

8.WPGI2024

Wstępna ocena przydatności terenu do lokalizacji elektrowni szczytowo-pompowych

EDYTA MAJER
GRZEGORZ PACANOWSKI

Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy



wpgi.pgi.gov.pl

pgi.gov.pl

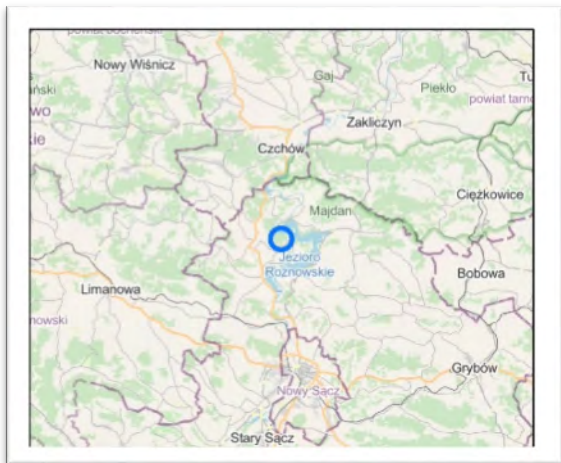


Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna

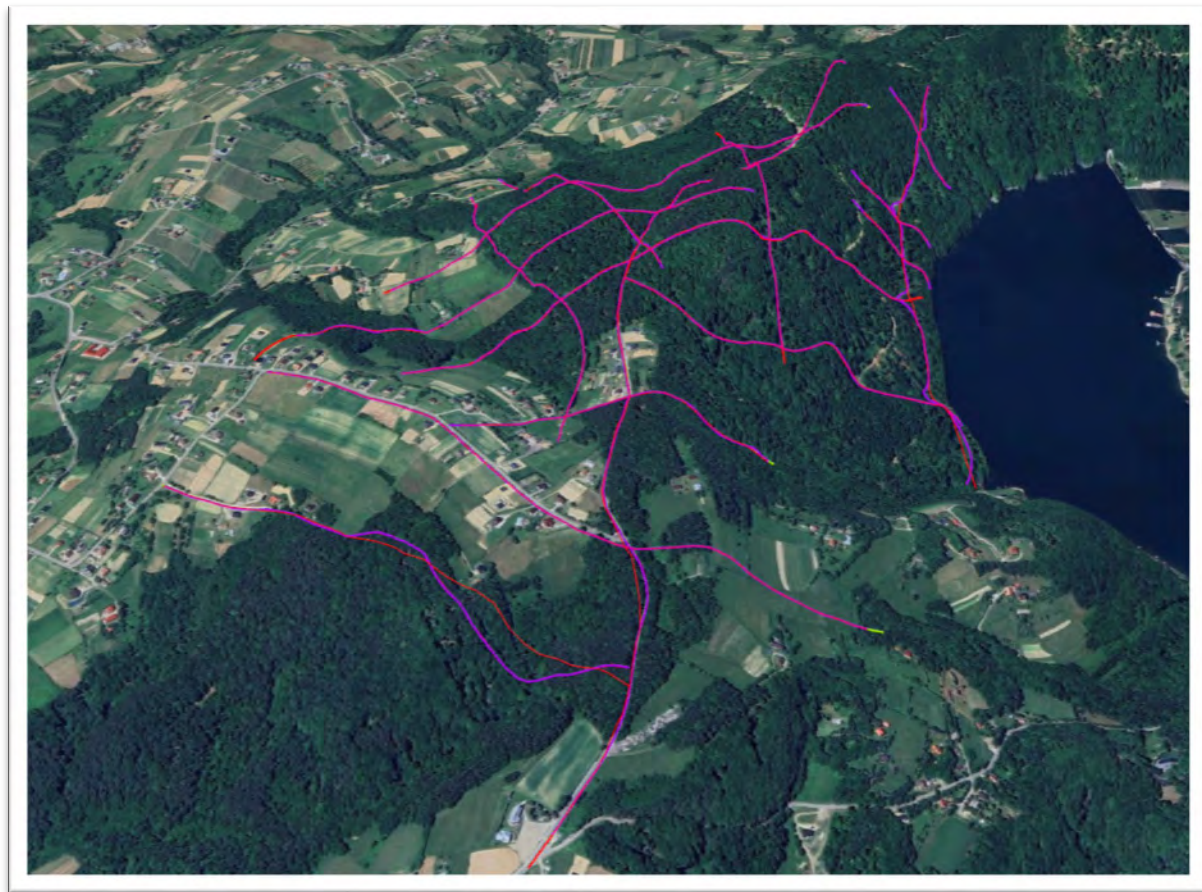


Dofinansowano ze środków
NARODOWEGO FUNDUSZU
OCHRONY ŚRODOWISKA
I GOSPODARSTWA WODNEJ

Obszar badań



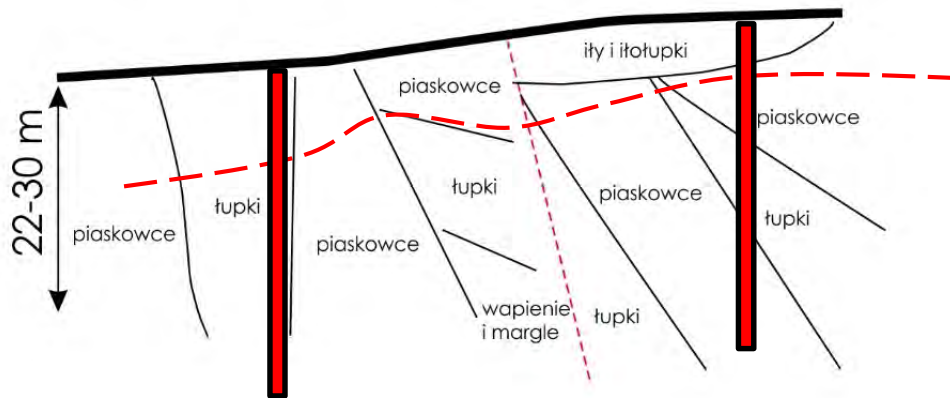
Obszar badań



Rozpoznanie masywu skalnego powinno umożliwić opis masywu z punktu widzenia trzech zasadniczych charakterystyk:

- niejednorodności mineralogiczno-petrograficznej i strukturalnej,
- nieciągłości,
- anizotropii właściwości fizycznych i mechanicznych

Model geologiczny fliszu



Flisz jest osadem terygenicznym osadzonym w stosunkowo głębokim basenie morskim w wyniku sedymentacji prądów zawieszinowych.

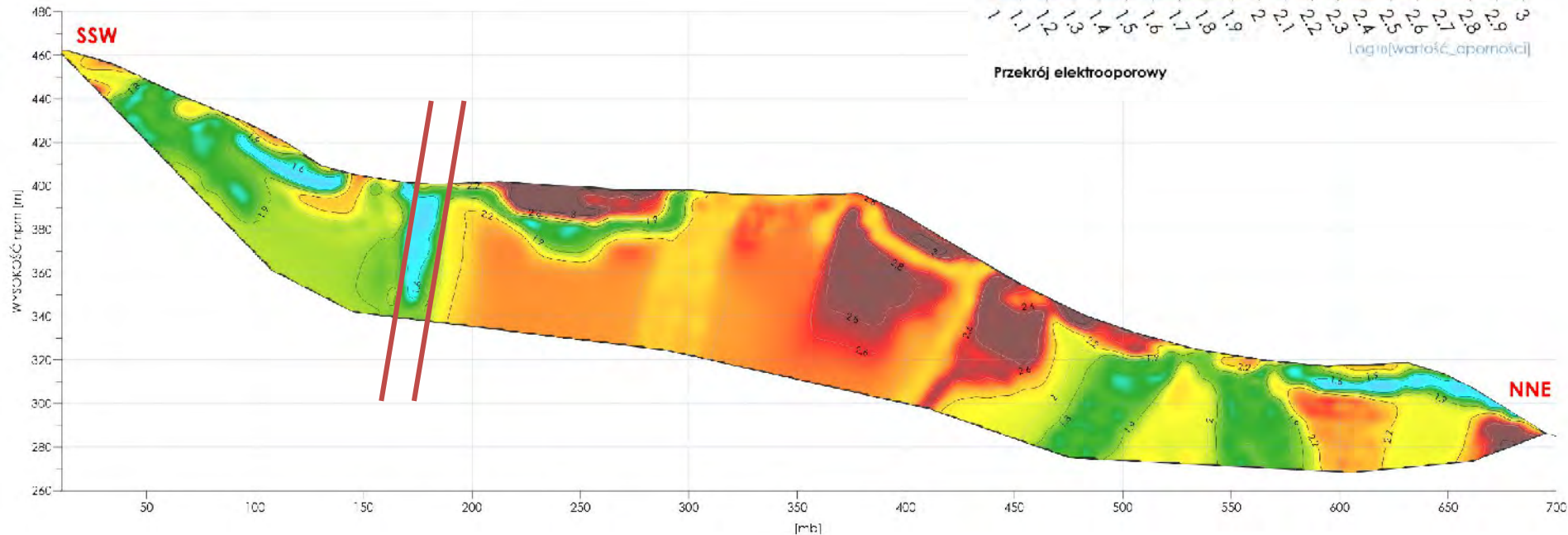
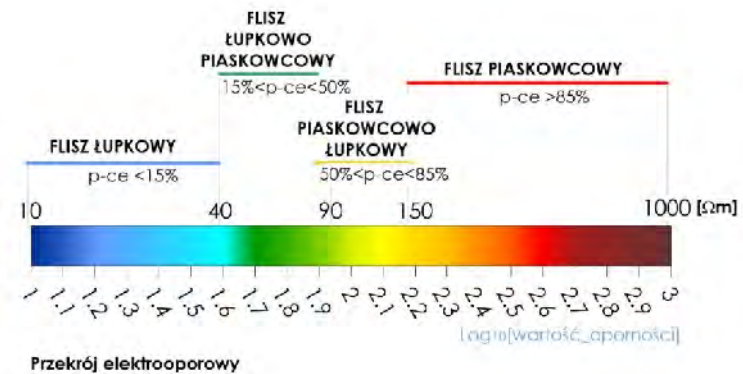
Sedymentacja taka tworzy charakterystyczną sekwencję złożoną z naprzemianległych warstw twardych i kruchych osadów gruboziarnistych (**piaskowce i zlepieńce**) oraz miękkich i plastycznych osadów drobnoziarnistych (**mułowce i iłowce**).

Osady te w fazie ruchów górotwórczych zostały **sfałdowane, zuskokowane i ponasuwane** na siebie, tworząc skomplikowaną strukturę tektoniczną o charakterze płaszczowinowym.

Fliszowy ośrodek skalny jest generalnie nieciągły, niejednorodny i anizotropowy. Warunki geotechniczne budowy obiektów inżynierskich są w takim ośrodku trudne i wymagają szczegółowego rozpoznania.

Badania geofizyczne – etap I – ERT

Określenie litologii masywu skalnego,
stref silnych gradientów



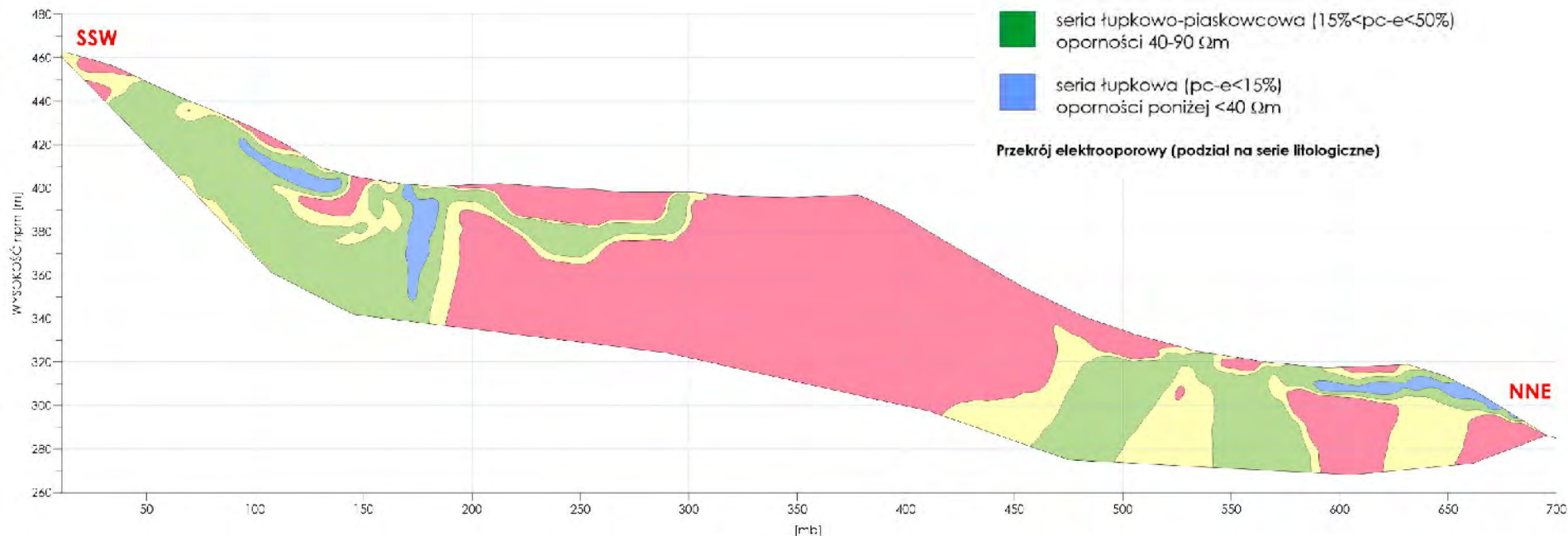
Badania geofizyczne – etap I – ERT

Określenie serii litologicznych

*Empiryczna zależność oporności elektrycznej flisz: od procentowej zawartości piaskowców została policzona według wzoru:
[$\%p-c$]= $7.26-0.37\rho+1.8*10^{-2}\rho^2-1.3*10^{-4}\rho^3+3.58*10^{-7}\rho^4-3.47*10^{-10}\rho^5$

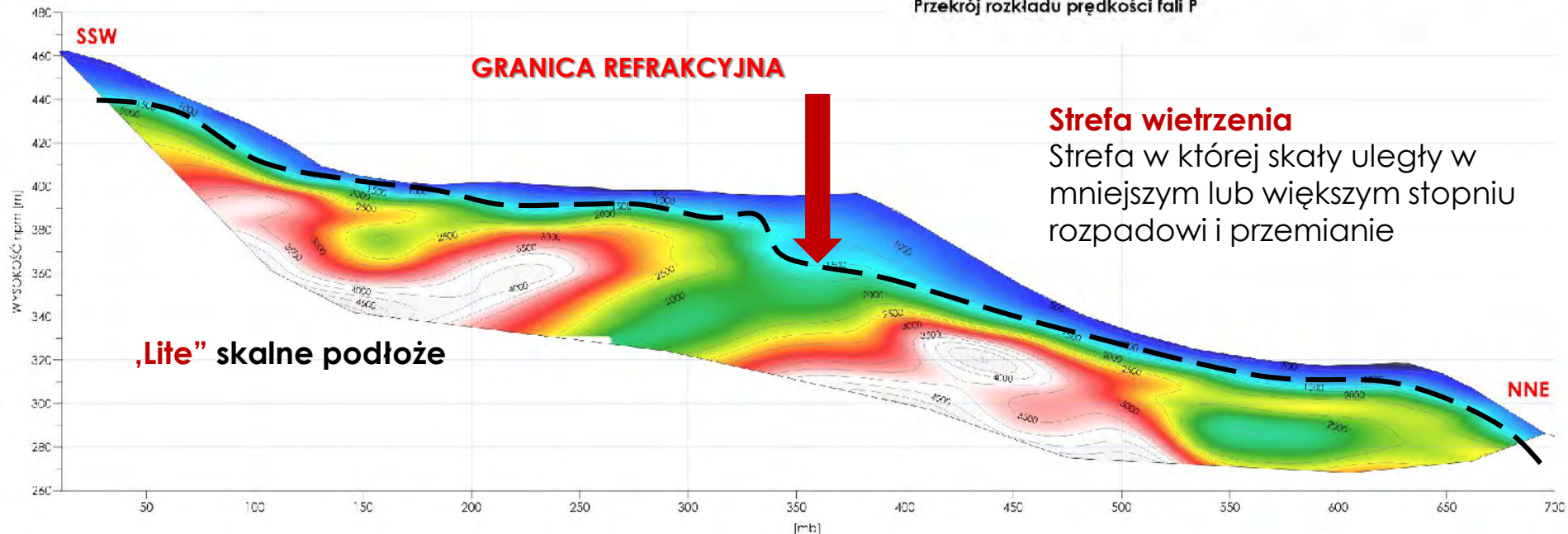
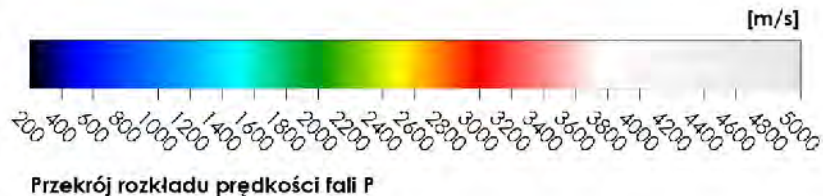
- seria piaskowcowa ($pc-e > 85\%$)
oporności powyżej 150 Ωm
- seria piaskowcowo-łupkowa ($50\% < pc-e < 85\%$)
oporności 90-150 Ωm
- seria łupkowo-piaskowcowa ($15\% < pc-e < 50\%$)
oporności 40-90 Ωm
- seria łupkowa ($pc-e < 15\%$)
oporności poniżej 40 Ωm

Przekrój elektrooporowy (podział na serie litologiczne)



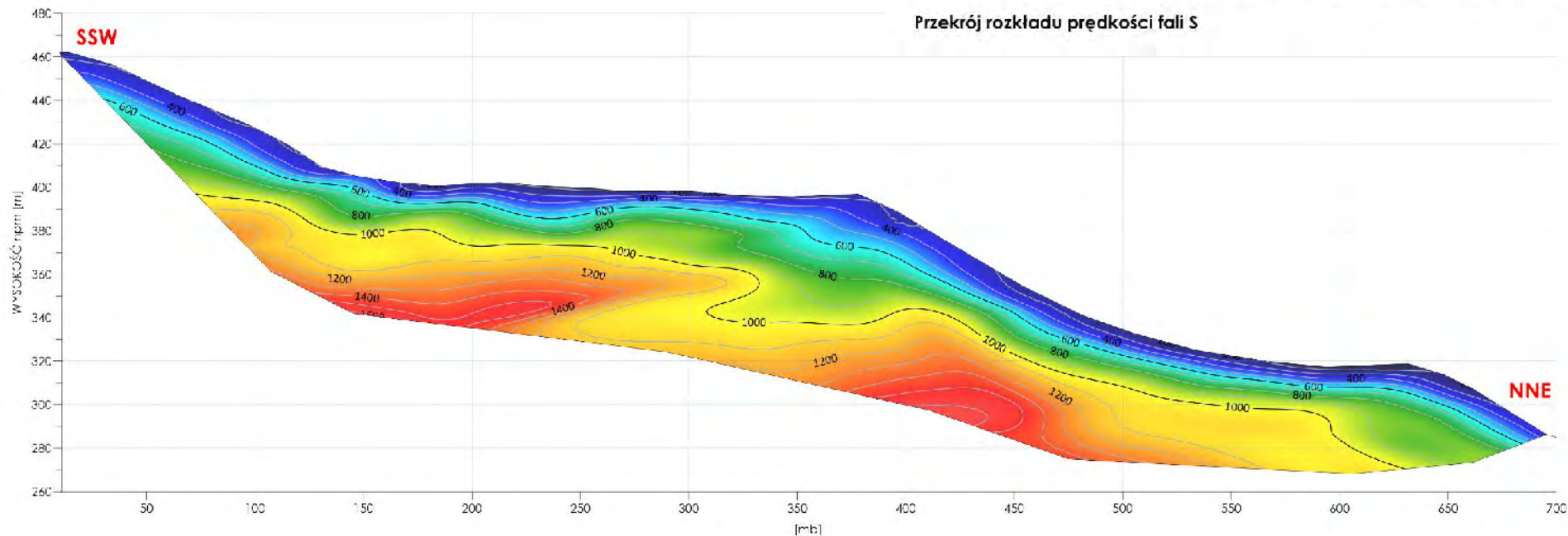
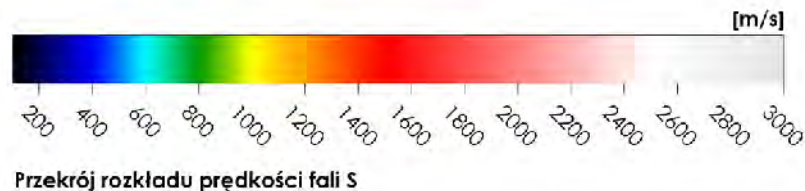
Badania geofizyczne – etap II – SRT-P, SRT-S

Określenie granic refrakcyjnych, spągu zwierzdelin, stropu podłoża, stref silnych gradientów



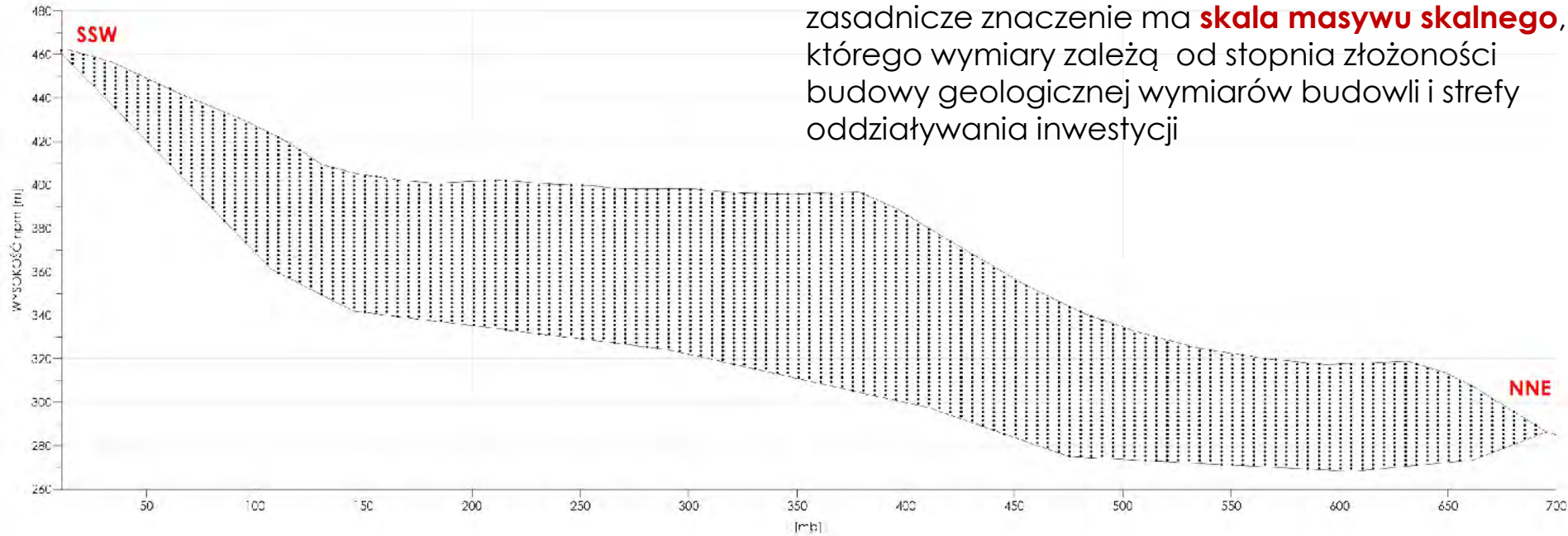
Badania geofizyczne – etap II – SRT-P, SRT-S

Określenie granic refrakcyjnych, spągu zwierzelin, stropu podłoża, stref silnych gradientów



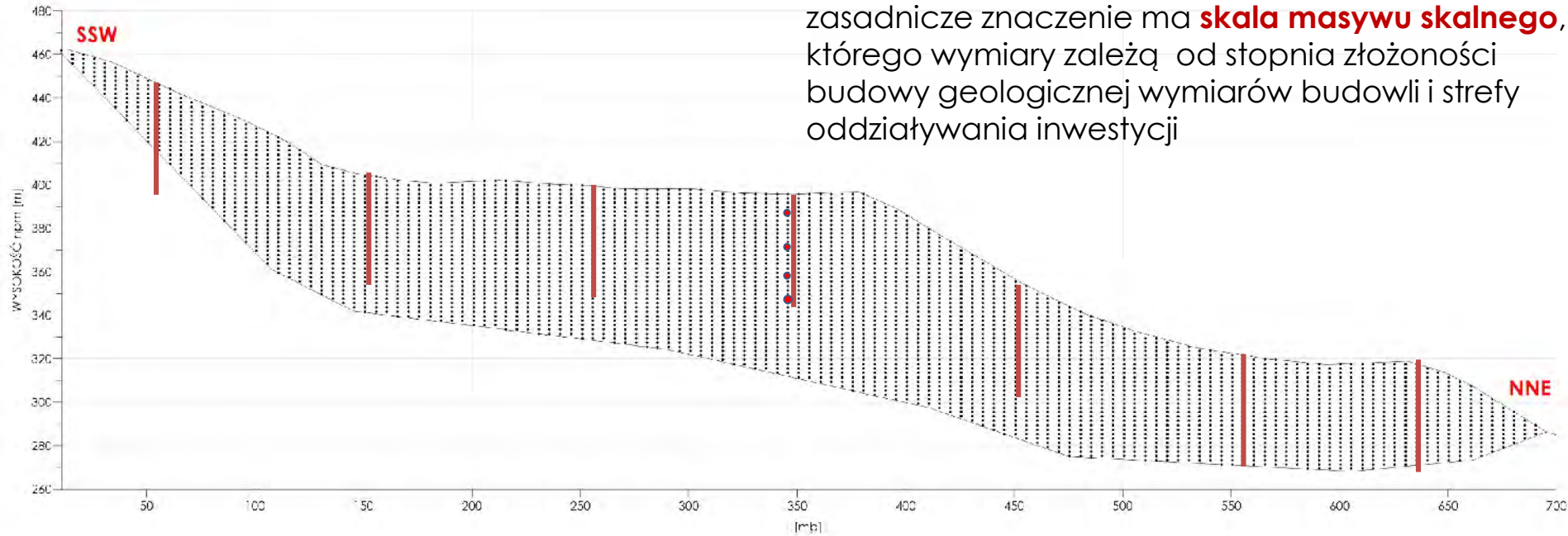
Badania geofizyczne – etap II – SRT-P, SRT-S

Wspólna przestrzeń do operacji na GRIDACH



Badania geofizyczne – etap II

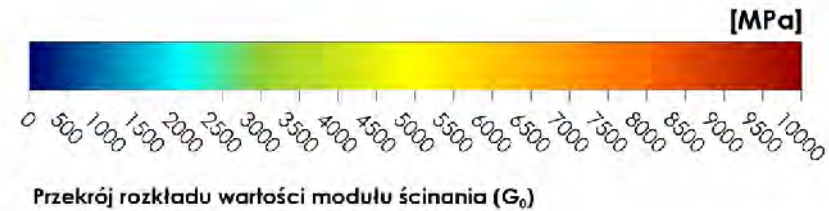
Wspólna przestrzeń do operacji na GRIDACH



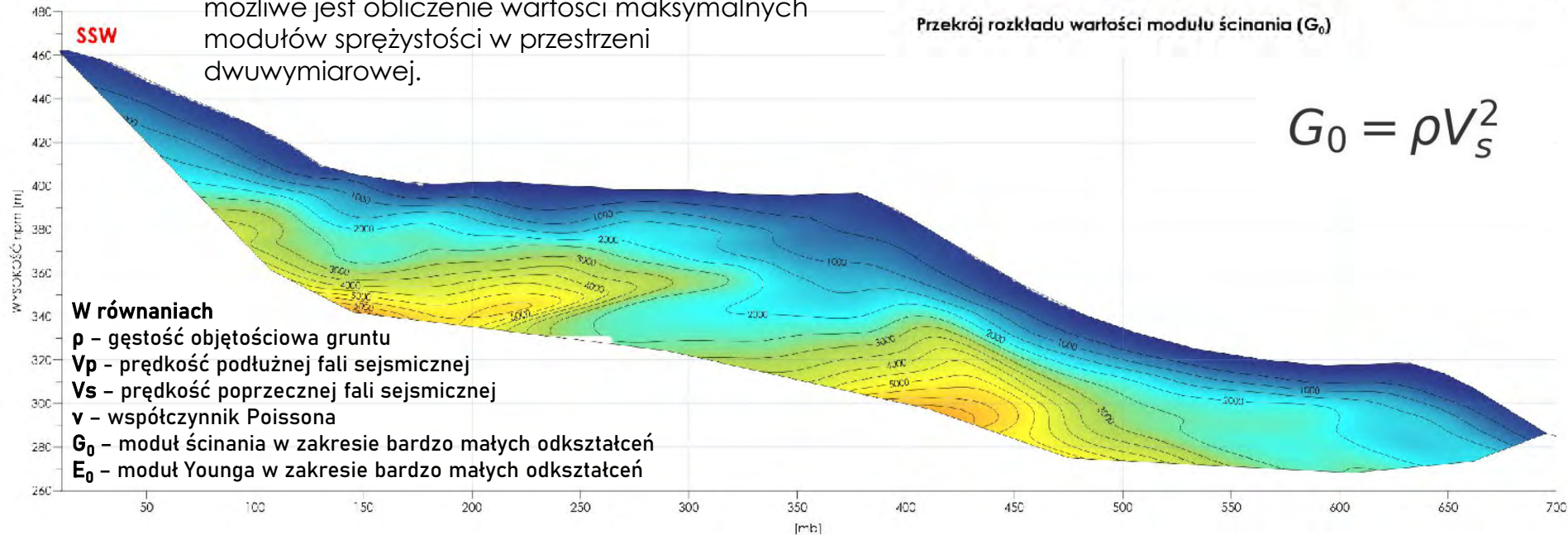
Badania geofizyczne – etap III – moduł Go

Określenie parametrów fizycznych i mechanicznych

Dzięki rejestracji sejsmicznej fali podłużnej oraz fali poprzecznej wzdłuż tych samych linii pomiarowych możliwe jest obliczenie wartości maksymalnych modułów sprężystości w przestrzeni dwuwymiarowej.



$$G_0 = \rho V_s^2$$

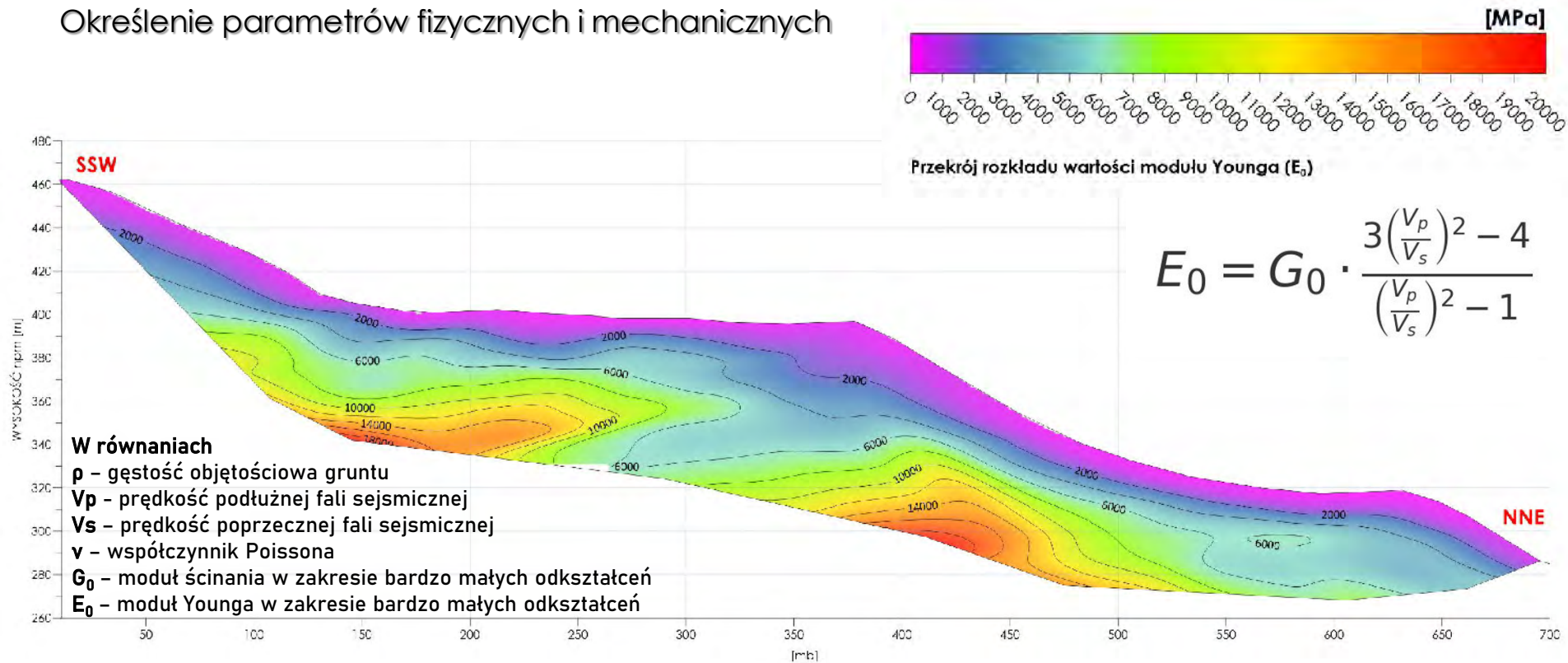


W równaniach

- ρ – gęstość objętościowa gruntu
- V_p – prędkość podłużnej fali sejsmicznej
- V_s – prędkość poprzecznej fali sejsmicznej
- ν – współczynnik Poissona
- G_0 – moduł ścinania w zakresie bardzo małych odkształceń
- E_0 – moduł Younga w zakresie bardzo małych odkształceń

Badania geofizyczne – etap III – moduł Younga

Określenie parametrów fizycznych i mechanicznych

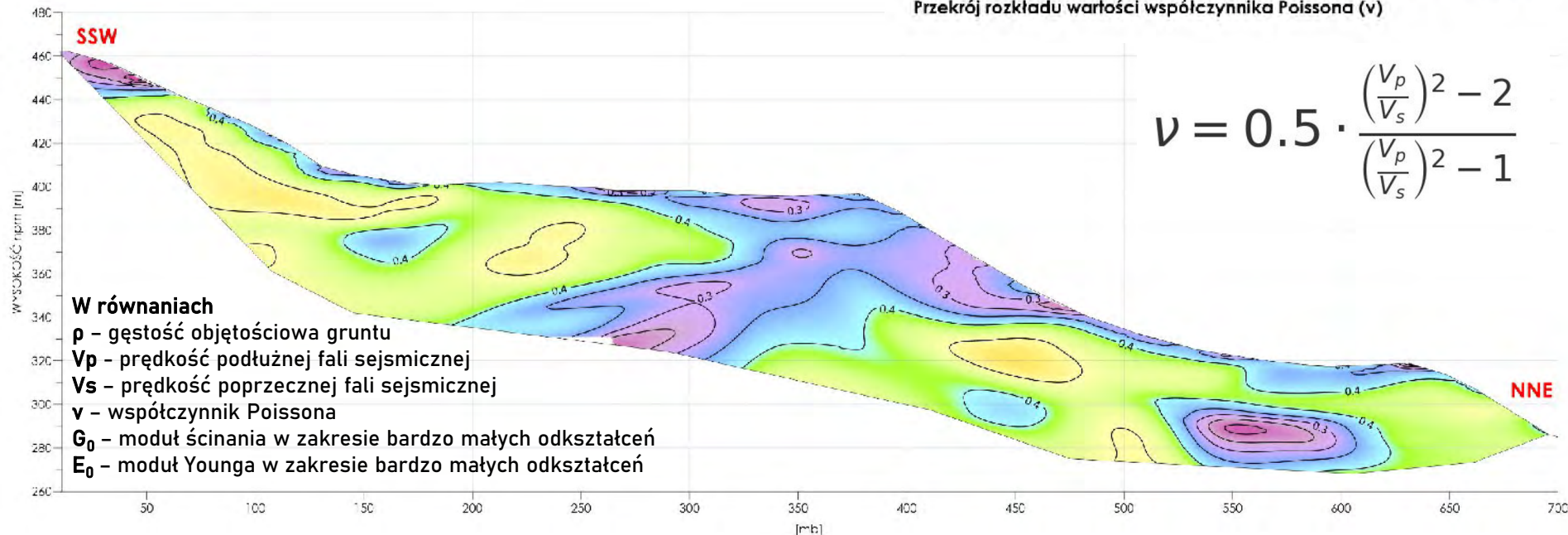


Badania geofizyczne – etap III – współczynnik Poissona

Określenie parametrów fizycznych i mechanicznych



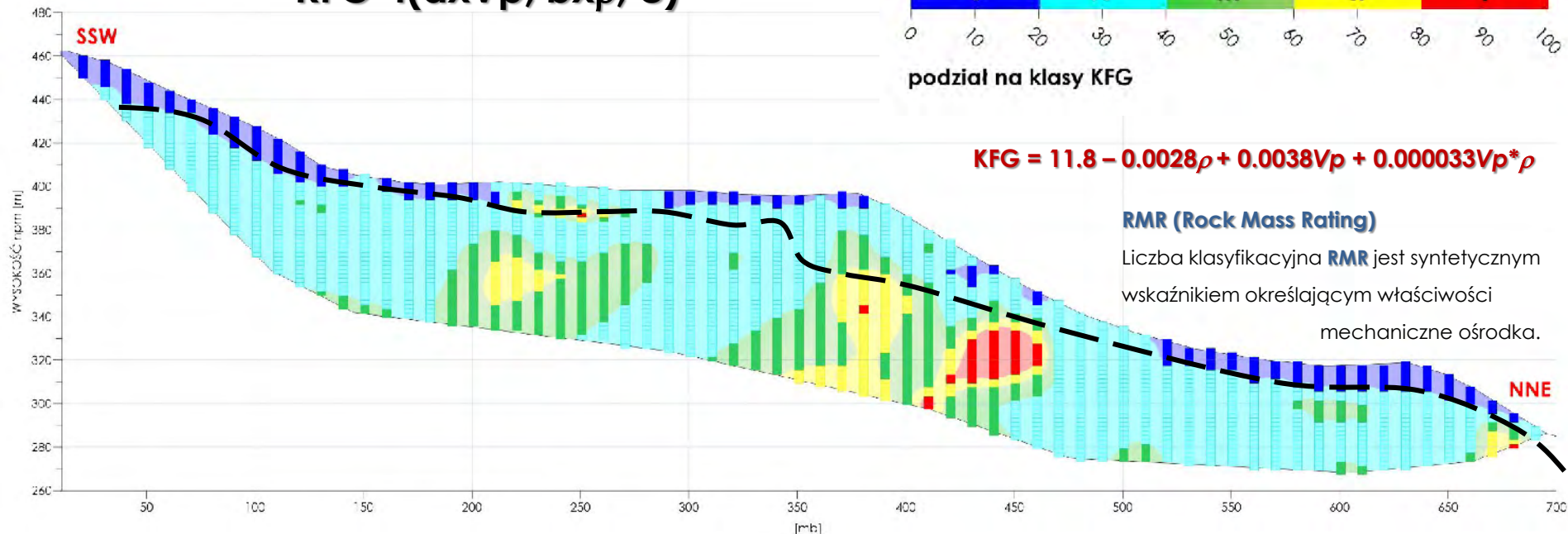
$$\nu = 0.5 \cdot \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$



Badania geofizyczne – etap IV – Klasyfikacja Geotechniczna Fliszu KFG

Określenie Geofizycznego Indeksu Klasyfikacyjnego

$$KFG=f(axVp, bx\rho, c)$$



BESTYŃSKI Z., THIEL K. 1999 – Flysch geotechnical properties by the Geophysical Classification Index KFG. 9th International Congress on Rock Mechanics ISRM Paris, 2: 1339–1346.


Badania geofizyczne – etap III

Określenie parametrów fizycznych i mechanicznych

Należy zaznaczyć, że wyznaczone na podstawie badań sejsmicznych moduły mechaniczne są wyznaczone **dla bardzo małych odkształceń**, dla których ośrodek może być rozpatrywany jako idealnie elastyczny. Wyznaczone moduły są modułami maksymalnymi i nie są tożsame z wartościami uzyskiwanymi w badaniach prowadzonych metodami niszczącymi. Moduły maksymalne zwykle są wielokrotnie wyższe niż te ostatnie. Niemniej rozkład przestrzenny modułów maksymalnych odpowiada rozkładowi modułów wyznaczonych innymi metodami, i stanowi cenną wskazówkę do określenia przestrzennej zmienności parametrów mechanicznych podłoża.


Materiały archiwalne, aktualizacja


Mapa geomorfologiczna


 Osuwiska (Kos i in., 2023)


Skarpy osuwiskowe główne i ściany obrywów


Wysokość formy, Stan zachowania formy (Kos i in., 2023)


 niskie do 3 m, wyraźna


 średnie 3-6 m, wyraźna


 wysokie 6-10 m, wyraźna

 bardzo wysokie ponad 10 m, wyraźna


 niskie do 3 m, słabo zachowana


 średnie 3-6 m, słabo zachowana


 wysokie 6-10 m, słabo zachowana

 bardzo wysokie ponad 10 m, słabo zachowana

Inne formy geomorfologiczne

 Fragmenty spłaszczeń denudacyjnych (na podstawie NMT, 2023)

 Małe dolinki Y-kształtne i skrzynkowe (wałowy, wąwozy, parowy) (Poprawa i in., 1974)

 Stoki okryte gółoborzami i usypiskami gruzowymi (Poprawa i in., 1974)

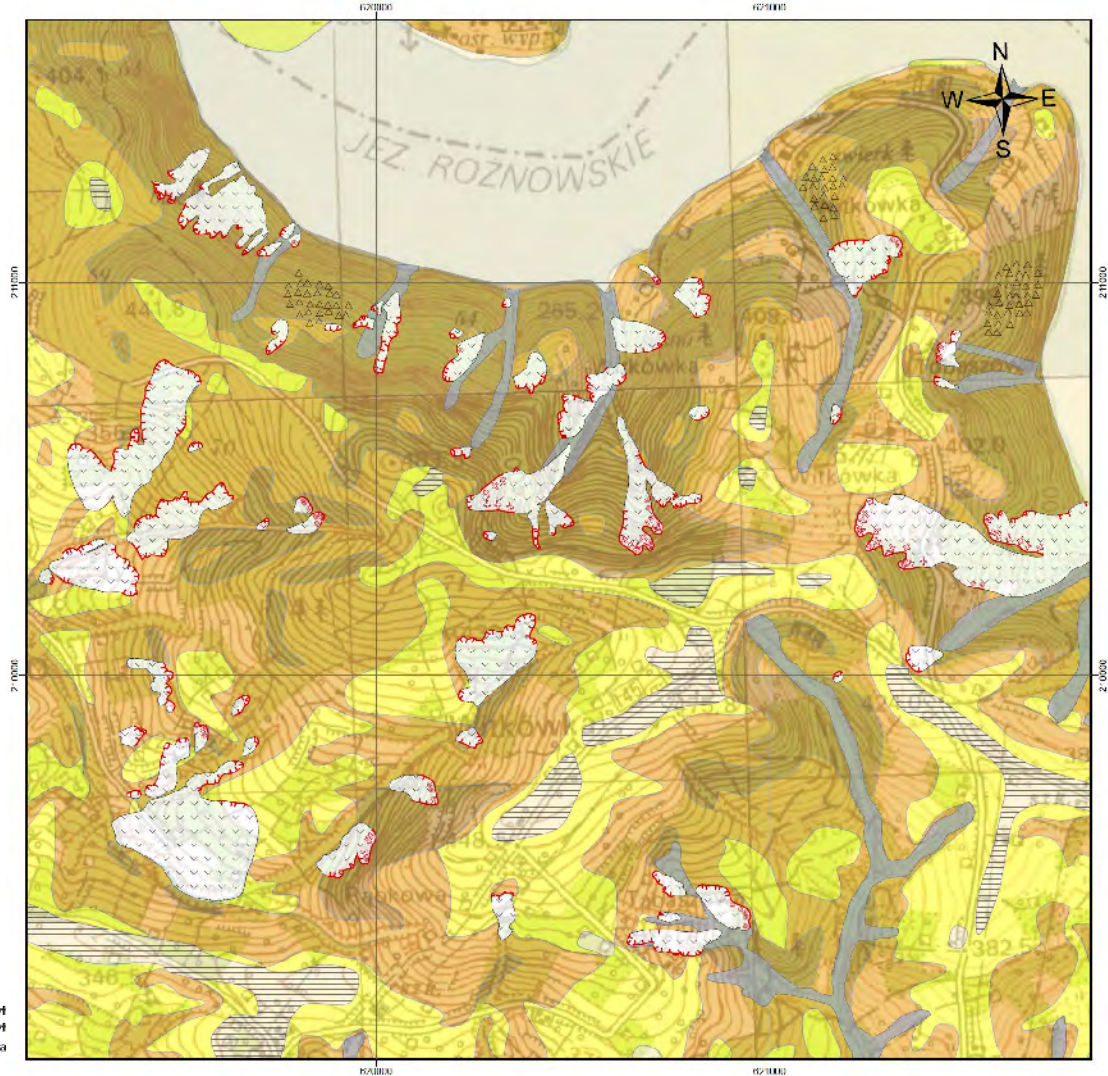
Stoki i zbocza dolin o nachyleniu (na podstawie NMT, 2023)

 0-5°

 5-10°

 10-18°

 >18°



Materiały archiwalne, aktualizacja

Mapa geologiczna

- Rozluźnienia śródczerwcowe
- Krawędzie strukturalno-denudacyjne
- Nizze lub tylne progi osuwisk, dobrze zachowane
- Nizze lub tylne progi osuwisk, słabo zachowane
- Świżce (czynne) podciągła abrazyjne

Znaki konwencjonalne

- Kierunek biegu i upadu warstw

Serie litologiczne (aktualizacja mapy z roku 1974 autorstwa Poprawa D., Witek K., Wójcik A.)

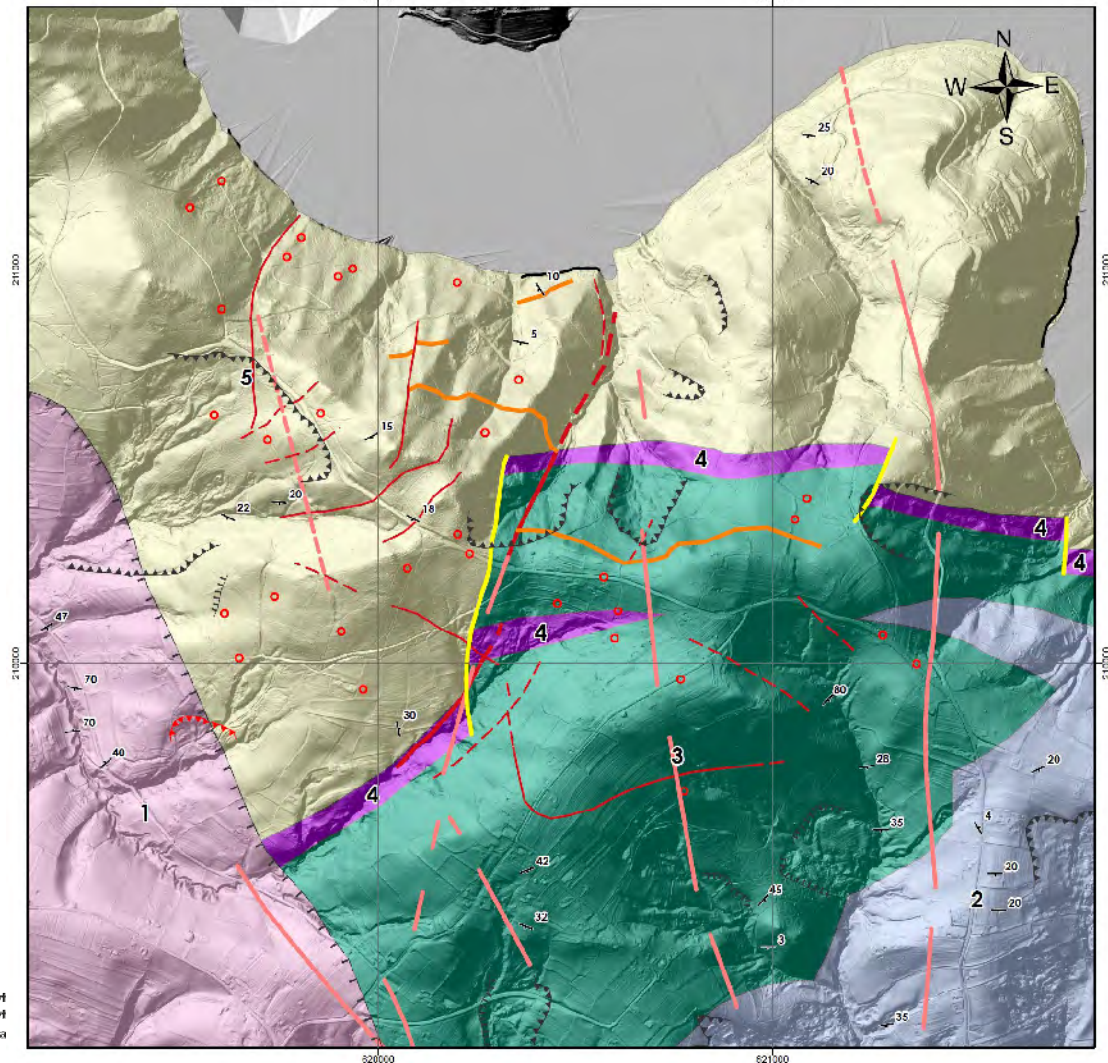
- 1 - Piaskowce cienkotawicowe, średniotawicowe oraz łupki – warstwy krośnieńskie - oligocen
- 2 - łupki z wkładkami piaskowców cienkotawicowych – łupki islebrniańskie górne - paleocen
- 3 - Piaskowce, zlepieniec i łupki – piaskowce islebrniańskie górne - paleocen
- 4 - łupki z wkładkami piaskowców cienkotawicowych – łupki islebrniańskie dolne - kreda górną - paleocen
- 5 - Piaskowce grubotawicowe, zlepieniec i łupki – warstwy islebrniańskie dolne - kreda górną
- Uskoki - mapa geologiczna (stan na 1974 r.)

Uskoki na podstawie SMGP ark. Męcina (2001r.)

- Uskoki - pewne
- Uskoki - przypuszczalne

Przypuszczalny przebieg deformacji nieciągłych wyznaczony na podstawie przekrojów geofizycznych

- Uskok
- Uskok przypuszczalny
- Strefa silnie spękana
- Nieciągłości zarejestrowane na przekrojach (niepotwierdzone)



Materiały archiwalne, aktualizacja

Mapa hydrogeologiczna

- ▽ Nusunięcia (Poprawa i in., 1974)
- └─ Rozłaznienia ścian warstwowe (Poprawa i in., 1974)
- Ślądźnia z głębokością zalegania zwierciadła wody (Poprawa i in., 1974)
- △ Źródła (Poprawa i in., 1974)
- Uskok (Poprawa i in., 1974)

Przypuszczalny przebieg deformacji nieciągłych wyznaczony na podstawie przekrojów geofizycznych (Czarniak i in., 2023)

- Uskok
- - - Uskok przypuszczalny
- Strefa silnie spękania
- Nieciągłości zarejestrowane na przekrojach (niepołączone)

Uskoki na podstawie SMGP ark. Męcina (Paul, Jugowiec, 2001)

- Uskoki - pewne
- - - Uskoki - przypuszczalne

Wody podziemne w sercach litologicznych (Poprawa i in., 1974, zgeneralizowane)

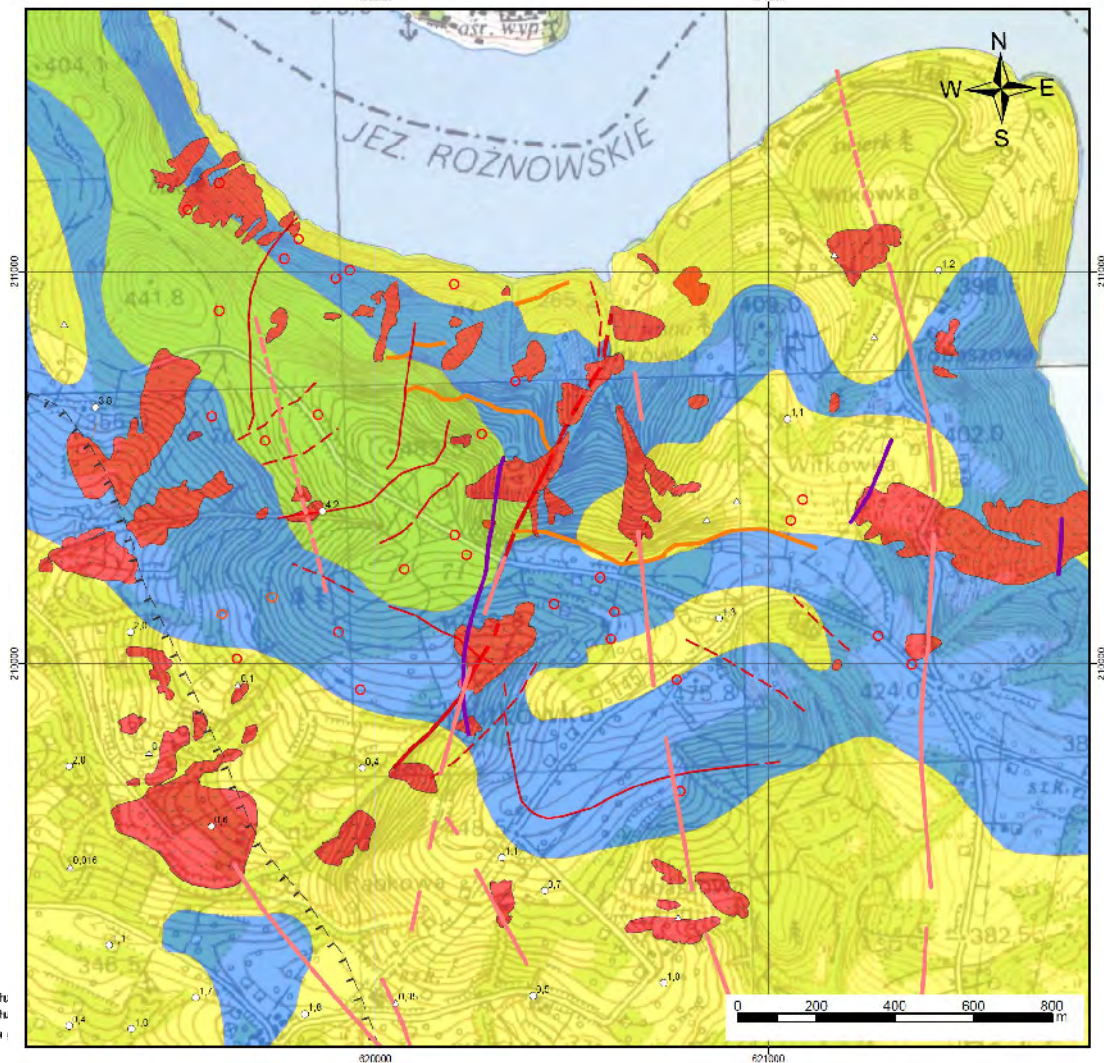
- ▨ Utwory praktycznie nieprzepuszczalne (seria litologiczna nr 2 i 4), Utwory praktycznie bezwodne, lokalnie wodonośność niewielka
- ▨ Utwory średnio przepuszczalne (seria litologiczna nr 1) wodonośność zróżnicowana
- ▨ Utwory przepuszczalne (seria litologiczna nr 3 i 5, czwartorzędowa: żwiry i piaski) wodonośność znaczna

Wody podziemne w kałwiach osuwisk (na podstawie Kos i in., 2023)

- Grunty o zmiennej przepuszczalności, gliny z rumiżem i piaskowców, wodonośność zróżnicowana


Głębokość występowania pierwszego poziomu wód gruntowych (Poprawa i in., 1974)

- 0-2 m
- 2-4 m
- kałwia osuwisk
- powyżej 4 m



Materiały archiwalne, aktualizacja

Mapa osuwiska i terenów zagrożonych ruchami masowi ziemi - porównanie

 Zasięg inwestycji (maksymalny zasięg projektowanej inwestycji na podstawie Wariantu I, II, III, IV, VA, VB)

Osuwiska (Bąk i in., 2011)

Stopień aktywności

 aktywne ciągle

 aktywne okresowo


 nieaktywne

 Tereny zagrożone ruchami masowymi (Bąk i in., 2011)

Osuwiska (Kos i in., 2023)

Stopień aktywności

 aktywne ciągle


 aktywne okresowo


 nieaktywne


 Tereny zagrożone ruchami masowymi (Kos i in., 2023)

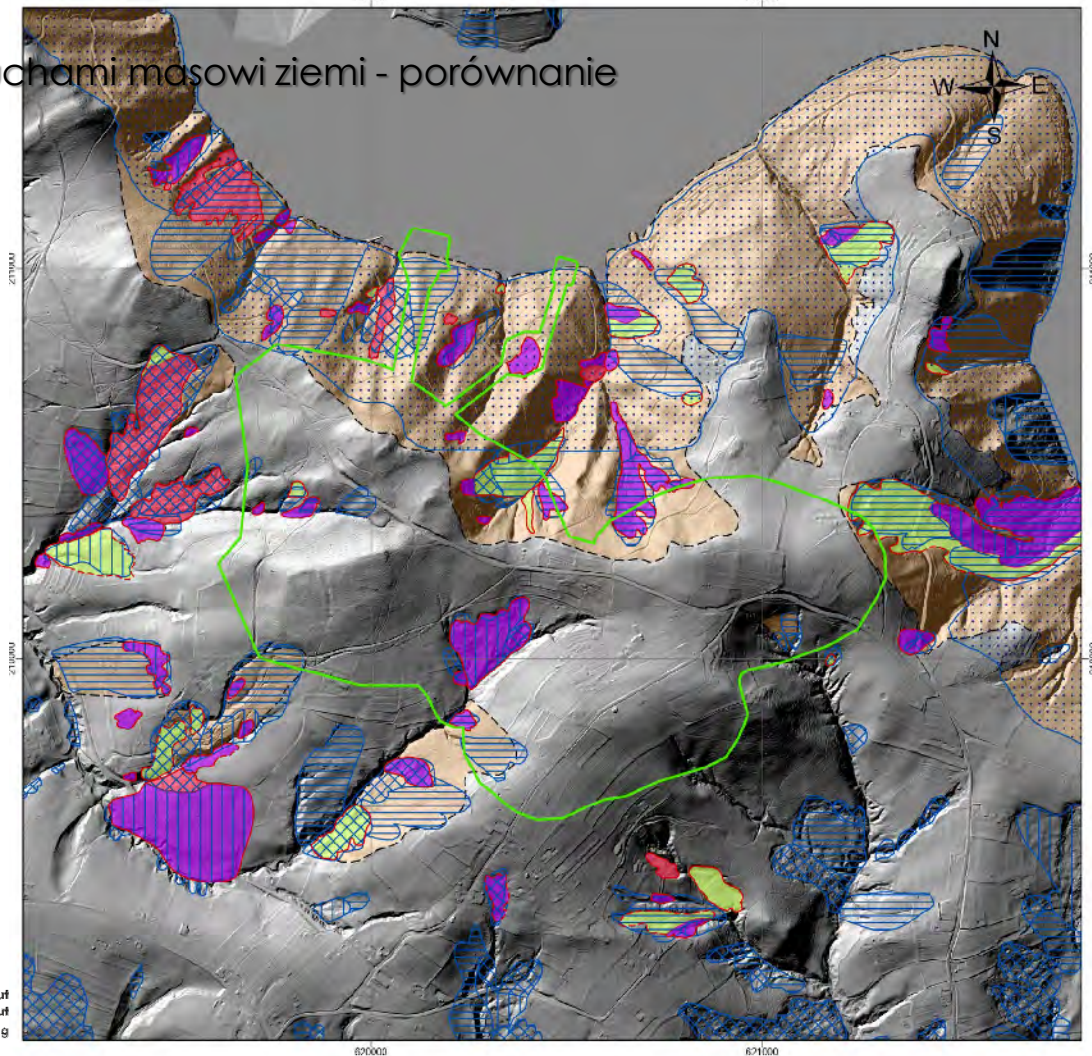
Granice osuwisk (Kos i in., 2023)

Typ granicy, Rodzaj granicy

 granica pewna, granica osuwiska

 granica przypuszczalna, granica osuwiska

 granica pewna, granica strefy aktywności



Warunki geologiczno-inżynierskie

Kryteria oceny

1. **spadki terenu** na podstawie numerycznego modelu terenu
2. **formy geomorfologiczne** na podstawie danych z mapy geomorfologicznej (Poprawa i in., 1974) oraz z opracowania Kos i in. (2023)
3. **wykształcenie litologiczne masywu skalnego** na podstawie danych z mapy geologicznej (Poprawa i in., 1974)
4. **procentowy udział piaskowców i łupków w masywie skalnym** na podstawie wartości oporności elektrycznej, zgodnie z klasyfikacją fliszu zaproponowaną przez Thiela i Zabuskiego (1995) (Czarniak i in., 2023a)
5. **bieg i upad warstw** na podstawie Szczegółowej mapy geologicznej Polski (SMGP) w skali 1:50 000 (Paul, Jugowiec, 2001)
6. **występowanie przypuszczalnych nieciągłych deformacji masywu skalnego** na podstawie Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000 (Paul, Jugowiec, 2001) oraz wyników badań geofizycznych (Czarniak i in., 2023a),
7. **przepuszczalność masywu skalnego** na podstawie danych z mapy hydrogeologicznej (Poprawa i in., 1974)
8. **aktywność i rodzaj osuwisk oraz tereny zagrożone ruchami masowymi ziemi** na podstawie danych z mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi (Kos i in., 2023)

Warunki geologiczno-inżynierskie

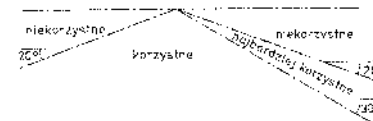
Kryteria oceny

Kryterium oceny	Wstępna ocena warunków geologiczno-inżynierskich			Źródło danych
	Korzystne	Średnio korzystne	Niekorzystne	
Spadki terenu	0°-5°	5°-18°	>18°	Mapa geomorfologiczna
Forma geomorfologiczna	Spłaszczenia denudacyjne	Zbocza	Dolinki V-kształtne i skrzynkowe Osuwiska Stoki pokryte gołoborzami i usypiskami gruzowymi	Mapa geomorfologiczna Opracowanie Kos i in. (2023)
Litologia masywu skalnego	Seria litologiczna 3: piaskowce istebniańskie górne Seria litologiczna 5: warstwy istebniańskie dolne	Seria litologiczna 1: warstwy krośnieńskie Zwierzeliny	Seria litologiczna 2: łupki istebniańskie górne Seria litologiczna 4: łupki istebniańskie dolne Osady koluwalne	Mapa geologiczna
Procentowy udział piaskowców i łupków w masywie skalnym (Thiel, Zabuski, 1995)	seria piaskowcowa: 85–100% piaskowców, 0–15% łupków seria piaskowcowo-łupkowa: 50–85% piaskowców, 15–50% łupków	seria łupkowo-piaskowcowa: 15–50% piaskowców, 50–85% łupków	seria łupkowa: 0–15% piaskowców, 85–100% łupków	Wyniki badań elektrooporowych (Czarniak i in., 2023a)

Warunki geologiczno-inżynierskie

Kryteria oceny

wg Glazer i Malinowski, 1991



Kryterium oceny	Wstępna ocena warunków geologiczno-inżynierskich			Źródło danych
	Korzystne	Średnio korzystne	Niekorzystne	
Bieg i upad warstw ¹	Najbardziej korzystne wg Glazera i Malinowskiego	Korzystne wg Glazera i Malinowskiego	Niekorzystne wg Glazera i Malinowskiego	SMGP (Paul, Jugowiec, 2001)
Bieg i upad warstw ²	Układ warstw asekwentny	Układ warstw pionowy	Układ warstw obsekwentny, insekwentny, konsekwentny	
Bieg i upad warstw ³	Układ warstw obsekwentny	Układ warstw asekwentny	Układ warstw insekwentny, konsekwentny	SMGP (Paul, Jugowiec, 2001)
Przypuszczalne nieciągłe deformacje masywu skalnego	Nie występują	Strefy spękań	Uskoki, strefy uskokowe, strefy nasunięć	SMGP (Paul, Jugowiec, 2001) Wyniki badań geofizycznych (Czarniak i in., 2023a)

¹ - kryterium oceny rozpatrywane dla obwałowań zbiornika górnego

² - kryterium oceny rozpatrywane dla dna zbiornika górnego

³ - kryterium oceny rozpatrywane dla komory siłowni, sztolni i rurociągów

Warunki geologiczno-inżynierskie

Kryteria oceny

Kryterium oceny	Wstępna ocena warunków geologiczno-inżynierskich			Źródło danych
	Korzystne	Średnio korzystne	Niekorzystne	
Przepuszczalność masywu skalnego ⁴	Utwory praktyczne nieprzepuszczalne (seria litologiczna nr 2 i 4)	Utwory średnio przepuszczalne (seria litologiczna nr 1) Koluwia osuwisk Strefy deformacji nieciągłych	Utwory przepuszczalne (seria litologiczna nr 3 i 5, czwartorzędowe żwiry i piaski)	Mapa hydrogeologiczna (Załącznik 4)
Głębokość występowania pierwszego poziomu wód podziemnych ⁵	> 4 m	2-4 m Koluwia osuwisk	0-2 m	Mapa hydrogeologiczna (Załącznik 4)
Głębokość występowania pierwszego poziomu wód podziemnych ⁶	Poniżej poziomu posadowienia komory siłowni lub sztolni	W poziomie posadowienia komory siłowni lub sztolni	Powyżej poziomu posadowienia komory siłowni lub sztolni (0-2 m; 2-4 m; > 4 m; Koluwia osuwisk)	Mapa hydrogeologiczna (Załącznik 4)

⁴ - kryterium oceny rozpatrywane dla zbiornika górnego, komory siłowni podziemnej oraz sztolni

⁵ - kryterium oceny rozpatrywane dla komory siłowni napowietrznej oraz rurociągów

⁶ - kryterium oceny rozpatrywane dla komory siłowni podziemnej oraz sztolni

Warunki geologiczno-inżynierskie

Kryteria oceny

Kryterium oceny	Wstępna ocena warunków geologiczno-inżynierskich			Źródło danych
	Korzystne	Średnio korzystne	Niekorzystne	
Aktywność osuwisk oraz tereny zagrożone ruchami masowymi ziemi	Osuwiska niekategorywne	Teren zagrożony ruchami masowymi ziemi	Osuwiska aktywne ciągle Osuwiska aktywne okresowo	Opracowanie Kos i in. (2023) (Załącznik 5)
Rodzaj osuwiska	Osuwisko obsekwentne	Osuwisko asekwentne	Osuwisko insekwentne Osuwisko konsekwentne Osuwisko złożone	Opracowanie Kos i in. (2023) (Załącznik 5)

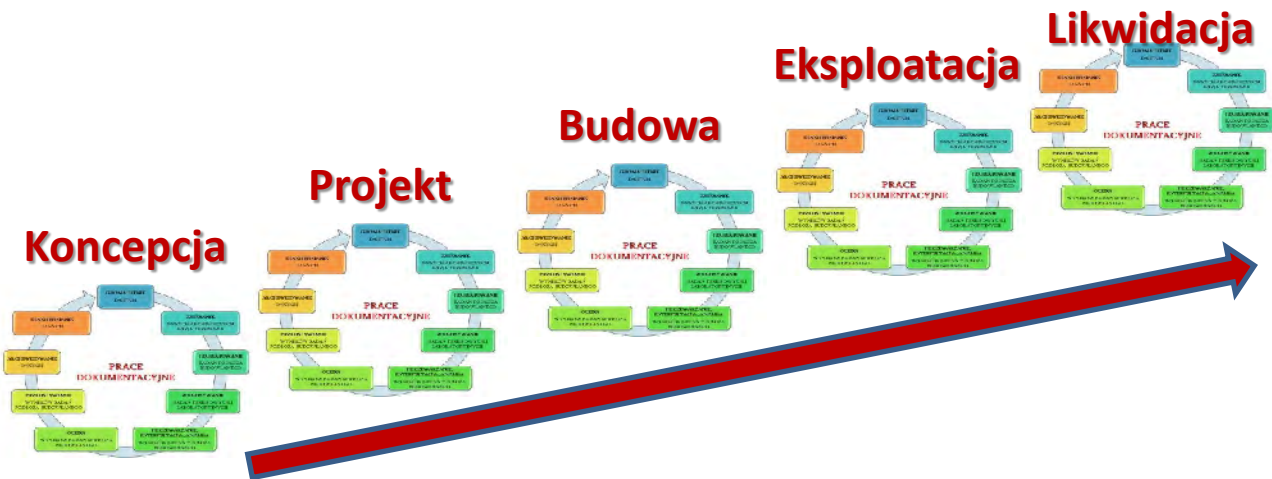
Warunki geologiczno-inżynierskie

Ocena warunków geologiczno-inżynierskich – ZBIORNIK GÓRNY

Kryterium oceny		Wstępna ocena warunków geologiczno-inżynierskich				
		Wariant I	Wariant II	Wariant III	Wariant IV	Wariant VA
Spadki terenu		Zmienne w zakresie od niekorzystnych do korzystnych				
Forma geomorfologiczna		Zmienne w zakresie od niekorzystnych do korzystnych				
Litologia masywu skalnego		Korzystne lokalnie niekorzystne			Korzystne	Korzystne lokalnie niekorzystne
Procentowy udział piaskowców i łupków w masywie skalnym Thiel, Zabuski, 1995)		Korzystne (na N) Średnio korzystne (na S) Lokalnie niekorzystne				
Bieg i upad warstw	podłoże obwałowań	średnio korzystne i korzystne (część środkowa i E) średnio korzystne i niekorzystne (część W)			korzystne (obwałowanie W i E) niekorzystne (obwałowanie N i S)	
	obszar dna	Niekorzystne				
Przypuszczalne nieciągłe deformacje masywu skalnego		Korzystne Niekorzystne w miejscach występowania deformacji nieciągłych				
Przepuszczalność masywu skalnego		Niekorzystne lokalnie średnio korzystne i korzystne			Niekorzystne lokalnie średnio korzystne	
Aktywność osuwisk oraz terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi	podłoże obwałowań	korzystne niekorzystne w miejscach osuwisk średnio korzystne w miejscach terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi				
	obszar dna	korzystne		Korzystne niekorzystne w miejscach osuwisk	korzystne	
Rodzaj osuwiska		niekorzystne				

PODSUMOWANIE

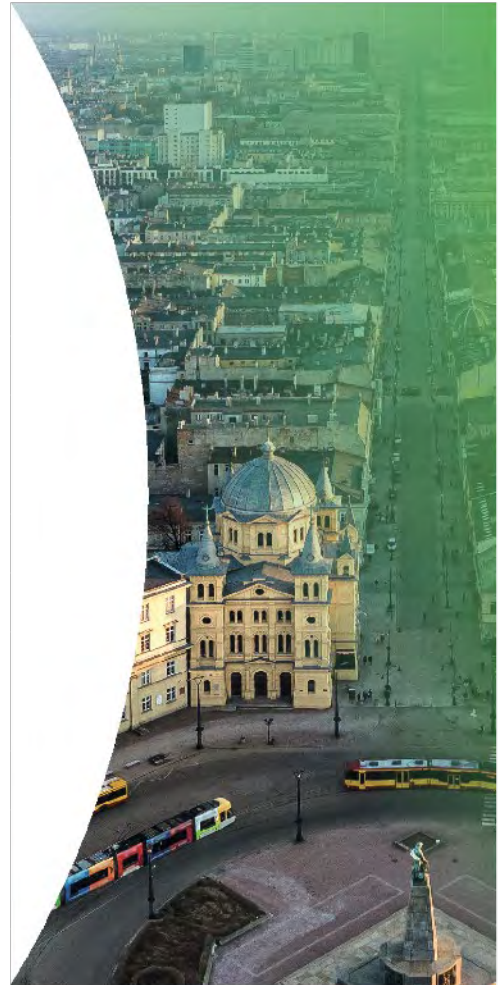
- ❑ **Pomiary monitoringowe oraz badania geologiczne należy prowadzić na wszystkich etapach procesu inwestycyjnego** tj. na etapie projektowania, budowy i eksploatacji. Dane te umożliwią doszczegółowienie modelu budowy geologicznej i dostarczą danych przede wszystkim do wyboru optymalnej lokalizacji obiektów budowlanych ESP



- ❑ Na podstawie szczegółowego rozpoznania podłoża budowlanego, weryfikacji warunków geologiczno-inżynierskich oraz obliczeń projektowych można **wyznaczyć optymalną lokalizację posadowienia obiektów budowlanych ESP**

8.WP GI 2024

Dziękujemy za uwagę



wpgi.pgi.gov.pl

pgi.gov.pl



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna

