

# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

w badaniach

Państwowej Służby Geologicznej

**Grzegorz Pacanowski**

**Paweł Czarniak**

**Tomasz Bąk**

**Marcin Lasocki**

**Szymon Ostrowski**

**Przemysław Sobótko**

**Piotr Wilkołazki**

Forum PSG. Geofizyka inżynierska  
Warszawa, 29.03.2023

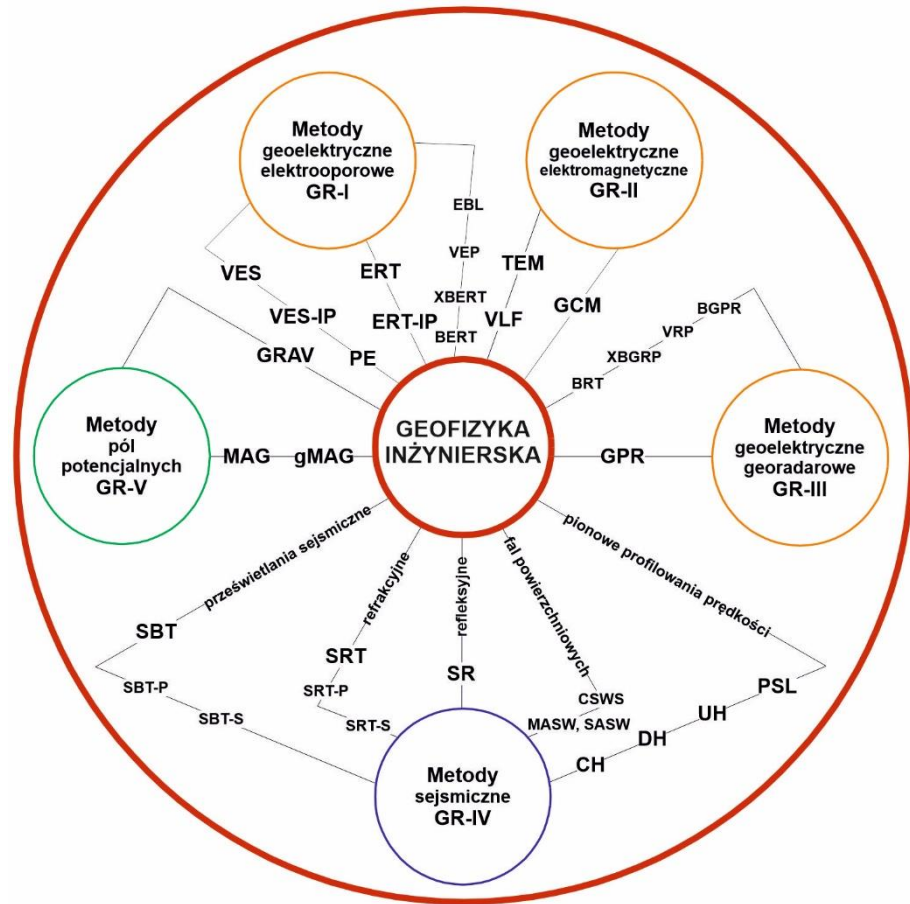


# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## Podział metod geofizyki inżynierskiej

Grupa metod	Metoda	Technika (symbol)	Technika (nazwa)	
Metody elektrooporowe GR-I	powierzchniowa	aktywna	VES	
		aktywna	VES-IP	
		aktywna	PE	
		aktywna	ERT	
	otworowa	aktywna	ERT-IP	
		aktywna	EBL	
		aktywna	VEP	
		aktywna	XBERT	
		aktywna	BERT	
		aktywna	TEM	
	Metody elektromagnetyczne GR-II	powierzchniowa	aktywna*	VLF
		powierzchniowa	aktywna	GCM
	Metody georadarowe GR-III	powierzchniowa	aktywna	GPR
			aktywna	BGPR
otworowa		aktywna	VRP	
		aktywna	XBGPR	
Metody sejsmiczne GR-IV	otworowa	aktywna	UH, UH-P, UH-S	
		aktywna	DH, DH-P, DH-S	
		aktywna	CH, CH-P, CH-S	
		aktywna	PSL	
	powierzchniowa	aktywna	SBT, SBT-P, SBT-S	
		aktywna	MASW	
		aktywna*	SASW	
		aktywna	CSWS	
		aktywna	SRP	
		aktywna	SRT, SRT-P, SRT-S	
	powierzchniowa	aktywna	SR	
		aktywna	MAG, gMAG	
		aktywna	GRAV	
		aktywna	GRAV	

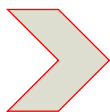
\* Podczas badania zespół wykonujący pomiar nie wzbudza energii. Źródłem energii są sztucznie indukowane pola zewnętrzne.



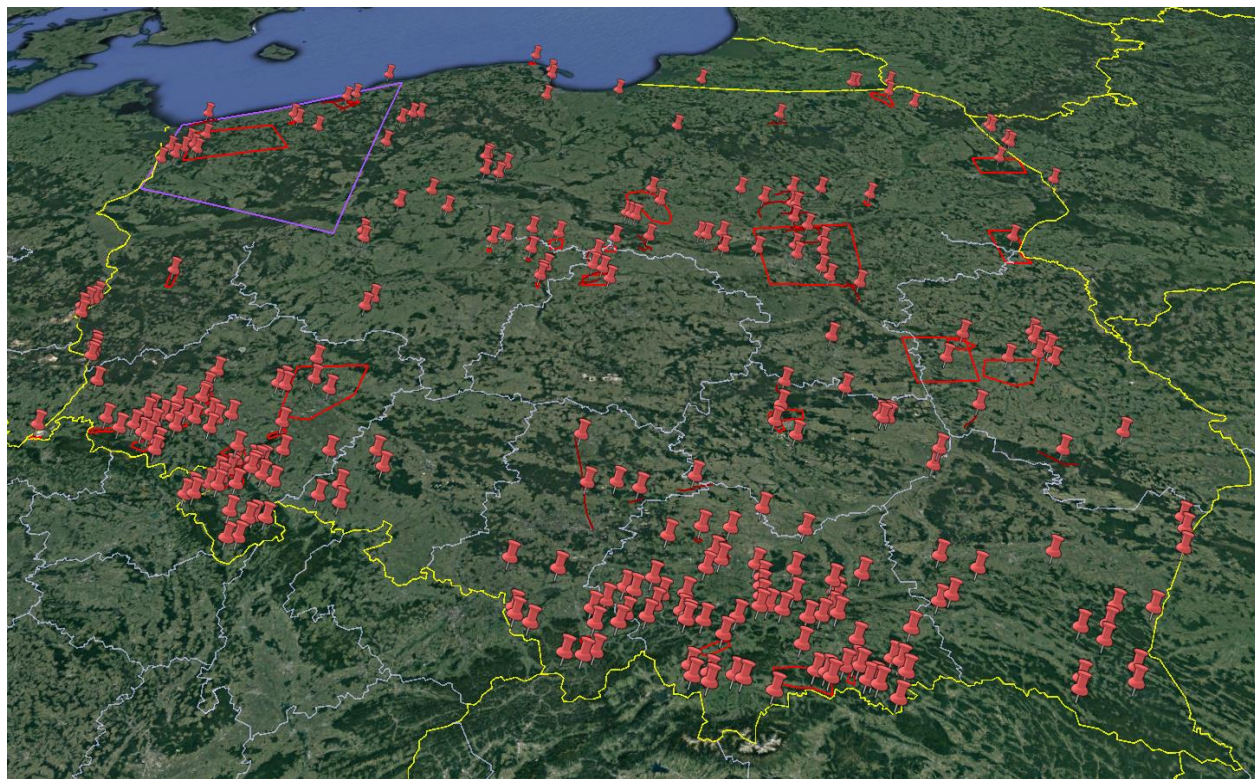


# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

Obszar badań



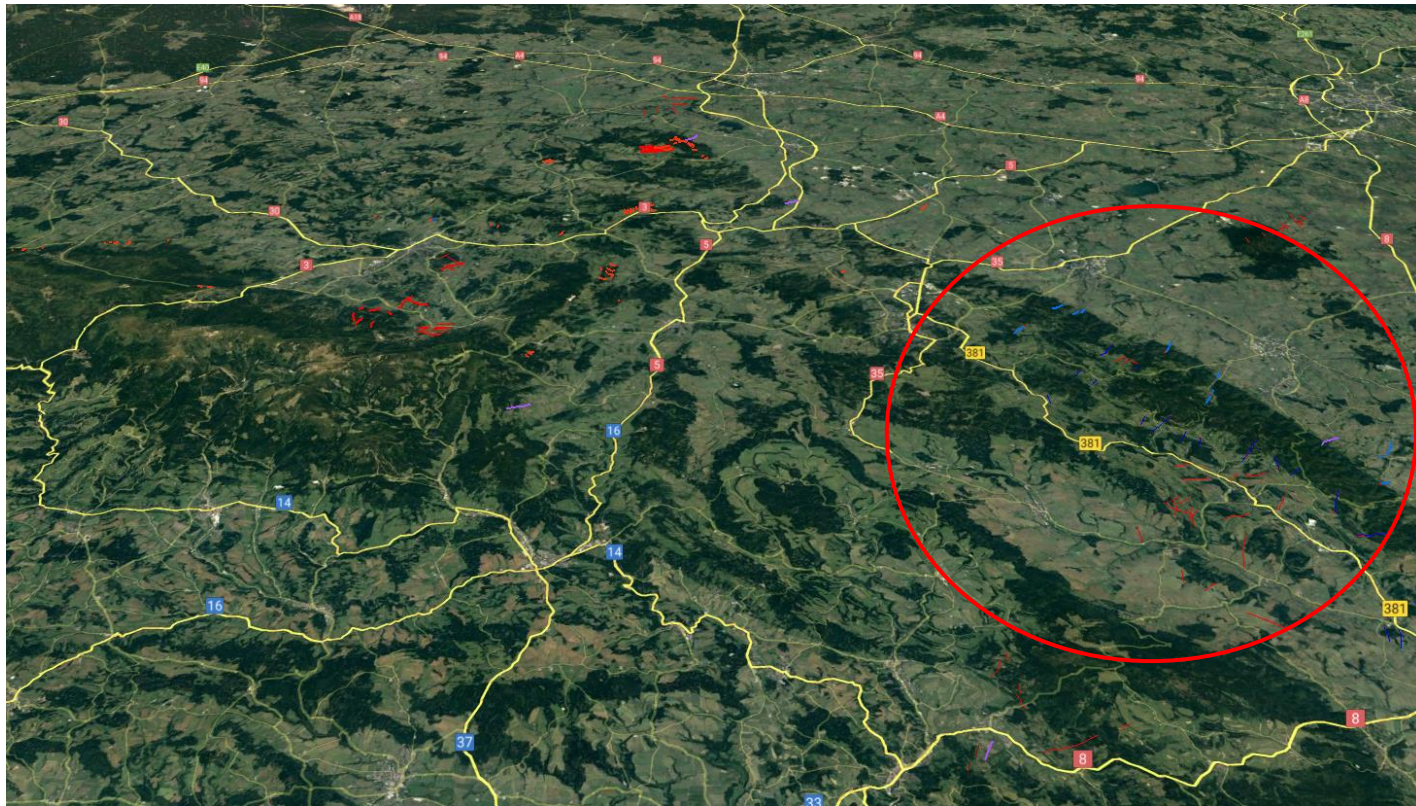
W latach 2013-2023 zrealizowano ok  
**180** opracowań geofizycznych  
z wykorzystaniem wszystkich  
wymienionych  
metod geofizycznych



Ilość projektów – lata 2021-2022	Metoda	Ilość badań [mb]	Ilość lokalizacji	Ilość ciągów
23	ERT	<b>327 264</b>	77	470

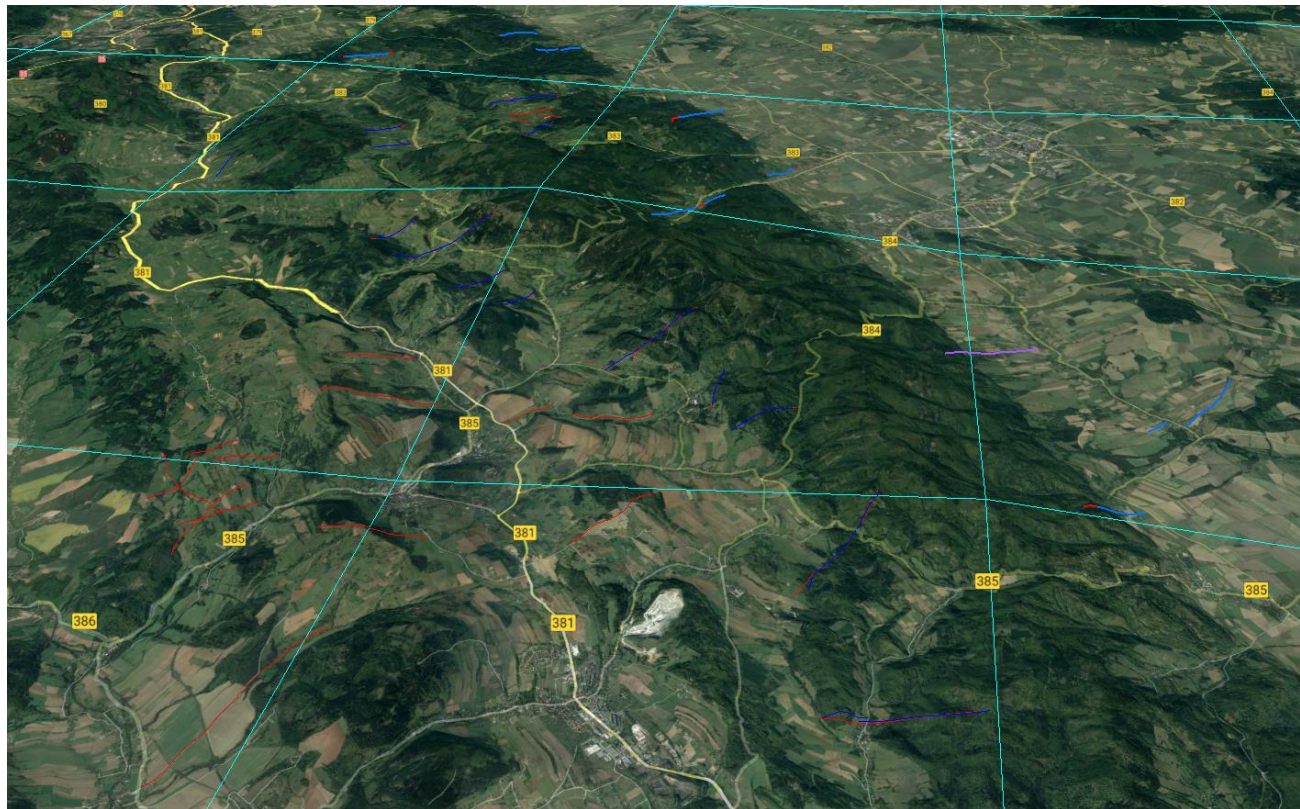
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

Obszar badań



# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

Obszar badań



# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

Badania wykorzystywane w:

KARTOGRAFII GEOLOGICZNEJ

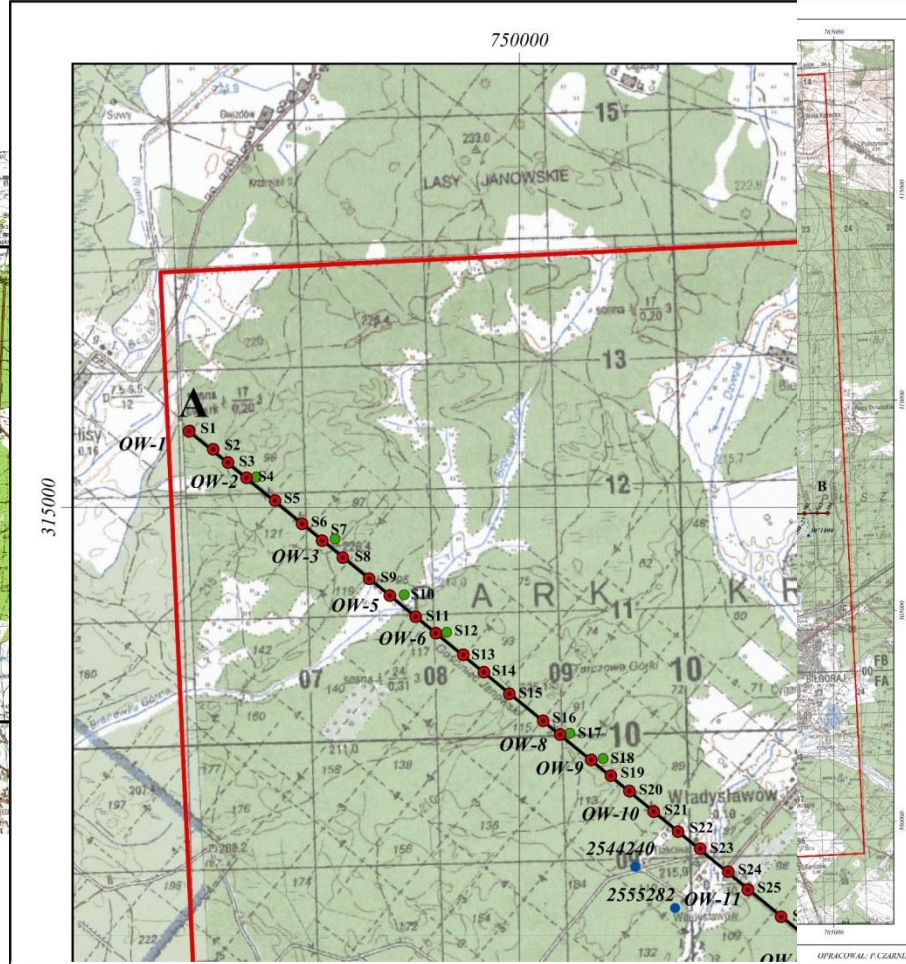
HYDROGEOLOGII

GEOZAGROŻENIACH

GEOLOGII ZŁOŻOWEJ

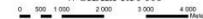
GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ

GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ



### MAPA DOKUMENTACYJNA WYKONANYCH BADAŃ GEOELEKTRYCZNYCH NA ARK. 822 BIŁGORAJ

W SKALI 1:50 000



#### OBJAŚNIENIA

- SONDOWANIE GEOELEKTRYCZNE
- CIĄG SONDAWAŃ GEOELEKTRYCZNYCH
- LOKALIZACJA OTWORU KARTOGRAFICZNEGO WYKONANEGO W RAMACH REAMBULACJI ARKUSZA
- LOKALIZACJA SONDY MECHANICZNEJ WYKONANEJ W RAMACH REAMBULACJI ARKUSZA
- LOKALIZACJA ARCHIWALNEGO OTWORU HYDROGEOLOGICZNEGO ZLOKALIZOWANEGO W POKRĘCZU CIĄGI GEOFIZYCZNEGO. (NUMERACJA WEDŁUG CBDII)
- GRANICA ARKUSZA 822 BIŁGORAJ



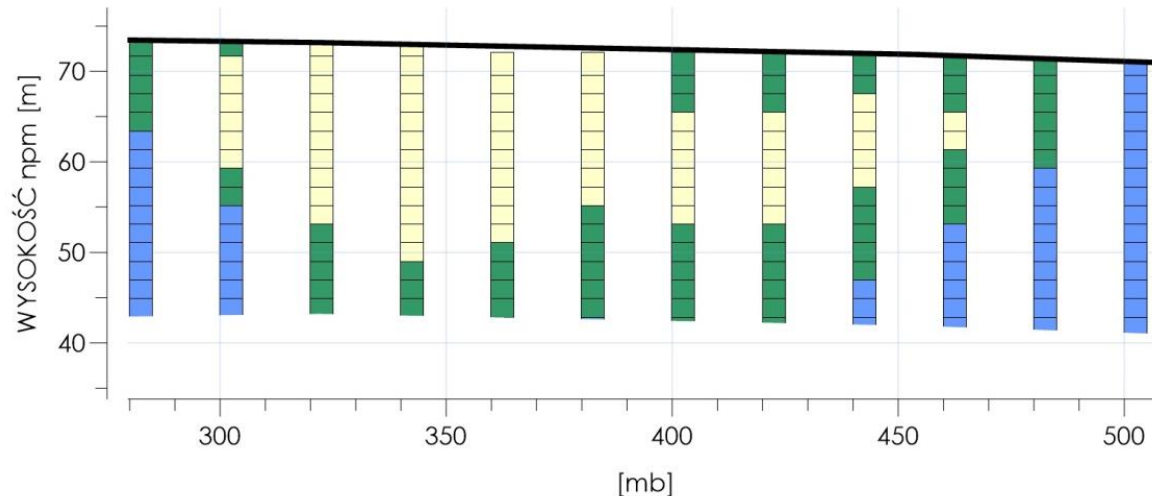
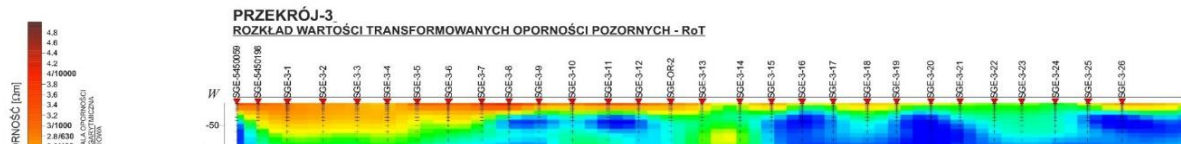
Reambulacja 25 arkuszy  
Szczegółowej mapy geologicznej Polski  
w skali 1:50 000

OPRACOWAŁ: F. CZARNIK

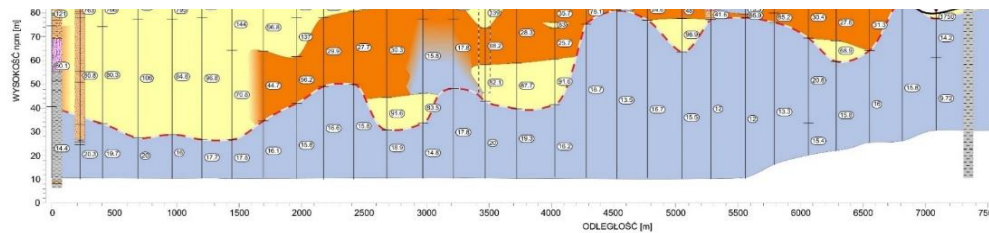
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## KARTOGRAFIA GEOLOGICZNA

X, Y, H, Ro, SLI



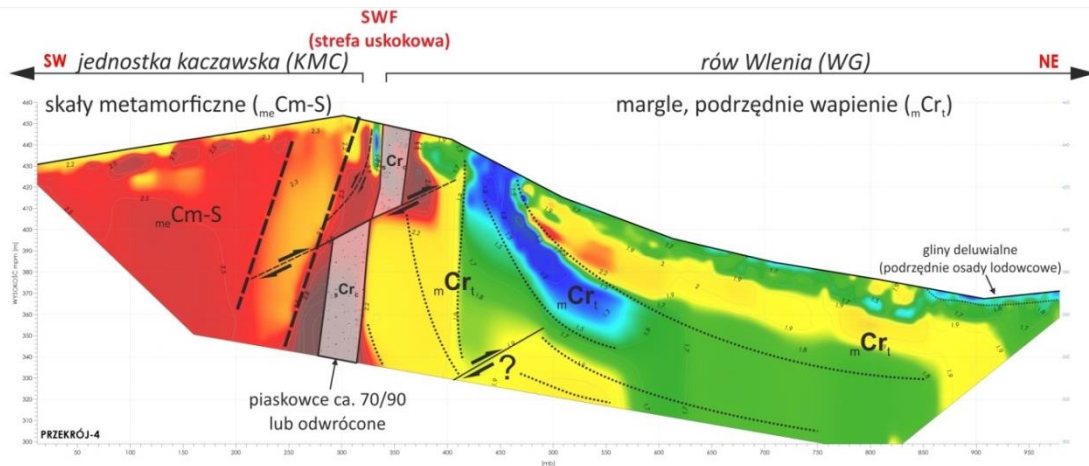
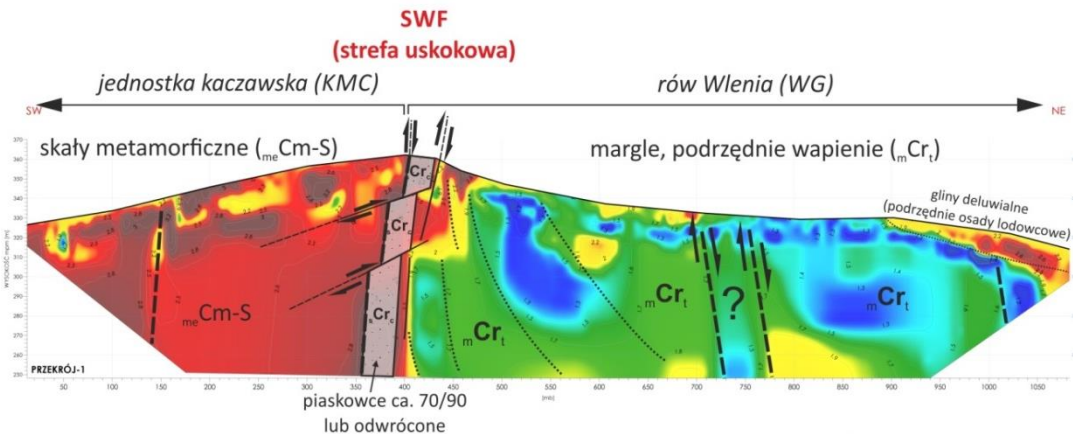
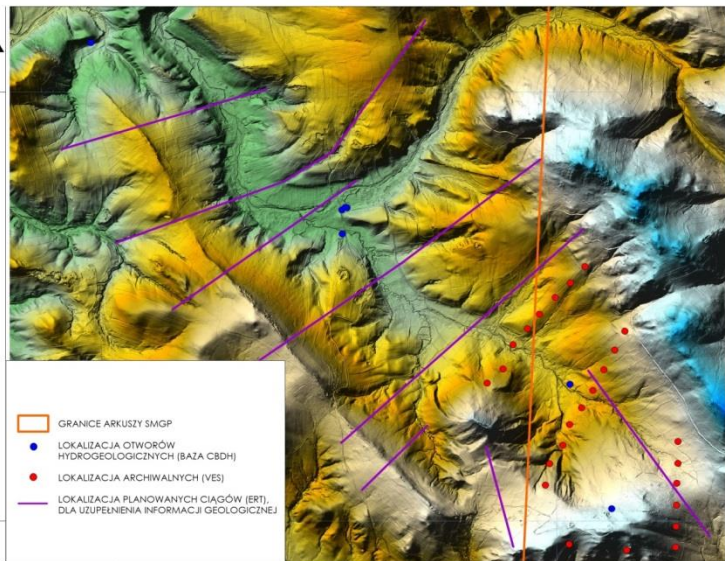
- KOMPLEX PIASCZYSTY  
ZAPRY PIASKI, ROZNEJ  
FRAKCJE PIASKO-GILWASTE
- GLINY GLINY PIASCZYSTE,  
GLINY ILASTE
- RY
- PRZEBIEG STROPU  
UTWORÓW TRZECIORZĘDOWYCH



[guidelinegeo.com](http://guidelinegeo.com)

# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

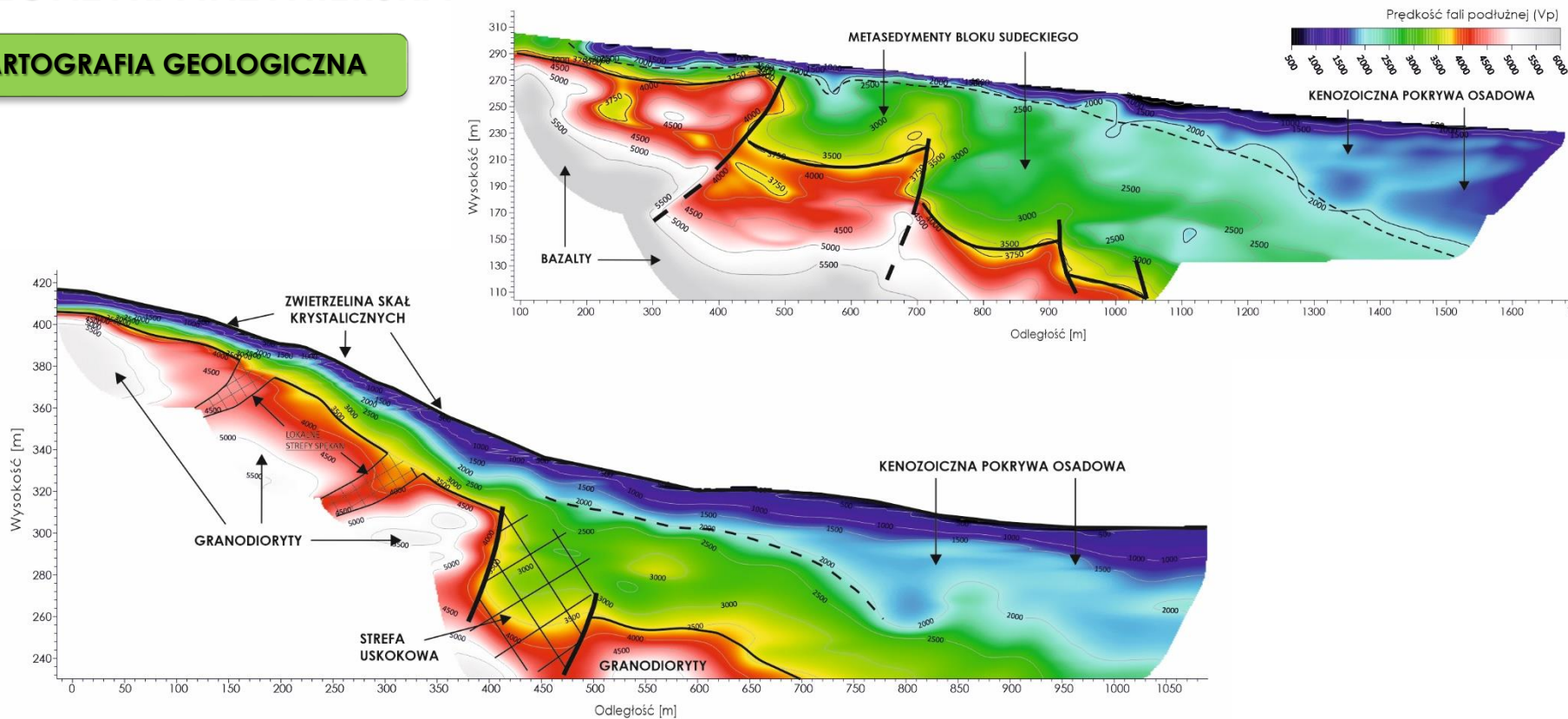
## KARTOGRAFIA GEOLOGICZNA



Interpretacja wg. A. Kowalski, 2021 PIG-PIB

# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

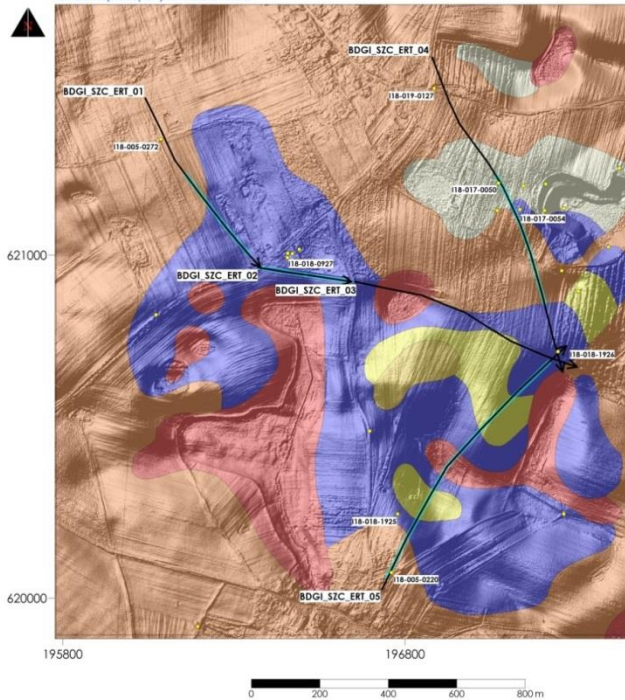
## KARTOGRAFIA GEOLOGICZNA



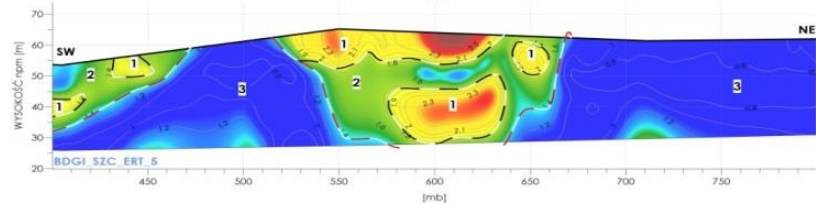
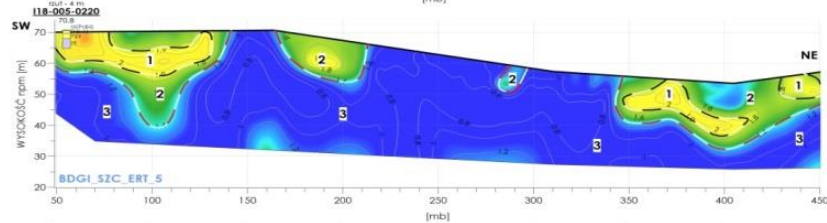
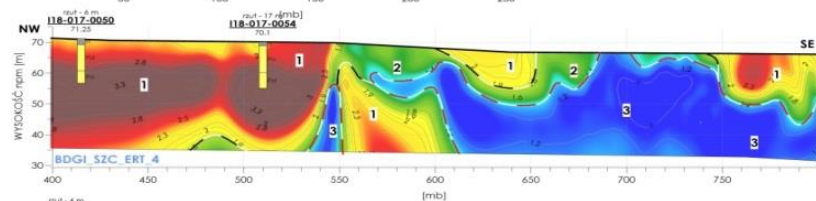
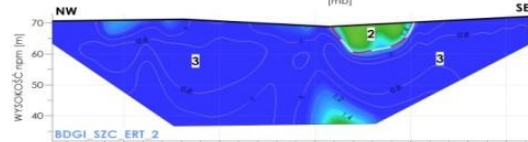
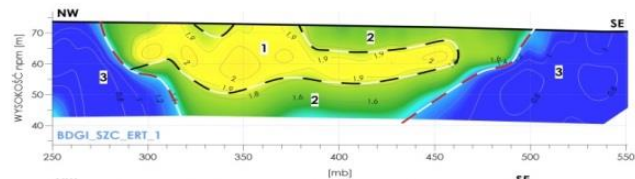
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## KARTOGRAFIA GEOLOGICZNA

układ współrzędnych PUGW 1992

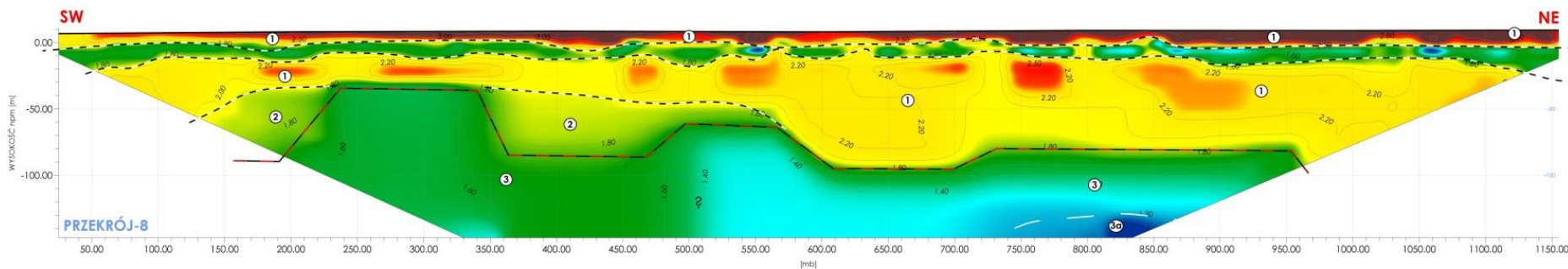
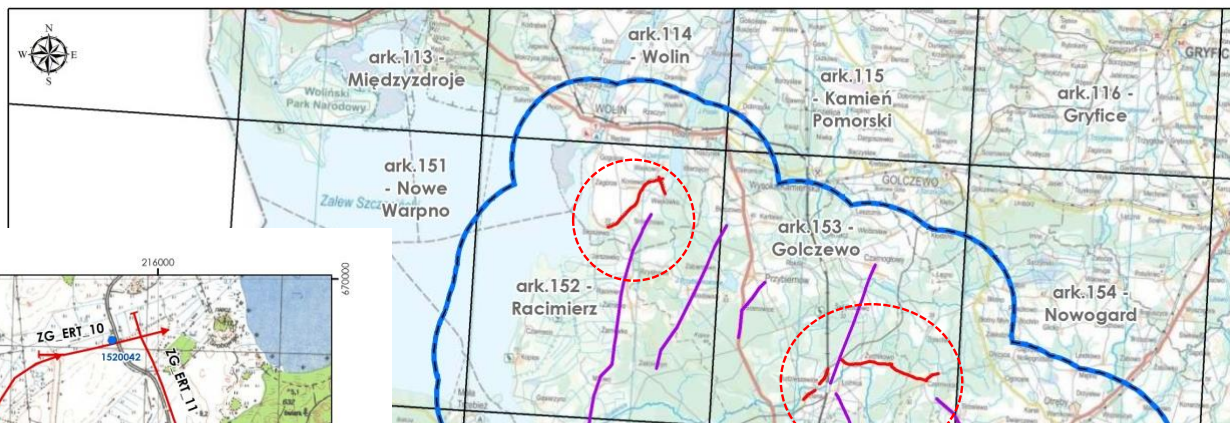


- grunty organiczne
- gliny zwalowe
- piaski i żwiry wodnolodowcowe
- piaski zastoiskowe
- ily septariowe oligocenu
- piaski oligocenu
- piaski miocenu
- PRZEBIEG I NR PROFILU ERT
- LOKALIZACJA OTWORU ARCHIWALNEGO

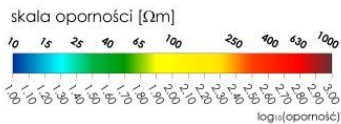


# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## HYDROGEOLOGIA



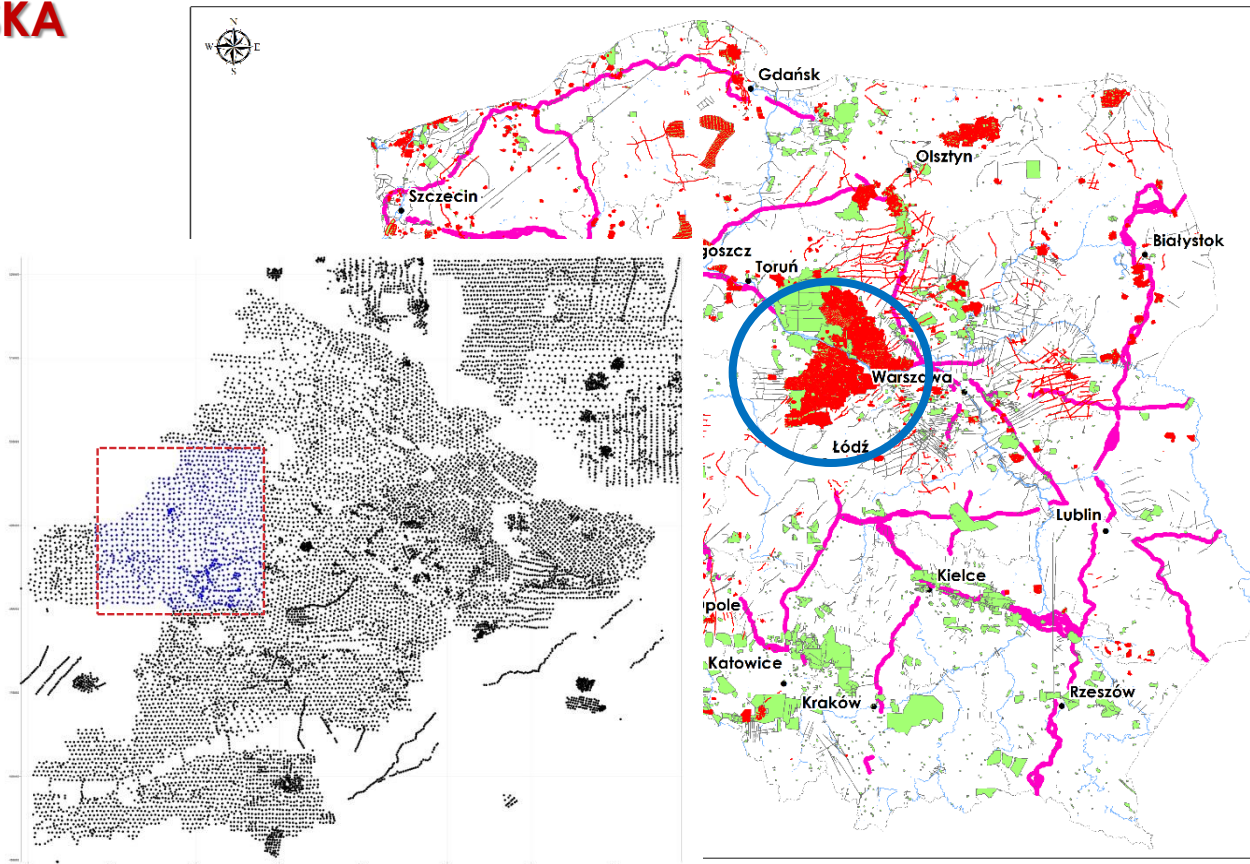
- ① - utwory przepuszczalne (Q - piaski, piaski i żwiry)
- ② - utwory słaboprzepuszczalne (Q - iły, gliny, pylły)
- ③ - utwory podzwartorzędowe
- ③a - utwory podzwartorzędowe silnie zmineralizowane



# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

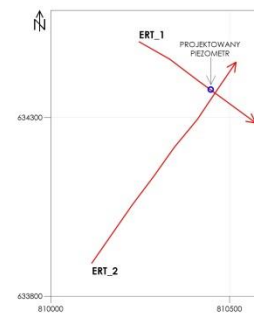
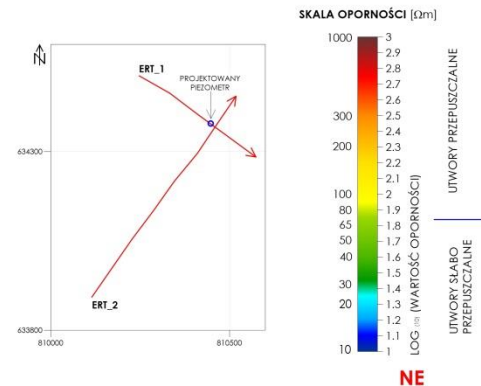
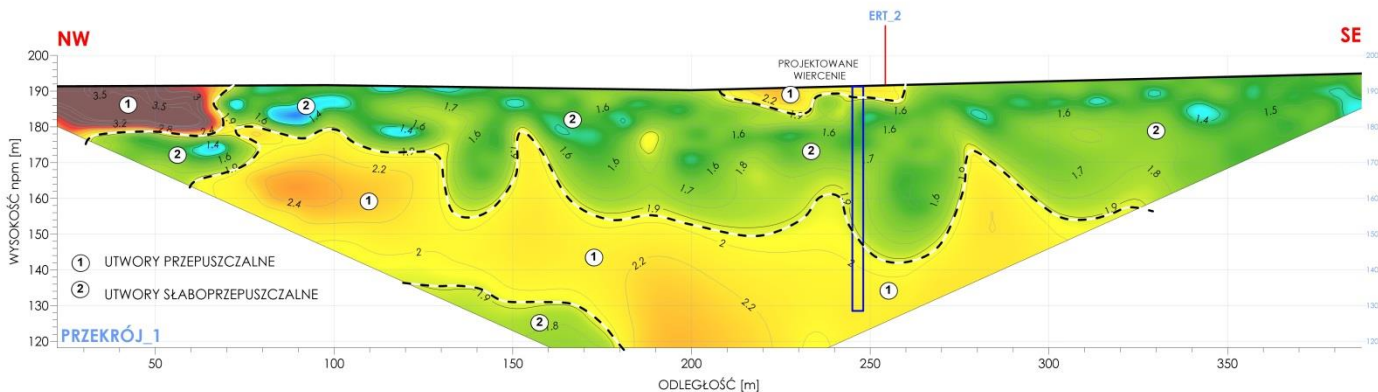
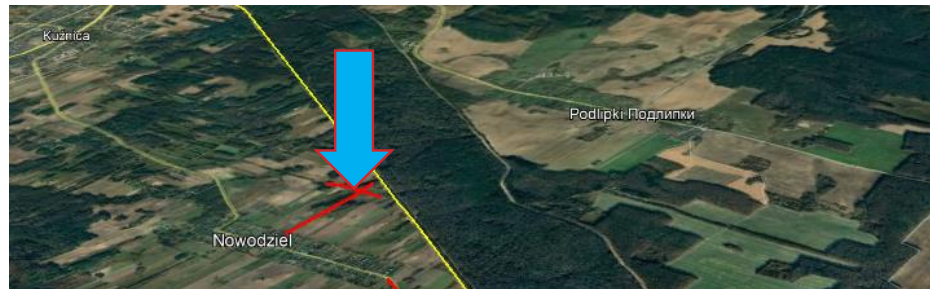
## HYDROGEOLOGIA

Wykorzystanie archiwalnych danych geofizycznych VES i ERT

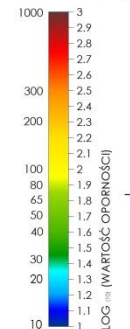


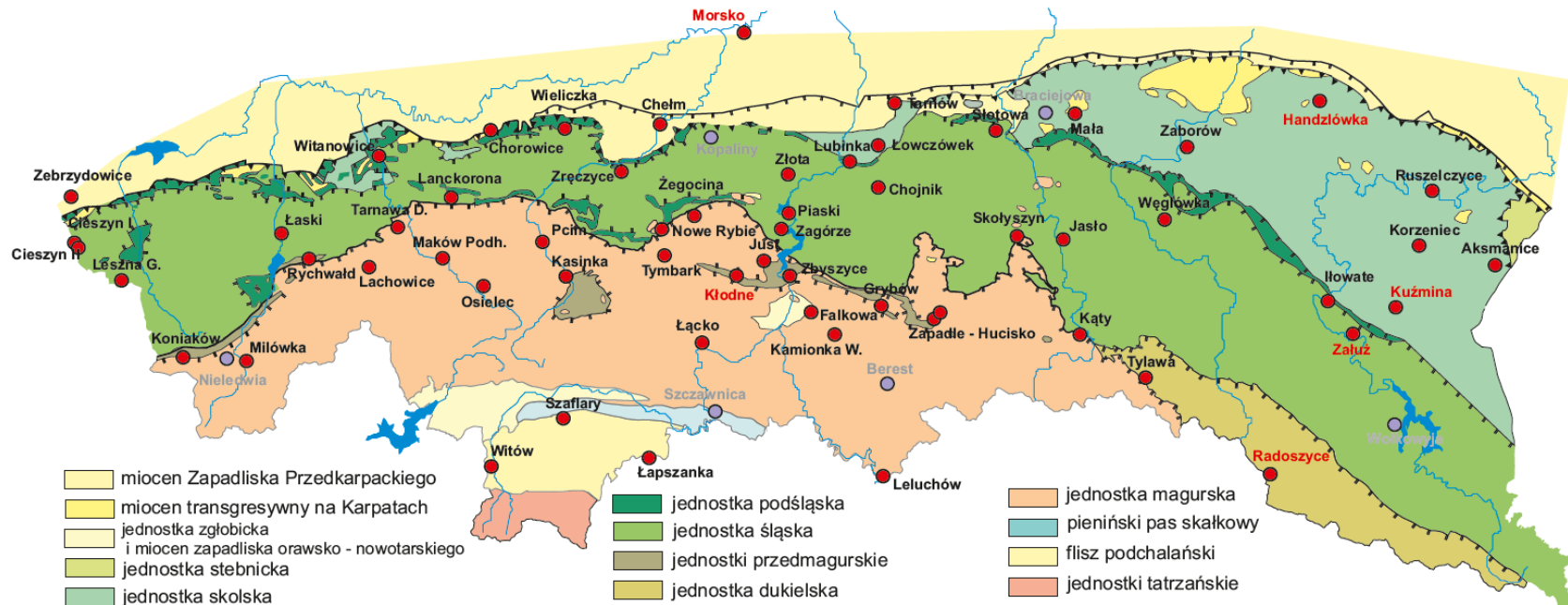
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## HYDROGEOLOGIA



SKALA OPORNOŚCI [Ωm]





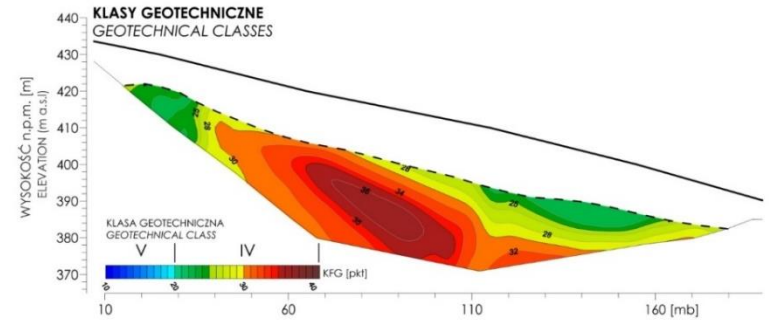
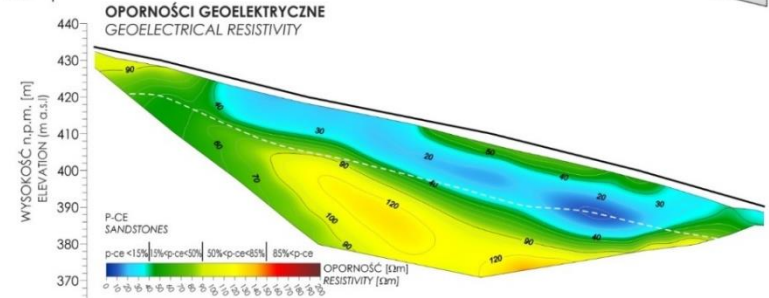
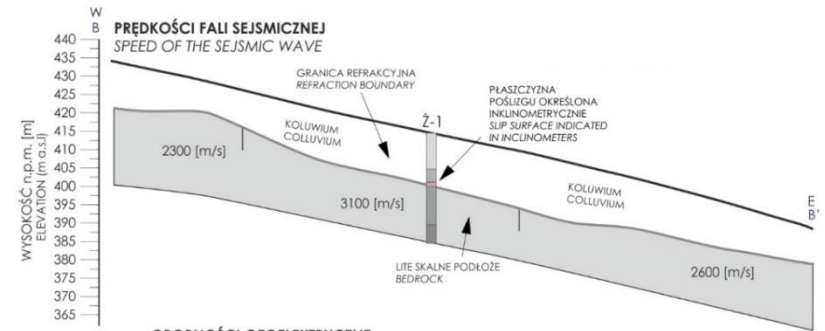
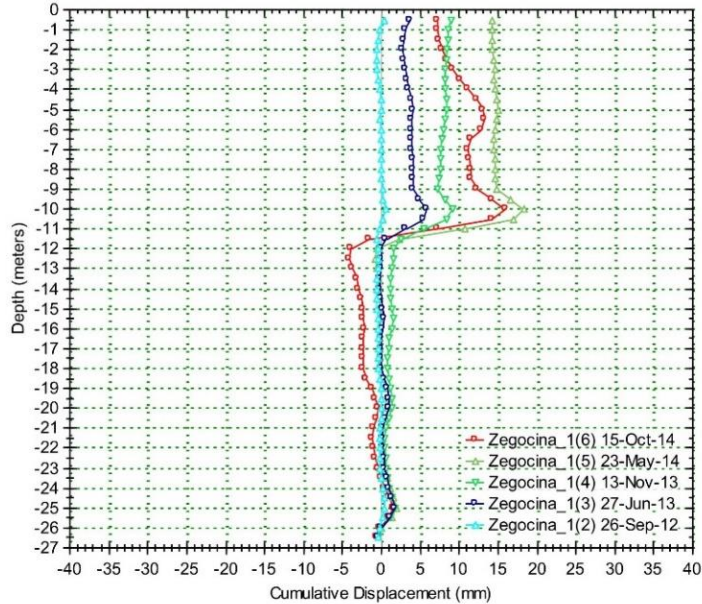
**Barłomiej Warmuz , Piotr Nescieruk**

Przegląd Geologiczny, vol. 67, nr 5, 2019;

doi: <http://dx.doi.org/10.7306/2019.26>

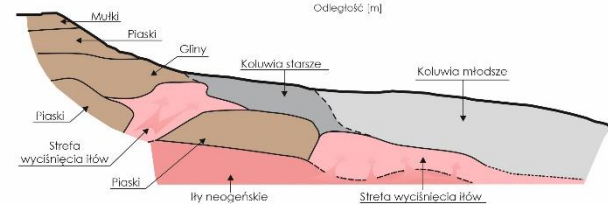
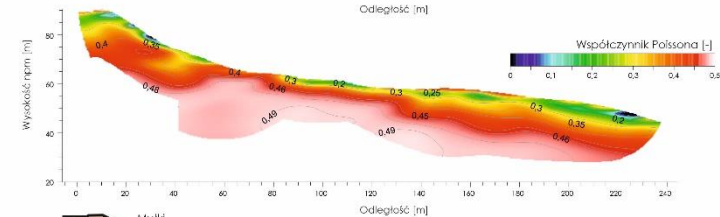
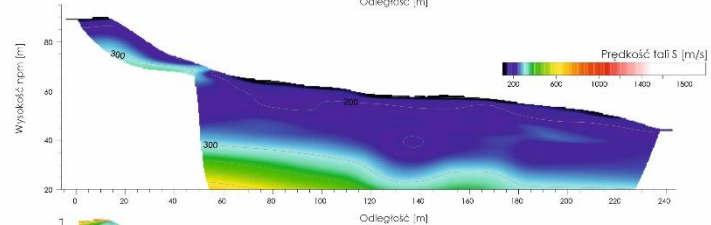
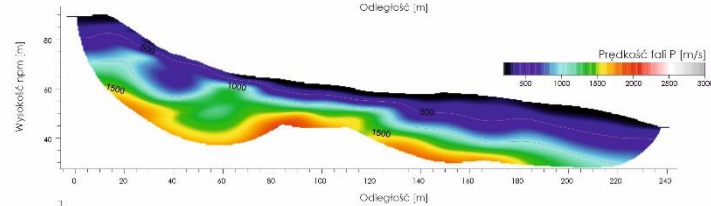
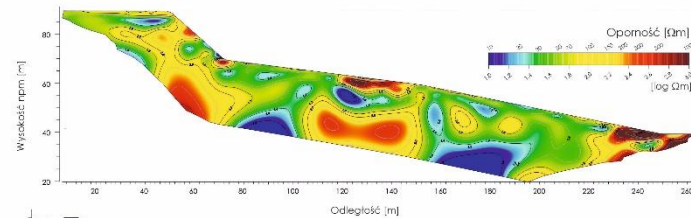
### ŻEGOCINA-1

Axis - A



# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

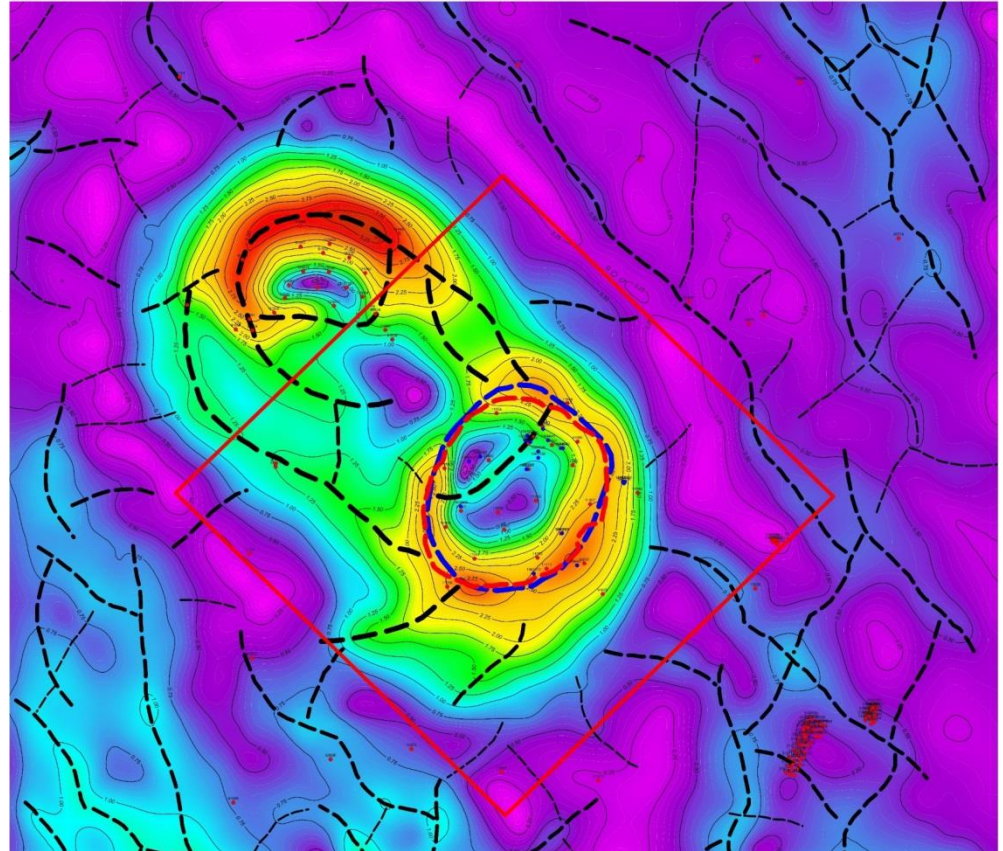
## GEOZAGROŻENIA



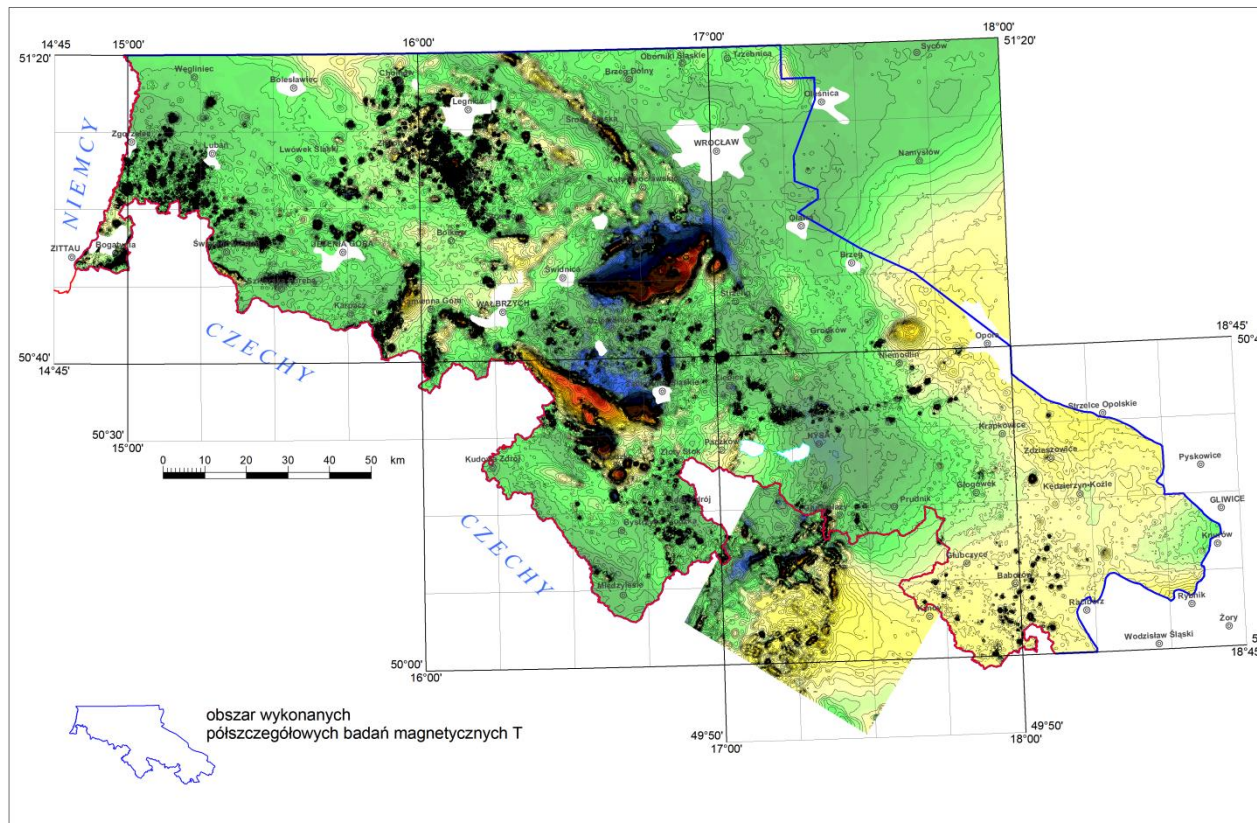
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOZAGROŻENIA

MONITORING GEODYNAMICZNY W ZAKRESIE INTERFEROMETRII  
SATELITARNEJ PASA WYSADÓW SOLNYCH W POLSCE ORAZ  
PRÓBA OKREŚLENIA RUCHLIWOŚCI SOLI W CZWARTORZĘDZIE  
Z WYKORZYSTANIEM TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ I TECHNIK  
MODELOWANIA 3D



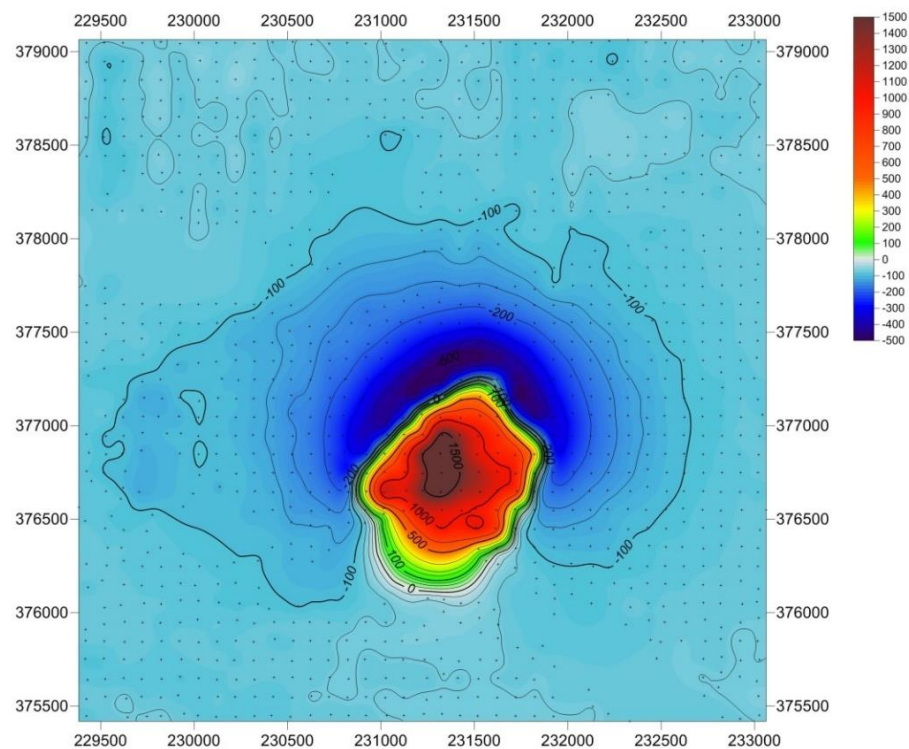
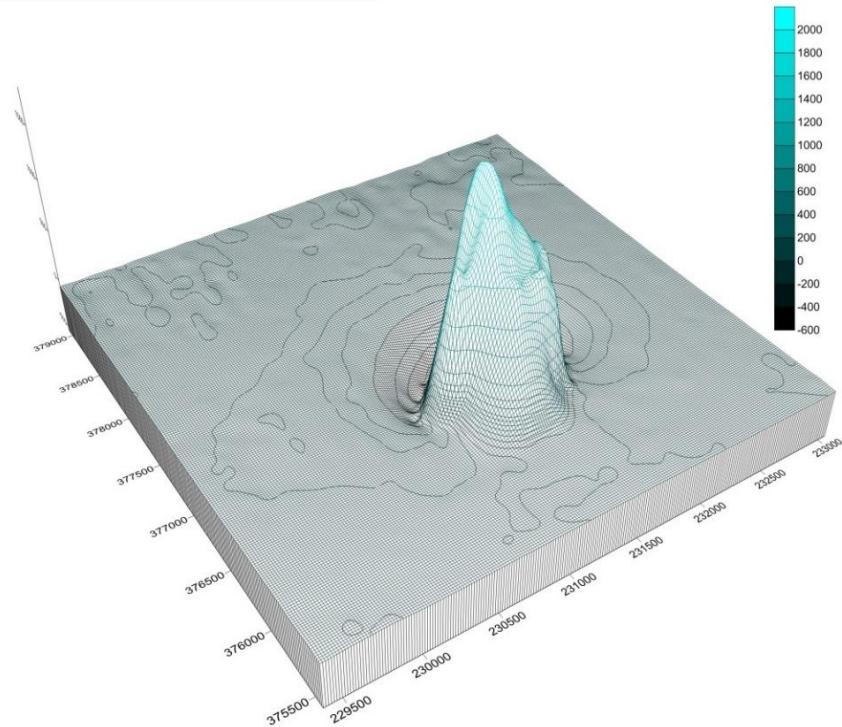
Interpretacja wg. M. Musiałewicz 2018 PIG-PIB



Mapa anomalii magnetycznych  $\Delta T$

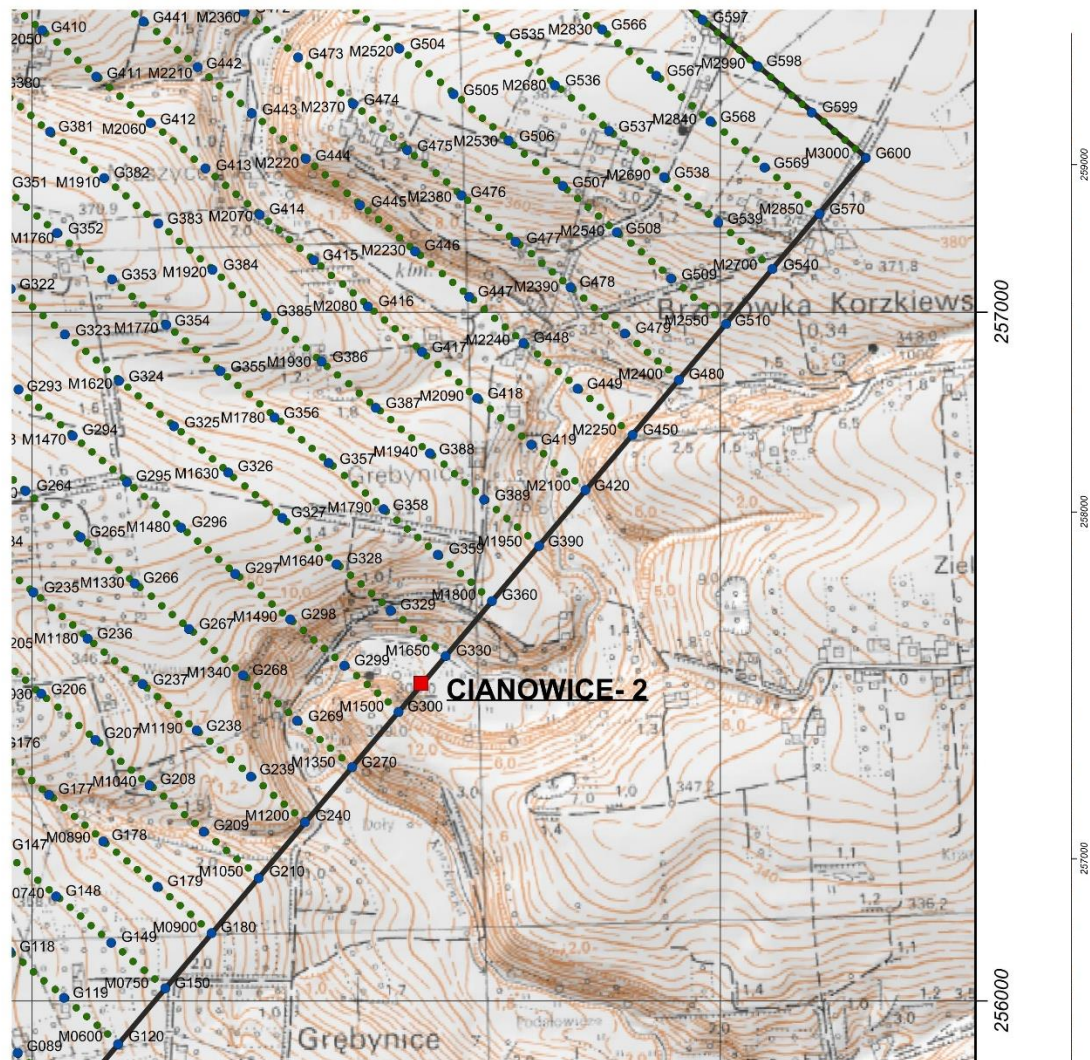
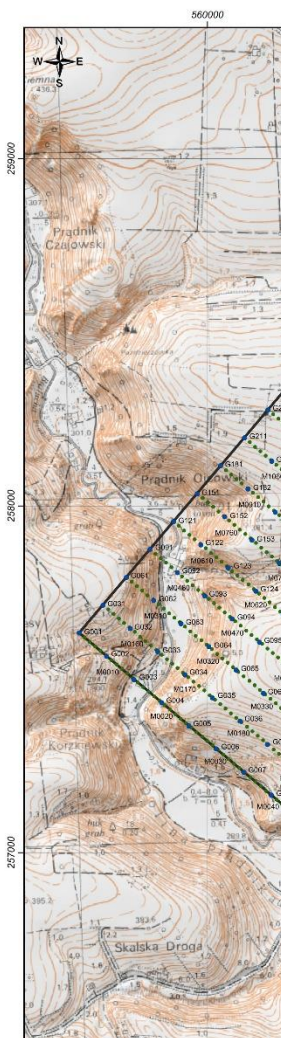
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOLOGIA ŻŁOŻOWA



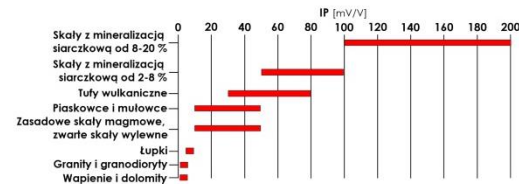
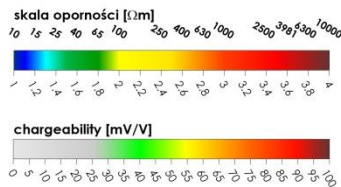
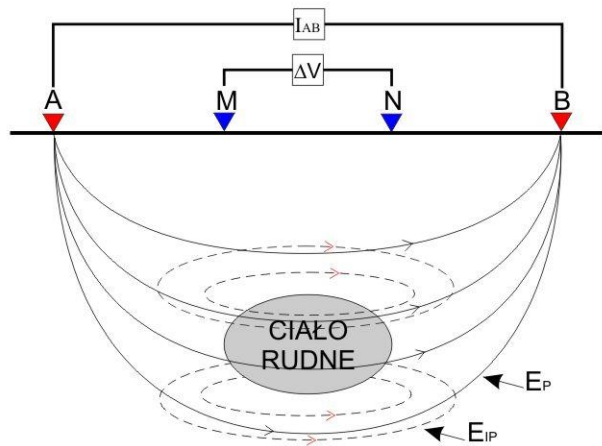
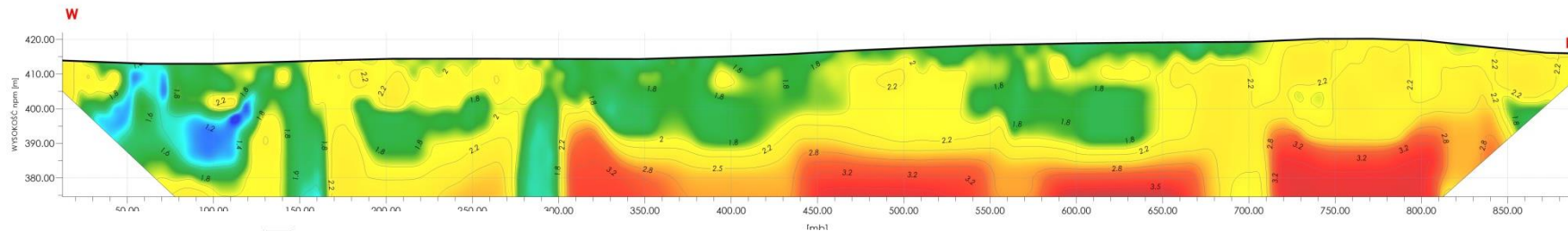
# GEOFIZYKA INŻ

## GEOLOGIA ŻŁOŻOWA



# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOLOGIA ŻŁOŻOWA



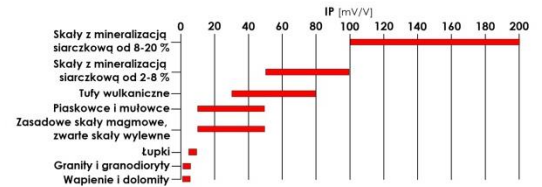
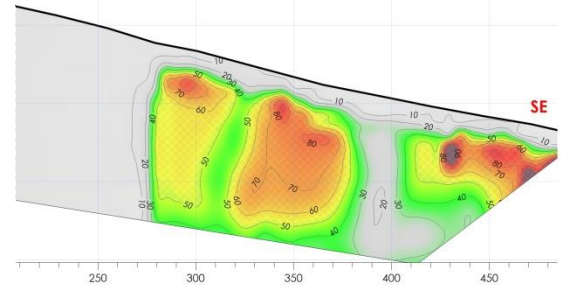
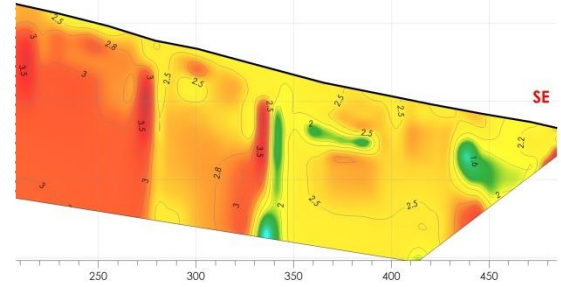
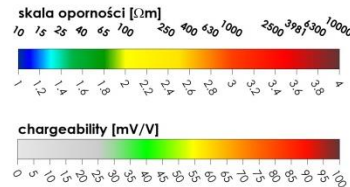
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOLOGIA ŻŁOŻOWA

Przykład mineralizacji siarczkowej potwierdzonej wierceniem w miejscu wytypowanym metodą ERT+IP  
Góry Kaczawskie

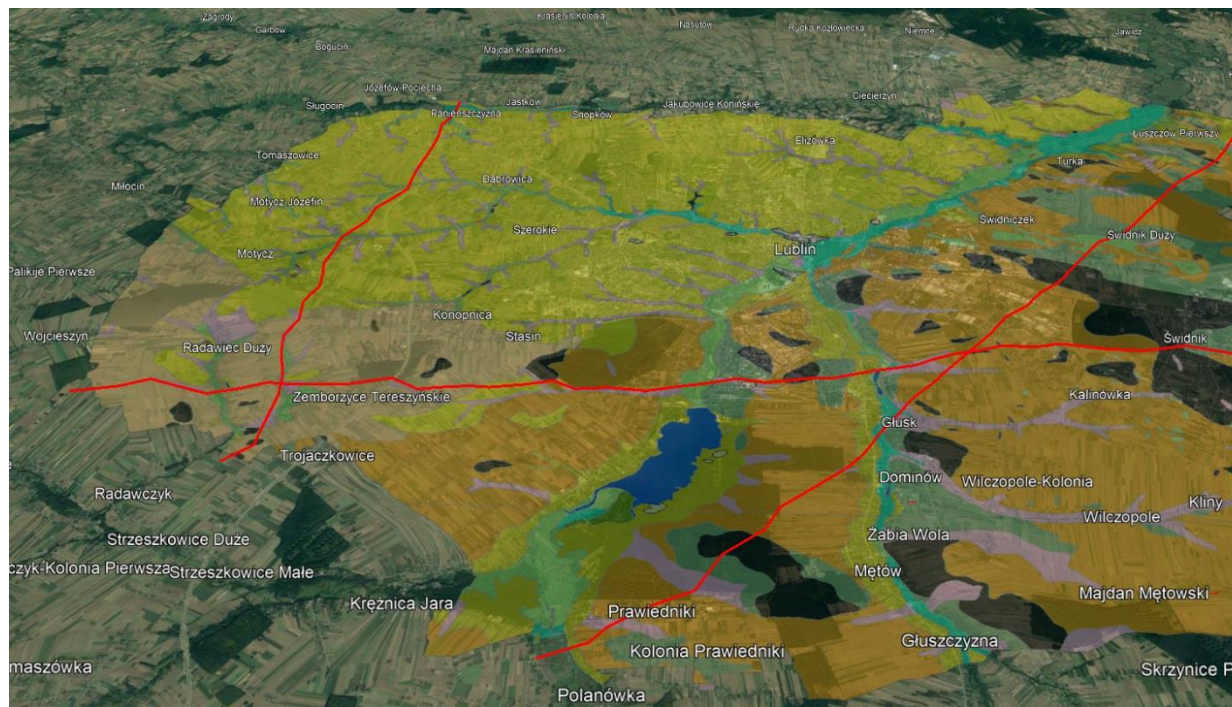


Fot. S. Mazurek PIG-PIB



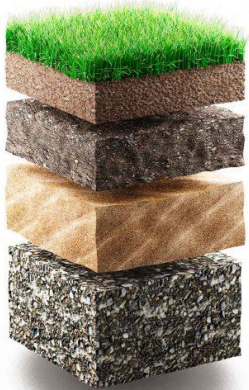
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOLOGIA INŻYNIERSKA

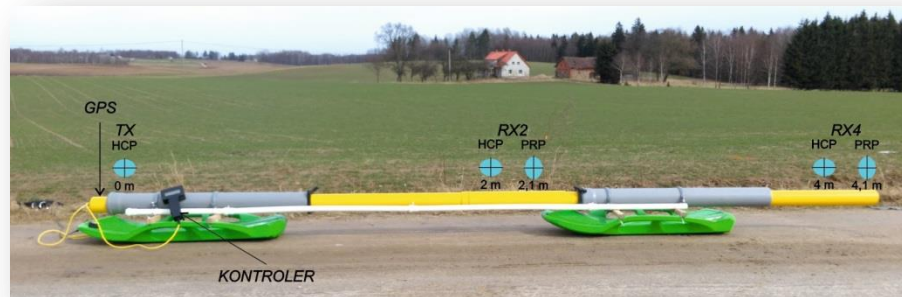


# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

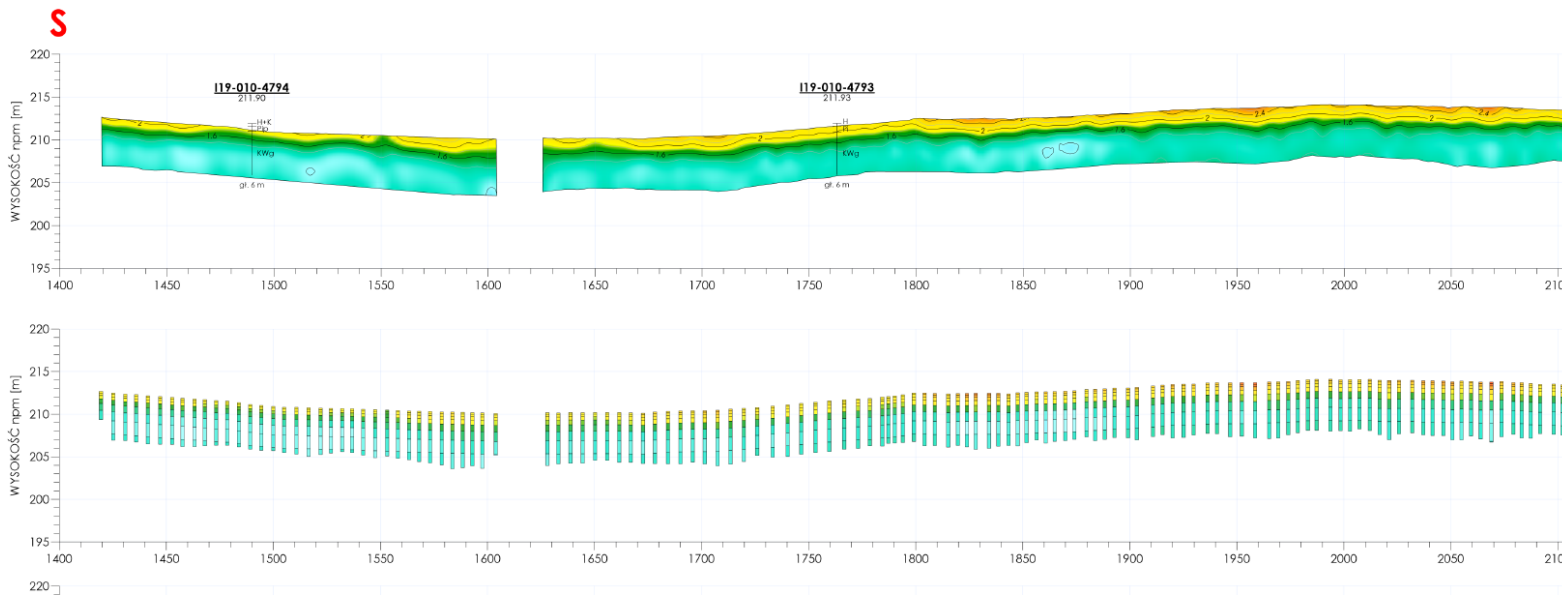
## GEOLOGIA INŻYNIERSKA



[guidelinegeo.com](http://guidelinegeo.com)



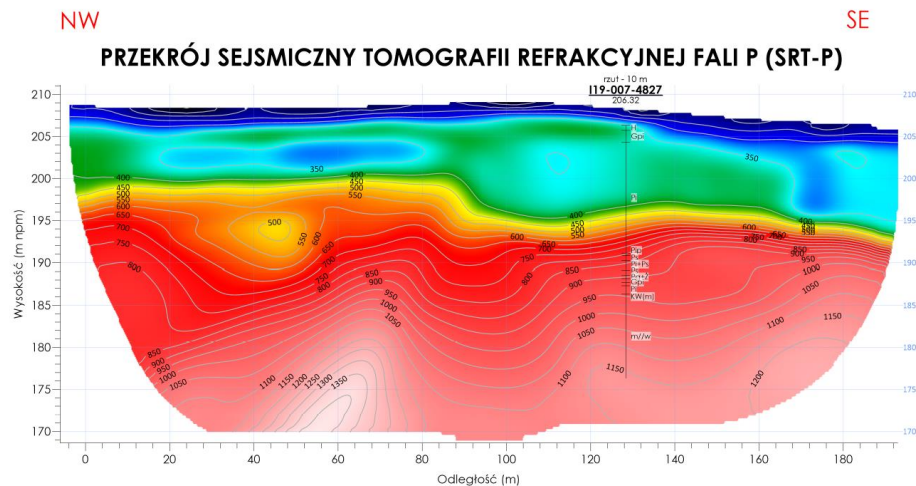
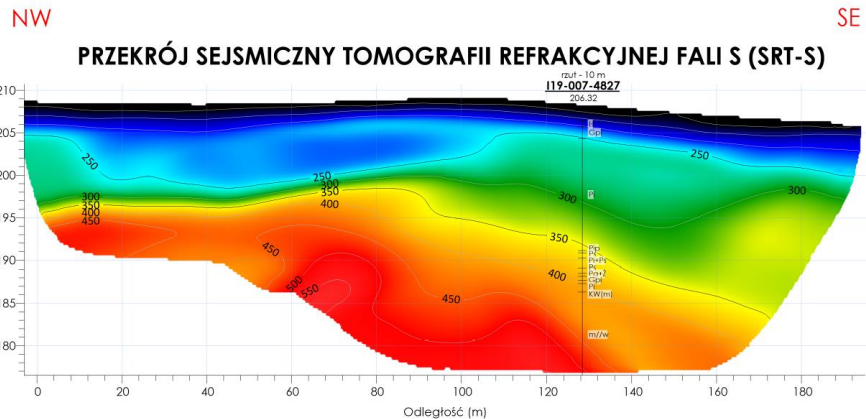
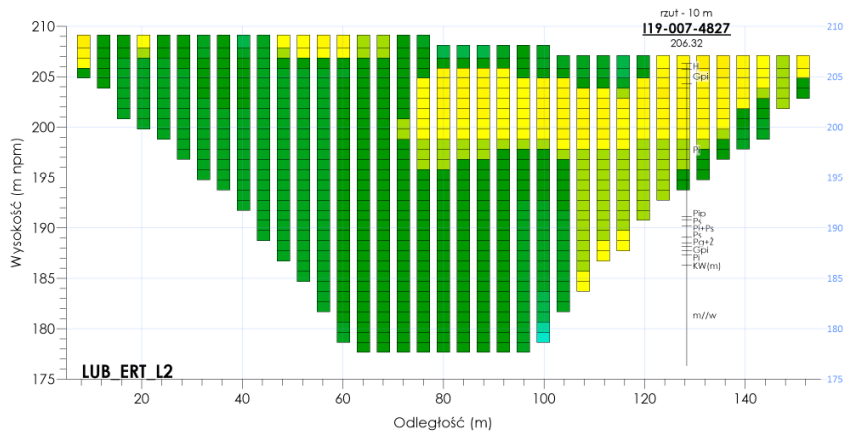
### PRZEKRÓJ GEOELEKTRYCZNY A-B





# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

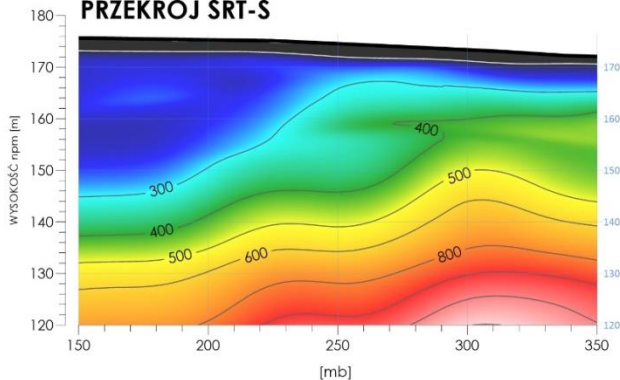
## GEOLOGIA INŻYNIERSKA



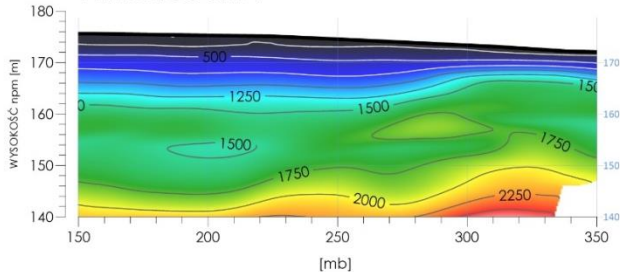
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOLOGIA INŻYNIERSKA

### PRZEKRÓJ SRT-S

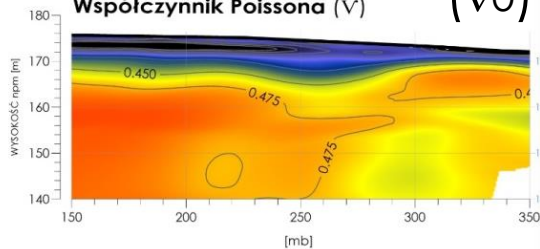


### PRZEKRÓJ SRT-P



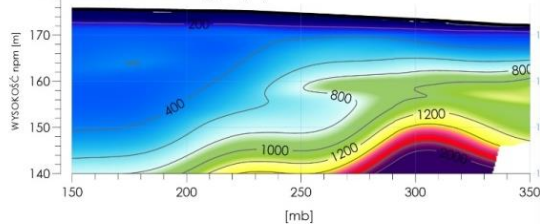
### Współczynnik Poissona ( $\nu$ )

( $\nu_0$ )



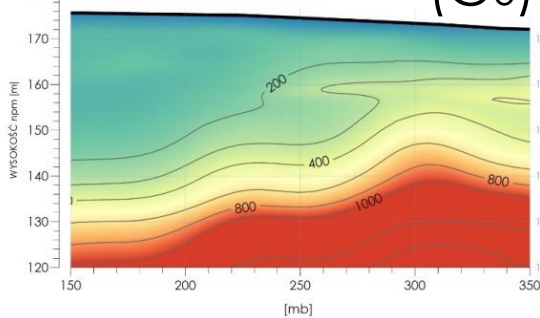
### Moduł Younga (E)

( $E_0$ )



### Moduł ścinania ( $G_0$ )

( $G_0$ )





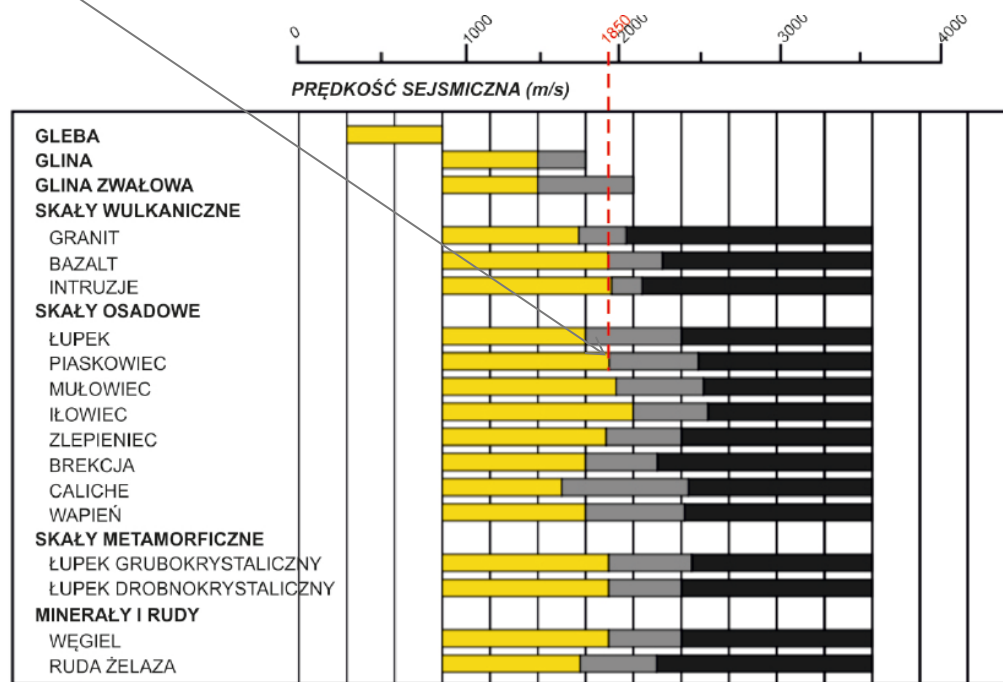
Badania wykazały, iż tego typu klasyfikacje nie mogą mieć charakteru uniwersalnego, gdyż podatność na urabianie zależy nie tylko od rodzaju skały, ale również od stopnia zwietrzenia i spękania.

**Graniczne wartości prędkości** rozchodzenia się fal sejsmicznych w skałach, związane z ich urabialnością, mieszczą się w dość dużych przedziałach.

Stosowanie takich klasyfikacji powinno być celowe, jednak należy opracować je indywidualnie dla każdego przypadku.

Klasyfikacja oparta na wartościach prędkości fal sejsmicznych powinna być uzupełniona analizą stopnia zwietrzenia i spękania skał.

## GRANICZNA WARTOŚĆ DLA PIASKOWCÓW DLA KTÓRYCH SĄ ONE URABIALNE



Skala urabialności skał według firmy Caterpillar (źródło: [CATERPILLAR, 2000](#))

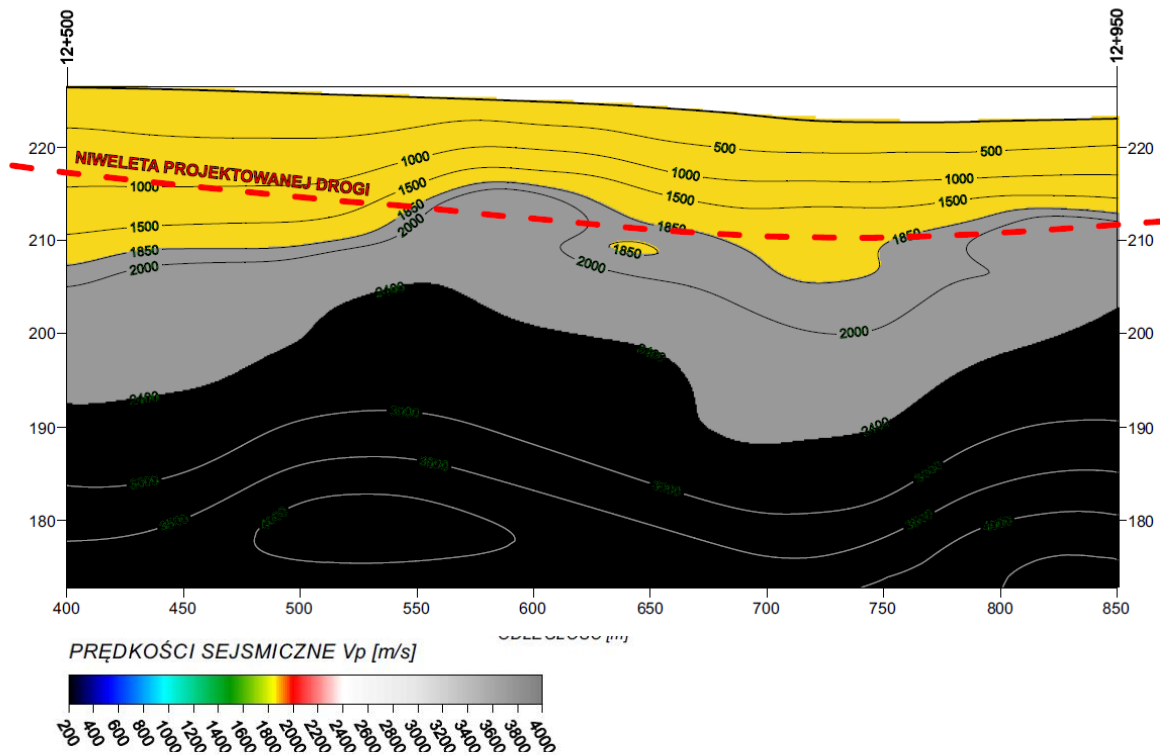
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOLOGIA INŻYNIERSKA

URABIALNE

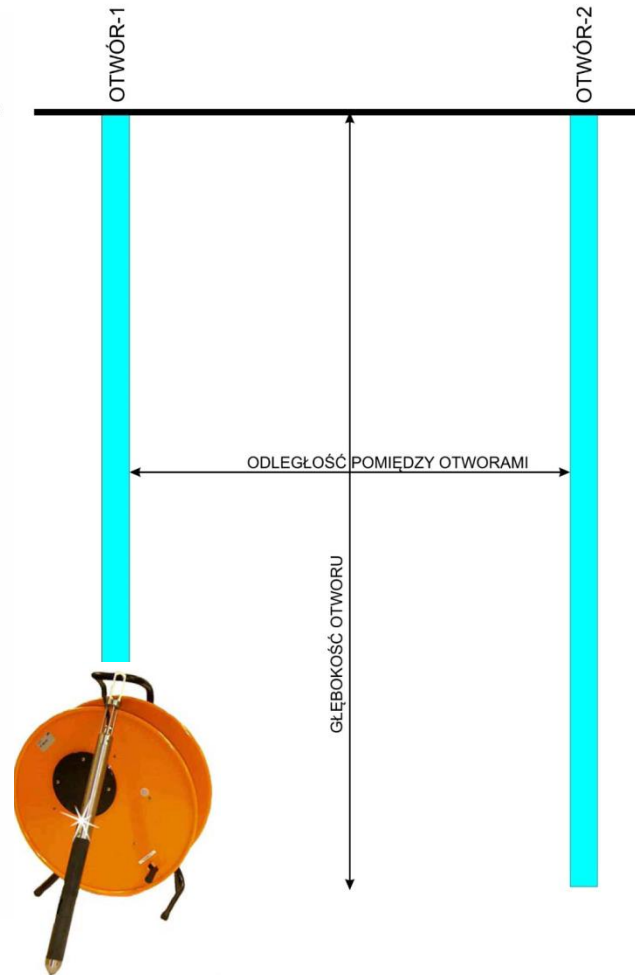
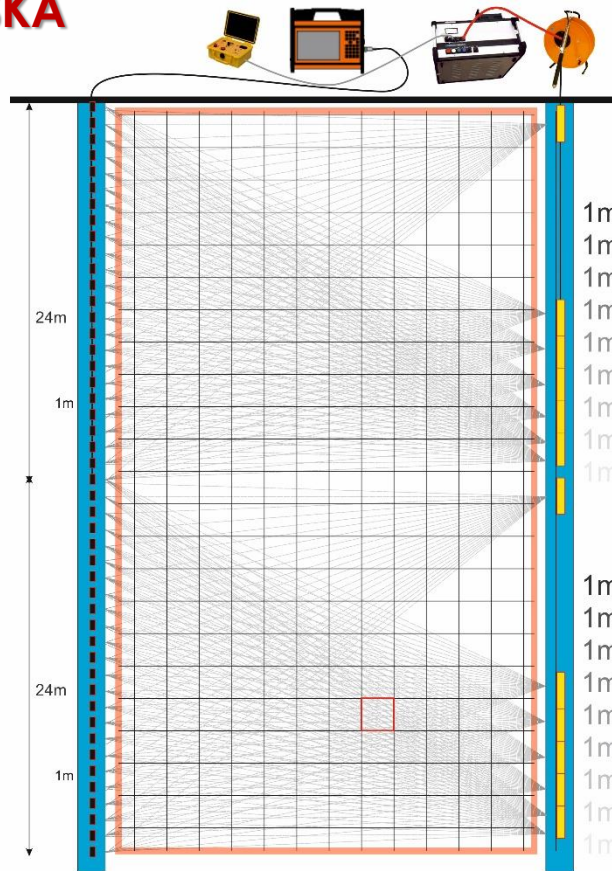
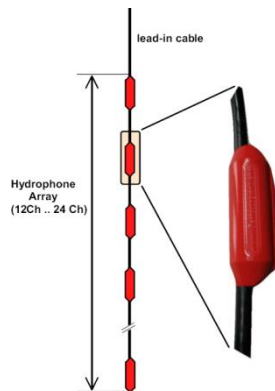
MARGINALNE

NIE URABIALNE



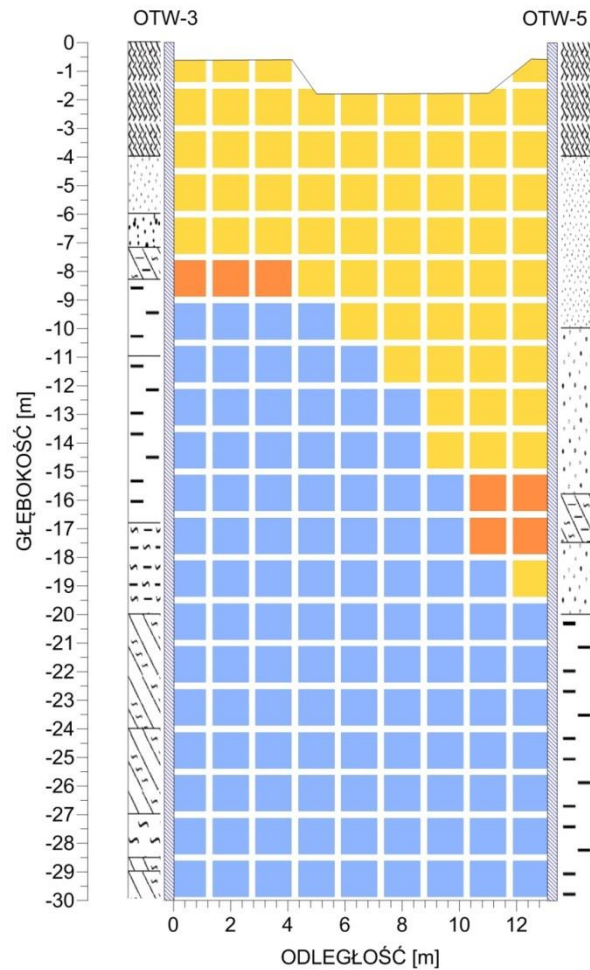
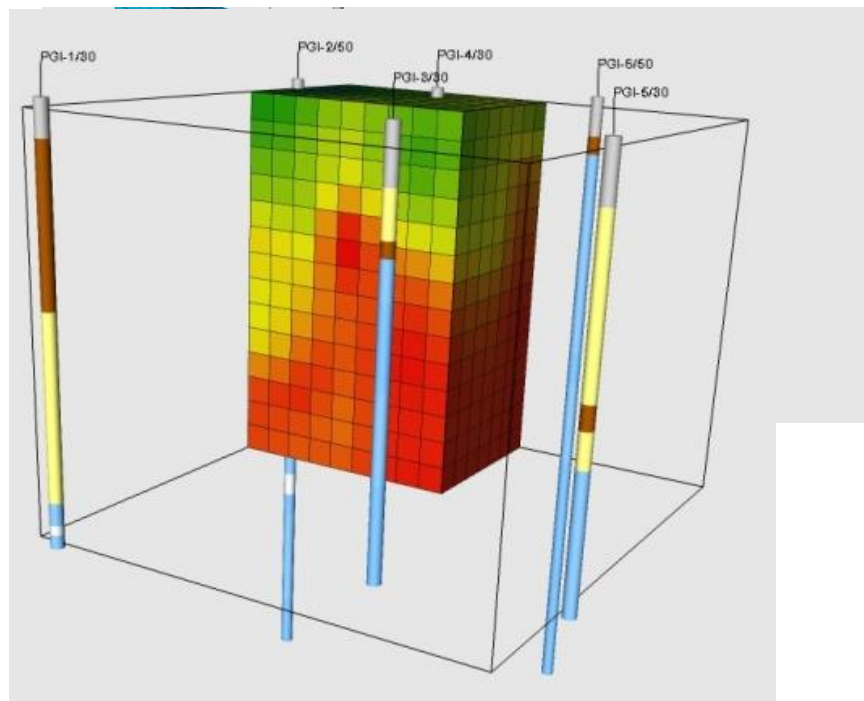
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOLOGIA INŻYNIERSKA



# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOLOGIA INŻYNIERSKA



# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOTERMIA NISKOTEMPERATUROWA

### **PROJEKT:** OCENA POTENCJAŁU GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ I UWARUNKOWAŃ ŚRODOWISKOWYCH

Czas realizacji zadania: 2017 – 2022

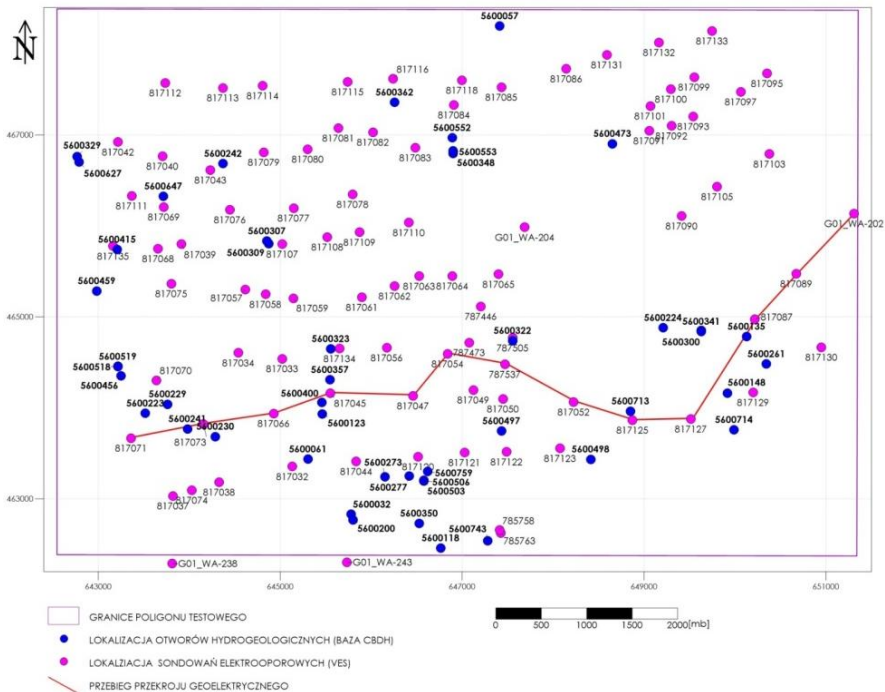
### **PROJEKT:** MAPA POTENCJAŁU GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ W SKALI 1:50 000 (MPGN)

Czas realizacji zadania: 2022 – 2025



# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

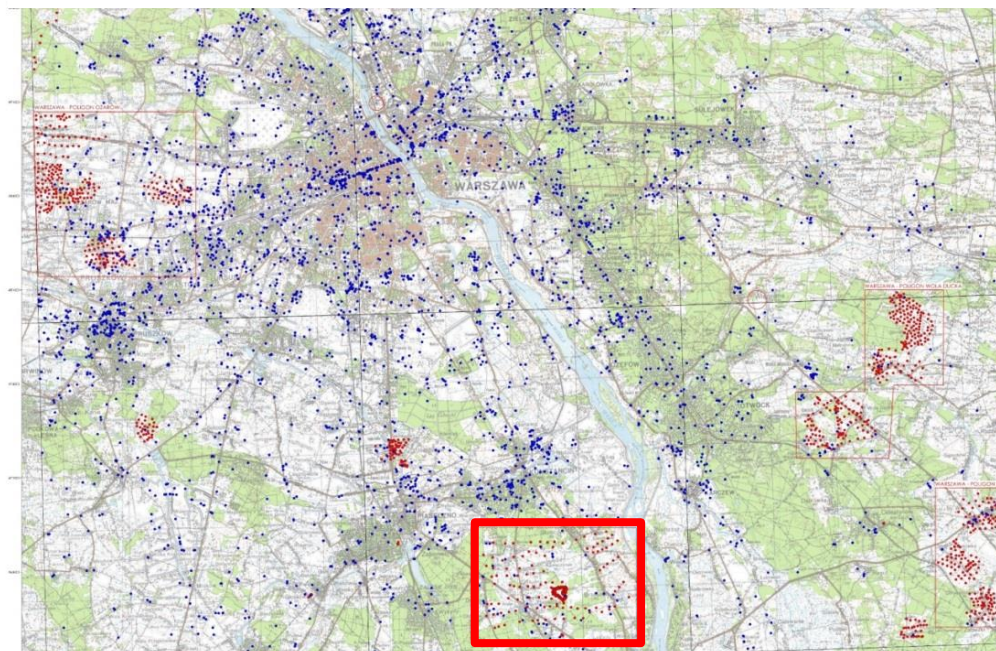
## GEOTERMIA NISKOTEMPERATUROWA



Dla obszaru poligonu ilość danych była następująca:

- Obszar poligonu - 8 km x 6 km – 48 km<sup>2</sup>,
- Ilość sondowań VES – 94 – **ok 2 VES na 1 km<sup>2</sup>**,
- Ilość otworów – 48 – **ok 1 otworu na 1 km<sup>2</sup>**,

\* przy czym trzeba podkreślić, że wraz ze wzrostem głębokości, ilość otworów które można było wykorzystać w modelu ulega zmniejszeniu

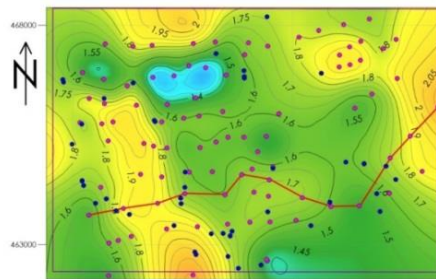


# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOTERMIA NISKOTEMPERATUROWA



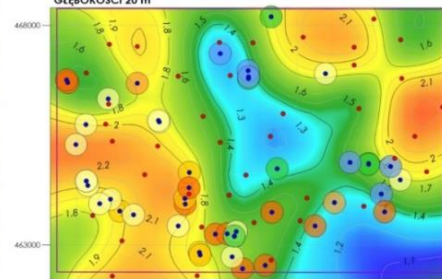
MAPA ROZKŁADU WARTOŚCI OPORNOŚCI POZRONYCH DLA AB/2-50 m



AB/2-50 m ODPOWIADA GŁĘBOKOŚCI OK 20 m

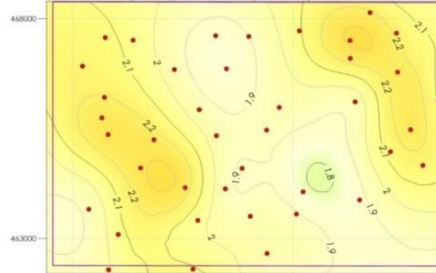
10 25 50 100 250 500 1000

MAPA ROZKŁADU WARTOŚCI OPORNOŚCI WYINTERPRETOWANYCH NA GŁĘBOKOŚCI 20 m

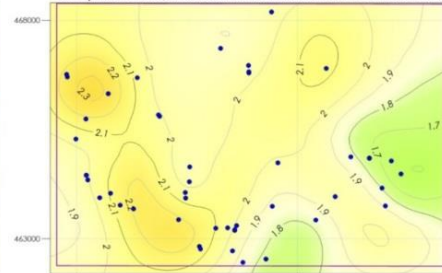


SKALA OPORNOŚCI [Ωm]  
WARTOŚĆ · LOG10(WARTOŚĆ OPORNOŚCI)

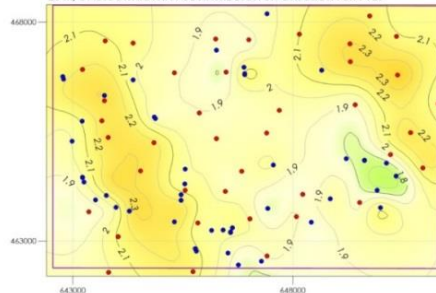
MAPA ROZKŁADU ŚREDNIEJ WARTOŚCI PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ DO GŁĘBOKOŚCI 20 m. OPRACOWANA NA PODSTAWIE WYINTERPRETOWANYCH WARTOŚCI OPORNOŚCI VES (INTERPRETACJA METODĄ OCAMMA)



MAPA ROZKŁADU ŚREDNIEJ WARTOŚCI PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ DO GŁĘBOKOŚCI 20 m. OPRACOWANA NA PODSTAWIE DANYCH OTWOROWYCH

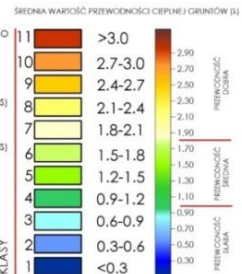


MAPA ROZKŁADU ŚREDNIEJ WARTOŚCI PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ DO GŁĘBOKOŚCI 20 m. OPRACOWANA NA PODSTAWIE DANYCH OTWOROWYCH I VES



### OBJAŚNIENIA

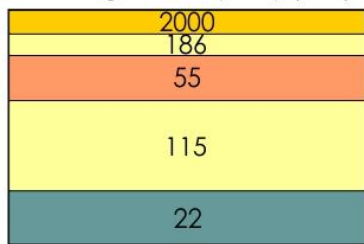
- GRANICA OBSZARU POLIGONU BADAWCZEGO
- LOK. ARCHIWALNYCH OTWORÓW WEDŁUG BAZY (CBDM) O GŁĘBOKOŚCI POWYŻEJ 20 m
- LOK. SONDOWAŃ ELEKTROOPOROWYCH (VES) (DANE ARCHIWALNE (CBDO) ORAZ WYKONANE W RAMACH PROJEKTU)
- LOK. SONDOWAŃ ELEKTROOPOROWYCH (VES) DLA KTÓRYCH WYKONANO INTERPRETACJĘ
- - IŁY
- - GLINY
- - PYŁY I MULKI
- - GLINY PIASZCZYSTE
- - PIASKI
- - PIASKI I ŻWIRY



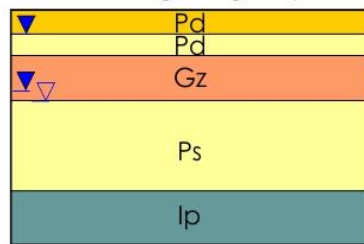
# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOTERMIA NISKOTEMPERATUROWA

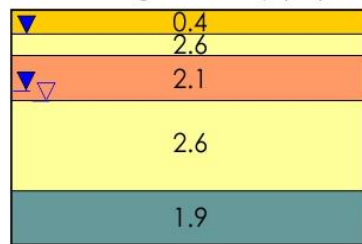
model geoelektryczny ( $\Omega m$ )



model geologiczny



model getermalny ( $La$ )



Model geologiczny można rozważać w uogólnieniu jako przestrzenny rozkład

$$MG = f(x, z), \quad MG = f(x, y, z)$$

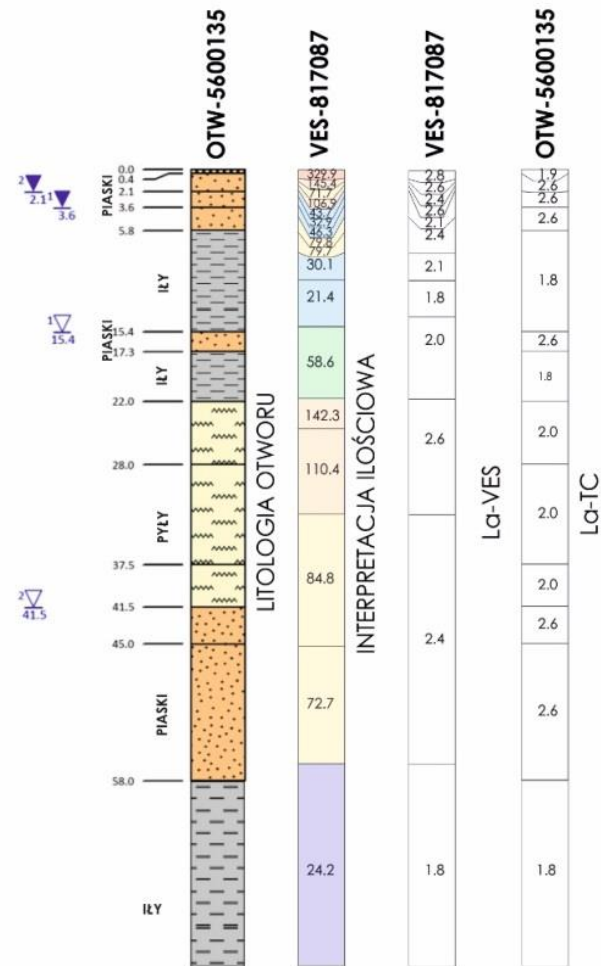
Budowa geologiczna (model geologiczny) narzuca przestrzenny rozkład własności fizycznych

$$\text{rozkład oporności } \rho(x,y,z) \quad MG(x,y,z) \rightarrow \rho(x,y,z)$$

W zadaniu odwrotnym model geoelektryczny określa model geologiczny,

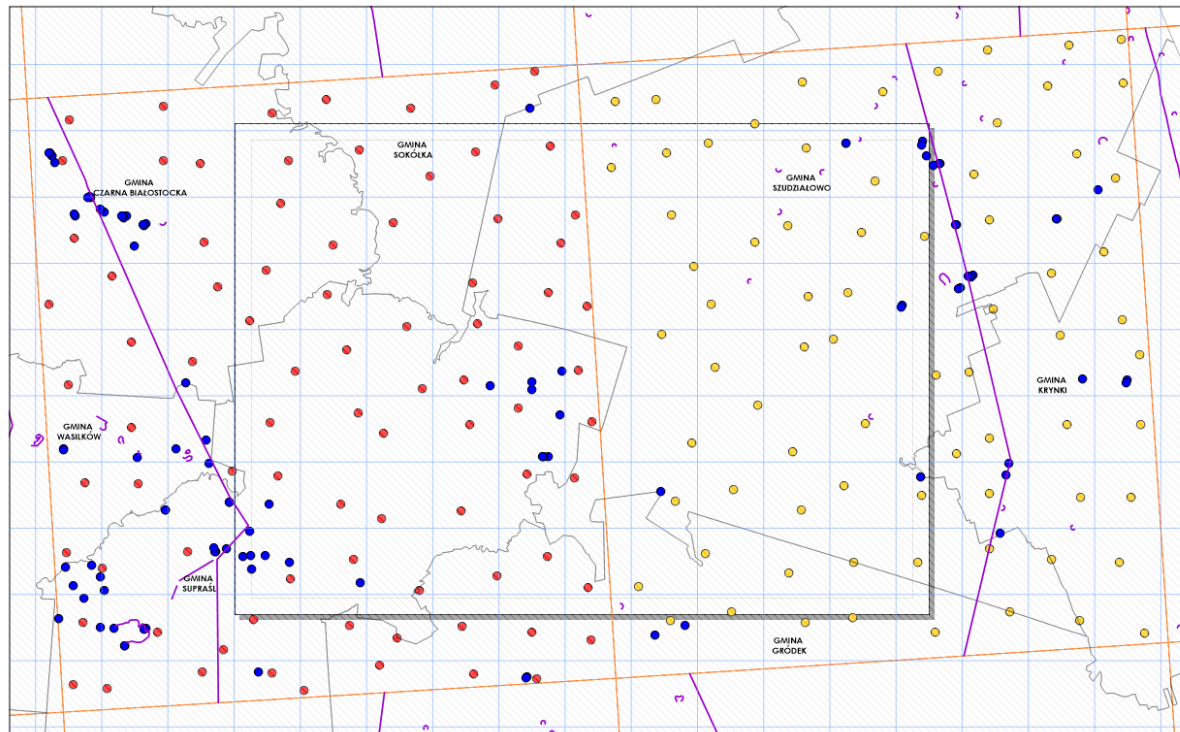
a ten z kolei przyporządkowuje wartości przewodności cieplnej.

$$\rho(x,y,z) \rightarrow MG(x,y,z) \rightarrow La(x,y,z)$$



# GEOFIZYKA INŻYNIERSKA

## GEOTERMIA NISKOTEMPERATUROWA



# PRZYSZŁOŚĆ

## SZYBKIE PROCEDURY BADANIA POŁOWEGO I ANALIZA

Koncentrując się na wydajnym działaniu, możliwe jest mapowanie w ciągu kilku minut tego, co w przypadku innych technologii geofizycznych lub wierceń mogłoby zająć godziny lub dni.

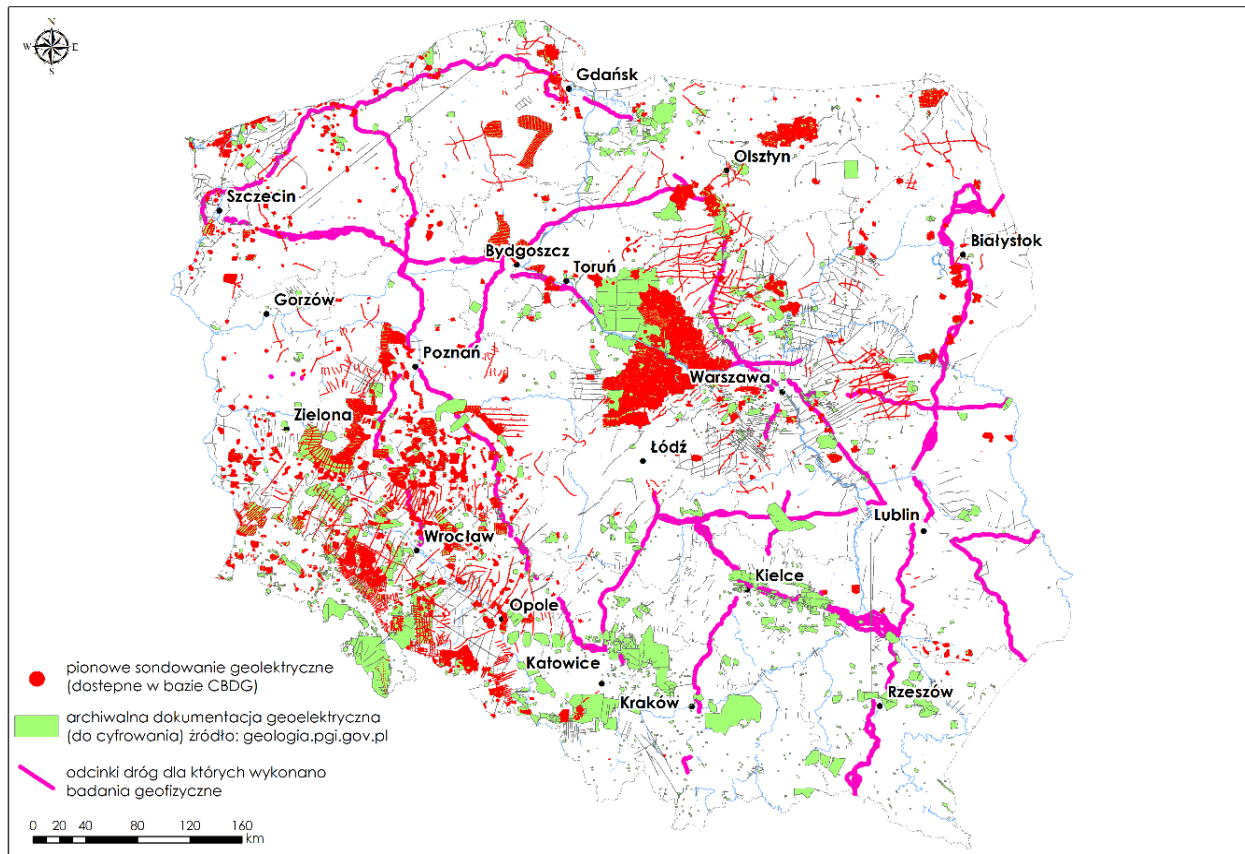
ABEM WalkTEM 2 łączy takie funkcje, jak unikalny tryb pomiaru Dual Moment z wieloma kanałami odbiornika, aby umożliwić gromadzenie równoległych strumieni danych w jednym cyklu pomiarowym. Po zakończeniu zbierania danych wyniki można modelować bezpośrednio na instrumencie, dzięki czemu pomiary jakości, a nawet wstępna interpretacja geologiczna, mogą być wykonane bez konieczności korzystania z laptopa lub powrotu do biura.



# PRZYSZŁOŚĆ

## DOKOŃCZENIE

**B**ANKU  
**D**ANYCH  
**G**EOELEKTRYCZNYCH



# PRZYSZŁOŚĆ

KARTOGRAFII GEOLOGICZNEJ

HYDROGEOLOGII

GEOZAGROŻENIACH

GEOLOGII ZŁOŻOWEJ

GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ

GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ

BADANIA I OCENA STANU ŚRODOWISKA

WSPARCIE PROCESÓW INWESTYCYJNYCH

**Dziękujemy za uwagę**

