



SEMINARIUM DLA SEKCJI WIERTNIKÓW



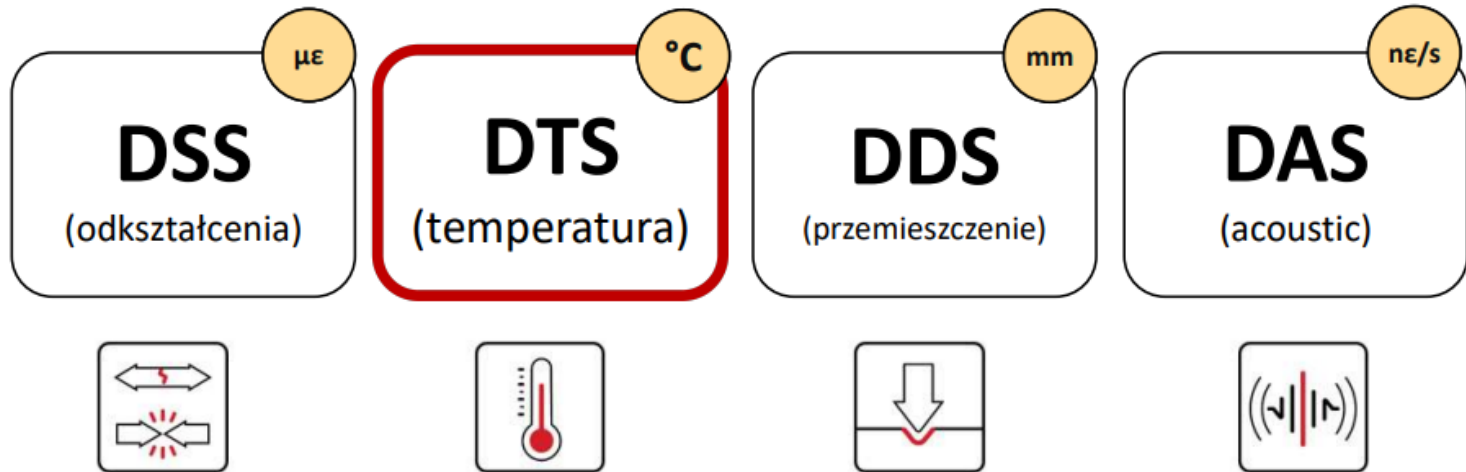
Wykorzystanie technologii światłowodowej w pomiarach TRT (DTRT) oraz do monitoringu istniejących instalacji GPC

Grzegorz Ryżyński

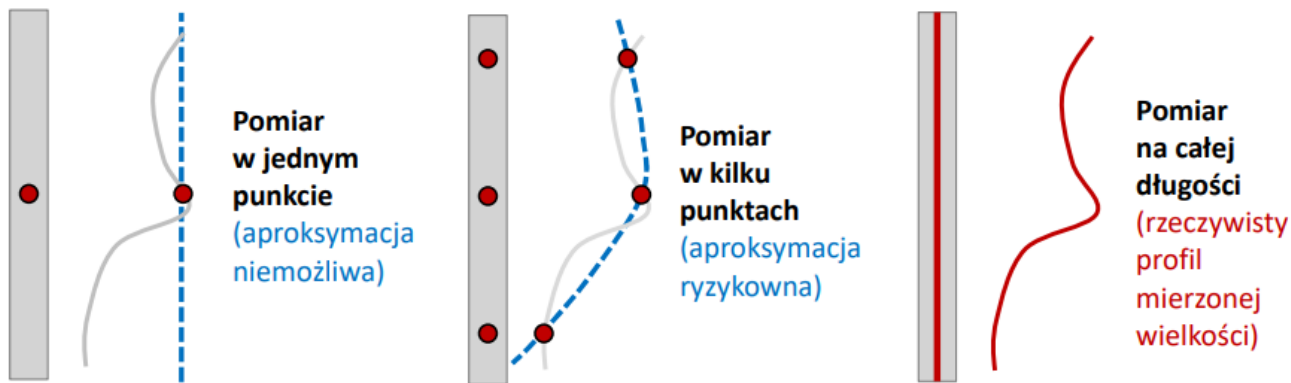
Państwowy Instytut Geologiczny –
Państwowy Instytut Badawczy



Pomiary geometrycznie ciągłe (DFOS)



Pomiary geometrycznie ciągłe DFOS (*ang. distributed fibre optic sensing*)



pomiar(t)

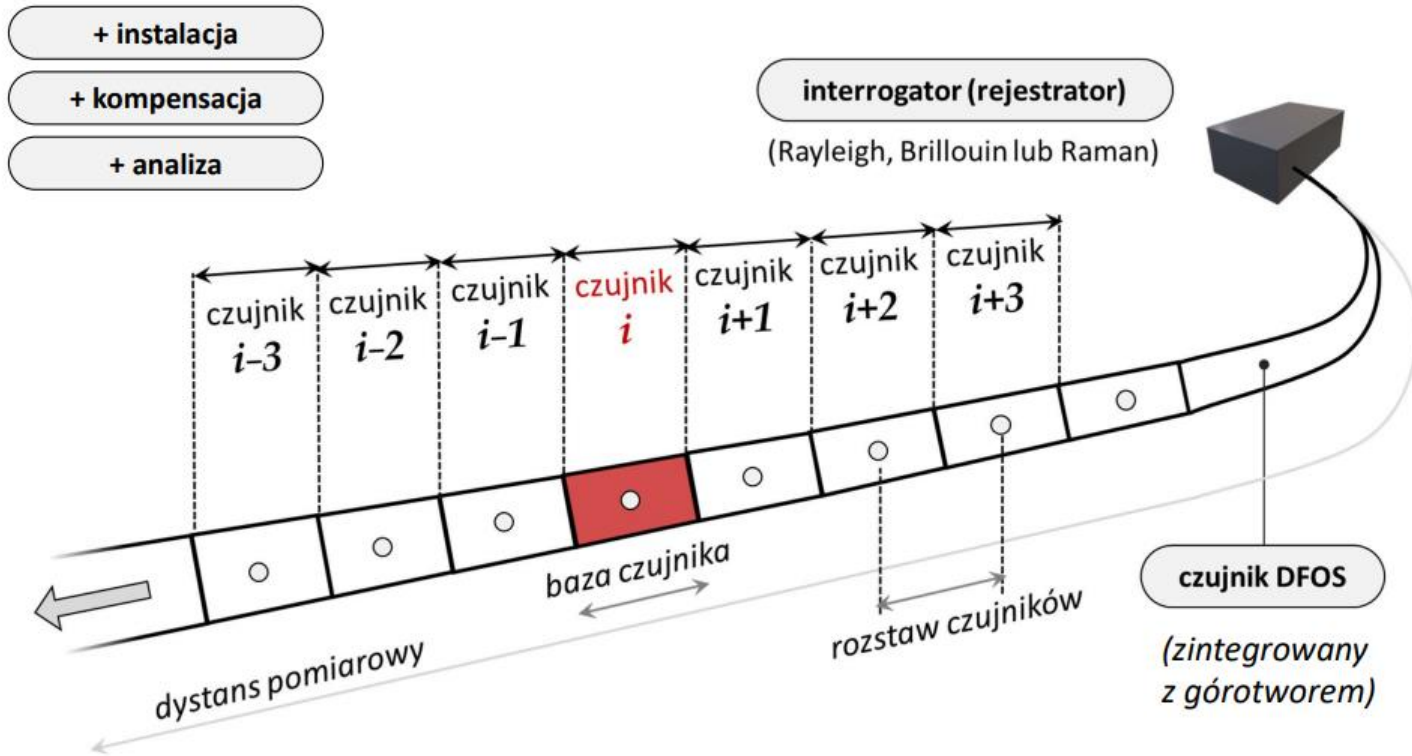


pomiar(t, l)

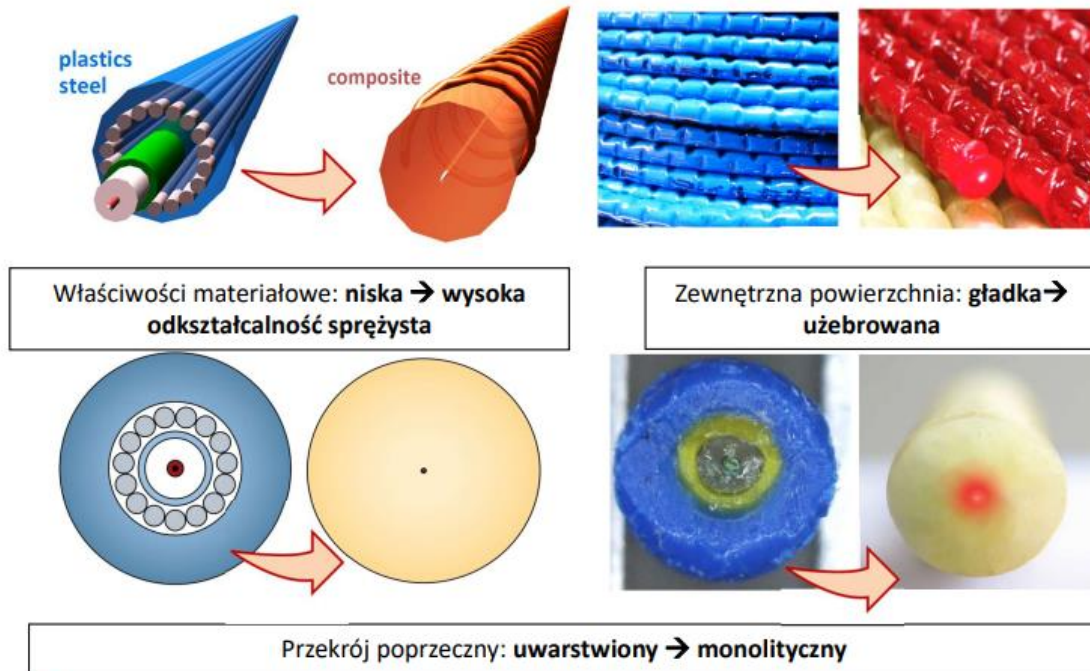


www.nerve-sensors.com

© mgr inż. Łukasz Wzorek, dr inż. Łukasz Bednarski



Narzędzia pomiarowe DFOS – czujniki światłowodowe



Główne różnice:

- 1) brak warstw → zero poślizgu
- 2) kompozyt włóknisty → duży zakres sprężysty
- 3) powierzchnia uszorstniona → dobre przekazywanie odkształceń

INTERROGATORY / REJESTRATORY



Opis	Neubrex	Luna OBR	Luna ODISI	FibrisTerre 2505	Yokogawa DTSX	Febus A1
Rodzaj pomiaru	Rayleigh & Brillouin	Rayleigh	Rayleigh	Brillouin	Raman	Rayleigh
Technika	BOTDR, BOTDA, COTDR	OFDR / OBR	OFDR / OBR	BOTDA	OTDR / DTS	DAS
Mierzone wielkości	odkształcenia i temperatura	odkształcenia i temperatura	odkształcenia i temperatura	odkształcenia i temperatura	temperatura	dynamiczna zmiana odkształceń
Kompensacja termiczna	TAK	NIE	NIE	NIE	-	NIE
Zasięg pomiarowy	25 km	70 m (normal) 2 km (extended)	100 m	50 km	50 km	150 km
Rozdzielczość	od 20 mm	od 5 mm	od 0,65 mm	od 200 mm	od 500 mm	od 1000 mm
Max. częstotliwość	800 Hz	statyka	250 Hz	statyka	statyka	40 000 Hz
Pomiar w pętli	NIE	NIE	NIE	TAK	NIE	NIE
Kontakt	https://www.neubrex.com/	https://lunainc.com/		https://www.fibristerre.de/	https://www.yokogawa.com/us/	https://www.febus-optics.com/en/



www.nerve-sensors.com

© mgr inż. Łukasz Wzorek, dr inż. Łukasz Bednarski

pgi.gov.pl



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna



Sfinansowano ze środków
NARODOWEGO FUNDUSZA
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ

Innowacyjny światłowodowy czujnik do pomiaru odkształceń i temperatury



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Innowacyjny światłowodowy czujnik do pomiaru odkształceń i temperatury (ISCOT)

Wartość projektu to **6 506 871.59 zł**, w tym wkład Funduszy Europejskich: **5 003 995.24 zł**.

Opracowane rozwiązanie umożliwia geometrycznie ciągłe pomiary odkształceń mechanicznych i/lub rozkładów temperatury na całej długości czujnika. Znajduje on zastosowanie w szeregu różnych zastosowań w obszarze inżynierii lądowej, geotermii czy geotechniki



Realizacja: **SHM System** Sp. z o.o., Sp. kom.



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna

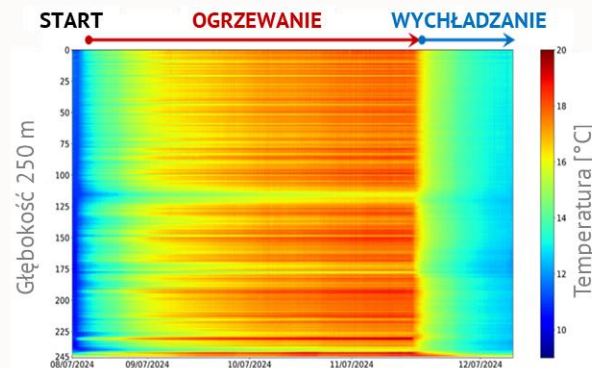
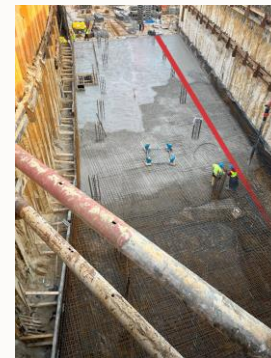
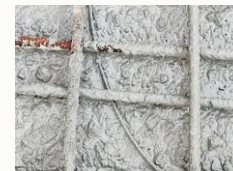


Sfinansowano ze środków
NARODOWEGO FUNDUSZA
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ

Innowacyjny światłowodowy czujnik do pomiaru odkształceń i temperatury

Przykładowe zastosowania

- Pomiar **odkształceń mechanicznych** różnych **materiałów** (np. stal, beton, kompozyt).
- Detekcja i szczegółowa analiza **zarysowań** w betonie.
- Odkształcenia **termiczno-skurczowe** dojrzewającego betonu.
- Metoda **termo-detekcji przecieków** w konstrukcjach ziemnych.
- Test reakcji termicznej (**geotermia**).
- Ocena efektywności istniejących instalacji grzewczych (np. **gruntowe pompy ciepła**).
- Wiele innych.



SENSORY KOMPOZYTOWE

Odształcenia & temperatury

Epsilon
Sensor



Epsilon
Rebar



Epsilon
Flat



Epsilon
Graph



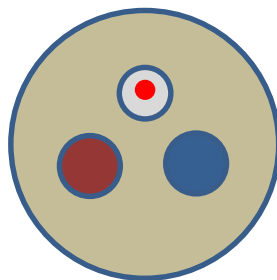
Przemieszczenia

3D
Sensor



Opatentowane
(EU, US, CAN)

POMIAR DTRT = TRT + DTS



("U" rurka PEHD o średnicy 45mm + dodatkowa rurka PEHD śr. zewn. 32 mm do wprowadzenia włókna światłowodowego



Widok rejestratora optycznego - reflektometr AP Sensing N45-series



POMIAR DTRT = TRT + DTS

a)



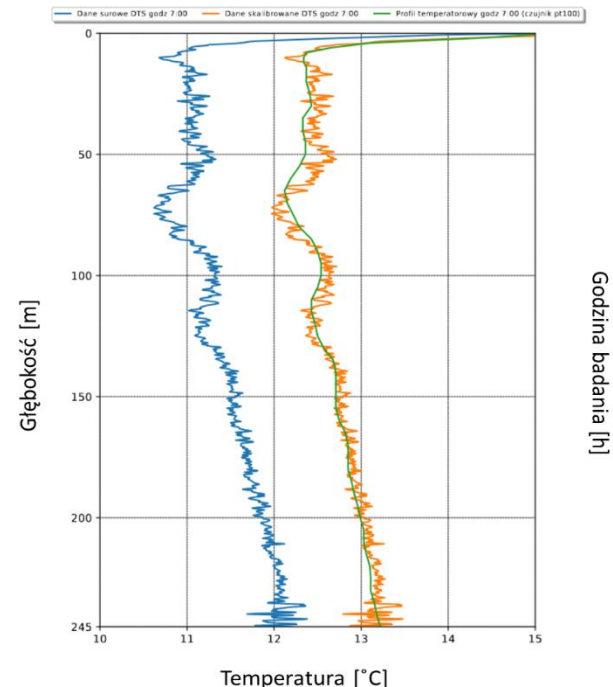
b)



- a) Zdjęcie czujnika światłowodowego wprowadzonego do odwiertu z metalowego zwijacza;
- b) zbliżenie na koniec czujnika wraz z obciążnikiem

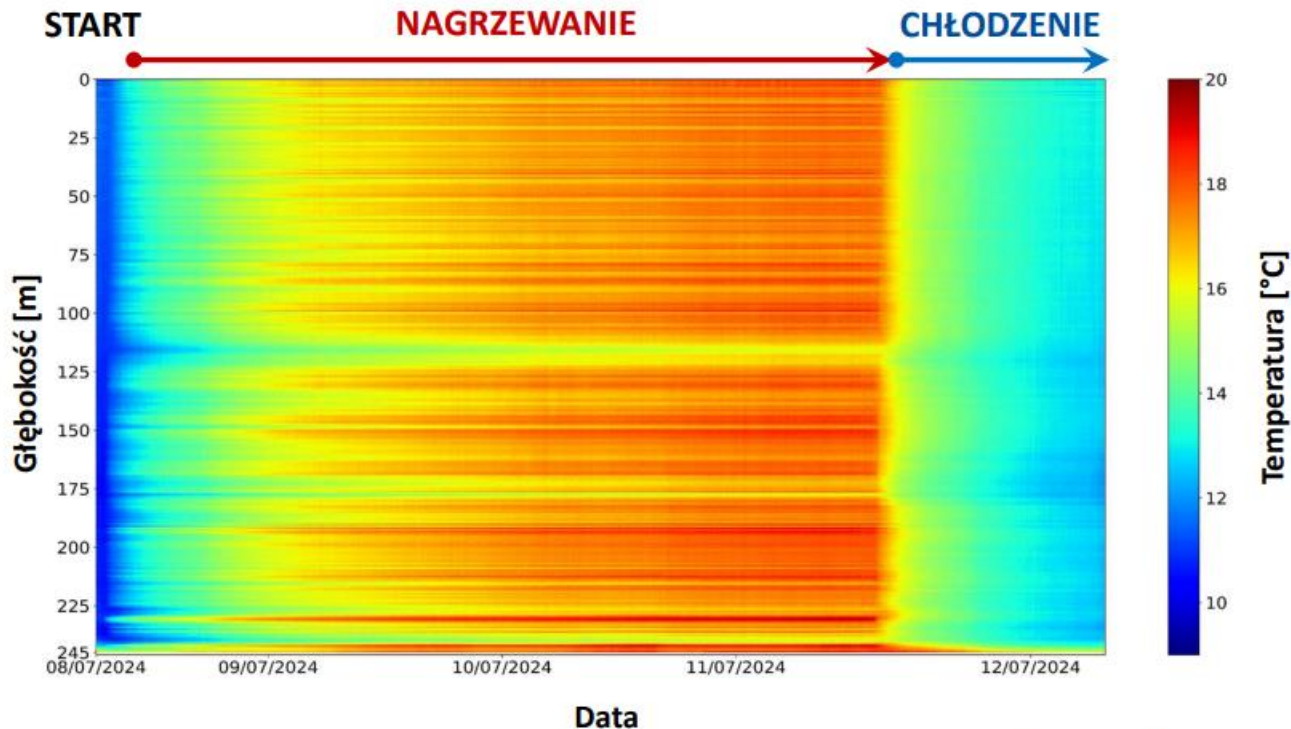


Kalibracja danych temperaturowych DTS za pomocą referencyjnego profilu temperaturowego



POMIAR DTRT = TRT + DTS

Mapa temperatur w dziedzinie głębokości i czasu



RS DRILL



www.nerve-sensors.com

Przy współpracy z:

pgi.gov.pl

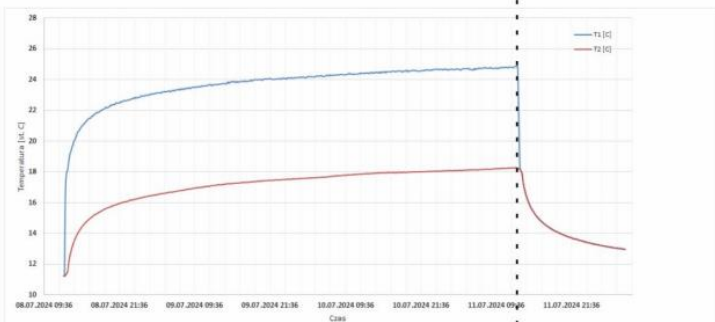
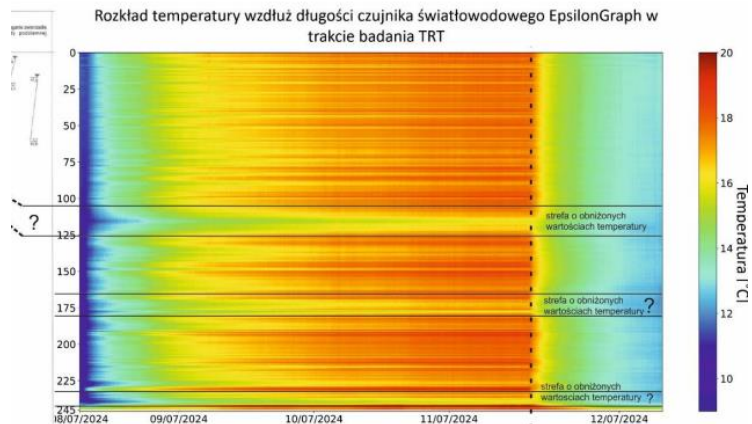


Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna



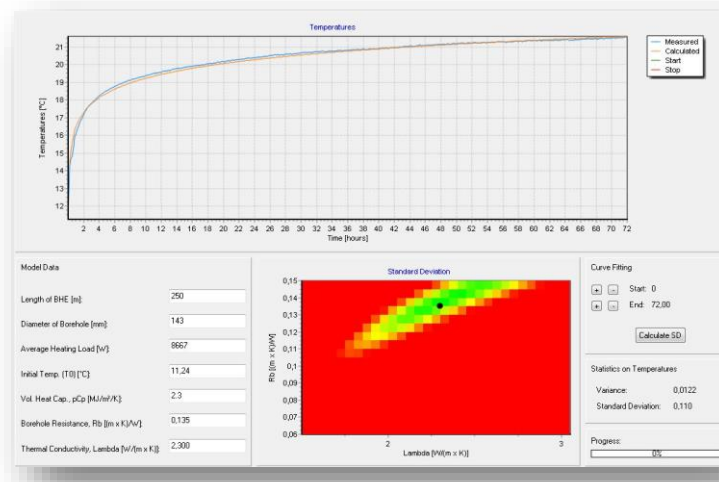
Sfinansowano ze środków
NARODOWEGO FUNDUSZU
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ

POMIAR DTRT = TRT + DTS

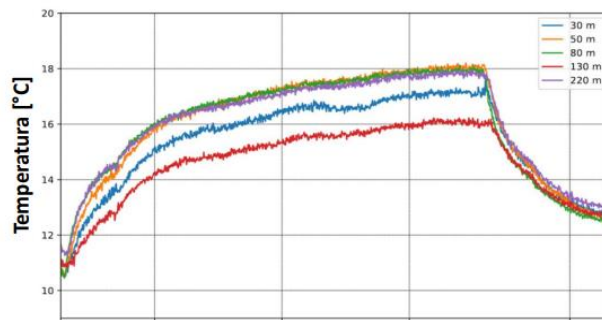


faza grzania

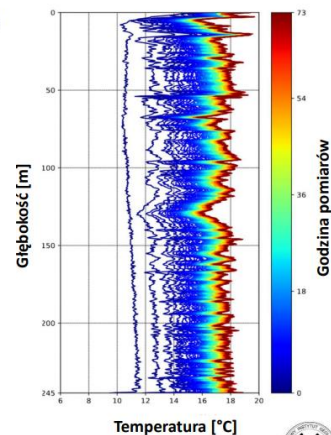
faza stygnięcia
przy włączonej
pompie obiegowej



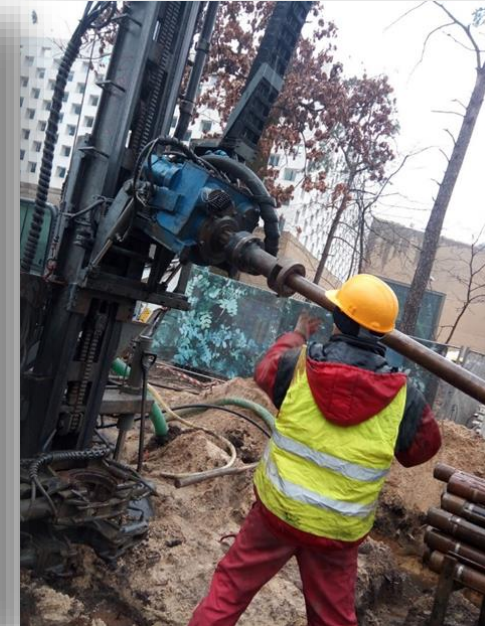
▼ Zmiany temperatury w czasie w wybranych lokalizacjach



Czas pomiaru (4 dni)



MJP Sulejówek - DTS - monitoring



MJP Sulejówek - DTS - monitoring

Tabela 2 Parametry BTES w Sulejówku, Polska.

BTES w Sulejówku, Polska			
Rozpoczęcie eksploatacji	2020	Układ wymienników	Nieregularny
Objętość [m ³]	150 000	Medium akumulujące	
Liczba otworów	106	Przewodność cieplna [W/(m*K)]	2.50
Głębokość otworu [m]	99,0	Objętościowa pojemność cieplna [MJ/(m ³ *K)]	2.340
Łączna głębokość otworów [m]	Ok. 10 600	Izolacja [Tak/Nie]	Nie
Rozstaw otworów [m]	6	Materiał izolacyjny	
Średnica otworów [mm]	150	Grubość izolacji [mm]	
Rodzaj wymiennika	U-rura	Technologia źródła energii	Górotwór, ciepło odpadowe
Średnica wymiennika [mm]	40	Energia ładowania/rok [MWh]	
Materiał wymiennika	HDPE	Energia rozładowywania/rok [MWh]	
Maksymalna temperatura czynnika [°C]	20	Temperatura ładowania [°C]	40
Stratyfikacja termiczna [Tak/Nie]	Nie	Maksymalna temperatura magazynowania [°C]	40
Liczba otworów w zespole	Ok. 10	Minimalna temperatura magazynowania [°C]	20
Całkowita długość wymiennika w zespole [m]	300	Pompy ciepła w układzie [Tak/Nie]	Tak



Rysunek 10. Lokalizacja BTES w Muzeum Marszałka Józefa Piłsudskiego, Sulejów

MJP Sulejówek - DTS - monitoring



Rysunek 11. Rozstaw odwiertów w magazynie ciepła BTES w instalacji w Sulejówku.

MJP Sulejówek - DTS - monitoring



Rysunek 11. Rozstaw odwiertów w magazynie ciepła BTES w instalacji w Sulejówku.

MJP Sulejówek - DTS - monitoring

W ramach rejestrowania rozkładu temperatury wzdłuż długości kabla sensorycznego, w systemie pomp ciepła, zastosowano rejestrator optyczny wykorzystujący zjawisko rozpraszania Ramana.

Parametry pomiarów DTS:

Rozdzielczość przestrzenna: **0.5 m**,

interwał próbkowania: **0.25 m**,

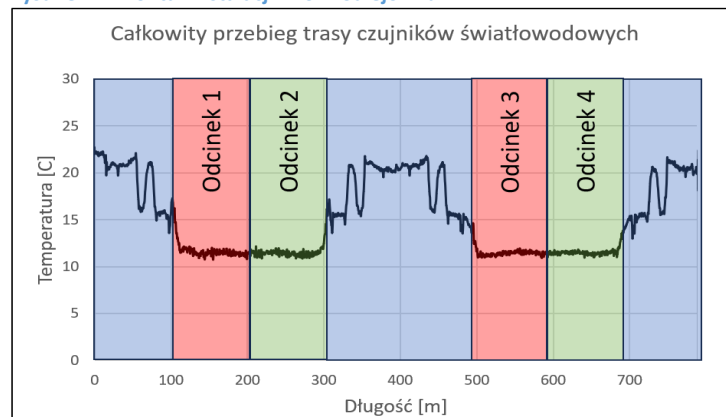
czas pomiaru: **1 min**,

częstotliwość pomiaru: **1 min**,

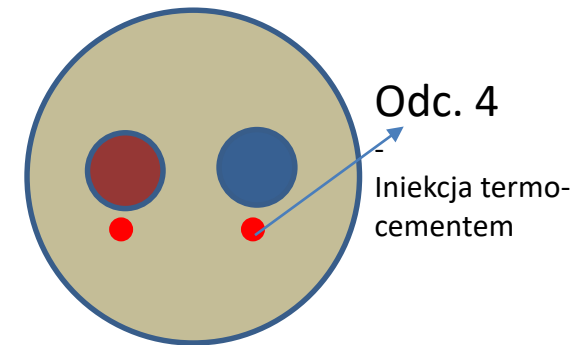
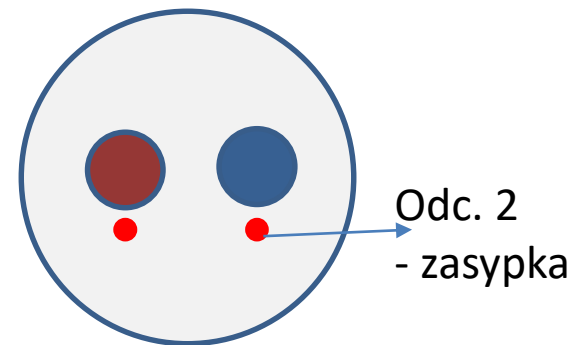
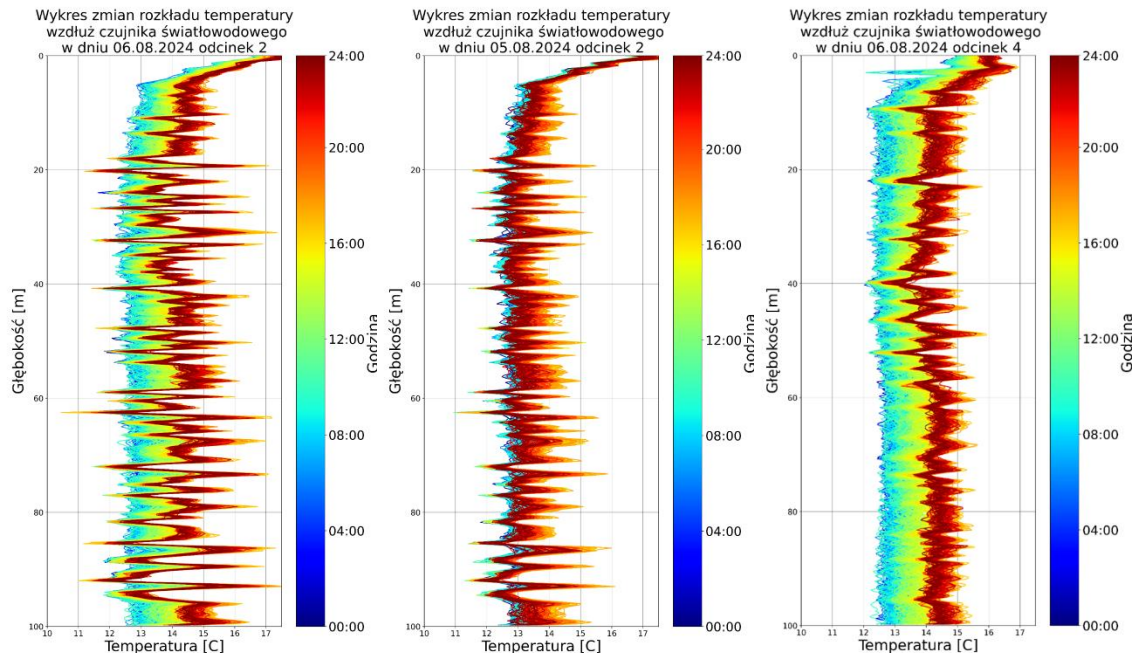
łączy czas pomiarów: około **140 h**



Rysunek 1. Montaż instalacji DTS w Sulejówku.



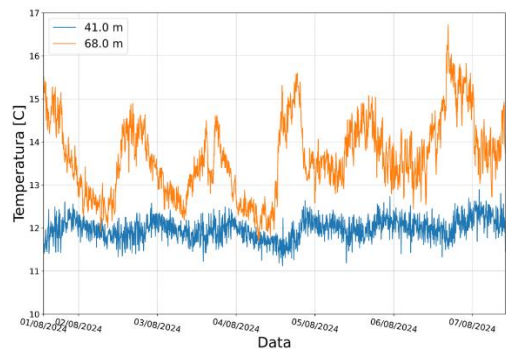
MJP Sulejówek - DTS - monitoring



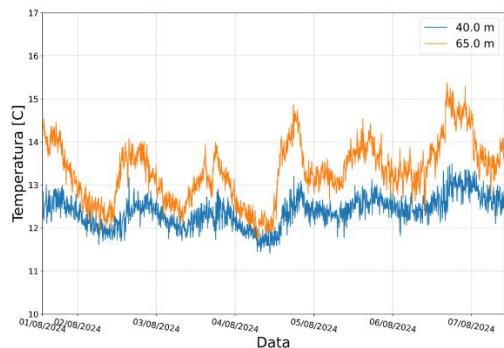
Konfiguracja – pętla → kabel światłowodowy Brusens, zatopiony w wypełnieniu przestrzeni pierścieniowej

Rysunek 1. Przykładowe wyniki ilustrujące rozkład temperatur wzdłuż głębokości odwiertów.

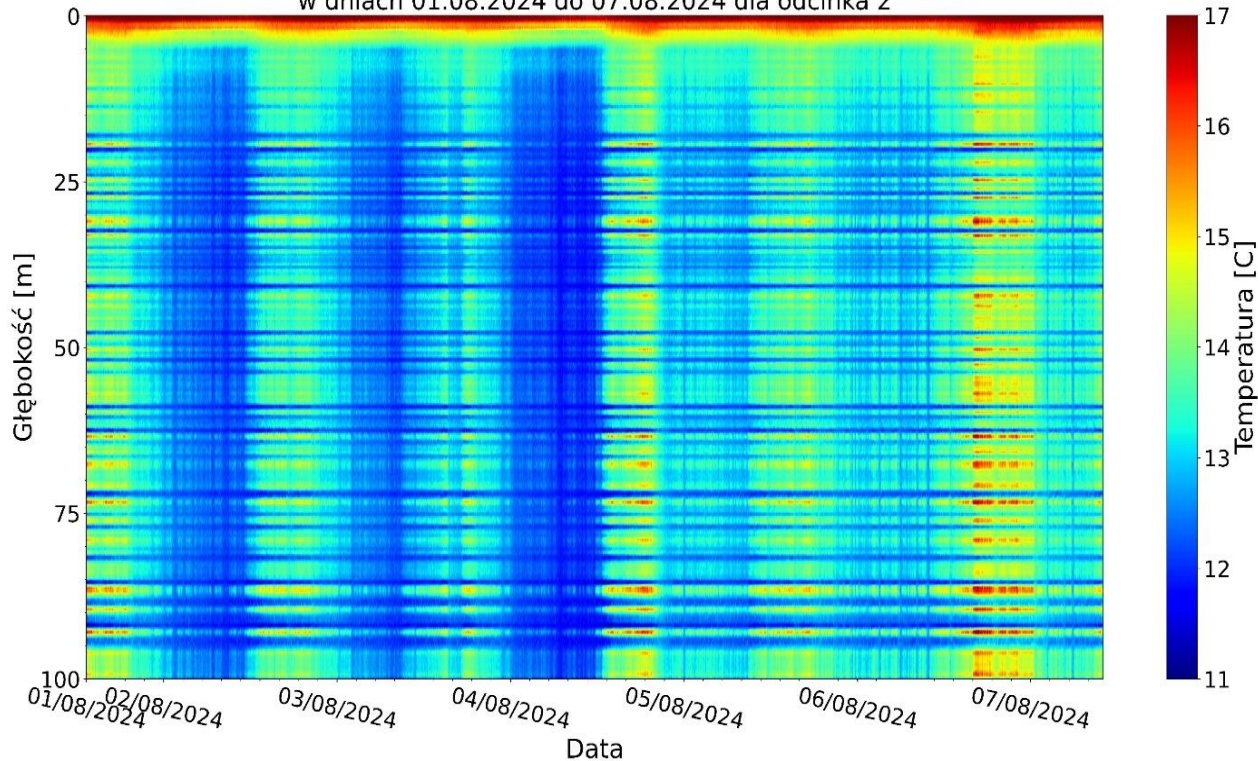
Zmiana temperatury w wybranych przekrojach w trakcie badania DTS odcinek 2



Zmiana temperatury w wybranych przekrojach w trakcie badania DTS odcinek 4



Wykres zmian rozkładu temperatury w trakcie pomiarów DTS wzdłuż czujnika światłowodowego w dniach 01.08.2024 do 07.08.2024 dla odcinka 2



Rysunek 1. Przykładowe wyniki ilustrujące rozkład temperatur w czasie dla różnych głębokości odwiertów.

Optimization of Shallow Geothermal Energy Resources for Green Transition OptiSGE

OKRES REALIZACJI: 01.09.2023 – 31.08.2024

ZAMAWIAJĄCY/GLÓWNY ZLECENIODAWCA: Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej

ŹRÓDŁO FINANSOWANIA

- Projekt został sfinansowany w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego 2014-2021 i Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021.

WYKONAWCY

- Beneficjent: Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
- Partner Norweski: NORCE Norwegian Research Centre
- Kierownik projektu: dr Maciej Kłonowski

ODBIORCY

- Projekt był skierowany do firm projektujących i instalujących gruntowe pompy ciepła, planistów, użytkowników instalacji oraz administracji geologicznej na szczeblu regionalnym i lokalnym.

Iceland 
Liechtenstein  Norway 
Norway grants grants



 NORCE



Optimization of Shallow Geothermal Energy Resources for Green Transition OptiSGE

- Zespół z OD PIG-PIB wykonał profilowania temperatury górotworu rejestratorami ręcznymi Solinst i metodą rozproszonych pomiarów temperatury (ang. optical fibre distributed temperature sensing, OF DTS).
- Obszar badań obejmował południowo-zachodnią Polskę.
- Określono rozkład temperatury z rozpoznaniem wpływów geo- i antropogenicznych w 23 otworach hydrogeologicznych.
- W przypadku 7 otworów obliczono wybrane parametry geotermiczne podłoża, niezbędne do optymalizacji wykorzystania zasobów niskotemperaturowej energii geotermalnej.
- Badania dostarczyły danych niezbędnych do określenia optymalnego wykorzystania zasobów geotermii niskotemperaturowej.
- Karty otworów z termogramami udostępniono w geoportalach: geologia.pgi.gov.pl i GeoLOG.



Optimization of Shallow Geothermal Energy Resources for Green Transition OptiSGE

Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

geologia.pgi.gov.pl

PSG
PAŃSTWOWA SŁUŻBA GEOLOGICZNA

Znajdź adres lub miejsce

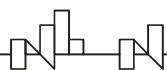
1:2 000 000

Wykorzystanie usług... podlegającym ograniczeniom...
© 2023 PGI

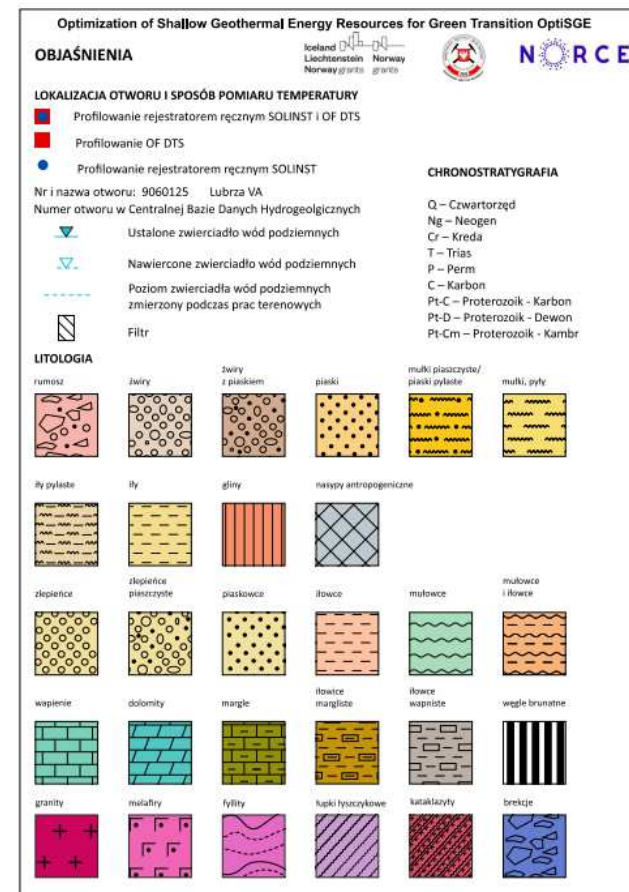
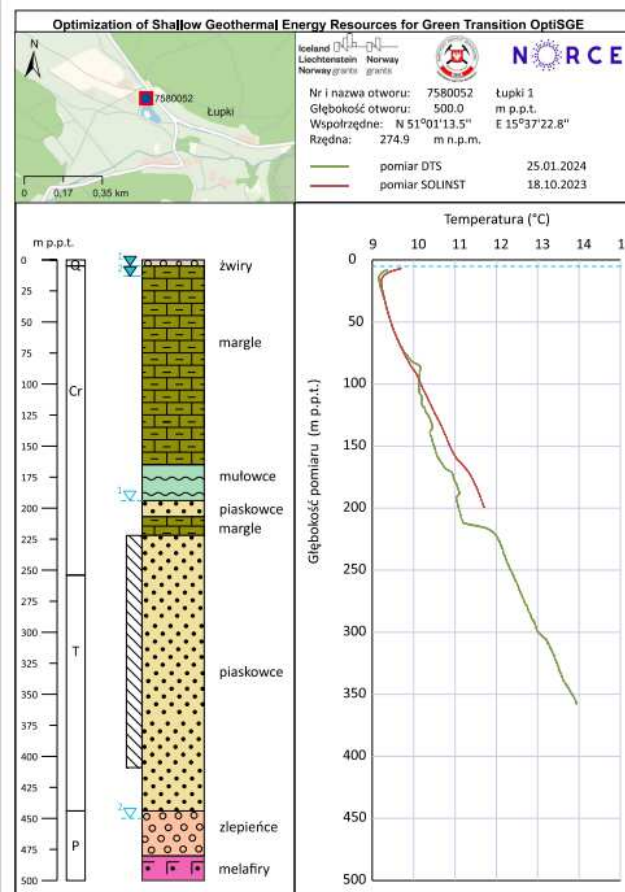
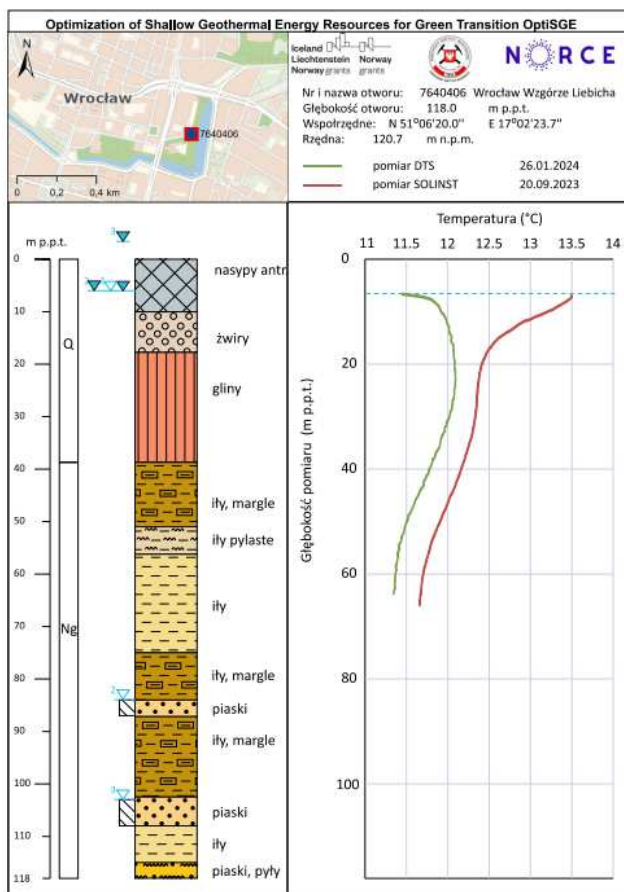
■ Profilowanie OF DTS/Temperature profiling with OF DTS

● Profilowanie rejestrem ręcznym SOLINST/Temperature profiling with a portable set of recorders SOLINST

■ SOLINST i OF DTS/Temperature profiling with a portable set of recorders SOLINST and OF DTS



Optimization of Shallow Geothermal Energy Resources for Green Transition OptiSGE



Optimization of Shallow Geothermal Energy Resources for Green Transition OptiSGE

Rezultaty badań przedstawiono w artykule naukowym pt.

[Borehole Optical Fibre Distributed Temperature Sensing vs. Manual Temperature Logging for Geothermal Condition Assessment: Results of the OptiSGE Project.](#)

Kontakt: maciej.klonowski@pgi.gov.pl



Article

Borehole Optical Fibre Distributed Temperature Sensing vs. Manual Temperature Logging for Geothermal Condition Assessment: Results of the OptiSGE Project

Maciej R. Klonowski ^{1,*}, Anders Nermoen ², Peter J. Thomas ², Urszula Wyrwalska ¹, Weronika Pratikowicka ¹, Agnieszka Ladocha ¹, Kirsti Midttomme ², Paweł Brytan ¹, Anna Krzonkalla ¹, Adrianna Maćko ¹, Karol Zawistowski ¹ and Jolanta Duczmańska-Klonowska ¹

- ¹ Polish Geological Institute-National Research Institute, Lower Silesian Branch, 53-122 Wrocław, Poland; urszula.wyrwalska@pgi.gov.pl (U.W.); weronika.pratikowicka@pgi.gov.pl (W.P.); agnieszka.ladocha@pgi.gov.pl (A.L.); pawel.brytan@pgi.gov.pl (P.B.); anna.krzonkalla@pgi.gov.pl (A.K.); adrianna.macko@pgi.gov.pl (A.M.); karol.zawistowski@pgi.gov.pl (K.Z.); jolanta.duczmańska-klonowska@pgi.gov.pl (J.D.-K.)
- ² NORCE Norwegian Research Centre, Nydalsgaten 112, 5038 Bergen, Norway; aner@norceresearch.no (A.N.); peth@norceresearch.no (P.J.T.)
- * Correspondence: maciej.klonowski@pgi.gov.pl (M.R.K.); kimi@norceresearch.no (K.M.)

Abstract: Geothermal energy is a crucial component contributing to the development of local thermal energy systems as a carbon-neutral and reliable energy source. Insights into its availability derive from knowledge of geology, hydrogeology and the thermal regime of the subsurface. This expertise helps to locate and monitor geothermal installations as well as observe diverse aspects of natural and man-made thermal effects. Temperature measurements were performed in hydrogeological boreholes in south-western Poland using two methods, i.e., manual temperature logging and optical fibre distributed temperature sensing (OF DTS). It was assumed the water column in each borehole was under thermodynamic equilibrium with the local geothermal gradient of the subsurface, meaning rocks and aquifers. Most of the acquired results show typical patterns, with the upper part of the log depending on altitude, weather and climate as well as on seasonal temperature changes. For deeper parts, the temperature normally increases depending on the local geothermal gradient. The temperature logs for some boreholes located in urban agglomerations showed anthropogenic influence caused by the presence of infrastructure, the urban heat island effect, post-mining activities, etc. The presented research methods are suitable for applications connected with studies crucial to selecting the locations of geothermal installations and to optimize their technical parameters. The observations also help to identify zones of intensified groundwater flow, groundwater inrush into wells, fractured and fissured zones and many others.

Keywords: subsurface; geothermal conditions; geological boreholes; optical fibre distributed temperature sensing (OF DTS); manual temperature logging; south-western Poland



Citation: Klonowski, M.R.; Nermoen, A.; Thomas, P.J.; Wyrwalska, U.; Pratikowicka, W.; Ladocha, A.; Midttomme, K.; Brytan, P.; Krzonkalla, A.; Maćko, A.; et al. Borehole Optical Fibre Distributed Temperature Sensing vs. Manual Temperature Logging for Geothermal Condition Assessment: Results of the OptiSGE Project. *Sensors* **2024**, *24*, 7419. <https://doi.org/10.3390/s24237419>

Academic Editor: Aldo Minaudo

Received: 24 September 2024

Revised: 8 November 2024

Accepted: 10 November 2024

Published: 21 November 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Grzegorz Ryżyński
Państwowy Instytut Geologiczny –
Państwowy Instytut Badawczy



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna



Sfinansowano ze środków
NARODOWEGO FUNDUSZU
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ