

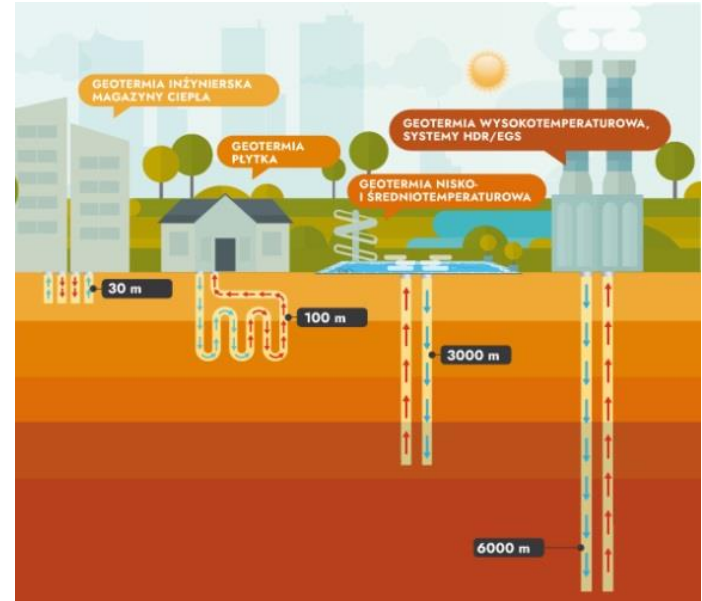
Magazynowanie energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych (BTES, PTES/TTES, EF) – **GEOTERMIA INŻYNIERSKA**

Mateusz Żeruń

Edyta Majer

Ewa Jagoda

Forum PSG. Geologia inżynierska – praktyczne wsparcie procesów inwestycyjnych
Warszawa, 29.03.2023



źródło: Wieloletni Program Rozwoju Wykorzystania Zasobów Geotermalnych w Polsce, MKiŚ

GEOTERMIA INŻYNIERSKA: definicja

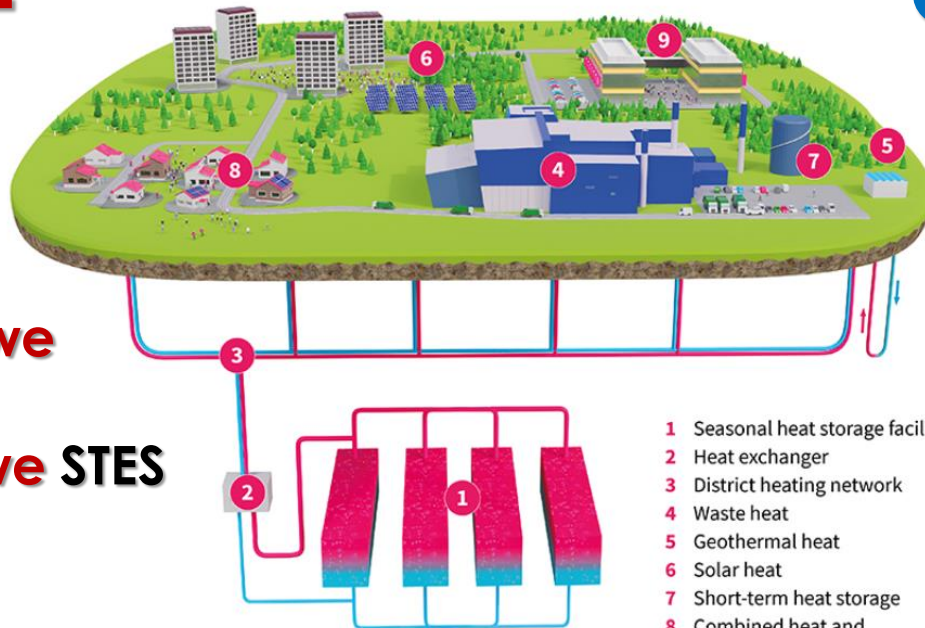
dziedzina geotermii zajmująca się pracami i badaniami, które dotyczą:

- **magazynowania** energii cieplnej w górotworze
- wykorzystania energii cieplnej zgromadzonej w najpłytszych warstwach górotworu przez systemy grzewcze wykorzystujące **fundamenty energetyczne** oparte na pracy gruntowych pomp ciepła
- oceny podłoża budowlanego pod względem **właściwości cieplnych**

MAGAZYNOWANIE ENERGII CIEPLNEJ (TES)

GRZANIE
+90°C
+500°C

CHŁODZENIE
-40°C



Krótkoterminowe
(kilka dni)
Długoterminowe STES
(sezonowe)

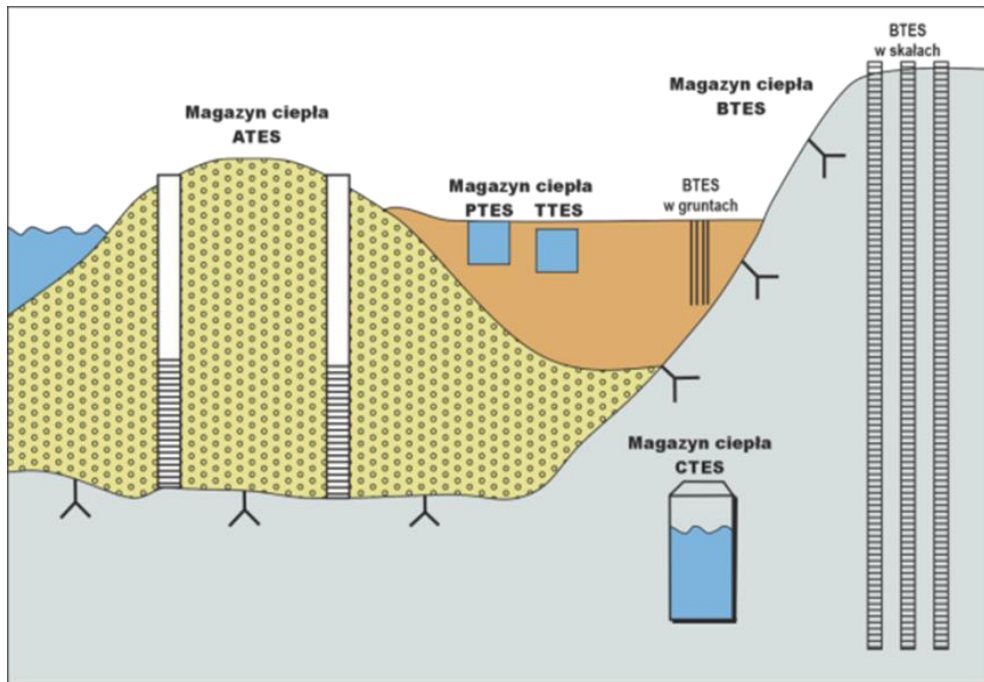
- 1 Seasonal heat storage facility
- 2 Heat exchanger
- 3 District heating network
- 4 Waste heat
- 5 Geothermal heat
- 6 Solar heat
- 7 Short-term heat storage
- 8 Combined heat and cold production
- 9 Waste heat recovery

ZASADA DZIAŁANIA:
nadwyżki energii
elektrycznej z OZE są
zamieniane na energię
cieplną i magazynowane
na potrzeby **dostarczania**
ciepła lub chłodu

 Vantaan Energia

Źródło: <https://www.vantaanenergia.fi/>

GEOTERMIA INŻYNIERSKA: magazyny energii cieplnej



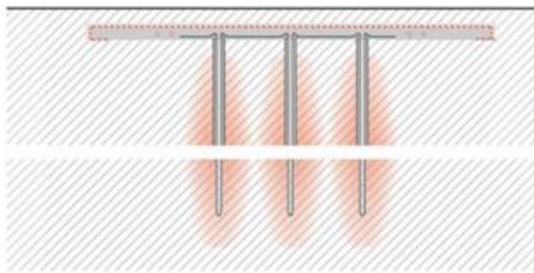
MAGAZYNY ENERGII CIEPLNEJ (UTES, ang. Underground Thermal Energy Storage)

1. **magazyny energii cieplnej w warstwie wodonośnej (magazyn otwarty) (ATES, ang. Aquifer Thermal Energy Storage)**
2. **magazyny energii cieplnej w kawernach lub w wyrobiskach górniczych (CTES, ang. Cavity Thermal Energy Storage; MWTS, ang. Mine Water Thermal Storage)**
3. **magazyny energii cieplnej w specjalnie wykonanych zbiornikach podziemnych (TTES, ang. Tank Thermal Energy Storage)**
4. **magazyny energii cieplnej w specjalnie wykonanych zbiornikach przypowierzchniowych (PTES, ang. Pit Thermal Energy Storage)**
5. **otworowe magazyny energii cieplnej (BTES, ang. Borehole Thermal Energy Storage)**

MAGAZYNY ENERGII CIEPLNEJ - BTES

Otworowe magazyny energii cieplnej

Borehole thermal energy storage (BTES)
(15 to 30 kWh/m³)



Kolejno:

- schemat budowy,
- wykonywanie odwiertów,
- instalacja wymiennika,
- ukończony magazyn

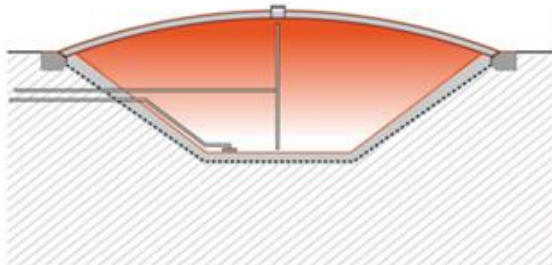
**Ciepłownia przyszłości w
Lidzbarku Warmińskim**

Źródło:
https://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA_SHC_Task45_B_Report.pdf

MAGAZYNY ENERGII CIEPLNEJ - PTES

w wykonanych zbiornikach przypowierzchniowych

Pit thermal energy storage (PTES)
(60 to 80 kWh/m³)



Kolejno:

- schemat budowy,
- roboty ziemne i instalacja ścian bocznych,
- wypełnianie zbiornika,
- ukończony magazyn

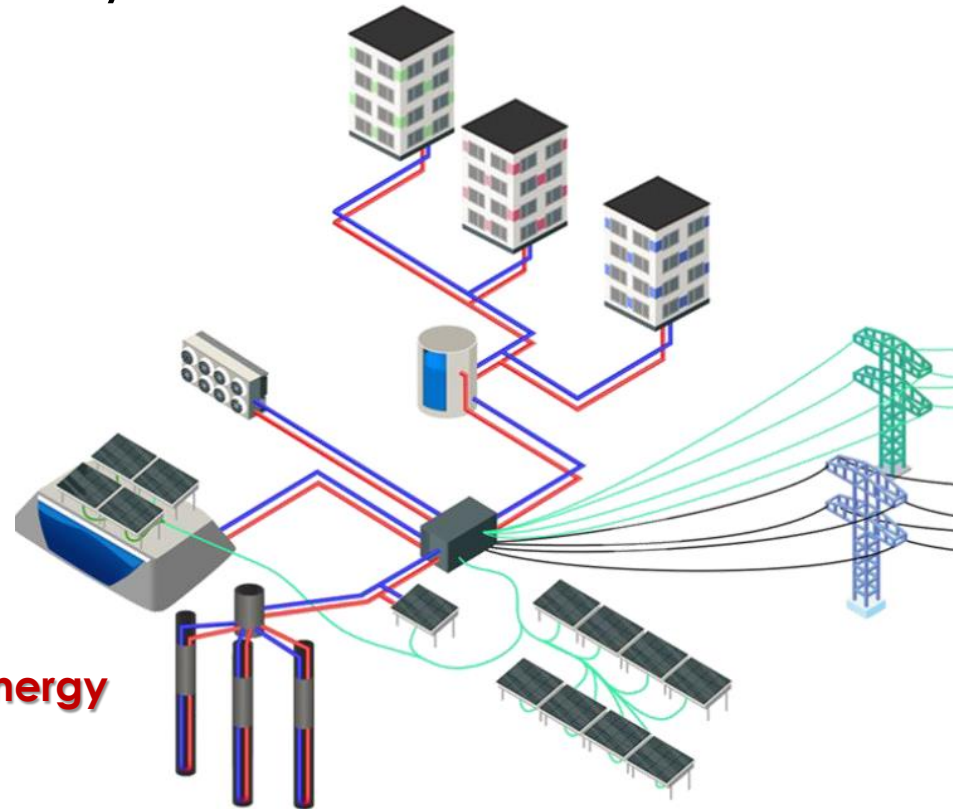
Ciepłownia przyszłości w Lidzbarku Warmińskim

Źródło:
https://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA_SHC_Task45_B_Report.pdf

MAGAZYNY ENERGII CIEPLNEJ – BTES/PTES

Koncepcja Ciepłowni Przyszłości

- Trzy maszynownie pomp ciepła
- Trójstopniowy system magazynowania
 - Niskotemperaturowy magazyn gruntowy BTES (5-15°C)
 - Wysokotemperaturowy magazyn wodny PTES (7-60 °C)
 - Magazyn krótkoterminowy – bufor (85 °C)
- Zarządzanie energią
 - Trzy dolne źródła i trzy górne źródła dla pomp ciepła
 - Maksymalna autokonsumpcja PV

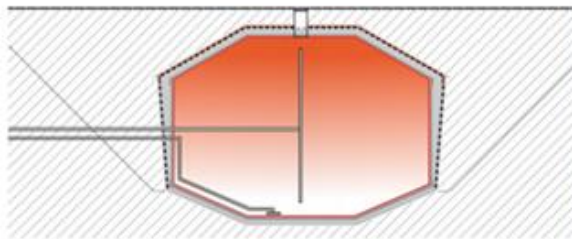


Źródło: Euros Energy

MAGAZYNY ENERGII CIEPLNEJ - TTES

w specjalnie wykonanych zbiornikach podziemnych

Tank thermal energy storage (TTES)
(60 to 80 kWh/m³)



Kolejno:

- schemat budowy,
- stawianie ścian bocznych,
- wieńczenie zbiornika kopułą,
- ukończony magazyn

**Mazowiecki Szpital
Wojewódzki dla Nerwowo
i Psychicznie Chorych
Drewnica**

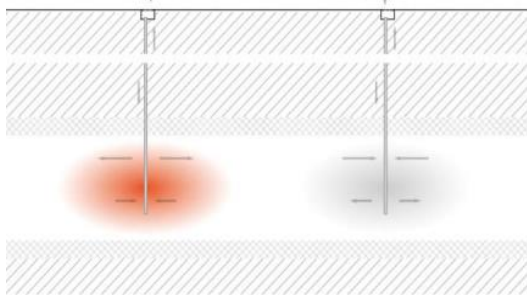
Źródło:
https://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA_SHC_Task45_B_Report.pdf

MAGAZYNY ENERGII CIEPLNEJ - ATEs

w warstwie wodonośnej

Aquifer thermal energy storage (ATES)

(30 to 40 kWh/m³)



Kolejno:

- schemat budowy,
- wykonywanie odwiertów,
- ukończony magazyn,
- studzienka rewizyjna

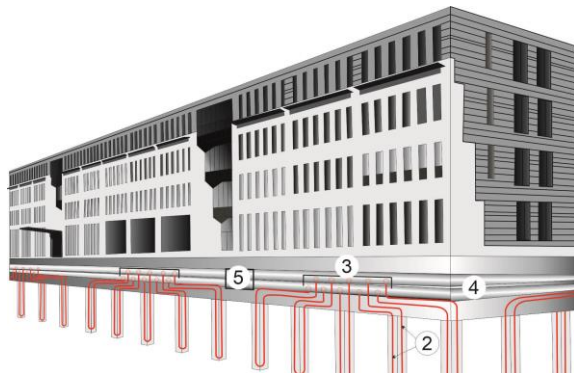
Brak doświadczeń krajowych

Źródło:
https://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA_SHC_Task45_B_Report.pdf



FUNDAMENTY ENERGETYCZNE - FE

Termoaktywne konstrukcje inżynierskie



Kolejno:

- schemat wykorzystania,
- ściana szczelinowa,
- termopal,
- płyta fundamentowa

**Archiwum Narodowe w
Krakowie**

Źródło:

Żeruń i in., 2022 Geotermia inżynierska – możliwości zastosowania technologii OZE w budownictwie.

FUNDAMENTY ENERGETYCZNE - FE

Przykład realizacji

Gmach nowego budynku
**Archiwum Narodowego w
Krakowie**

Dwa segmenty o pow. użytkowej
14 000 m² (8 i 6 kondygnacji)

Całkowite obciążenie **ciepne** dla
obu budynków $Q_{ogr} = 101.2 \text{ kW}$

Zapotrzebowanie **chłodu** dla obu
budynków $Q_{chl} = 145.9 \text{ kW}$

**114 pali wierzonych
energetycznych** z rur PE-Xa, łączna
długość pali 104.25m – 52.7 kW

25 otworowych wymienników
ciepła o łącznej długości 2 500m.



Źródło: Archiwum Narodowe w Krakowie

KIERUNKI PRAC

Zadanie PSG

Ocena możliwości magazynowania energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych (BTES, PTES/TTES, EF) w wybranych lokalizacjach na terenie Polski

2023-2024

- 1) Dokument pn. „Ocena możliwości lokalizowania magazynów energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych (BTES, PTES/TTES, EF)” zawierający kryteria i metodykę oceny lokalizowania magazynów energii cieplnej
- 2) Ocena wskazanych lokalizacji pod kątem możliwości budowy magazynów energii cieplnej w górotworze
- 3) Analiza uwarunkowań prawnych dotycząca możliwości wdrożenia systemów zamkniętych typu BTES, PTES/TTES, EF w Polsce z rekomendacjami
- 4) Baza danych zawierająca warstwy informacyjne GIS w zakresie oceny wskazanych lokalizacji pod kątem możliwości budowy magazynów energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych (BTES, PTES/TTES, EF)
- 5) Zaktualizowany serwis internetowy o geotermii płytkiej w zakresie magazynów energii cieplnej w technologiach BTES, PTES/TTES, EF

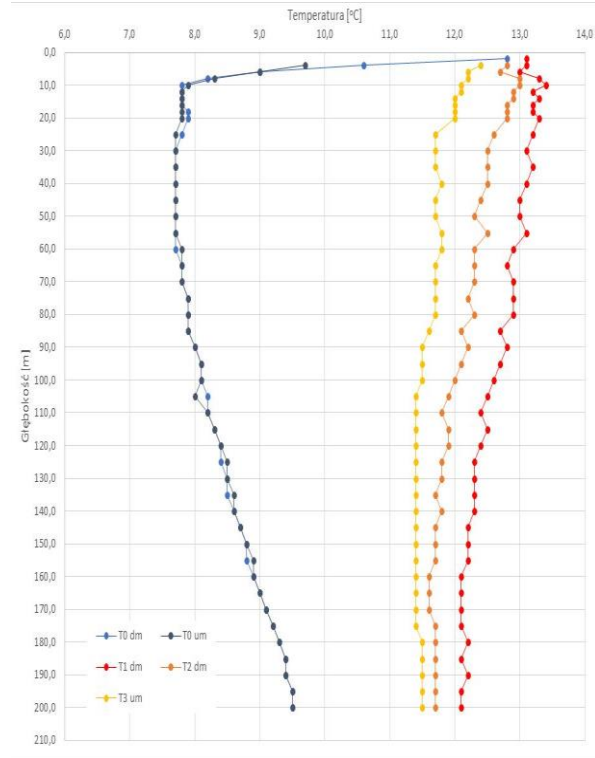


PARAMETRY GEOLOGICZNE

RODZAJ	NAZWA	SYMBOL [JEDNOSTKA]	OPIS
GEOL-FIZ	GĘSTOŚĆ (OBJĘTOŚCIOWA/WŁAŚCIWA)	pd [Mg/m ³ , kg/m ³]	masa jednostki objętości materiału wraz z zawartymi w niej porami
GEOL-FIZ	GĘSTOŚĆ WŁAŚCIWA	pr [Mg/m ³ , kg/m ³]	stosunek masy materiału do jego objętości bez uwzględnienia porów
GEOL-FIZ	POROWATOŚĆ	n [%]	stosunek objętości porów w danej próbce gruntu do objętości całego gruntu
GEOL-FIZ	POROWATOŚĆ OTWARTA	no [%]	część wolnych przestrzeni między cząsteczkami, którą może wypełnić woda wolna
GEOL-FIZ	(OBJĘTOŚCIOWA) PRZEWODNOŚĆ TERMICZNA	λ [W*m/K]	zdolność substancji do przekazywania energii wewnętrznej przez przewodzenie ciepła
GEOL-FIZ	OPORNOŚĆ TERMICZNA	Rho [K*m/W]	wielkość fizyczna reprezentująca opór, jaki stawia dana materia przy przenoszeniu ciepła (energii cieplnej)
GEOL-FIZ	POJEMNOŚĆ CIEPLNA	C [J/K]	ilość ciepła, jaka jest niezbędna do zmiany temperatury ciała o jednostkę
GEOL-FIZ	CIEPŁO WŁAŚCIWE	c [MJ/m ³ *K]	ciepło potrzebne do zmiany temperatury ciała w jednostkowej masie o jedną jednostkę
GEOL-FIZ	DYFUZYJNOŚĆ TERMICZNA	D [mm ² /s]	jak szybko dany materiał reaguje na zmiany temperatury
GEOL-FIZ	GĘSTOŚĆ STRUMIENIA CIEPŁA	q [W/m ²]	ilość energii cieplnej przenikającej przez powierzchnię izotermiczną w jednostce czasu czyli ilość ciepła ΔQ przepływającego przez ciało w czasie Δt, Gęstość strumienia ciepła jest strumieniem na jednostkę powierzchni.
GEOL-FIZ	GRADIENT TERMICZNY	°C/km	stosunek różnicy temperatur do odległości między dwoma punktami
GEOL-FIZ	AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA		
HYDRO	PRZEWODNOŚĆ HYDRAULICZNA	T [m ² /s]	
HYDRO	PRZEPUSZCZALNOŚĆ		
HYDRO	WSPÓŁCZYNNIK PRZEPUSZCZALNOŚCI	k [md]	stanowi podstawową miarę zdolności ośrodka porowatego do transportu zawartych w nim płynów
HYDRO	MIAŻSZOŚĆ WARSTWY WODONOŚNEJ	m [m]	odległość w pionie między spągami warstwy wodonośnej a zwierciadłem swobodnym lub w warstwie o zwierciadle napiętym, między spągami a stropem warstwy wodonośnej, mierzona do nich prostopadle
EKON	KOGENERACJA (SKOJARZONA GOSPODARKA ENERGETYCZNA)	CHP	proces technologiczny jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i użytkowego ciepła w elektrociepłowni
EKON	UŚREDNIONY KOSZT ENERGII CIEPLNEJ	LCOH	jest parametrem, który ocenia koszty ciepła wytwarzanego przez różne technologie energii słonecznej i pomaga porównać różne technologie ogrzewania procesowego i wytwarzania energii
EKON	WSPÓŁCZYNNIK WYDAJNOŚCI GRZEWCZEJ	COP	ile kWh oddanego ciepła przypada na 1 kWh energii elektrycznej pobranej przez pompę
EKON	WSPÓŁCZYNNIK WYDAJNOŚCI SEZONOWEJ	SPF	określający COP uśredniony dla całego sezonu grzewczego
KONSTR	WSPÓŁCZYNNIK STRAT CIEPŁA	HLC [W/m ³ *K]	charakteryzuje efektywność instalacji budynku w warunkach użytkowania i stanowi jedną z głównych przyczyn luki w wydajności między projektem a jego rzeczywistą eksploatacją
KONSTR	ZAKRES TEMPERATURY PRACY	[°C]	pompy mają typowy zakres temperatur zewnętrznych, w którym ciepło może być skutecznie odprowadzane, a jeśli temperatury są poza tym zakresem, mogą nie działać tak wydajnie
KONSTR	WSPÓŁCZYNNIK ODZYSKU CIEPLNEGO		stosunek ciepła odzyskanego do ciepła ponownie ładowanego w cyklu rocznym (lub dłuższym okresie)
KONSTR	OPORNOŚĆ TERMICZNA WYMIENNIKA OTWOROWEGO	Rb [m ² *K/W]	opór cieplny między płynem w U-rurce a ścianami odwiertu jest kluczową cechą wydajności gruntowego wymiennika ciepła w układzie zamkniętym
KONSTR	ZDOLNOŚĆ WYMIANY CIEPŁA		zależy od właściwości materiałowych rur, zacznym i otaczającego gruntu oraz ułożenia i charakterystyki przepływu pola
KONSTR	STRATA CIEPŁA		straty ciepła zależą od właściwości termicznych i hydraulicznych podłoża (utrata ciepła przez przewodzenie i przepływ zależny od gęstości)
KONSTR	PRZEWODZENIE CIEPŁA W STANIE NIEUSTALONYM		rodzaj wymiany ciepła, w którym temperatura ciała zmienia się w czasie, jest znany jako przejściowa wymiana ciepła, jest również znany jako wymiana ciepła w stanie nieustalonym.
KONSTR	KONWEKCYJNY PRZEPŁYW CIEPŁA		proces przekazywania ciepła związany z makroskopowym ruchem materii w gazie, cieczy lub plazmie,
KONSTR	GĘSTOŚĆ ENERGII		ilość energii zgromadzonej na jednostkę objętości lub masy oraz zakres temperatur pracy

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNYCH

Badania terenowe: test reakcji termicznej - TRT



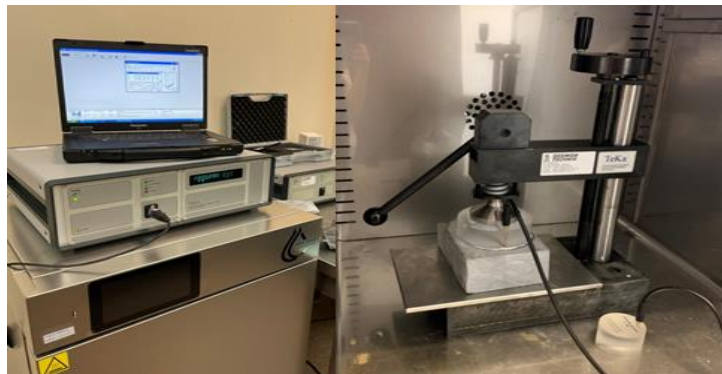
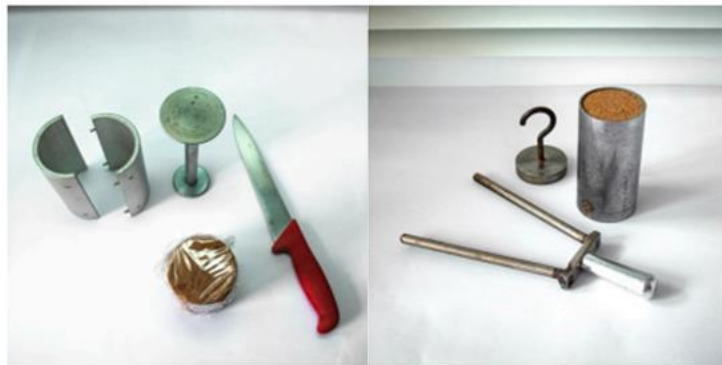
BADANIA WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNYCH

Badania terenowe: **igła termiczna**



BADANIA WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNYCH

Badania laboratoryjne: **igła termiczna**



ZASOBY BAZY BDG

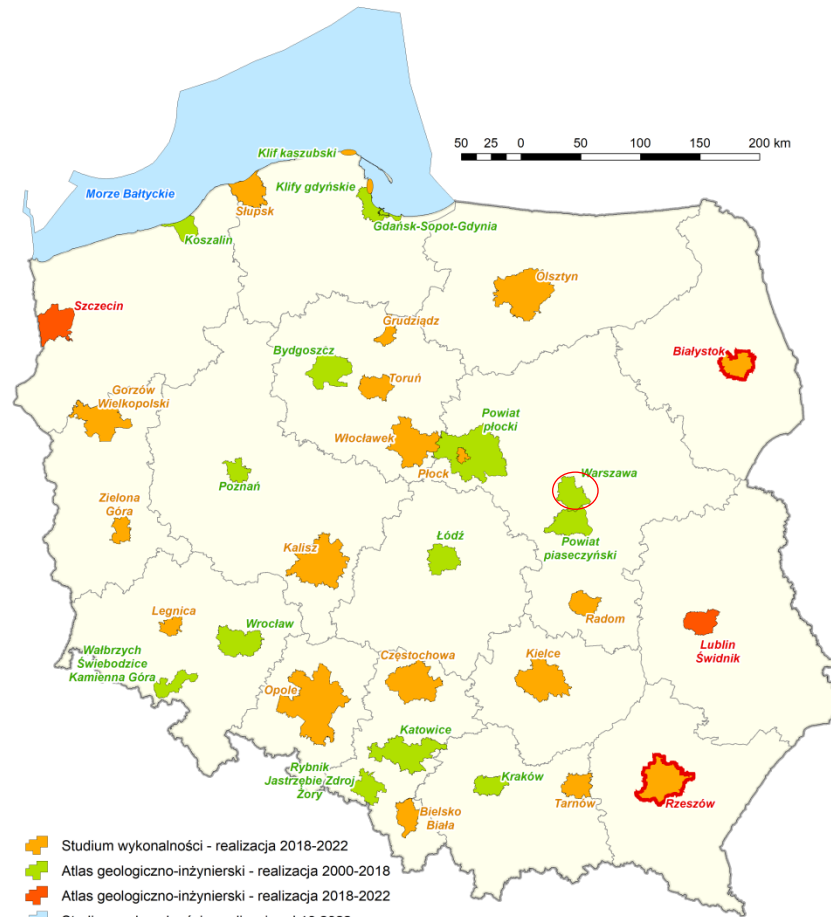
> 410 000

w tym Warszawa > 35 000
otworów wiertniczych



Wsparcie przy projektowaniu:

- **gruntowych pomp ciepła,**
- **magazynów energii cieplnej,**
- **sieci elektroenergetycznych**
- **fundamentów energetycznych**
(termopale, termoobudowy,
termościany itp.)



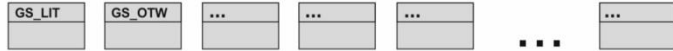
- Studium wykonalności - realizacja 2018-2022
- Atlas geologiczno-inżynierski - realizacja 2000-2018
- Atlas geologiczno-inżynierski - realizacja 2018-2022
- Studium wykonalności - realizacja od 10.2022 r.
- Atlas geologiczno-inżynierski - realizacja od 10.2022 r.

BDGI vs. GEOTERMIA: METODYKA

①

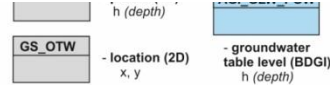
Wybór otworów z bazy BDGI

- raw borehole data is stored in numerous related tables



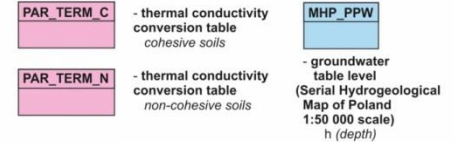
②

Selekcja danych z otworów



③

Reklasyfikacja – etap 1



④

Reklasyfikacja – etap 2

MERGING OF TABLES

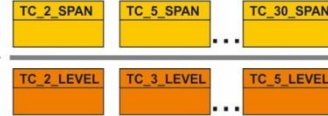
SERIA_BDGI	SGT
QhRNsp	12
QhO	
QpGNsp	23
QpDNsp	
MZNsp	

BDGI borehole data subset is merged with PAR_TERM thermal conductivity values
Join fields are: SERIA_BDGI for GeoSTAR data and SGT from PAR_TERM tables

⑤

Reklasyfikacja – etap 3

- raster algebra results (average thermal conductivity up to given depth) - *.CSV

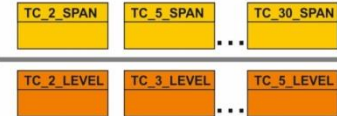


- raster algebra results (exact thermal conductivity at given depth) - *.CSV

⑥

Reklasyfikacja – seria geotermalna

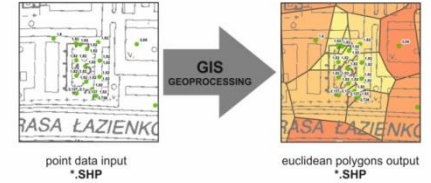
- gis point spatial layers (average thermal conductivity up to given depth) - *.SHP



- gis point spatial layers (exact thermal conductivity at given depth) - *.SHP

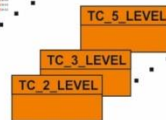
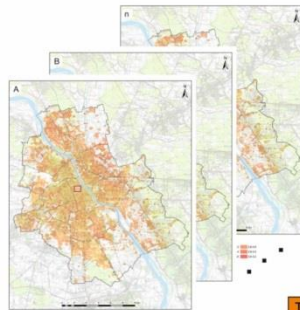
⑦

Analizy geostatystyczne



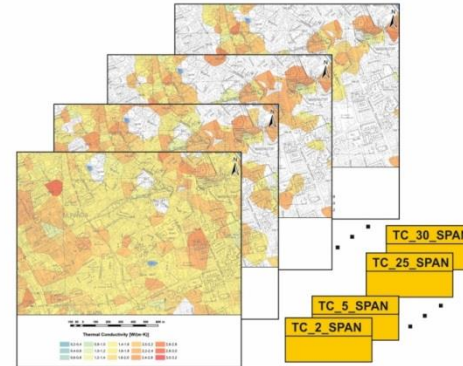
⑧

Mapy



- gis polygon spatial layers (exact thermal conductivity at given depth)
*.SHP

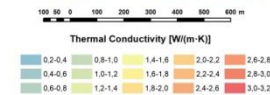
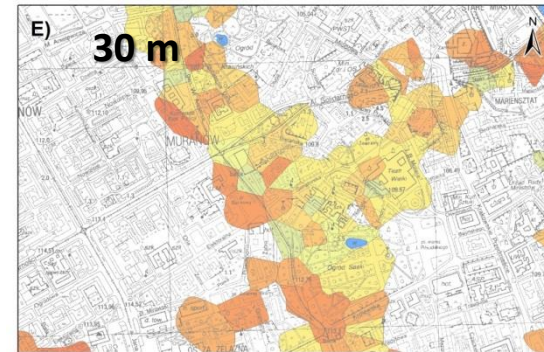
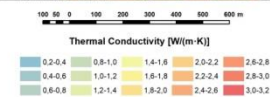
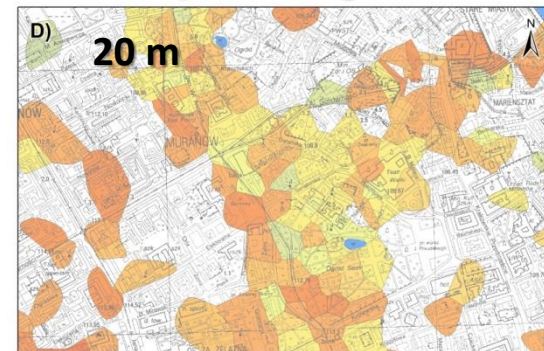
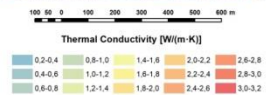
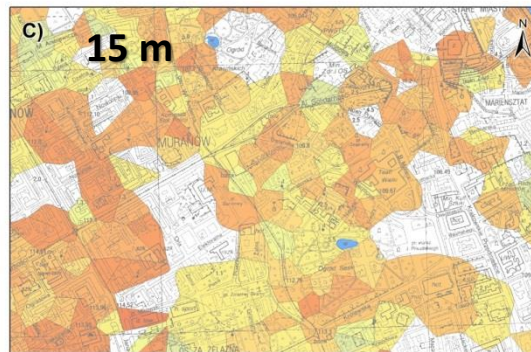
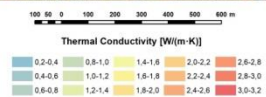
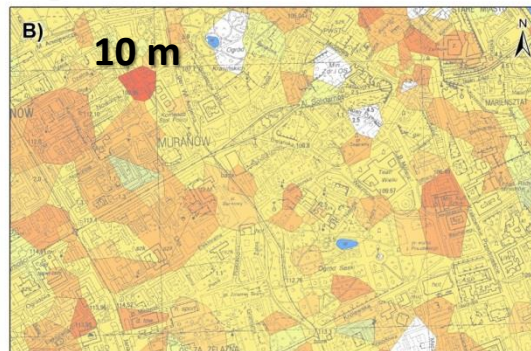
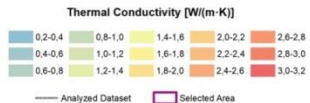
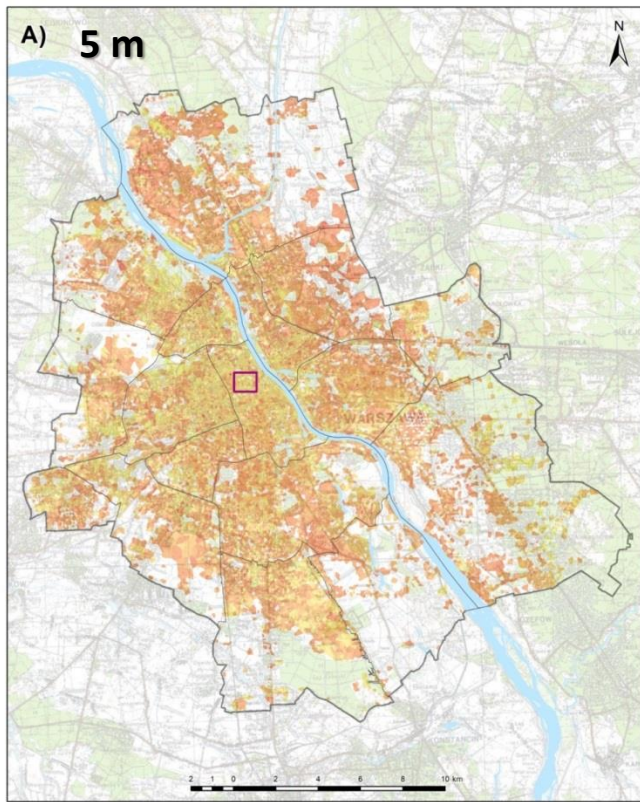
+ layout symbolisation
*.LYR



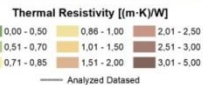
- gis polygon spatial layers (average thermal conductivity up to given depth)
*.SHP

+ layout symbolisation
*.LYR

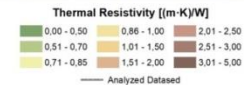
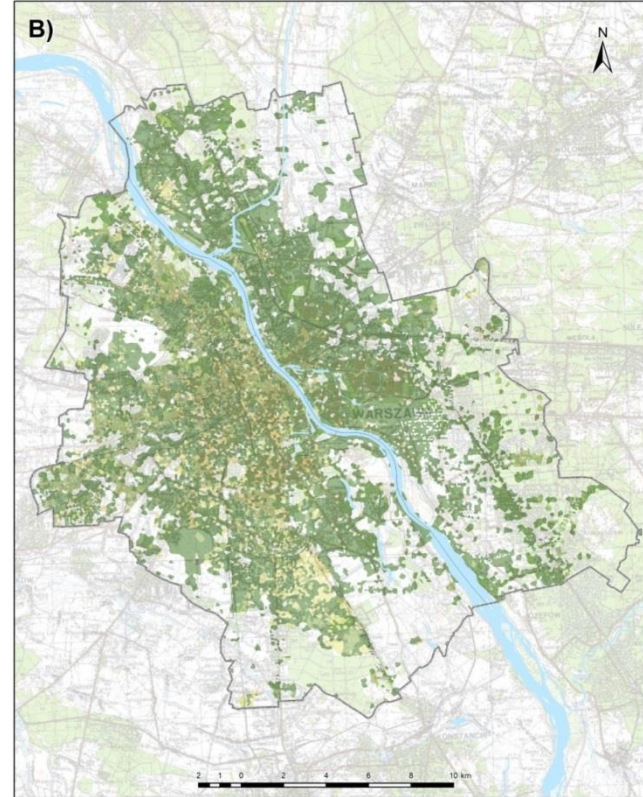
METODYKA: MAPY przewodności cieplnej



METODYKA: **MAPY** oporności cieplnej



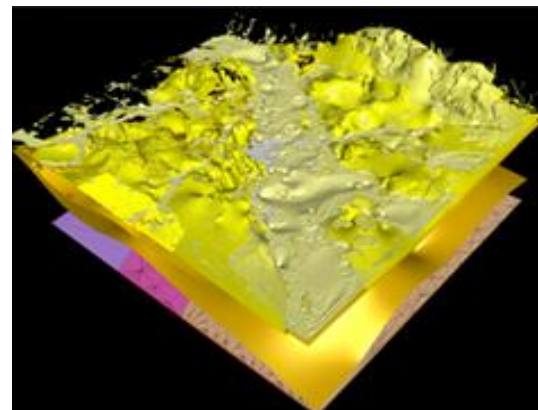
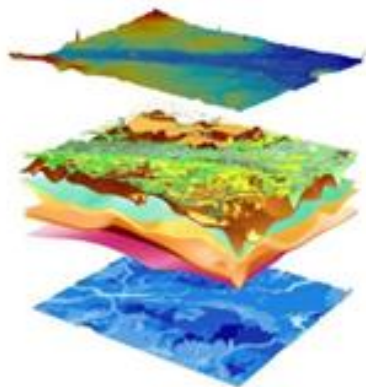
2 m



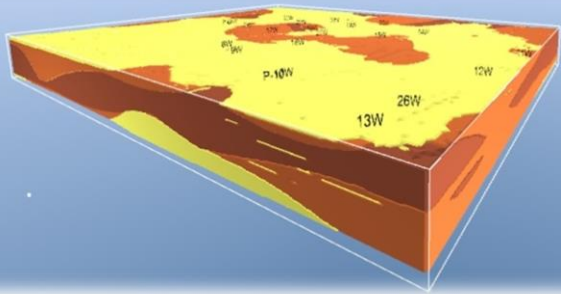
5 m

PRZYSZŁOŚĆ – WYKORZYSTANIE ISTNIEJĄCYCH MODELI

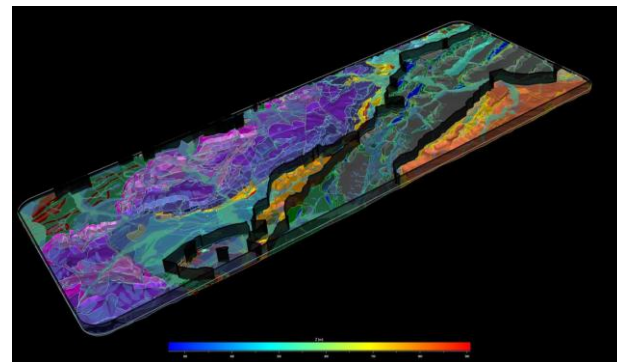
Model parametryczny



Modele geometryczne



Model wokselowy



DZIĘKUJĘ



Mateusz Żeruć

Edyta Majer

Ewa Jagoda