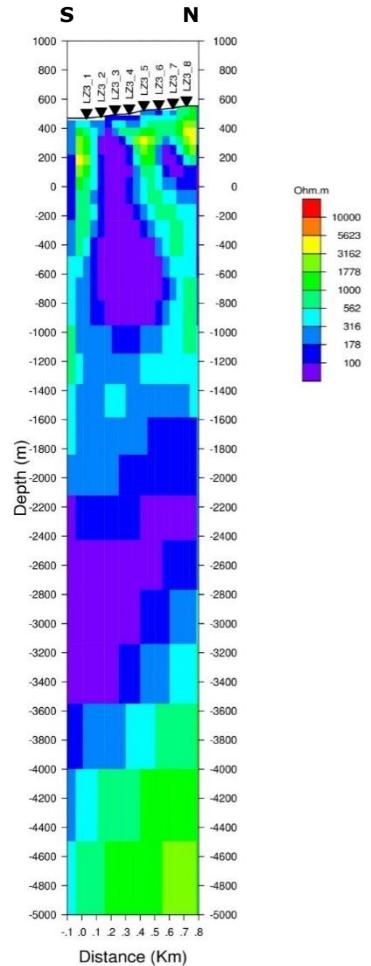
Profile 2



Profile 1



Profile 3



▼ MT Sounding

Info Box

Horizontal Scale 1 : 25000
Vertical Scale 1 : 25000

Vertical Exaggeration = 1

Sudety
Ladek2017Reint
3-L-17

Resistivity cross-sections – according to 1D Occam inversion
Przekroje oporności – inwersja 1D wg. algorytmu Occama

Rekomendacje

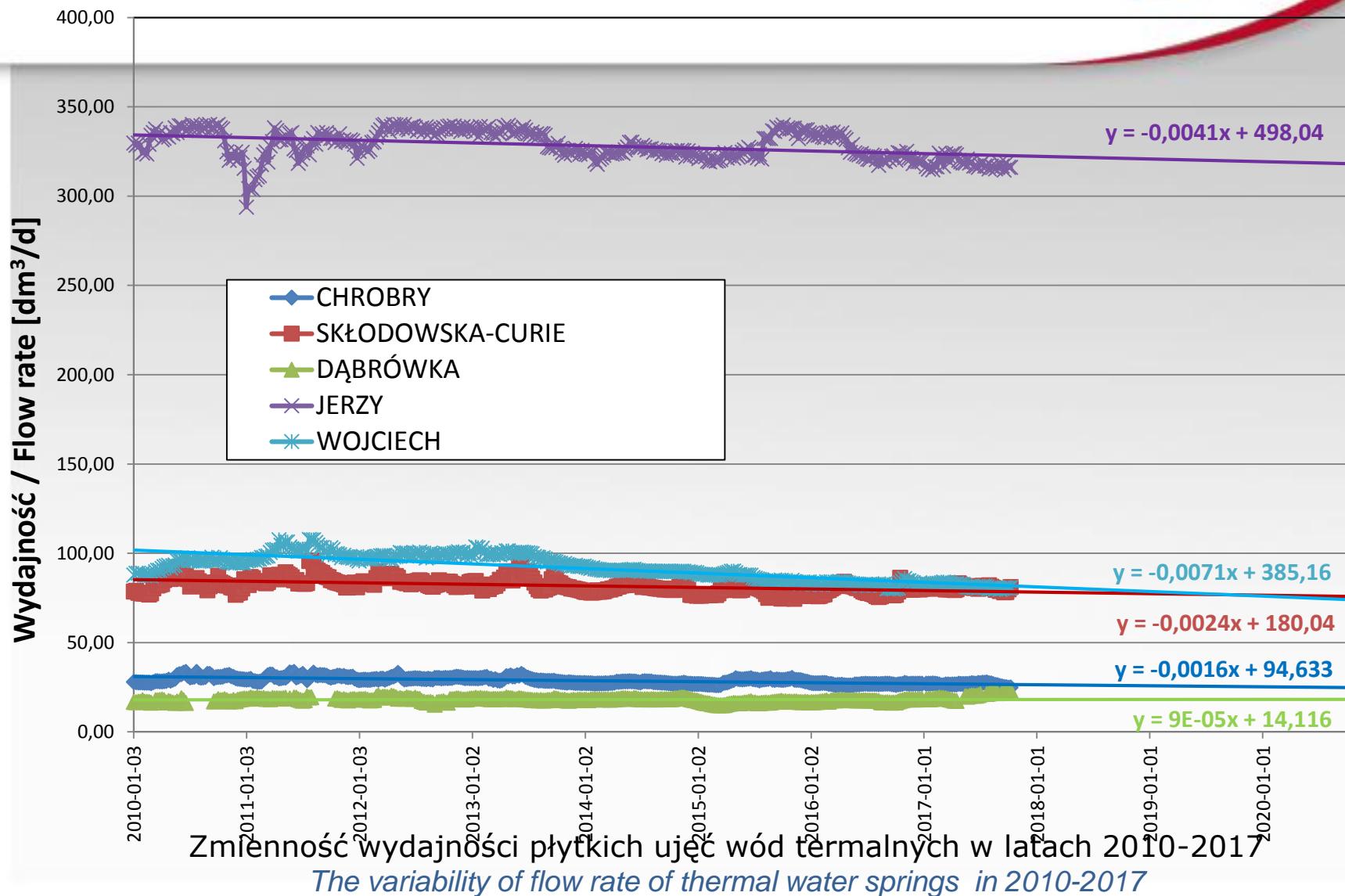
Recommendations

- Wykonanie uzupełniających badań geofizycznych obejmujących:
 - weryfikację i uzupełnienie płytkiego zdjęcia geotermicznego,
 - uzupełnienie zdjęcia grawimetrycznego i magnetycznego,
 - rozszerzenie zakresu głębokich badań geoelektrycznych ((MT, TEM)).
- *Making of the supplementary geophysical survey including:*
 - verification and supplementing of shallow geothermal measurements,*
 - supplementing of gravity and magnetic survey,*
 - extending of dip electromagnetic surveys (MT and TEM methods)*

Stabilne warunki eksploatacji ujęć wód termalnych

*Stable exploitation conditions
of thermal water intakes*

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



Wydobycie i wykorzystanie wód termalnych

Production and utilization of thermal waters



| Nazwa ujęcia Intakes name | Zatwierdzone zasoby Approved resources | Wydobycie w 2016 Production in 2016 | WYKORZYSTANIE/ UTILIZATION | | |
|------------------------------|---|--|----------------------------|---|---|
| | | | Ilość Quantity | Procent wydobycia Percentage of production | Cel Destination |
| | | | m ³ /year | m ³ /year | m ³ /year |
| Jerzy | 149650 | 118965,97 | 118965,97 | 15,20 | balneoterapia/ balneotherapy |
| Wojciech | 43800 | 30242,28 | 30242,28 | 38,47 | balneoterapia/ balneotherapy |
| Skłodowska-Curie | 33215 | 28933,42 | 28933,42 | 22,59 | balneoterapia/ balneotherapy |
| Chrobry | 14600 | 9770,47 | 9770,47 | 100,00 | pijalnia w parku /water drinking place in park |
| Dąbrówka | 10950 | 6364,44 | 6364,44 | 100,00 | pijalnia w parku /water drinking place in park |
| Zdzisław (L-2) | 262800 | 133579,64 | 133579,64 | 100,00 | balneoterapia/ balneotherapy |
| suma/ amount | 515015 | 327856,22 | 185963,66 | 56,72 | |

Wnioski i rekomendacje

Conclusions and recommendations



- Termalne wody lecznicze są zasilane z jednego złoża szczelinowego głębokiego krażenia.
- *Thermal therapeutic waters are discharged from one fissured deep reservoir.*
- Sumaryczna ilość wody obecnie naturalnie wypływającej ze złoża jest prawie stała.
- *The total amount of water currently flowing from the deposit is almost constant.*
- Wykazano istnienie silnych więzi hydraulicznych pomiędzy ujęciami wód termalnych Lądka-Zdroju.
- *It has been confirmed the strong hydraulic connections among thermal waters intakes in Lądek Zdrój.*
- Eksplotowane wody termalne obecnie wykorzystywane są tylko do celów balneologicznych, aż 43% poboru nie jest w ogóle wykorzystywana. Ciepło z wód pozabiegowych też nie jest pozyskiwane.
- *Thermal waters currently have been used only for balneological purposes, up to 43% of the extraction is not used at all. The heat from the water after the treatment is also not uptaken.*

Wnioski i rekomendacje

Conclusions and recommendations

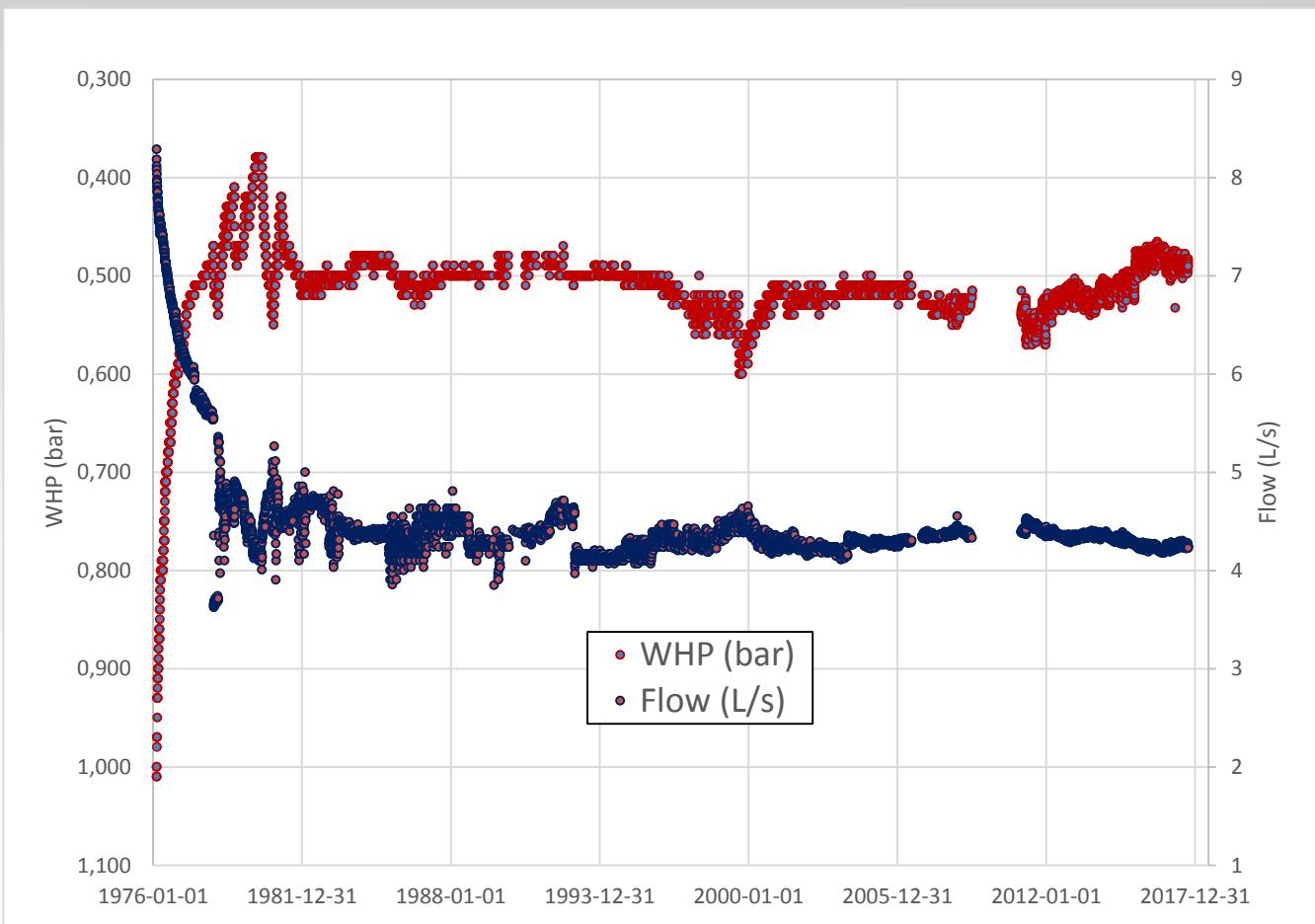


- Aktualnie złoże eksploatowane jest w warunkach ustabilizowanych.
• *The deposit is currently in stable condition.*
- Zaprojektowany otwór LZT-1 zlokalizowany jest w pobliżu strefy drenażu ujęć wód termalnych, co może wskazywać na prawdopodobne istnienie kontaktów hydraulicznych.
• *The planned LZT-1 borehole is located near the drainage zone of the thermal waters intakes, which may indicate a potential hydraulic contacts*
- Podczas testów hydrodynamicznych w otworze LZT-1 należy wykonywać obserwacje parametrów złożowych we wszystkich eksploatowanych ujęciach leczniczych wód termalnych, jak również wód zwykłych w otworze L-1.
• *For hydrodynamic tests in the LZT-1 borehole, changes of reservoir parameters in all the thermal water intakes, and parameters of fresh water in the L-1 well should be monitored.*

Production history of well L-2 from 1976 to 2017

*Historia wydobycia
z otworu L-2 od 1976 do 2017*

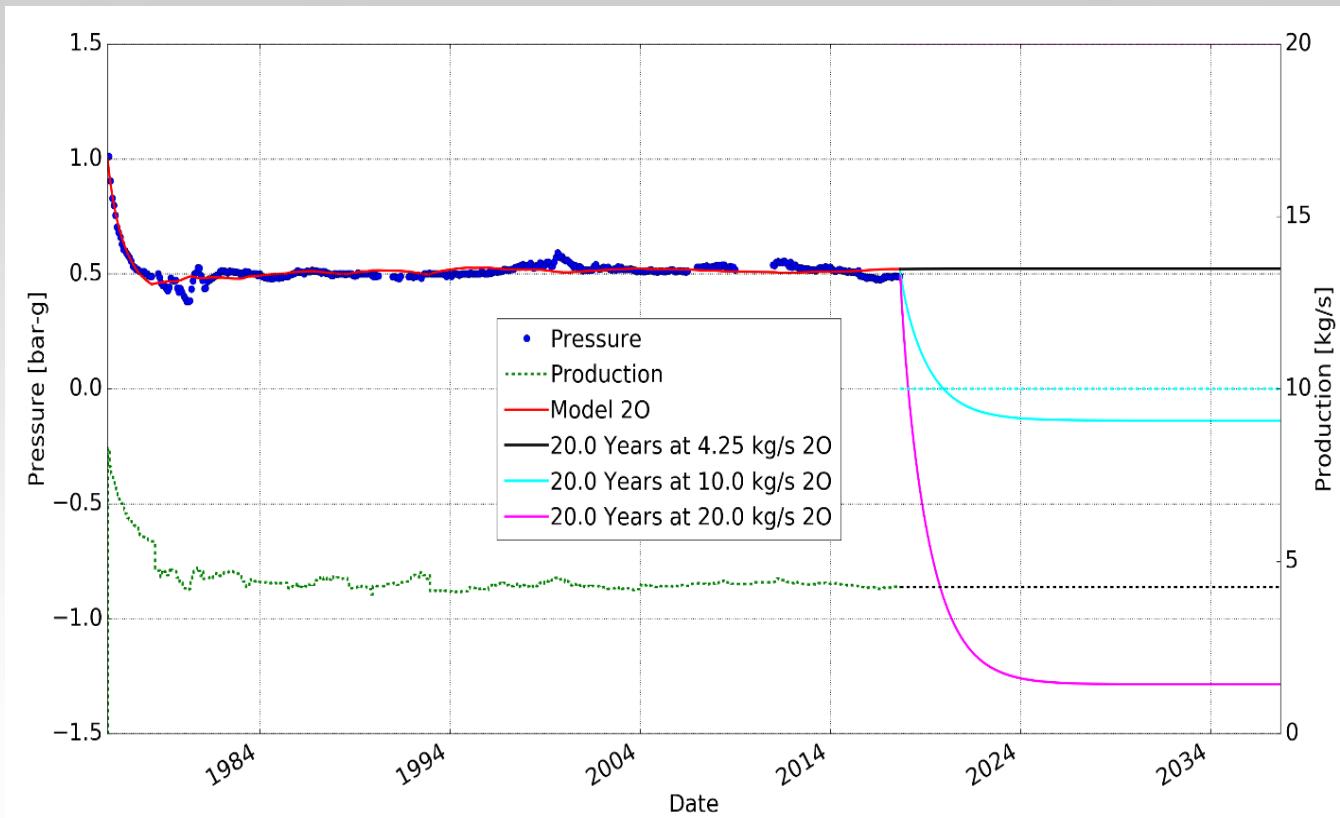
Iceland 
Liechtenstein 
Norway grants



Prediction for further production from well L-2

*Prognoza wielkości wydobycia
z otworu L-2*

Iceland Liechtenstein
Norway grants



The fit between the measured data and calculated using two tanks open model
and predictions for further production.

Dopasowanie pomiędzy danymi mierzonymi a uzyskanymi
przy zastosowaniu modelu otwartego dla dwóch zbiorników oraz prognozy wydobycia.

Wnioski i rekomendacje

Conclusions and recommendations

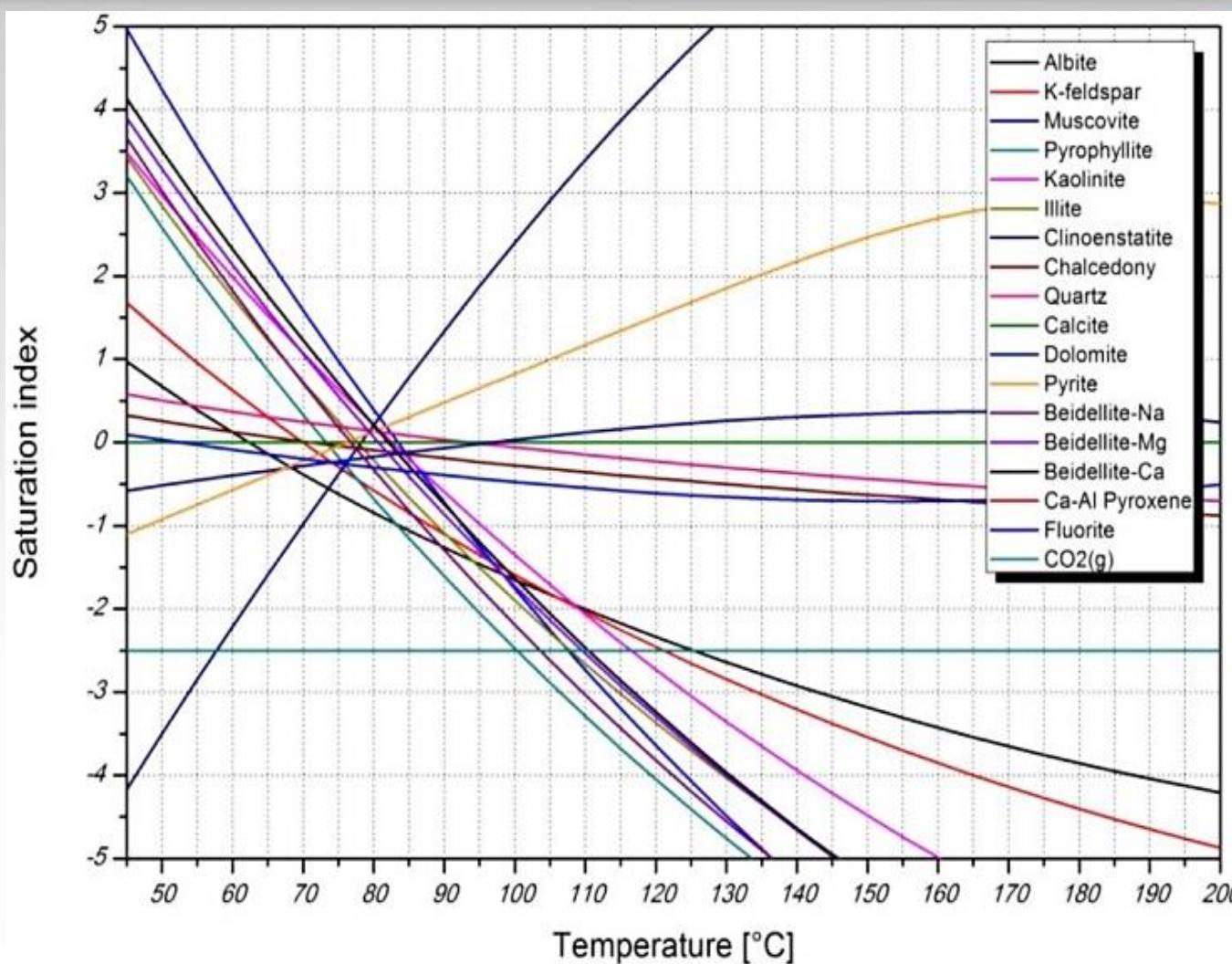


- The simulation of the previous geothermal water production using Lumpfit program assumed one model of geothermal aquifer in Ladek-Zdrój, an open two tank model.
- *Symulacja dotychczasowego wydobycia wód geotermalnych przy użyciu programu Lumpfit została wykonana dla zbiornika wód geotermalnych w Lądku-Zdroju, dla przyjętego modelu otwartego z dwoma zbiornikami.*
- The main conclusions that can be drawn for these simulations is that the previous production was not aggressive and the well head pressure was not decreasing.
- *Głównymi wnioskami, które można wyciągnąć z tych symulacji, jest to, że dotychczasowa produkcja nie była agresywna, a ciśnienie na głowicy otworu nie zmniejszało się.*
- Geological and hydrogeological circumstances are important for the interpretation of the current simulation, future predictions and recommendations.
- *Dla interpretacji symulacji zmian oraz przyszłych prognoz i zaleceń ważne jest rozpoznanie warunków geologicznych i hydrogeologicznych złoża.*
- Further well tests and interference tests should be performed and more advanced reservoir and production model of Ladek-Zdrój aquifer and its response for long-term production/exploitation.
- *Dla określenia wielkości wydobycia i reakcji na długoterminową eksploatację należałyby przeprowadzić bardziej zaawansowane badania otworu i jego oddziaływania przy uwzględnieniu rozbudowanego modelu zbiornika wodonośnego Lądka-Zdroju*

Szacowana temperatura wód złoża Lądka-Zdroju określona za pomocą geotermometrów chemicznych

Water temperature for Lądek-Zdrój reservoir estimated using chemical geothermometers

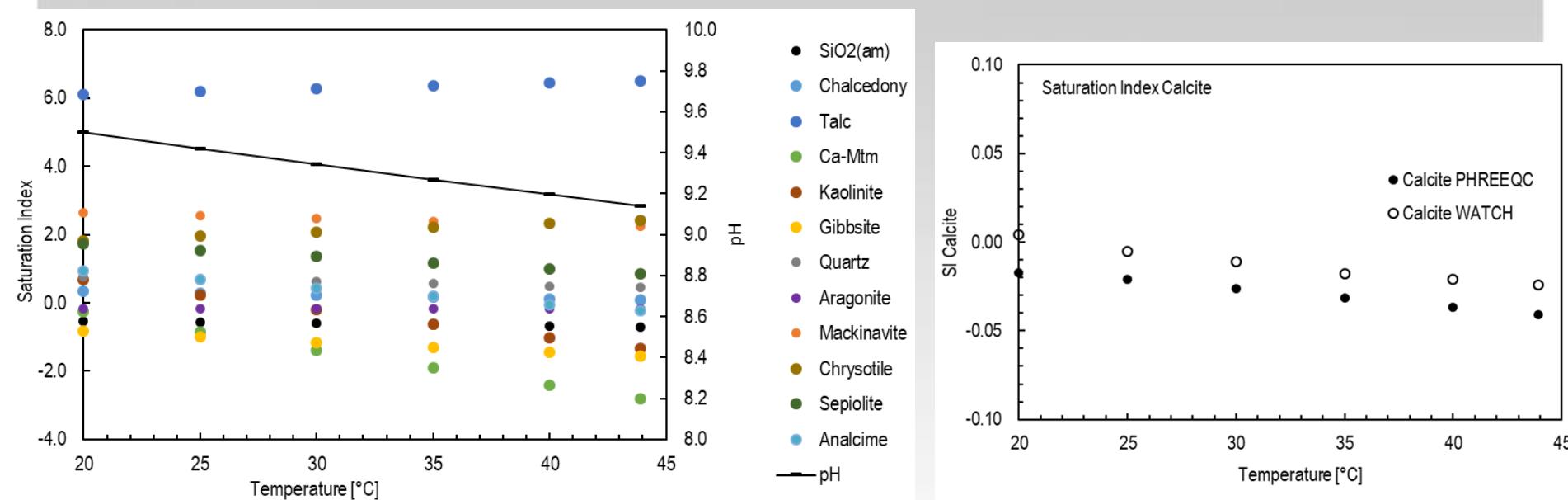
Iceland 
Liechtenstein
Norway grants



(Dobrzyński, Leśniak, 2010)

Zmienność stanu nasycenia wód termalnych względem wybranych faz mineralnych dla wód z otworu L-2

Variation of saturation state of the fluid with respect to several mineral phases based on water analysis from L-2 borehole



Dodatnie wartość wskaźników nasycenia tylko sugerują możliwość wytrącania kalcytu. Wytrącanie wtórnego kalcytu uzależnione jest od kinetyki reakcji.

Positive saturation index (SI) reveal only the theoretical potential for precipitation. Precipitation is often limited due to kinetic inhibition.

Wnioski i rekomendacje *Conclusions and recommendation*

- Istnieje prawdopodobieństwo wytrącania nieznacznej ilości minerałów wtórnych (krzemianów magnezu, chalcedonu, siarczków żelaza)
- *Geothermal water has the potential to produce some limited amount of mineral scaling (e.g. Mg-silicates, chalcedony, Fe-sulfides)*
- Przy ciśnieniach wyższych od 0.09 bar nie będzie dochodziło do odgazowania wód.
- *At pressures higher than 0.09 bars absolute there will be no degassing*
- Z powodu wysokich stężeń ^{222}Rn należy zachować ostrożność w pobliżu ujęć.
- *Because of high radon concentration caution has to be taken in the vicinity of wells/springs*
- Analiza wpływu zmienności stężeń H_2S na wartości wskaźników SI – korozja, scaling
- *The analysis of the impact of H_2S content on SI values – corrosion, scaling*

Wnioski i rekomendacje

Conclusions and recommendation

- Wyniki kompleksowych testów hydrodynamicznych, pełnych analiz chemicznych wód i gazów, temperatury na wypływie, ciśnienia na głowicy, wydajności ujęcia – podstawowe dane do modelowania termodynamicznego
- *Results of complex hydrodynamic tests, full water and gaseous chemical analyzes, wellhead temperature, wellhead pressure, discharge - basic data for thermodynamic modeling*
- Modelowanie mieszania się wód - reakcja złoża na zatłaczanie zrzucanych wód
- *Water mixing modeling - reaction of the reservoir to the water injection*
- Maksymalne wykorzystanie zasobów (wody i ciepła) bez zrzucania wody, która może być nadal zagospodarowana
- *Maximum use of the resources (water and heat) without wasting water that can still be utilized*

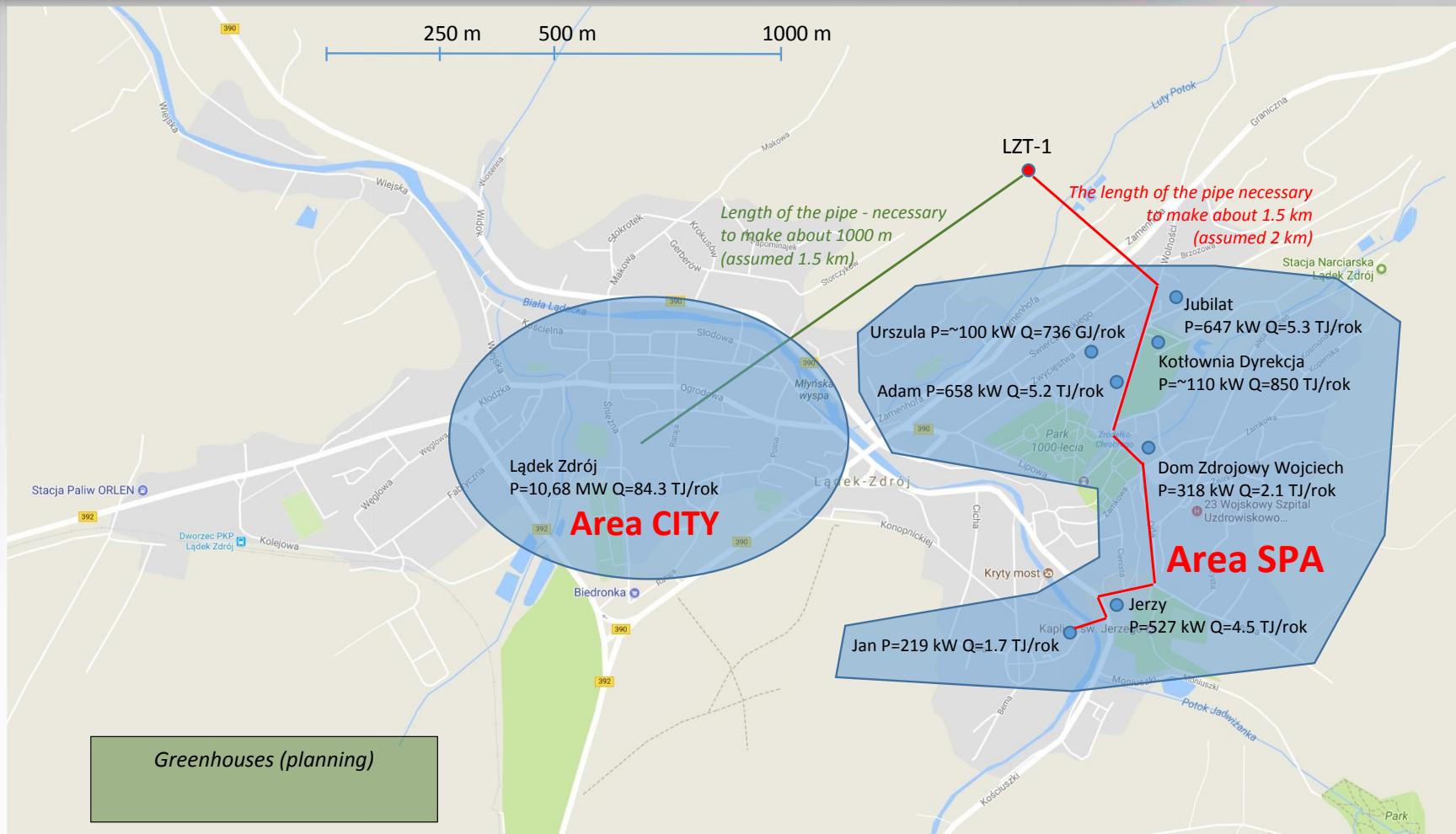
Rekomendacje i pilotażowe propozycje dalszych działań

Recommendations and pilot proposal of next steps

- Opracowanie numerycznego modelu złoża i jego otoczenia geologicznego na podstawie wyników wcześniejszych i proponowanych badań oraz wykonanie symulacji hydrodynamicznych, hydrochemicznych i geotermalnych
- *The elaboration of computer model of geothermal aquifer and its geological surrounding (environment) basing on the results of earlier and suggested investigations and then making of hydrodynamic, hydrochemical and geothermal simulations*

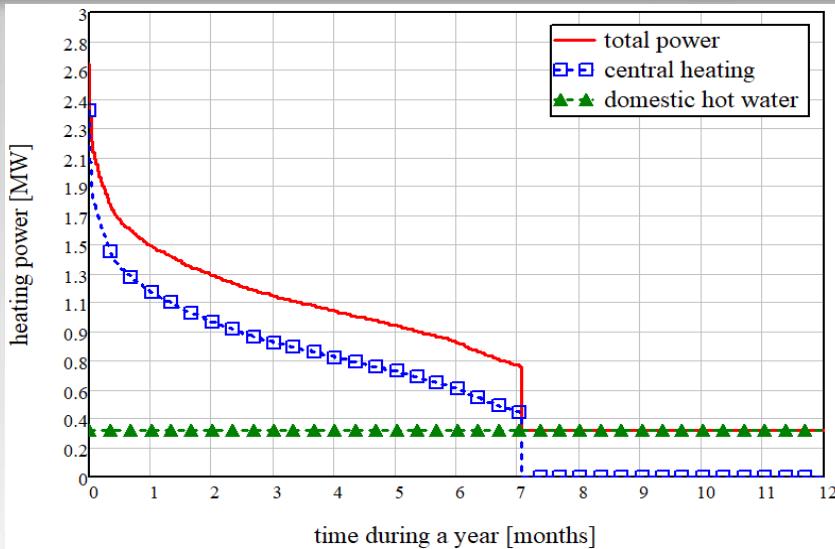
Pre-feasibility studies of geothermal energy uses for heating Łądek Zdrój

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



Pre-feasibility studies of geothermal energy uses for heating Łądek Zdrój – the area SPA

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



Control of power delivery - dynamic curve

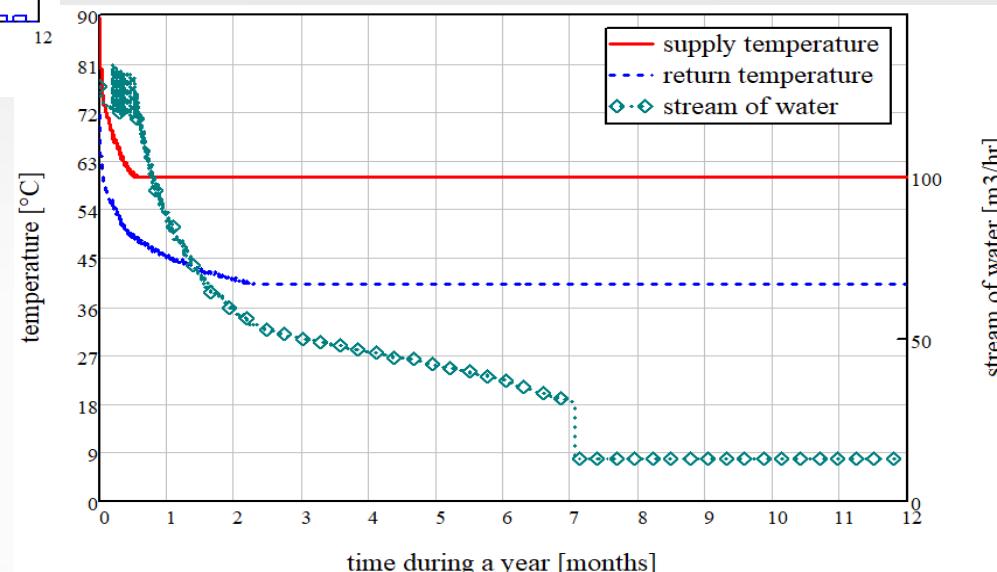
Space heating 90/70/20/-20°C
Hot tap water 60/40°C

CURRENT SITUATION

Energy source: individual based on hard coal, natural gas

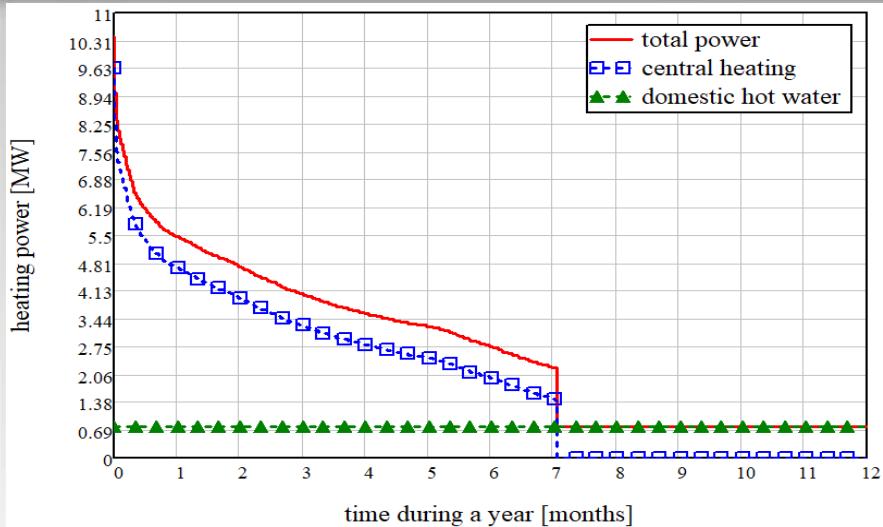
~2.7 MW, ~23.9 TJ/yr

**Characteristic of the thermal power demand for the recipient currently served vs time.
Curve ordered by total power**



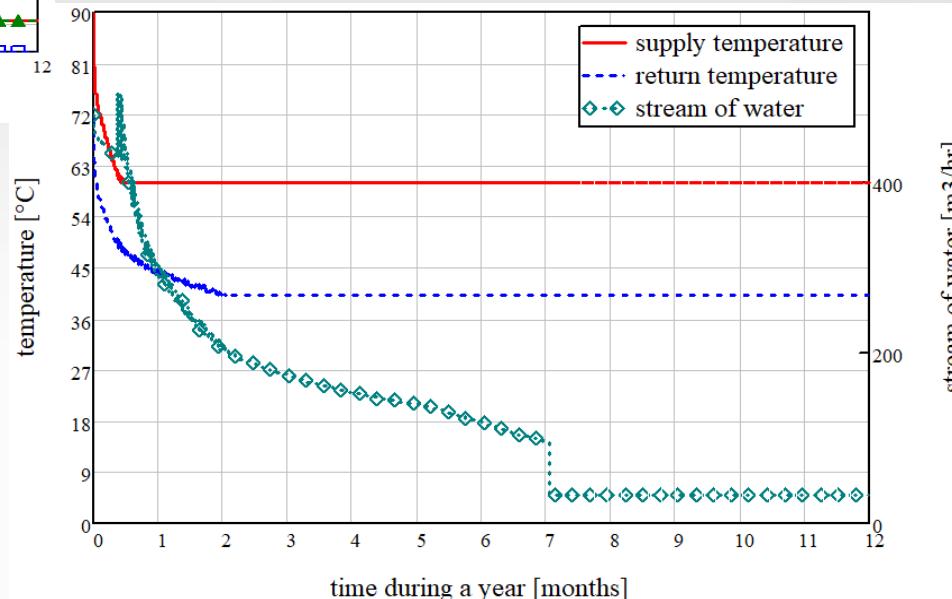
Pre-feasibility studies of geothermal energy uses for heating Łądek Zdrój – the area CITY

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



Control of power delivery - dynamic curve

Space heating 90/70/20/-20°C
Hot tap water 60/40°C



Pre-feasibility studies of geothermal energy uses for heating Łądek Zdrój



Assumed reservoir parameters (Ciężkowski et al., 2016)

The new well LZT-1 is located between the faults zone. It is located at the periphery of the geothermal anomaly in a zone where the geothermal gradient equals ~40-45 °C/km.

The predicted parameters: 50 m³/h and 70°C.

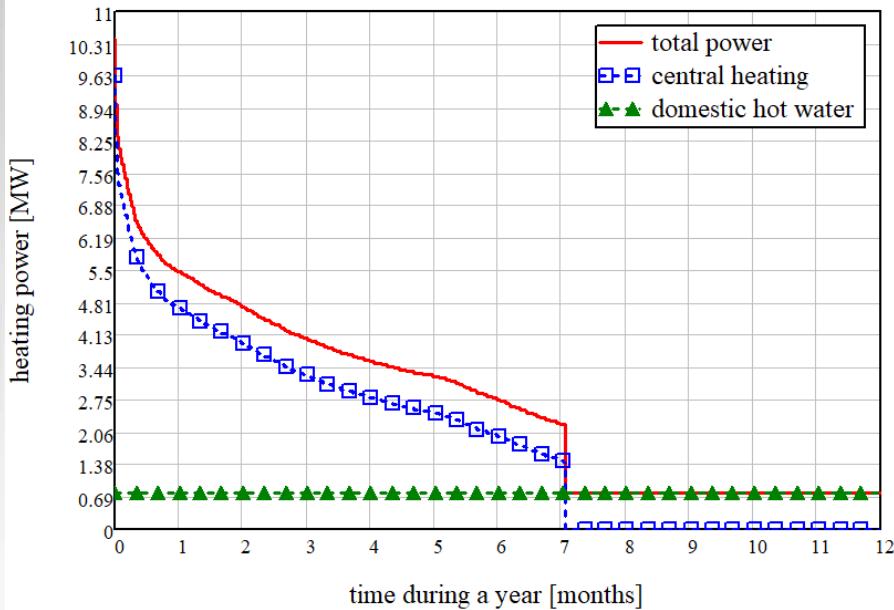
Due to the favorable water properties: low mineralization, single-well operation is assumed.

Pre-feasibility studies of geothermal energy uses for heating Lądek Zdrój

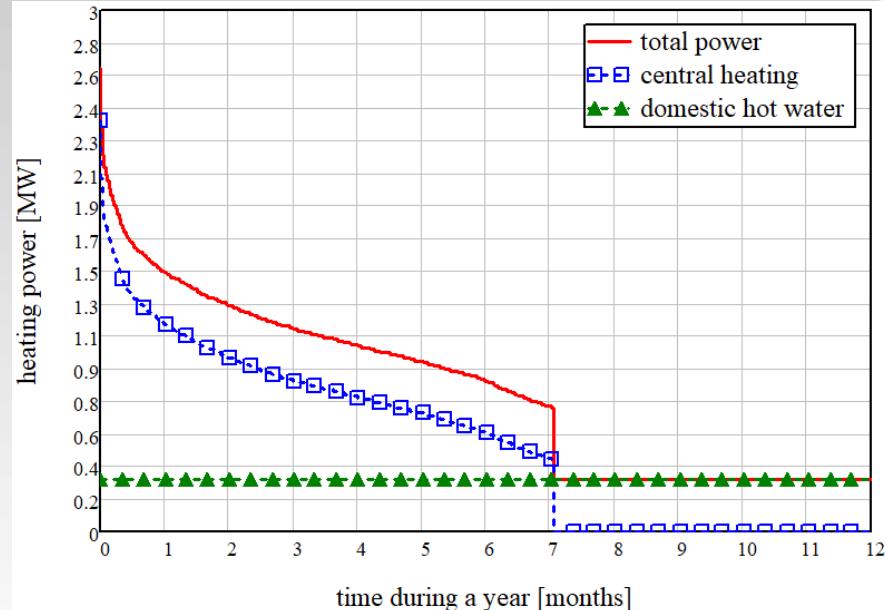
Iceland 
Liechtenstein
Norway grants

Pre-feasibility studies

C-itv area



S-PA area



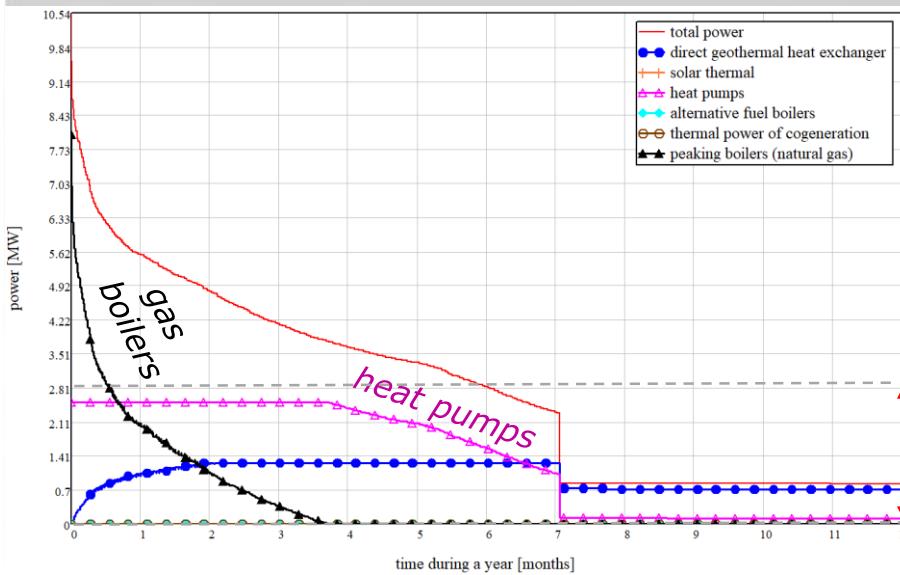
considered options:

- ngC – (n-atural g-as, C-itv)**
- ahpC – (a-bsorption h-eat p-ump, C-itv)**
- chpC – (c-ompressor h-eat p-ump, C-itv)**
- ngS – (n-atural g-as, S-PA)**
- ahpS – (a-bsorption h-eat p-ump, S-PA)**
- chpS – (c-ompressor h-eat p-ump, S-PA)**

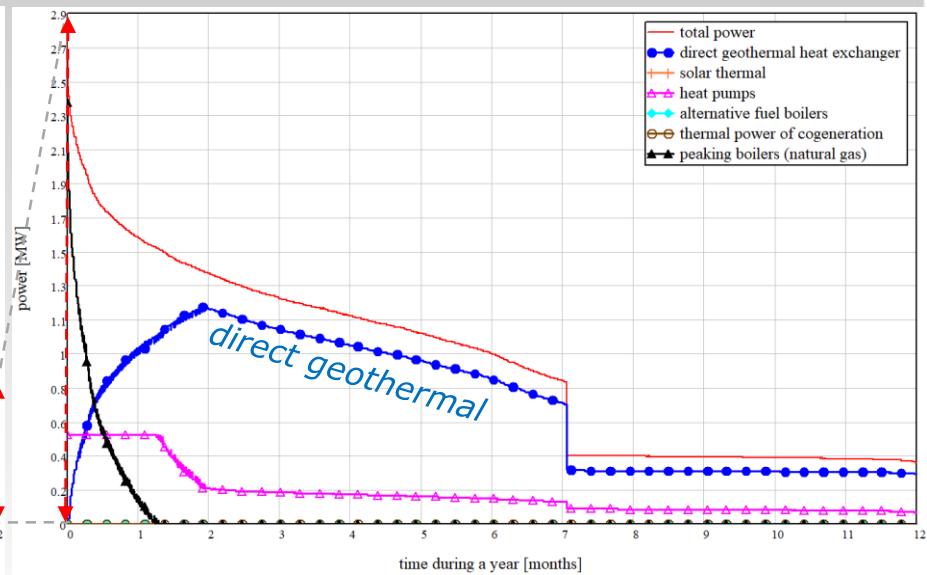
Pre-feasibility studies of geothermal energy uses for heating Łądek Zdrój

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

C-city area

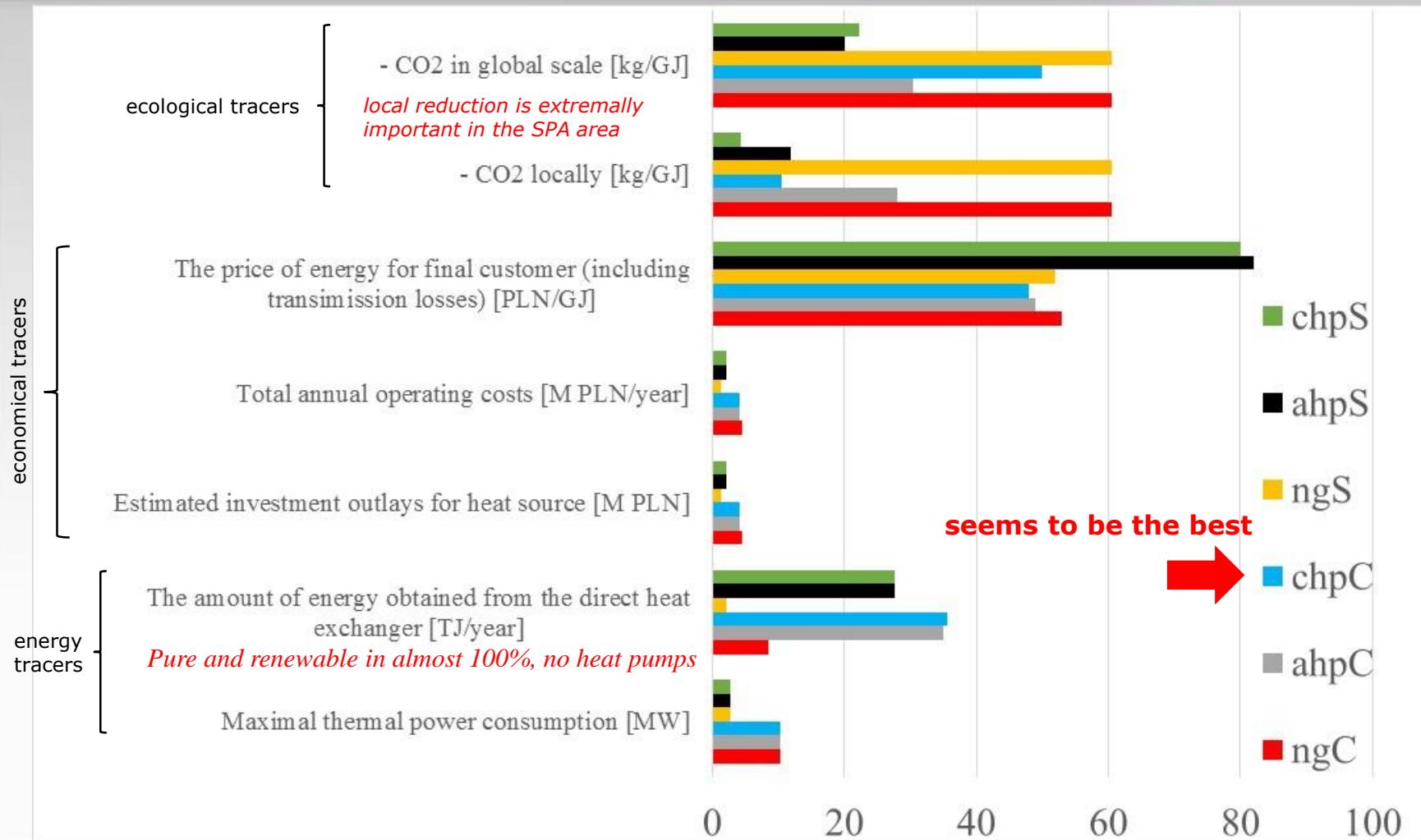


S-PA area



Summary

Lądek Zdrój



Ladek-Zdrój – High vs. Low Temperature Radiator Systems

Oskar P. Einarsson

Orkustofnun

High Temperature Systems

- 3,0 MWth heating capacity from geothermal well and heat pump
- Radiator Design Temperature: 90/70°C supply/return – Common in Poland
- Requires 200 mm supply/return main pipeline – Over 100 m³/hour flow rate, low dT
- Relatively large heat pump - 18% of total annual energy from electricity
- High CAPEX (large heat pump and distribution system) – 35,3 MPLN
- High OPEX (electricity for heat pump) – 4,50 MPLN/year
- Electricity production cost: 370 PLN/kWh,th

Low Temperature Systems

- 3,0 MWth heating capacity from geothermal well and small peak load boiler
- Radiator Design Temperature: 75/30°C supply/return – Common in Iceland
- Requires larger radiators – Higher CAPEX but only around 6% of total project CAPEX
- Requires 125 mm supply/return main pipeline – 50 m³/hr flow rate, higher dT
- Small peak load boiler – 4-5% of total annual energy from gas
- Lower CAPEX than hi-temp (smaller DH system, small peak load) – 31,2 MPLN
- Lower OPEX (fuel for peak load boiler less than el. cost for heat pump) – 3,46 MPLN/year
- Electricity production cost: 284 PLN/kWh,th – **23% lower than if hi-temp system is used**

Summary – Heating in Ladek-Zdrój

- Very important to get high temperature difference in fluid flow
- Both in geothermal fluid and district heating system
- This can be achieved through larger radiator design
- In Ladek-Zdrój: No district heating system is in place
- **A very important opportunity to implement low-temperature heating from the beginning**

Summary – Snow Melting in Ladek-Zdrój



- Snow melting in Poland Uncommon, more established in Iceland
- High mineralization not likely = return water can be used directly for snow melting
- Icelandic experience: Cooling return water down to 10°C does not cause scaling
- Recommended to use return water directly for snow melting in Ladek-Zdrój
- Snow melting area: Probably several thousand m² – 63 to 75 mm plastic pipe with return water, cooled from 35 to 10 C

Pilot proposition, next steps

Lądek Zdrój



The source of geothermal water have to be well tested. Especially interference between mineral water resources is important.

It looks like the area od CITY is more privileded – because of larger energy consumption. Lądek Zdrój needs heat pumps - but the primary target is reduction of supply and return water temperature.

1. Geothermal energy utilisation controlling – reduction of return water temperature (automatization, telemetry and telecontrol),
2. Reduction of return temperature by increasing the surface of radiators and large surface heating (floor heating etc.) and cascade use of geothermal Energy (excelent place for snow meltind and deicing),
3. Determining the conditions for new customers (required operating parameters),
4. Wider use of central domestic hot tap water.

Thank you for your attention

eeagrants.org
www.eeagrants.agh.edu.pl