

*Materiały dla studentów  
z przedmiotu*

***GEOLOGIA, HYDROGEOLOGIA  
I GEOFIZYKA***

*2020/21 do użytku wewnętrznego*

*dr inż. Bernadetta Pasierb*

## *Warunki zaliczenia*

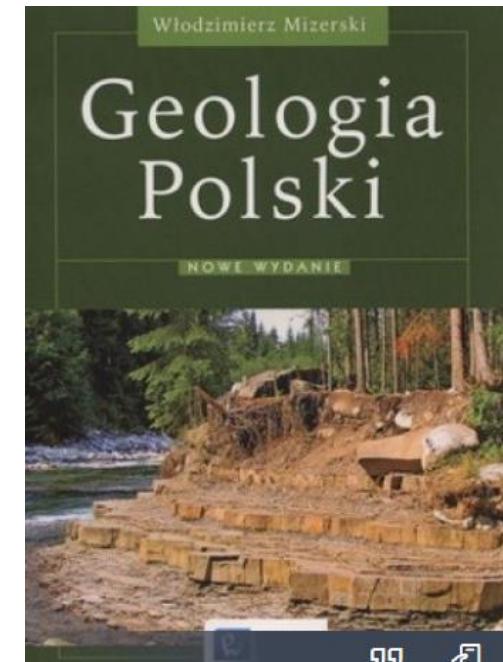
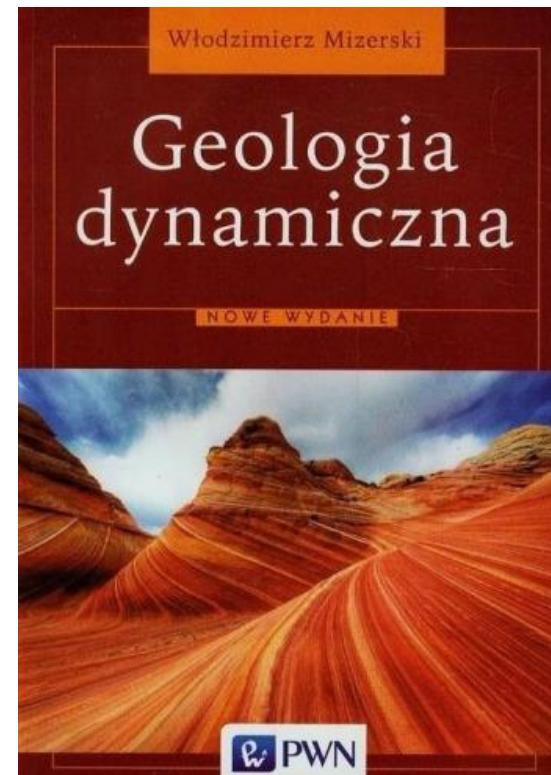
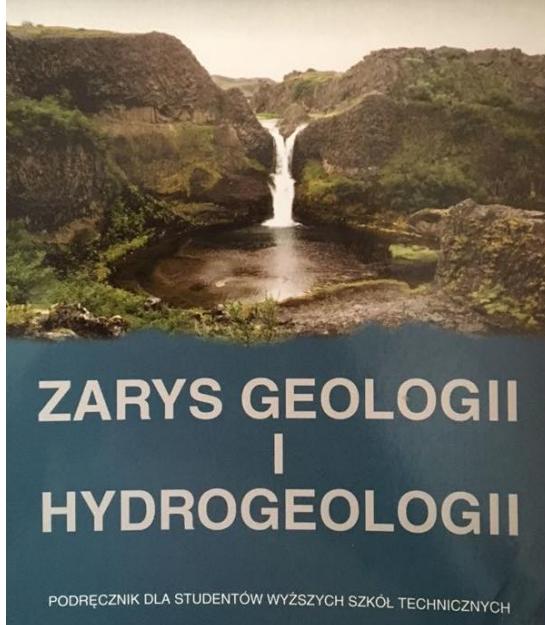
1. Obecność na zajęciach i wykładach
2. W razie nieobecności **odrabianie na zajęciach z inną grupą** po wcześniejszym mailowym ustaleniu z prowadzącym ([bettka@pk.edu.pl](mailto:bettka@pk.edu.pl)) w celu podania odp. grupy i kodu do grupy na Microsoft Teams
3. Nieobecność ewentualnie na 2 zajęciach nieusprawiedliwiona
4. **Wszystkie kolokwia i ćwiczenia/projekty muszą być zaliczone pozytywnie –** w przypadku braku należy uzupełnić.
5. W roku 2020/21 konsultacje tylko zdalnie **w poniedziałki i czwartki od godz. 14.15** przez pół godziny po zalogowaniu na Microsoft Teams i **wpisaniu kodu nnipmp8**

# **MATERIAŁY**

1. Wacławski M. (Red.), 2005: *Zarys geologii i hydrogeologii*. Wyd. PK, Kraków.
2. Książkiewicz M., 1972: *Geologia dynamiczna*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
3. Klimaszewski M., 1978: *Geomorfologia*. Wyd. PWN, Warszawa.
4. Fajkiewicz Z. (Red.), 1972: *Zarys geofizyki stosowanej*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
5. E. Liber-Madziarz, E. Teissyre, 2002: *Mineralogia i Petrografia*. Wyd. Pol. Wrocławskie, Wrocław.
6. M.Plewa, S.Plewa, 1992: *Petrofizyka*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
7. Dadlez R., Jaroszewski W., 1994: *Tektonika*. Wyd. PWN, Warszawa.
8. Migaszewski Z.M., Gałuszka A., 2009: *Podstawy geochemii środowiska*. Wyd. Nauk.Tech., Warszawa.

# MATERIAŁY

MACIEJ BUDKIEWICZ ELŻBIETA CHRZANOWSKA RAFAŁ GWÓDŹ  
ACEK MROCZEK BERNADETTA PASIERB MARIA SKOWROŃSKA  
KRYSYNA SROKA MIECZYSŁAW WACLAWSKI REDAKTOR PORECZNIKA



http://elf2.pk.edu.pl/course/index.php

ELF3: Kategorie kursów

Plik Edycja Widok Ulubione Narzędzia Pomoc

x Google elf2.pk.edu.pl Szukaj Więcej »

Zaloguj się

Springer Journal Suggester Tłumacz Google (2) http--geoinfo.amu.edu.pl... Google (3) rzecowy - Tłumaczenie n... mail.pk.edu.pl - Logowani... Fundamentals of Geophys... Bibliografia Publikacji Pra...

≡ ELF3 POLSKI (PL)

Nie jesteś zalogowany(a) (Zaloguj się)

# elf3.pk.edu.pl

≡ ELF3 POLSKI (PL)

## Kursy

▶ • Wydział Architektury

▶ • Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki

▶ • Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej (WIEiK)

▶ • Wydział Inżynierii Lądowej

▶ • Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

▶ • Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej

▶ • Wydział Mechaniczny

Rozwiń wszystko

PL

17:18

<http://elf3.pk.edu.pl/>

elf3.pk.edu.pl

Strona główna / Kursy / • Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Kategorie kursów: • Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Przeszukaj kursy

- Studia Stacjonarne I stopnia
- Studia Stacjonarne II stopnia
- Studia Niestacjonarne I stopnia
- Studia Niestacjonarne II stopnia
- Jednolite Studia Magisterskie
- Studia Podyplomowe
- Inne

ZALOGUJ SIĘ JAKO GOŚĆ

http://elf2.pk.edu.pl/course/index.php?categoryid=37

Plik Edycja Widok Ulubione Narzędzia Pomoc

Google elf3.pk.edu.pl

Springer Journal Suggester Tłumacz Google (2) http--geoinfo.amu.edu.pl... Google (3) rzec...

ELF ELF3 POLSKI (PL)

Kategorie kursów: • Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Przeszukaj

- Inżynieria Środowiska
- Geoinformatyka
- Inżynieria i Gospodarka Wodna
- Gospodarka Przestrzenna
- Odnawialne Źródła Energii

Geologia i hydrogeologia

Prowadzący: Pasierb Bernadetta

- Geologia, geofizyka i hydrogeologia
- Podstawy geologii i hydrogeologii inżynierskiej



Wyszukaj...



Nazwa użytkownika / e-mai

Hasło

Zapamiętaj login

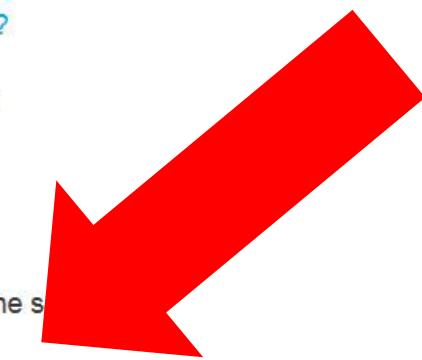
Zaloguj się

Zapomniałeś(aś) nazwy  
użytkownika lub hasła?

Przyjmowanie cookies  
(ciasteczek) musi być  
włączone w Twojej  
przeglądarce

Niektóre kursy dostępne s  
dla użytkowników  
zalogowanych jako goście.

Zaloguj się jako gość



WPISUJEMY HASŁO: STUDENT

## *Cechy fizyczne minerałów:*

- **TWARDOŚĆ**
- **BARWA**
- **RYSA**
- **POŁYSK**
- **ŁUPLIWOŚĆ**
- **PRZEŁAM**
- **POKRÓJ**

# Twardość

Skala twardości wg. Mohsa

Minerał	Twardość		
	wg. Skali Mohsa	wg. oznaczenia sklerometrem	oznaczenie praktyczne (min. zarysowuje:)
Talk $Mg_3(OH)2Si_4O_{10}$	1	0.013	paznokieć
Gips $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2	0.040	"
Kalcyt $CaCO_3$	3	0.260	drut miedziany
Fluoryt $CaF_2$	4	0.750	gwóździe żelazny
Apatyt $Ca_5F(PO_4)_3$	5	1.230	"
Ortoklaz $K(AlSi_2O_8)$	6	37	szkło, stal
Kwarc $SiO_2$	7	120	stal narzędziowa
Topaz $Al_2F_2SiO_4$	8	175	tarcza karborund.
Korund $Al_2O_3$	9	1000	rysuje szkło, stal
Diament C	10	14000	tnie szkło

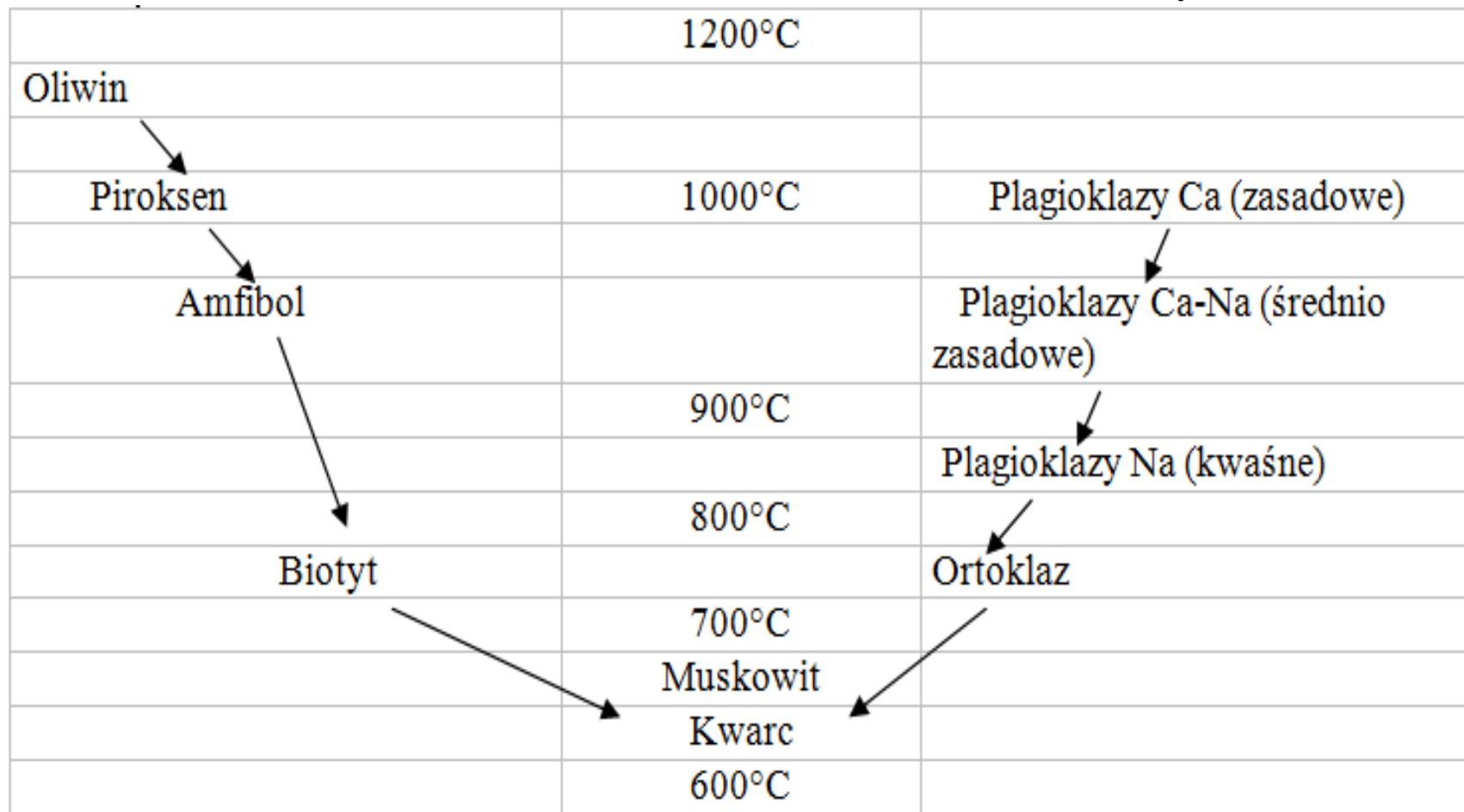
## Cechy fizyczne minerałów:

Własność minerału	Definicja	Określenie danej własności
Twardość względna wg. Mohsa	Podatność na zarysowanie przez minerały wzorcowe	wyrażona w cyfrach 1 - 10
Barwa	Zdolność selektywnego pochłaniania lub odbicia światła	- bezbarwne - zabarwione - barwne określenia potoczne - zielona, żółta itp
Rysa	Barwa sproszkowanego minerału	<u>min. bezbarwne i zabarwione mają rysę białą</u> <u>min. barwne - rysa barwna</u>
Połysk	Zdolność odbicia światła	diamantowy, tłusty metaliczny, perłowy szklisty, matowy
Łupliwość	Zdolność rozdzielania wzduż płaszczyzn	<u>doskonała</u> - min. łupie się b. łatwo pod lekkim naciskiem, wszystkie ściany odłamków regulame <u>b. dobra</u> - <u>dobra</u> - odłamki o ścianach w większości równoległych do pł. łupliwości <u>wyraźna</u> - <u>niewyraźna</u> - <u>brak łupliwości</u> - odłamki nieregularne o nierównej pow.ierzchni
Przelam	podzielność wg. nieplaskich powierzchni	muszlowy, cukrowy ziemisty, zadziorowany równy, haczykowaty
Pokrój	Forma zewnętrzna minerału	ziarnisty słupkowy pływający (tuskowy, blaszkowy)

# *Szereg Bowena*

krzemianami Fe, Mg, Ca  
minerały femiczne

glinokrzemiany Ca, Na, K  
minerały sialiczne



# Minerały skałotwórcze skał magmowych

## Właściwości makroskopowe minerałów skał magmowych

		Twardość	Barwa	Rysa	Polysk	Lupliwość	Przelam	Pokrój kryształu
minerały ciemne	Oliwin	6,5-7	oliwkowo-zielona	szara	tlusty	niewyraźna	muszlowy	grubosłupkowy
	Piroksen	5,5-6,5	czarna do ciemno zielonego	szara	szklisty	bardzo dobra	nierówny	krótkosłupkowy
	Amfibol	5-6	czarna do ciemno zielonego	szara	szklisty	bardzo dobra	nierówny	długosłupkowy
minerały jasne	lyszczyki, miki	Biotyt	2,5-3	czarna do brunatnego	ciemno szara	szklisty, metaliczny	doskonała	nierówny
	skalenie	Muskowit	2-2,5	bezbarwna, srebrzysty	biała	szklisty, perłowy	doskonała	nierówny
	Plagioklaz	6-6,5	biała do szaro-niebieskiego	biała	szklisty	bardzo dobra	nierówny	grubotabliczkowy
	Ortoklaz	6	biała, różowa do czerwonej	biała	szklisty	bardzo dobra	nierówny	grubotabliczkowy
	Kwarc - SiO <sub>2</sub>	7	bezbarwna, biała (zabarwiony na różne kolory)	biała	tlusty	brak	muszlowy	slupkowy

# *Skały magmowe*

**SKAŁY MAGMOWE POWSTAJĄ WSKUTEK ZASTYGANIA STOPU KRZEMIANOWEGO ZWANEGO MAGMĄ, (W GŁĘBI SKORUPY ZIEMSKIEJ) LUB LAWĄ, (NA POWIERZCHNI ZIEMI).**

- **SKAŁY MAGMOWE PLUTONICZNE (GŁĘBINOWE)** - powstają w wyniku krystalizacji magmy w głębszych strefach skorupy ziemskiej, przy powolnym spadku ciśnienia i temperatury.
- **SKAŁY MAGMOWE WULKANICZNE (WYLEWNE)** - powstają z magmy wylewającej się na powierzchnię ziemi (z lawy), towarzyszy temu bardzo szybki spadek ciśnienia i temperatury oraz gwałtowne odgazowanie.
- **SKAŁY MAGMOWE SUBWULKANICZNE (POŚREDNIE, ŻYŁOWE)** - powstają z magmy krystalizującej na niewielkich głębokościach od powierzchni ziemi, przy umiarkowanym ciśnieniu i powolnym spadku temperatury.

## *Cechy fizyczne skał:*

- **STRUKTURA**
- **TEKSTURA**
- **SKŁAD MINERALNY**

## *Struktura*

**określa stopień wykryształzowania,  
kształt  
i wielkości minerałów budujących skałę**

## *Struktura*

**Jawnokrystaliczna (holokrystaliczna)** - kryształy są widoczne gołym okiem.  
Jest to struktura charakterystyczna dla skał głębinowych i niektórych skał żyłowych.

Ze względu na wielkość ziaren mineralnych wyróżnia się strukturę:

- **grubokrystaliczną [średnica > 5 mm],**
- **średniokrystaliczną [5 - 2 mm]**
- **drobnokrystaliczną [<2 mm],**



Struktury jawnokrystaliczne: grubo-



średnio-



i drobnokrystaliczna

## *Struktura*

**Częściowo krystaliczna (porfirowa)** – obecność drobnokrystalicznego tła (tzw. ciasto skalne) oraz swobodnie rozrzuconych w nim prakryształów (charakterystyczna dla skał wylewnych).

Prakryształy są ziarnami minerałów, powstałymi we wcześniejszej fazie krystalizacji (przed erupcją), ciasto skalne to afanitowa lub szklistą masa zakrzepła po erupcji.



struktura porfirowa

## *Struktura*

**Skrytokrystaliczna (afanitowa)** – magma zastygła w formie bezpostaciowego szkliwa

Kryształy nie są dostrzegalne makroskopowo (gołym okiem).  
Struktura afanitowa charakteryzuje skały wulkaniczne.



struktura skrytokrystaliczna

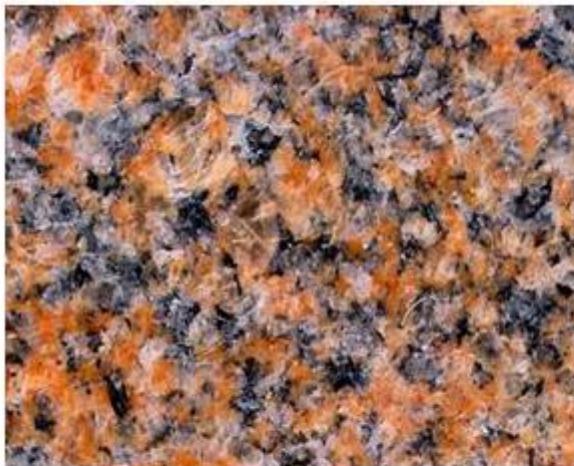
## *Tekstura*

**określa sposób rozmieszczenia oraz wypełnienia przestrzeni  
przez składniki mineralnych w skale**

# *Tekstura*

**Ze względu na stopień uporządkowania:**

- bezładna, nieuporządkowane, chaotyczne
- uporządkowane (kierunkowe)



tekstury bezładne



tekstura uporządkowana (fluidalna)

# *Tekstura*

## **Ze względu na stopień wypełnienia**

- zbite, masywne
- porowate
- gąbczaste
- migdałowcowe



tekstura zbita



porowata



gąbczasta



migdałowcowa

# Systematyka skał magmowych

<b>rodzina</b>	<b>PERYDOTYT</b>	<b>GABRO</b>	<b>DIORYT</b>	<b>SJENIT</b>	<b>GRANIT</b>
<b>Minerały główne</b>	oliwin piroksen	plagioklaz piroksen	plagioklaz amfibol biotyt	ortoklaz biotyt	ortoklaz kwarc biotyt muskowit
<b>Skąły głębinowe</b>	perydotyt piroksenit	<b>gabro</b> gabro oliwinowe	<b>dioryt</b>	<b>sjenit</b>	<b>granit</b>
<b>Skąły wylewne</b>	pikryt	<b>bazalt</b> <b>melafir</b> <b>diabaz (doleryt)</b>	<b>andezyt</b>	<b>porfir</b>	<b>ryolit</b> (porfir kwarcowy)
Szkliwa wulkaniczna	smołowce, obsydiany, pumeksy				
Skàły żyłowe	Lamprofiry, pegmatyty, aplity				

# Zastosowanie i występowanie skał magmowych

Nazwa skały	Gęstość pozorna $10^3 \text{kg/m}^3$	Wytrzymałość na ściskanie $R_c$ MPa	Zastosowanie	Występowanie w Polsce
Gabro	2,96	119,5	Brukowiec, tłuczeń, grys, krawężniki, kamień łamany	<u>Dolny Śląsk</u> Nowa Ruda Słupiec
Diabaz (doleryt)	2,86 2,81-2,88	118,3 134,8-290,3	Tłuczeń, kamień łamany, kliniec	<u>Dolny Śląsk</u> Słupiec <u>Ok. Krakowa</u> Niedźwiedzia Góra
Bazalt	3,05	116,0	Tłuczeń drogowy i kolejowy, leizna	<u>Dolny Śląsk</u> Ok. 300 wystąpień Bukowa Góra
Melafir	2,72 2,71	155,0 109,3	Kamień podkładowy dla dróg i kolei, tłuczeń, kliniec, gryszy	<u>Dolny Śląsk</u> Rybnica Leśna <u>Ok. Krakowa</u> Regulice
Andezyt	2,61	120,0	Brukowiec, kostka, tłuczeń, okładziny, materiał kwasoodporny	<u>Pieniny</u> Góra Wżar Malinowa
Sjenit	2,80 2,76	130,0-250,0 100,0-160,0	Płyty okładzinowe, cokoły, schody, posadzki, pomniki	<u>Dolny Śląsk</u> Przedborowa Kośmin
Granit	2,64 2,65 2,63	120,0-140,0 210,0-217,0 100,0-140,0	Płyty okładzinowe, bloki, kostka, grys, tłuczeń, słupki, mączki skaleniowo-kwarcowe dla przem. szklarskiego i ceramicznego	<u>Dolny Śląsk</u> Strzegom Strzelin  <u>Michałowice</u> k.Szklarskiej P. <u>Tatry</u>
Porfir (ryolit)	2,52 2,59	132,0 209,0	Kostka drogowa, grys, brukowiec, tłuczeń	<u>Dolny Śląsk</u> <u>Ok. Wałbrzychu</u> <u>Ok. Krakowa</u> Miękinia, Zalas

# ***ROZPOZNAWANIE SKAŁ***

## **1. STRUKTURA**

- **SYSTEMATYKA**  
(skały osadowe)

## **2. TEKSTURA**

## **3. SKŁAD MINERALNY**

- **RODZINA**  
(skały magmowe)  
- **SYSTEMATYKA**  
(skały metamorficzne)

## **4. NAZWA SKAŁY**

## **5. ZASTOSOWANIE**

## **6. WYSTĘPOWANIE**

*Materiały dla studentów  
z przedmiotu*

***GEOLOGIA, HYDROGEOLOGIA  
I GEOFIZYKA***

*część II - skały osadowe*

*2020/21 do użytku wewnętrznego*

*dr inż. Bernadetta Pasierb*

# ***PROCESY PROWADZĄCE DO POWSTAWANIA SKAŁ OSADOWYCH***

- WIETRZENIE FIZYCZNE
- WIETRZENIE CHEMICZNE
- EROZJA
- TRANSPORT
- DENUDACJA
- AKUMULACJA/SEDYMENTACJA
- DIAGENEZA

**Wietrzenie fizyczne** rozpad skał i minerałów pod wpływem fizycznego działania: temperatury i jej zmian,

**Wietrzenie chemiczne** Zmiana chemizmu minerałów pod wpływem gazów atmosferycznych i zmineralizowanej wody np. O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> kwasów węglowego i siarkowego, kwasów humusowych

**Erozja** polega na usuwaniu zwietrzeliny i innych utworów skalnych przez deszcz, wiatr, lodowiec, wody płynące oraz wody jezior, mórz i oceanów i odsłanianiu coraz to nowych fragmentów utworów geologicznych procesów wietrzeniowych.

**Transport** przenoszenia materiału skalnego

**Denudacja** procesy niszczące powodujące wyrównywanie i stopniowe obniżenie powierzchni Ziemi.

**Akumulacja/Sedimentacja** nagromadzenie na lądzie albo osadzanie się materiału w zbiorniku wodnym.

**Diageneza** - proces przeobrażenia miękkiego, luźnego osadu w zbitą, litą skałę (kompakcja, odwodnienie, krystalizacja, powstanie spoiw, cementacja, utwardzenie

# *Minerały skałotwórcze skał osadowych*

## *Produkty wietrzenia fizycznego*

Geneza	Minerały (wzór chemiczny)	Twardość	Barwa	Połysk	Rysa	Łupliwość	Przełam
1	2	3	4	5	6	7	8
Produkty wietrzenia fizycznego	Kwarc Muskowit Biotyt Ortoklaz Plagioklazy akcesoryczne – ciężkie Pirokseny i amfibole Cyrkon, rutyl, granaty, turmalin, magnetyt, ilmenit i in.		Skład chemiczny i własności fizyczne jak minerały skałotwórcze skał magmowych				

**Kwarc****muskowit****biotyt****ortoklaz****plagioklaz****pirokseny****amfibole****cyrkon****granaty****turmalin****magnetyt**

# Minerały skałotwórcze skał osadowych

## Produkty wietrzenia chemicznego

### MINERAŁY GRUPY KRZEMIONKI

Grupa krzemionki kwarc ( $\text{SiO}_2$ )	7	bezbarw. mleczny lub różnie zabarwiony	szklisty na przeła- mie tłusty	biała	brak	muszlowy	Może to być minerał allogeniczny, albo autogeniczny tj. powstały w środowisku tworzenia się osadu, przez rekrysta- lizację: opal → chalcedon → kwarc.
chalcedon ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) - $\text{H}_2\text{O}$ do 3 %	6 – 6,5	szary, brunatny, żółtawy, niebiesk.	matowy	biała	brak	muszlowy	Mikrokryystaliczna odmiana krzemionki. Powstaje z roztworów koloidalnych, tworzy formy kuliste, groniaste, nerkowate itp. Starzejąc się przechodzi w kwarc.
opal ( $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ ) - $\text{H}_2\text{O}$ do 21 %	5,5 – 6	bezbarwny biały (opal mleczny) opalizuj. niebiesko- żółt.-czer- won. tonami	matowy	biała	brak	muszlowy	Bezpostaciowa lub częściowo skrytokryystaliczna odmiana krzemionki. Starzejąc się, poprzez proces rekrytalizacji prze- chodzi w chalcedon i kwarc.

# *Minerały skałotwórcze skał osadowych*

## *Produkty wietrzenie chemiczne*

# MINERAŁY I LASTE

<b>Mineraly ilaste:</b> <b>Kaolinity</b> Kaolinit $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (haloizyt) – uwodniona forma kaolinitu	1 – 2	biała, żółta	ziemisty perłowy	biała	doskonała	ziemisty	Tworzą stabilne pakiety, dwuwarstwowe 1:1. Warstwy: krzemotlenowa $\text{SiO}_4$ i gibbsytowa $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Odległość między pakietami 7,2 Å. W stanie wilgotnym plastyczny, odporny na działanie kwasów. Rzepowszechniony produkt chemicznego wietrzenia skaleni i mik. Powstaje w środowisku kwaśnym ( $\text{pH} \leq 5$ ). Ma słabe własności odbarwiające. Pojedyncze blaszki bardzo małe szerokości 3 – 15 $\mu\text{m}$ a grubości 0,5 – 3 $\mu\text{m}$
<b>Smektyty:</b> <b>Montmorillonit</b> $(\text{CaNa})_{0,7}(\text{Al, Mg, Fe})_4 \cdot (\text{Si, Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ Beidellit Nontronit Saponit	1 – 2	biała, szara, żółta zależnie od domieszek	matowy	biała	doskonała	ziemisty	Tworzą pakiety trójwarstwowe 2:1 – 2 warstwy krzemotlenowe, 1 warstwa gibbsytowa. Odległość między pakietami zmienia się $10 \approx 21$ Å. Wskutek małych sił przyciągania się sąsiednich pakietów wykazują największą wśród minerałów zdolność pęcznienia. Przestrzenie między pakietami może zatrzymać wodę, kationy wymienne lub ciecz organiczne, które działają rozpuszczająco na pakiety. Mają własności odbarwiające. Są produktami wietrzenia podmorskiego, zwłaszcza szkliwa wulkanicznego, w środowisku alkalicznym przy $\text{pH} = 8$ . Wielkość ziaren bardzo mała najczęściej < 2 $\mu\text{m}$ .
<b>Illity – mikti:</b> <b>Iilit</b> (uwodnione glinokrzemiany potasu) <b>Hydromuskowit</b>	1 – 2	biała, szara, brunatna	matowy jedwabisty	biała biała	doskonała doskonała	ziemisty ziemisty	Pakiety trójwarstwowe 2:1 – 2 warstwy krzemotlenowe, 1 warstwa gibbsytowa. Odległość między pakietami 10 Å. Tworzą pilśniowe agregaty mikrokryształicznych łuseczek. Są produktami wietrzenia skaleni, muskowitu. Illity przy wzrastającym stopniu przeobrażeń przechodzą w serycyt. Podobnie jak i inne minerały ilaste występują pospolicie w klastycznych skałach osadowych i gruntach.
<b>Serycyt</b>		srebrz. biało-zielona	jedwabisty	biała	doskonała	ziemisty	
<b>Glaukonit</b> (uwodniony glinokrzemian K, NaCa, Mg, Fe)	2	blado do intens. zielon. niebiesk. lub żółtawy	matowy				Występuje w skałach osadowych w postaci okrągłowych skupień, intensywnie zielono zabarwionych, powodując zielonawo-szare barwy tych skał. W procesach metamorfizmu glaukonit przechodzi w chloryt.

# Minerały skałotwórcze skał osadowych

## Produkty wietrzenia chemicznego

### UWODNIONE TLENKI ŻELAZA

<b>Uwodnione tlenki żelaza:</b> <i>Limonit</i> $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ <i>Hydrohematytyt</i>	<b>4-5</b>	rdzawożółta do brunatno- noczarnej czerwonobrunatna	matowy	żółto- bru- natna		ziemisty	Są rozpowszechnionymi produktami utleniania minerałów żela-za w warunkach wietrzenia. Występują w formie łuseczkowa-tych domieszek w skałach nadając im żółto- lub czerwonobru- natne zabarwienie. Limonit zbitny – żelaziak brunatny występuje w formie ziemis- tej masy lub nerkowatych nacieków.
---	------------	--	--------	-------------------------	--	----------	--



limonit



hydrohematytyt



limonit z hydrohematytem

# Minerały skałotwórcze skał osadowych

## Produkty wietrzenia chemicznego

### WĘGLANY

Węglany:							
Kalcyt	$\text{CaCO}_3$	3	bezbarw. biały, żółtobiały, szarawy, brązatnoczerwony	szklisty	biała	doskonała i b. dobra	nierówny
Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	3,5 – 4	szarobiały żółtawy	szklisty	biała	doskonała i b. dobra	nierówny
Sydneyt	$\text{FeCO}_3$	4 – 4,5	szara żółtawa wietrzając brunatnieje	szklisty	biała	b. dobra	nierówny

Reaguje burzliwie z HCl na zimno. W temperaturze 800 – 900° C rozkłada się na CaO i CO<sub>2</sub> (wapno palone). W wodzie destylowanej rozpuszcza się do 14,33 mg/l a w wodzie z CO<sub>2</sub> rozpuszczalność wzrasta do 1300 mg/l.

Z HCl reaguje sproszkowany lub na gorąco.

Z HCl reaguje na gorąco. Przy wietrzeniu powstaje nalot limonitowy.

# Minerały skałotwórcze skał osadowych

## Produkty wietrzenia chemicznego

### SIARCZANY

Siarczany: Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2	bezbarw. biały, szary, różno- barwny	szklisty jedwab.	biała	doskonała	nierówny	Tworzy duże kryształy tzw. "jaskółcze ogony" oraz skupienia ziarniste lub włókniste. W temp. 120 – 130° C traci 3/4 wody (gips sztukatorski). W temp. 190° C traci całą wodę (bezwodny gips posadzkowy). Po kilku dniach może wodę przyjąć z powrotem.
Anhydryt $\text{CaSO}_4$	3 – 4	biały, błękitny niebiesk. różowy	szklisty	biała	b. dobra	nierówny	Sproszkowany rozpuszcza się w stężonym $\text{H}_2\text{SO}_4$ . W środowisku wodnym – sproszkowany przechodzi w gips. Procesowi temu towarzyszy zwiększenie objętości.



gips



anhydryt



# Minerały skałotwórcze skał osadowych

## Produkty wietrzenia chemicznego

### CHLORKI

Chlorki:								
<i>Halit</i>	NaCl	2	bezbarw. biały, szary, żółtawy czerwony niebisk.	szklisty	biała	b. dobra	nierówny	Bardzo łatwo rozpuszcza się w wodzie. Smak słony.
<i>Sylwin</i>	KCl	2	j.w.	szklisty	biała	b. dobra	nierówny	Bardzo łatwo rozpuszczalny, smak gorzko-słony, piekący.
<i>Karnalit</i>	$MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$	2 – 3	bezbarw. zabarw. czerwono- lub żółto- brunatno	szklisty matowiące	biała	b. dobra	nierówny ziarnisty	Silnie higroskopijny, rozpuszcza się pod działaniem wilgoci atmosferycznej. Smak gorzko-słony.



halit



sylwin



halit



karnalit



# SYSTEMATYKA SKAŁ OSADOWYCH

Skały okruchowe (klastyczne)			Skały ilaste	Osady chemiczne					
podstawowe składniki			podstawowe składniki	podstawowe składniki					
1. ziarna: kwarc, okruchy skał, skalenie, tyszczki 2. spoivo w skałach zdiagenerowanych - powstaje na drodze reakcji chemicznych lub koagulacji koloidów: - krzemionkowe - węglanowe - ilaste - zelaziste - mieszane			minerały ilaste: - illity - kaolinity - smektyty - chloraty pył kwarcowy	1. związki chemiczne, wytrącające się z roztworów wodnych: węglany, siarczany, chlorki, fosforany, krzemionka bezpostaciowa, wodorotlenki żelaza i glinu 2. muszle, szkielety i inne części zwierząt i roślin, zbudowane z kalcytu, opalu, chalcedonu, fosforanów wapnia 3. składniki klastyczne, znajdujące się w zbiorniku sedymentacyjnym					
gruboziarniste – psefity min. 50% ziarn > od 2mm	średnioziarniste – psamity min 50% ziarn w przedziale 0,05 do 2 mm	drobnoziarniste – pelity min 50% ziarn < 0,05 mm	ziarna mniejsze od 0,002 mm	nieorganiczne	organogeniczne (widoczne szczątki zwierząt)	mineraty			
niezdiagenerowane	żwiry (obtoczone) gruzы (ostrokrawędziste)	piaski	muly lessy	marly kaoliny bentonity	wapienie	kreda			
	posp. ółka				gips		kalcyt		
					dolomit		dolomit		
						fosforaty	fosforany		
zdiagenerowane	gliny				gryszt limonit	wodorotlenki żelaza			
	zlepieńce brekcje	piaskowce arkozy szaroglazy	mułowce	ilowce lupki ilaste	gips, anhydryt	siarczany			
					sól kamienna (halit), sole K – Mg		chlorki		
					buly krzemienne, czenty	geza lidyt radiolaryt	$\text{SiO}_2$ (krzemionka)		
Skały piroklastyczne					Utwory organiczne (kopalne paliwa stałe)				
podstawowe składniki		pyły wulkaniczne, szkliwo, bomby wulkaniczne, lapilli		węgiel kamienny węgiel brunatny torf					
osadzane na lądzie		tufy							
osadzane w zbiorniku wodnym		tufty							

# *Struktury skał osadowych*

**1. ZIARNISTE** - w skałach, których podstawowym budulcem są okruchy  
**SKAŁY OKRUCHOWE**

ze względu na wielkość ziaren:

- psefitowe – gruboziarniste o ziarnach > 2 mm,
- psamitowe – średnioziarniste o ziarnach 2 – 0,05 mm,
- pelitowe – drobnoziarniste o ziarnach < 0,05 mm.

**2. pelitowa - bardzodrobnoziarnista < 0,002 mm**  
2. SKAŁY ILASTE

**3. STRUKTURY KRYSTALICZNE** - w skałach, które powstają na drodze krystalizacji z roztworu wodnego  
**SKAŁY NIEORGANICZNE/CHEMICZNE**

**4. STRUKTURY ORGANOGENICZNE** - jeśli osad jest zbudowany z  
**SKAŁY ORGANOGENICZNE/BIOCHEMICZNE** widocznych resztek zwierzęcych

**5. STRUKTURY ORGANODETRYTYCZNE** - jeśli osad jest zbudowany z  
**SKAŁY ORGANICZNE** (kopalne paliwa stałe) widocznych szczątek roślinnych

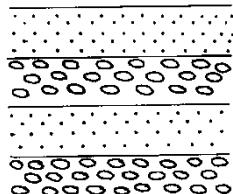
# Tekstury skał osadowych

## ZE WZGLEDU NA ROZMIESZCZENIE MINERAŁÓW

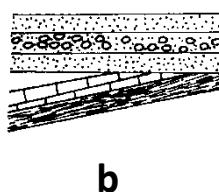
### 1. NIEUPORZĄDKOWANE

### 2. UPORZĄDKOWANE:

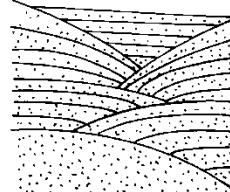
- warstwowe – składają się z cienkich warstwek różniących się wielkością ziaren, barwą itp.
  - równoległe (a)
  - przekątne (b)
  - krzyżowe (c)
  - faliste (d)
- frakcjonalna (e) - ułożenie ze względu na wielkość ziaren (frakcje)
- laminowa (f) - złożone z bardzo drobnych ziaren lub cząstek, składają się z cieniutkich lamin (warstwki < 1 cm) (po diagenezie)
- łupkowa (g) - ulegać przy nacisku rozpadowi na cienkie płytki, bloczki.



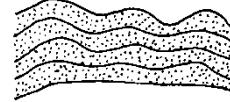
a



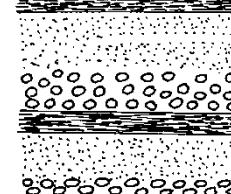
b



c



d



e



f



g

# *Tekstury skał osadowych*

## **ZE WZGLĘDU NA WYPEŁNIENIE PRZESTRZENI**

- ***ZBITA***
- ***MASYWNA***
- ***POROWATA***
- ***KAWERNISTA***



**zbite, masywne**



**porowate**



**kawerniste**

*Materiały dla studentów  
z przedmiotu*

***GEOLOGIA, HYDROGEOLOGIA  
I GEOFIZYKA***

*część III - skały metamorficzne*

*2020/21 tylko do użytku wewnętrznego*

*dr inż. Bernadetta Pasierb*

# **PODZIAŁ PROCESÓW GEOLOGICZNYCH**

Procesy geologiczne, w których powstają minerały i skały, podzielić można na dwie grupy:

- procesy egzogeniczne (*gr. egzon - zewnątrz*) – przyczyny wywołujące proces zlokalizowane są na powierzchni skorupy ziemskiej;
- procesy endogeniczne (*gr. endon - wewnętrz*) – ich źródło (przyczyna) znajduje się w głębszych strefach skorupy – litosfery.



# **PODZIAŁ PROCESÓW SKAŁOTWÓRCZYCH**



## ***SKAŁY METAMORFICZNE***

**POWSTAJĄ W GŁĘBI SKORUPY ZIEMSKIEJ W WYNIKU DZIAŁANIA  
PROCESÓW ENDOGENICZNYCH NA ISTNIEJACE SKAŁY W  
WARUNKACH WYSOKICH CISNIEŃ (kilkaset MPa) i TEMPERATUR  
(kilkaset °C)**

# **RODZAJE METAMORFIZMU**

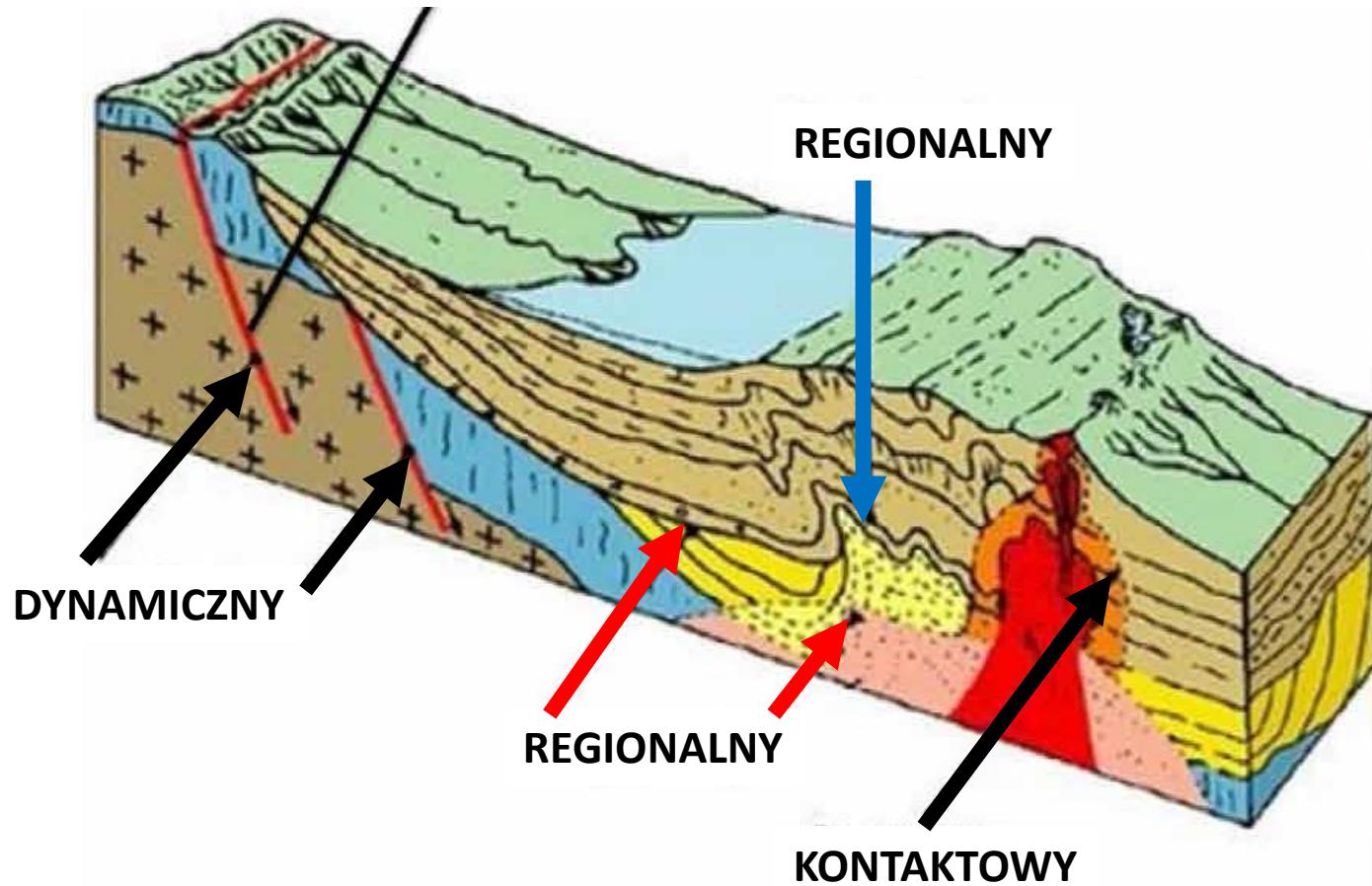
**METAMORFIZM TERMICZNY (KONTAKTOWY)** - głównym czynnikiem przeobrażającym jest w tym wypadku wysoka temperatura.

**Metamorfizm kontaktowy** - przeobrażeniu podlegają skały położone w pobliżu ogniska magmowego. Strefa oddziaływania do kilkaset metrów wokół ciała magmowego.

**METAMORFIZM DYNAMICZNY** – występuje w strefach dyslokacji, przemieszczania materii skalnej, w strefach uskokowych, tam gdzie powstają silne naciski boczne. Głównym czynnikiem przeobrażającym jest duże ciśnienie (typu stress, hydrostatyczne)

**METAMORFIZM REGIONALNY** – pod wpływem ruchów skorupy ziemskiej, obejmuje rozległe obszary – nawet setki tysięcy km<sup>2</sup>. Występuje w strefach subdukcji, w strefach kolizji płyt litosferycznych lub subdukcji gdzie skorupa oceaniczna pogrąża się w materii płaszcza. Wywołany jest działaniem zarówno wysokiej temperatury, jak i dużego ciśnienia

# ***RODZAJE METAMORFIZMU***



## ***STREFY METAMORFIZMU***

**STREFA EPI** - zasięg 6 - 10 km, działanie dużych **ciśnień kierunkowych (stresu)**, małe ciśnienia hydrostatycznego oraz **niskiej temperatury 200 -400°C.**  
Stres decyduje o wykształceniu się wyraźnej tekstury kierunkowej ( łupkowej)

**STREFA MEZO** - zasięg 10 – 20 km, działanie **silnego stresu**, duże ciśnienia typu **hydrostatycznego pojawia się w dolnych partiach, średnia temperatura 400 -600°C .**  
W strefie tej powstają skały o strukturze łupkowej, gnejsowej,

**STREFA KATA** - powyżej 20 km, panuje w niej **duże ciśnienie typu hydrostatycznego i wysoka temperatura 600 -800°C.** Oddziaływanie stresu jest nieznaczne.  
Powstają tu skały, wykazujące na ogół teksturę bezładną

## ***MINERAŁY SKAŁ METAMORFICZNYCH***

Skały metamorficzne zbudowane są w większej części:

- **z minerałów skał pierwotnych**, które w niewielkim stopniu uległy przeobrażeniu **kwarc, miki, amfibole, pirokseny, ortoklaz, kalcyt, dolomit, tlenki żelaza, piryt, magnetyt, hematyt**
- **nowych minerałów metamorficznych**, powstałych w trakcie przemian w procesie rekrystalizacji, (**granaty, korderyt, sylimanit , talk, azbest, cyjanit, epidot, chloryt, serycyt i inne**).

# *MINERAŁY SKAŁ METAMORFICZNYCH*



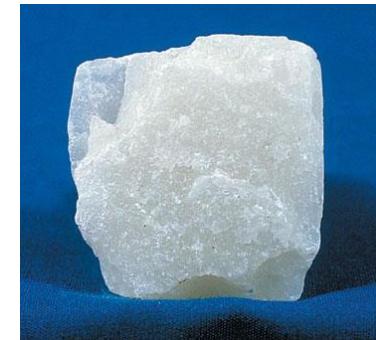
granaty



kordieryt



sylimanit



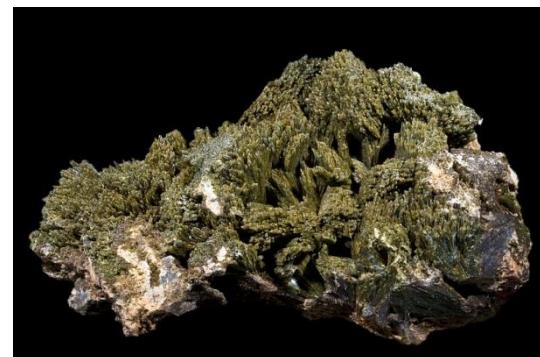
talk



muskowit z włóknami azbestowymi



cyjanit



epidot



chloryt



serycyt

# **STRUKTURY SKAŁ METAMORFICZNYCH**

**STRUKTURY SKAŁ METAMORFICZNYCH SĄ PEŁNOKRYSTALICZNE,  
KTÓRE OKREŚLANE SĄ JAKO BLASTYCZNE - KRYSTALOBLASTYCZNE**

W zależności od wielkości kryształów (blastów) wyróżnia się struktury:  
**drobno-, średnio-, i gruboblastyczne.**

Struktury gruboblastyczne wyglądem odpowiadają strukturze  
jawnokrystalicznej skał magmowych.

# **STRUKTURY SKAŁ METAMORFICZNYCH**

**ZE WZGLĘDU NA KSZTAŁT KRYSZTAŁÓW WYRÓŻNIAMY STRUKTURY:**

- **GRANOBLASTYCZNE** – kryształy wykształcone sa w formie ziaren
- **LEPIDOBLASTYCZNY** - kryształy tworzą blaszki
- **NEMATOBLASTYCZNE** – kryształy mają pokrój pręcikowy, igiełkowy
- **FIBROBLASTYCZNE** – mają postać włóknistą

# **TEKSTURY SKAŁ METAMORFICZNYCH**

Najczęściej dochodzi do powstania

## **TEKSTUR KIERUNKOWYCH:**

- **łupkowa** - równoległe ułożenie minerałów blaszkowych (np. łyszczyków, chlorytów itp.),
- **gnejsowa**, zbudowana z warstw jasnych skaleniowo-kwarcowych (zawierające także inne minerały) oraz na warstw ciemnych zasobnych w łyszczyki, chloryty lub inne krzemiany warstwowe.

Jeżeli skalenie lub kwarc osiągają znaczne rozmiary, to w zależności od ich kształtu wyróżnia się tekstury: **oczkowe, smużyste, laminowane i inne.**

**TEKSTURY BEZKIERUNKOWE** - rozwijają się w niektórych skałach metamorficznych, zwłaszcza powstających w strefie Kata

Ze względu na istniejące ciśnienie **NIE MA TEKSTUR POROWATYCH**



tekstura smużysta



tekstura oczkowa



Tekstura łupkowa

# SYSTEMATYKA SKAŁ METAMORFICZNYCH

Skały pierwotne	Strefy metamorfizmu			Główne minerały skałotwórcze
	EPI	MEZO	KATA	
Piaskowce		KWARCYTY		kwart i akcesorycznie skalenie, łyszczyki: serycyt, chloryt
Arkozy i szarogłazy				
Mułowce i ilowce	FYLLITY	Łupki łyszczykowe	GNEJSY	ortoklaz, kwarc, plagioklaz, łyszczyki, chloryt, sylimanit, kordieryt, granat
Granitoidy				
Wulkanity kwaśne i ich tufy				
Wulkanity zasadowe i ich tufy	Zieleńce Łupki chlorytowe Epidotowe	AMFIBOLITY	GRANULITY	amfibol, plagioklaz, piroksen, granat, chloryt, epidot
Margle				
Wapienie		MARMURY		kalcyt, dolomit

# Zastosowanie i występowanie skał metamorficznych

Nazwa skały	Gęstość pozorna kg/10 <sup>-3</sup> m	Wytrzymałość na ściskanie (pow. – suchy) MPa	Zastosowanie	Ważniejsze miejsca występowania w Polsce
<b>Gnejsy</b> drobno-, średnio- i grubokrystalicz. oczkowe o tekst. kierunkowych	2,65	75,5	drogowe materiały kamienne, brukowiec, krawężniki, kamień łamany	<b>D. Śląsk:</b> Mościsko/G. Sowie G. Bystrzyckie G. Izerskie
<b>Amfibolity</b> drobno- i grubokrystaliczne, ciemne o tekst. kierunkowych	3,08	21,4	tluczeń do budowy dróg	<b>D. Śląsk:</b> Kłodzko-Zagórze G. Sowie G. Orlickie G. Bystrzyckie
<b>Lupki krystaliczne</b> <b>L. lyszczykowe</b> średnio- i grubokryst. o dużej zaw. min. lyszczyk tekst. kierunkowe <b>L. fyllitowe</b> (dachówkowe) mikrokryst. zbite b. ciemnej <b>L. kwarcytowe</b> mikrokryst. j. szare, białe	2,68	56,0	posypki papowe, wypełniające mas plastycznych, przem. izolacyjny  produkcja dachówek, nośników pylastycznych  wyroby ogniotrwałe	<b>D. Śląsk:</b> Pogórze Izerskie <b>Krobica k. Świer.</b> G. Bystrzyckie G. Orlickie  <b>D. Śląsk:</b> Jarnołtówek k. Głucholaz  <b>D. Śląsk:</b> Jeglowa
<b>Kwarcyty</b> mikrokryystalicz. b. zwięzłe różnie zabarw.	2,51 – 2,68		przem. materiałów ogniotrwałych	<b>D. Śląsk:</b> Jeglowa G. Kaczawskie ok. Kłodzka
<b>Marmury</b> przekrystaliz. grubo-, średnio- i drobnoziarniste wapienie, dające się polerować o różnym zabarwieniu	2,82 2,69 2,68 2,69	124,0 61,0 82,5 50,2	kamień budowlany dekoracyjny, blok, płyty, kolumny, schody, nagrobki, grysy lastrikowe, mączki, kamień łamany, do prod. wapna	<b>D. Śląsk:</b> Wojcieszów ok. Kłodzka – Stronie Śl. (Marianna Biała, Marianna Zielona) <b>Sudety Wsch.:</b> Sławniowice

## *Przykłady typowych skał metamorficznych*



↔ GNEJSY



↔ MARMURY



↔ ŁUPKI KRYSTALICZNE





*kwarcyt*



*lupek fyllitowy*



***łupek fyllitowy - dachówkowy***



*lupek biotytowy*



*Łupek muskowitowy*



*łupek serycytowy*



*łupek łyszczykowy z granatami*



*granaty*



*gnejs smuzysty*



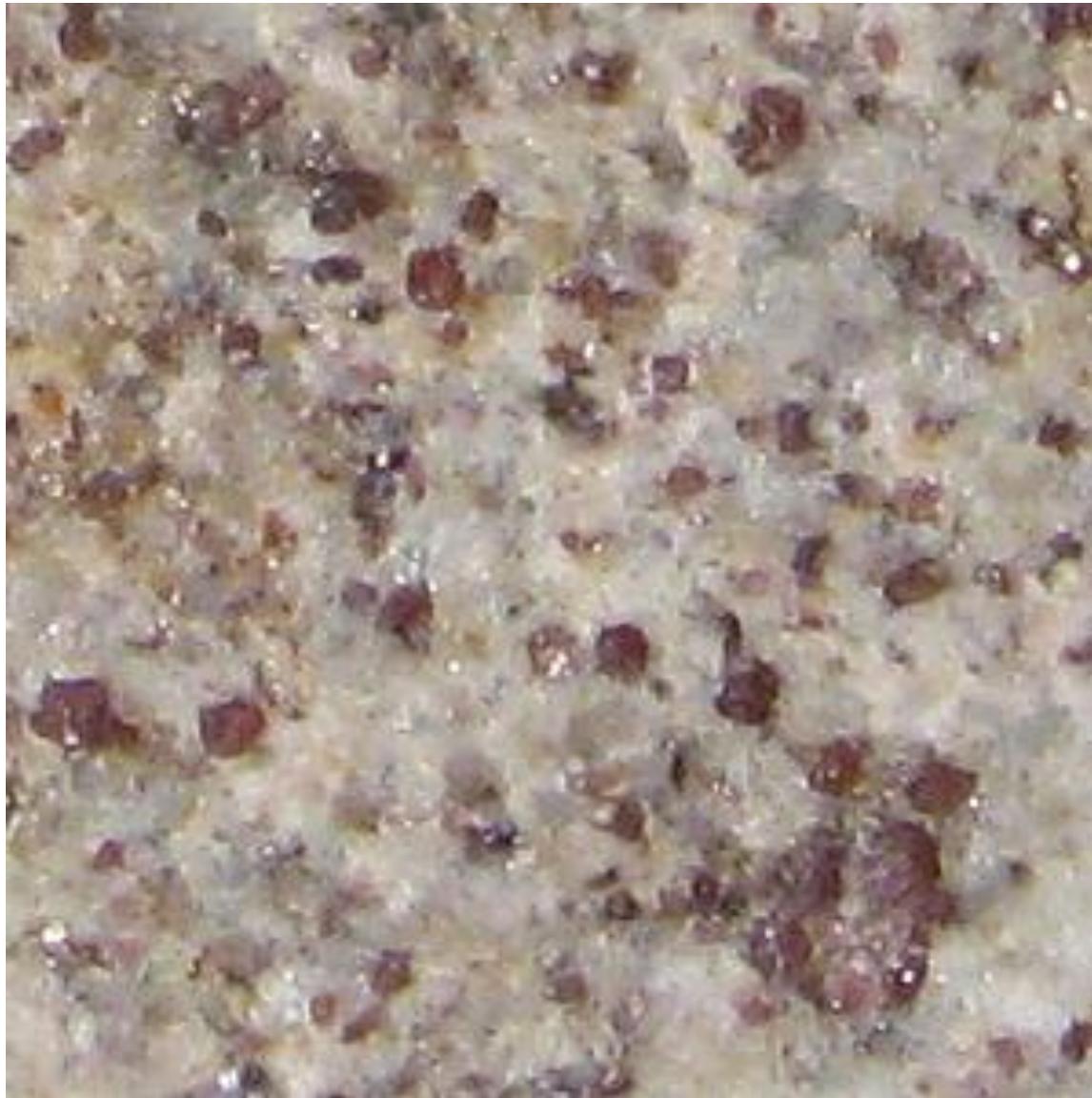
*gnejs oczkowy*



*gnejs oczkowy*



*granularity*



*granularity*



*zieleńce*



*łupki chlorytowe*



*amfibolit*



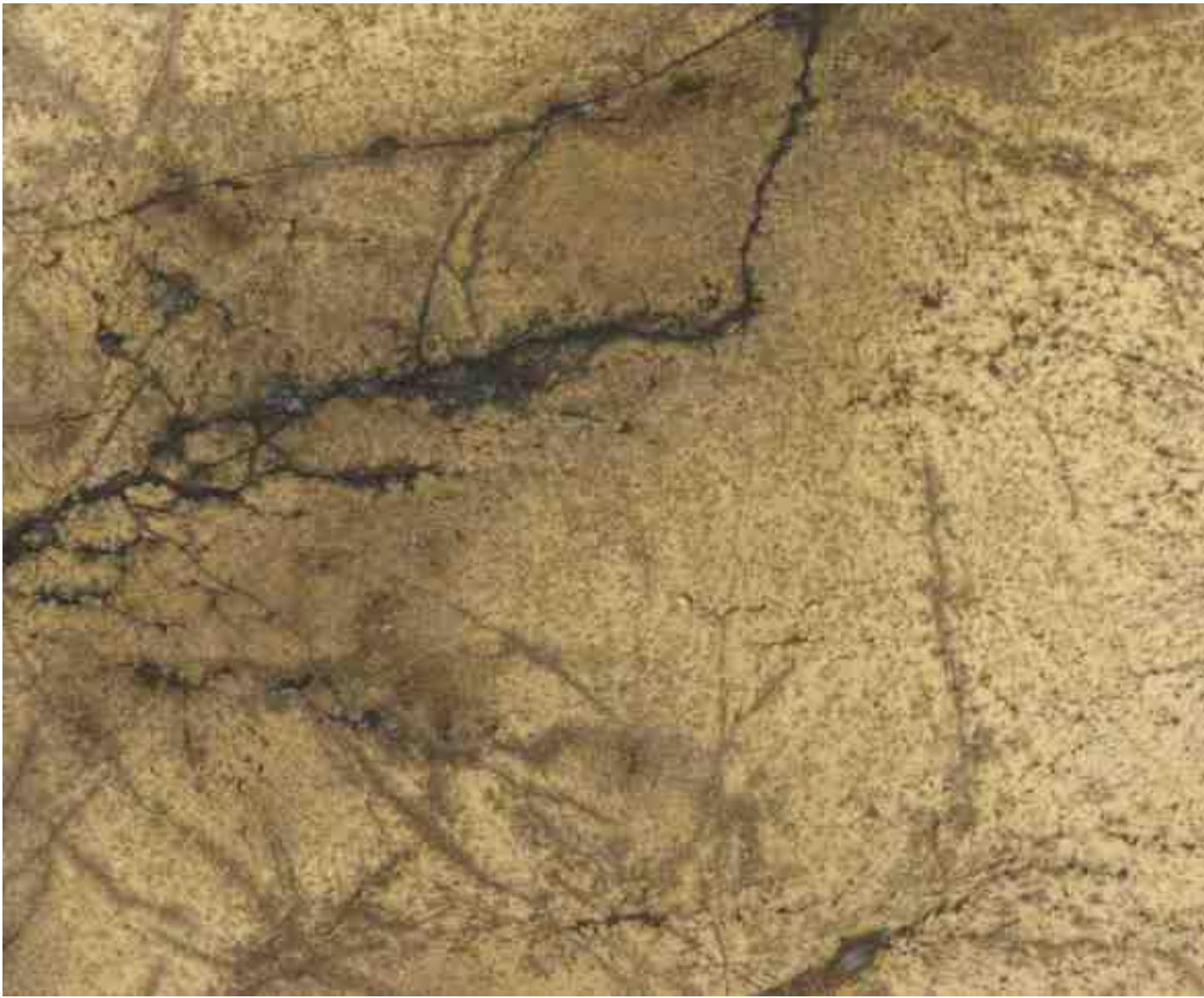
*amfibolit*



*Marmur Biała Marianna*



*Marmur Zielona Marianna*



*Marmur ze Sławniowic*

## Linki

[http://www.mount.cad.pl/g/budowa/rodz\\_skal/prawa/sk\\_met/metamorf.htm](http://www.mount.cad.pl/g/budowa/rodz_skal/prawa/sk_met/metamorf.htm)

<http://www.ar.wroc.pl/~weber/smeta.html>

[http://home.agh.edu.pl/~bartus/downloads/geologia/metamorfizm\\_I.doc](http://home.agh.edu.pl/~bartus/downloads/geologia/metamorfizm_I.doc)

[http://www.geografia24.eu/geo\\_prezentacje\\_rozszerzone/381\\_5\\_procesy\\_endogeniczne/r1\\_5\\_07b.pdf](http://www.geografia24.eu/geo_prezentacje_rozszerzone/381_5_procesy_endogeniczne/r1_5_07b.pdf)

## LITERATURA

1. Zarys geologii i hydrogeologii. Praca zbiorowa pod red. M. Wacławskiego, Wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2005
2. Bolewski A., Parachoniak W., *Petrografia*, Wyd. Geologiczne, Warszawa 1988.
3. Kozłowski K., Żaba J., Fediuk F., *Petrologia skał metamorficznych*, Uniwersytet Śląski, Katowice 1986.

*Materiały dla studentów  
z przedmiotu*

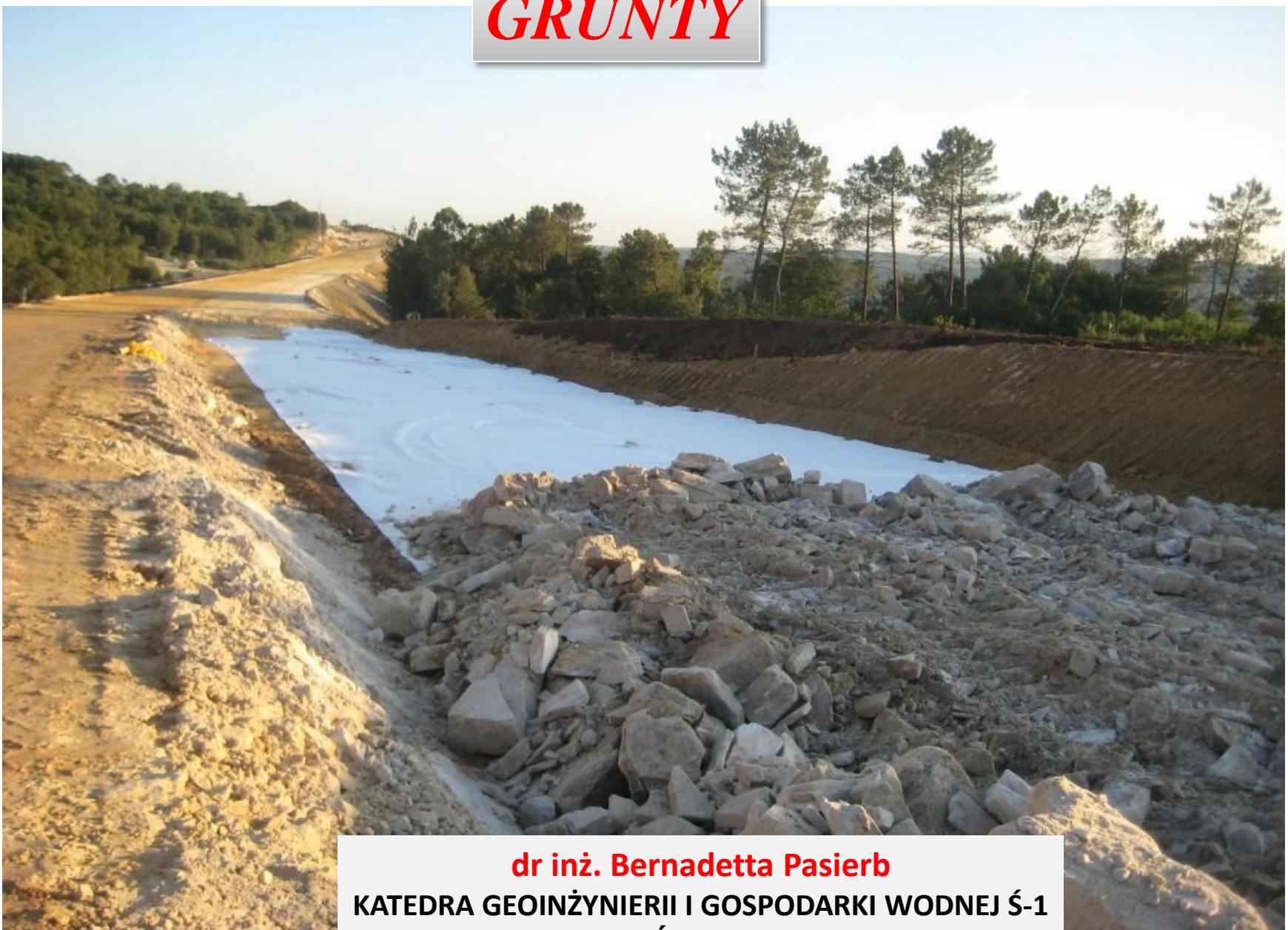
***GEOLOGIA, HYDROGEOLOGIA  
I GEOFIZYKA***

*część IV – Grunty (normy)*

*2020/21 tylko do użytku wewnętrznego*

*dr inż. Bernadetta Pasierb*

# **GRUNTY**



**dr inż. Bernadetta Pasierb**

KATEDRA GEOINŻYNIERII I GOSPODARKI WODNEJ Ś-1  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
POLITECHNIKA KRAKOWSKA

# *Klasyfikacja gruntów*

## **GRUNTY BUDOWLANE**

**NATURALNE  
RODZIME**

**ANTROPOGENICZNE**

**ORGANICZNE**

**MINERALNE**

**MINERALNE**

**PRZEMYSŁOWO-  
GOSPODARCZE**

**SKALISTE**

**NIESKALISTE**

**NASYP  
BUDOWLANY**

**NASYP  
NIEBUDOWLANY**

# Klasyfikacja gruntów

Podział gruntów	Rodzaj gruntu	Nazwa gruntu	Symb	Uziarnienie		Dodatkowe uwagi		
Skalisty:		skaliste twardze skaliste miękkie	ST SM	$R_c > 5 \text{ MPa}$ $R_c \leq 5 \text{ MPa}$		$R_c$ - wytrzymałość na ścislanie		
Grunty niespoiste	Nieskalisty mineralny	kamienista Kamienisty $d_{50} > 40 \text{ mm}$	zwietrzelnina	KW	$f_i \leq 2\%$			
			zwietrzelnina gliniasta	KWg	$f_i > 2\%$			
			rumosz	KR	$f_i \leq 2\%$			
			rumosz gliniasty	KRg	$f_i > 2\%$			
			otoczaki	KO				
	Grunty spoiste Gruboziarnisty $d_{50} \leq 40 \text{ mm}$ $d_{50} > 2 \text{ mm}$	piaskowa 2-0.05 mm	żwirowa	ż	$f_i \leq 2\%$	grunt występuje w miejscu wietrzenia skały w stanie nienaruszonym		
			żwir gliniasty	Zg	$f_i > 2\%$			
			pospórkla	Po	$f_i \leq 2\%$			
			pospórkla gliniasta	Pog	$50\% \geq f_k + f_i > 10\%$			
			piasek gruby	Pr	$d_{50} > 0,5 \text{ mm}$			
Grunty spoiste	Drobnoziarnisty $d_{50} \leq 2 \text{ mm}$	pylasta 0.05-0.002 mm	piasek średni	Ps	$0,5 \text{ mm} \geq d_{50} > 0,25 \text{ mm}$	grunt niespoisty (syphki)		
			piasek drobny	Pd	$d_{50} \leq 0,25 \text{ mm}$			
			piasek pylasty	Pr	$f_p = 68-90\%; f_n = 10-30\%; f_i = 0-2\%$			
					$f_p \%$	$f_n \%$		
					$f_i \%$			
			piasek gliniasty	Pg	60 - 98	0 - 30	2 - 10	mało spoisty
			pył piaszczysty	πp	30 - 70	30 - 70	0 - 10	
			pył	π	0 - 30	60 - 100	0 - 10	
			glina piaszczysta	Gp	50 - 90	0 - 30	10 - 20	
			glina	G	30 - 60	30 - 60	10 - 20	średnio spoisty
			glina pylasta	Gr	0 - 30	50 - 90	10 - 20	
			glina piaszczysta zwięzła	Gpz	50 - 80	0 - 30	20 - 30	
			glina zwięzła	Gz	20 - 50	20 - 50	20 - 30	
			glina pylasta zwięzła	Grz	0 - 30	50 - 80	20 - 30	zwięzło spoisty
			ił piaszczysty	Ip	50 - 70	0 - 20	30 - 50	
			ił	I	0 - 50	0 - 50	30 - 100	
			ił pylasty	Ir	0 - 20	50 - 70	30 - 50	
								bardzo spoisty
Nieskalisty organiczny			grunt próchniczny (humus)	H	zawartość części organicznych $2\% < l_{om} \leq 5\%$			
			namul	Nm	$5\% < l_{om} \leq 30\%$			
			torf	T	$l_{om} > 30\%$			
Nasypowy (antropogeniczny)			nasyp budowlany	NB	grunt powstający wskutek kontrolowanego procesu technicznego (np. budowle ziemne)			
			nasyp niebudowlany	NN	grunt powstający w sposób niekontrolowany			

Klasyfikacja gruntów budowlanych  
(na podstawie normy PN-86/B-02480)

# Klasyfikacja gruntów

GRUPY GRUNTÓW	FRAKCJE	SYMBOLE	WYMIARY ZIAREN I CZĄSTEK [mm]
Bardzo gruboziarniste	Duże głazy (Large boulder)	LBo	> 630
	Głazy (Boulder)	Bo	> 200 – 630
	Kamienie (Cobble)	Co	> 63 – 200
Gruboziarniste	Żwir (Gravel)	Gr	> 2,0 – 63
	Żwir gruby (Coarse gravel)	CGr	> 20 – 63
	Żwir średni (Medium gravel)	MGr	> 6,3 – 20
	Żwir drobny (Fine gravel)	FGr	> 2,0 – 6,3
	Piasek (Sand)	Sa	> 0,063 – 2,0
	Piasek gruby (Coarse sand)	CSa	> 0,63 – 2,0
	Piasek średni (Medium sand)	MSa	> 0,2 – 0,63
	Piasek drobny (Fine sand)	FSa	> 0,063 – 0,2
Drobnoziarniste	Pył (Silt)	Si	> 0,002 – 0,063
	Pył gruby (Coarse silt)	CSi	> 0,02 – 0,063
	Pył średni (Medium silt)	MSi	> 0,0063 – 0,02
	Pył drobny (Fine silt)	FSi	> 0,002 – 0,0063
	Łą (Clay)	Cl	≤ 0,002

Grupy gruntów i frakcje gruntowych  
wg normy PN-EN ISO 14 688-1

# Klasyfikacja gruntów

## FRAKCJE (UZIARNIENIE) GRUNTU

wg PN-B-02480:1986

wg PN-EN ISO 14688-1:2006

**frakcja kamienista  $f_k$**        $d > 40 \text{ mm}$

**frakcja żwirowa  $f_z$**        $40 \text{ mm} \geq d > 2 \text{ mm}$

**frakcja piaskowa  $f_p$**        $2 \text{ mm} \geq d > 0,05 \text{ mm}$

**frakcja pyłowa  $f_n$**        $0,05 \text{ mm} \geq d > 0,002 \text{ mm}$

**frakcja iłowa  $f_i$**        $d < 0,002 \text{ mm}$

<b>Duże głazy</b>	$d > 630 \text{ mm}$
<b>Głazy Bo</b>	$630 \text{ mm} \geq d > 200 \text{ mm}$
<b>Kamienie (frakcja kamienista) Co</b>	$200 \text{ mm} \geq d > 63 \text{ mm}$
<b>Żwiry (frakcja żwirowa) Gr</b>	$63 \text{ mm} \geq d > 2 \text{ mm}$
<b>Piaski (frakcja piaskowa) Sa</b>	$2 \text{ mm} \geq d > 0,063 \text{ mm}$
<b>Pyły (frakcja pyłowa) Si</b>	$0,063 \text{ mm} \geq d > 0,002 \text{ mm}$
<b>Ił (frakcja iłowa) Cl</b>	$d < 0,002 \text{ mm}$

Rodzaje frakcji gruntowych (wg normy PN-86/B-02480 i PN-EN ISO 14 688-1)

# Podział gruntów

Podział według	Frakcje				
	Kamienista	Żwirowa	Piaskowa	Pyłowa	Iłowa
PN-86/B-02480	40 mm		2 mm	0,05 mm	0,002 mm
	Grunty kamieniste; zwietrzelina, rumosz, otoczaki	Gruboziarniste	Drobnoziarniste		
		żwiry	piaski	pyły	iły
		pospółki	gliny		
PN-EN ISO 14 688-1	63 mm		2 mm	0,063 mm	0,002 mm
	Grunty bardzo grube; kamienie, otoczaki, għażiex	Gruboziarniste		Drobnoziarniste	
		żwiry	piaski	pyły	iły

Ogólny podział gruntów na podstawie normy  
**PN-86/B-02480 i PN-EN ISO 14 688-1**

## Ćwiczenie:

Proszę opisać w formie symboli wg. normy europejskiej  
**PN –EN ISO 14 688-1** następujące grunty:

- żwir gruby z kamieniami
- żwir gruby z piaskiem drobnym
- pył z piaskiem średnim z domieszką żwiru drobnego
- glina z pyłem z domieszką piasku grubego.

*Materiały dla studentów  
z przedmiotu*

***GEOLOGIA, HYDROGEOLOGIA  
I GEOFIZYKA***

*część IV – Grunty (krzywa uziarnienia)*

*2020/21 tylko do użytku wewnętrznego*

*dr inż. Bernadetta Pasierb*

## *Krzywa uziarnienia*

Polega na rozdziele materiału gruntu na frakcje, zawierające ziarna o różnej wielkości, poprzez przesiewanie przez zestaw sit, w wyniku czego ziarna o odpowiednich średnicach pozostają na kolejnych sitach (o coraz mniejszych oczkach).



**KOMPLET SIT O ŚREDNICY [mm]:**

**40; 25; 10; 2; 1 ; 0,5; 0,25; 0,1 i 0,063**



# Krzywa uziarnienia

Średnica sit [mm]	Masa próbki [g]	Procentowy udział poszczególnych mas	Suma proc. udziałów poszczególnych frakcji
40	-	-	-
20-40	-	-	-
10-20	6	5,45	 = 5,45
4-10	38	34,55	 + = 40,00
2-4	17	15,45	 + = 55,45
1-2	19	17,27	 + = 72,72
0,5-1	10	9,09	81,81
0,25-0,5	3	2,72	84,53
0,09-0,025	16	14,55	99,08
<0,09	1	0,91	99,99

- przepisujemy wartość  
 - sumujemy masę danej frakcji z masą wszystkich poprzednich itd..

Po zważeniu materiału z poszczególnych sit określa się **MASĘ POSZCZEGÓLNYCH FRAKCJI**, a następnie oblicza **PROCENTOWĄ ZAWARTOŚĆ KAŻDEJ FRAKCJI (wg wzoru na następnym slajdzie)** oraz **WARTOŚĆ SKUMULOWANĄ FRAKCJI (SUMĘ PROCENTOWYCH UDZIAŁÓW POSZCZEGÓLNYCH FRAKCJI)** poprzez sumowanie masy danej frakcji z masą wszystkich poprzednich

# Krzywa uziarnienia

Proszę na podstawie swoich danych ściągniętych z platformy (zestaw wg. numeru na liście) **wykonać analogiczne obliczenia**

## Dane z analizy sitowej do wykresu krzywej uziarnienia gruntu

Temat 1

Frakcja [mm]	Masa [g]	Procentowy udział poszczególnych frakcji [%]	Wartość skumulowaną frakcji [%]
> 63	0		
63-20	0		
20-6	0		
6-2	26		
2-1	63		
1-0,5	102		
0,5-0,25	154		
0,25-0,1	96		
0,1 – 0,063	41		
0,063 – 0,01	18		
0,01 – 0,005	-		
0,05 – 0,002	-		
< 0,002	-		
suma	500		

## Krzywa uziarnienia

Procentową zawartość każdej frakcji oblicza się wg. wzoru:

$$Z_i = \frac{m_{si}}{m_s} \cdot 100\%$$

$m_{si}$  – masa suchych ziaren pozostałych na sicie,

$m_s$  – masa całej suchej próbki wziętej do analizy.

# Krzywa uziarnienia

Skład granulometryczny gruntu przedstawiamy w postaci krzywej kumulacyjnej – **krzywej uziarnienia**.

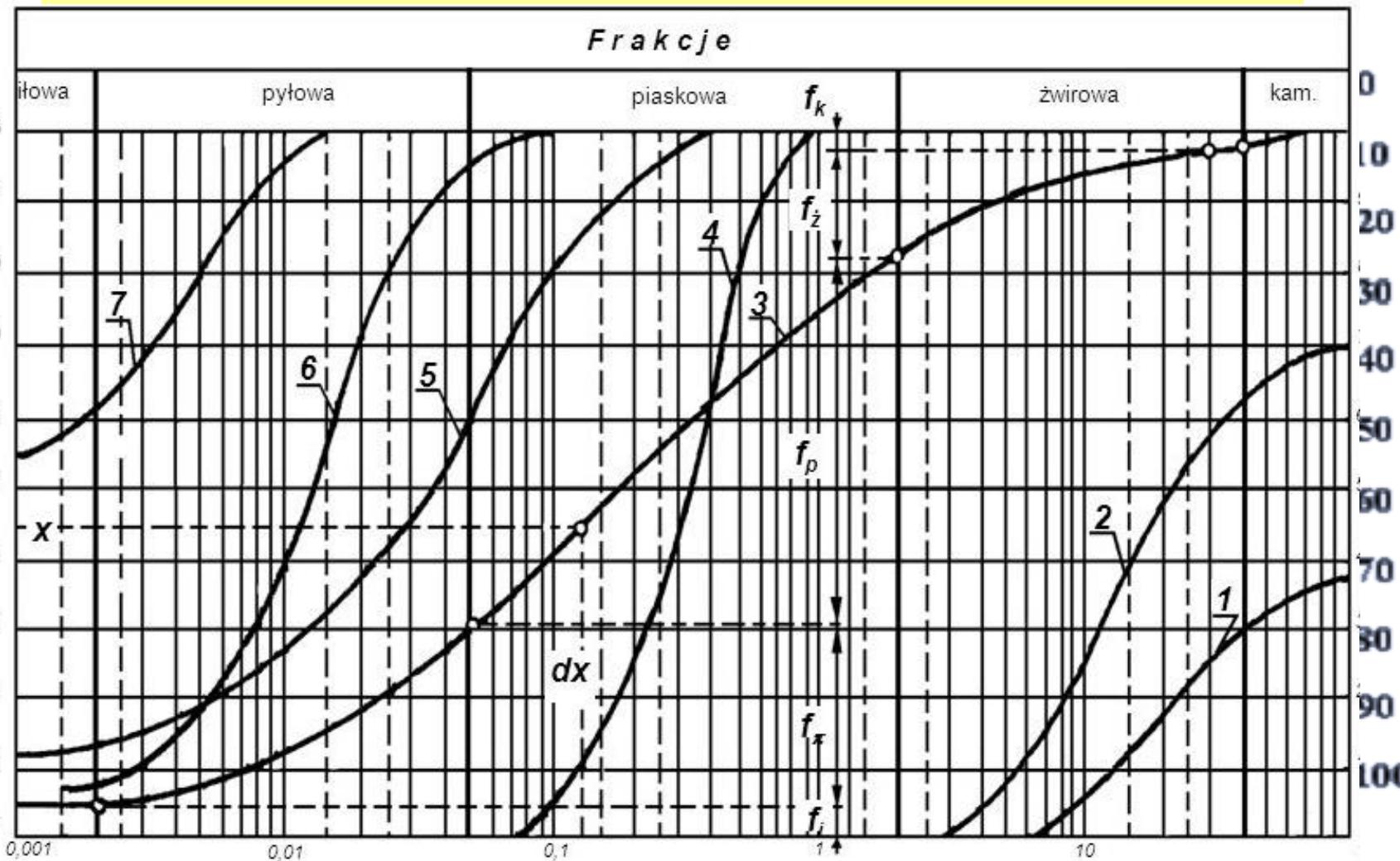
- Na osi odciętych w skali logarytmicznej zamieszczamy średnicę ziaren (wartość największa z przedziału ŚREDNICA SIT – pierwsza kolumna w tabelce).
- Na osi rzędnych natomiast wartość skumulowaną frakcji (**SUMĘ PROCENTOWYCH UDZIAŁÓW POSZCZEGÓLNYCH FRAKCJI i ostatnia kolumna w tabelce**) – są to współrzędne x, y potrzebne do narysowania krzywej uziarnieni.

Proszę analogicznie do podanych na następnym slajdzie przykładów na podstawie własnych danych i obliczeń narysować krzywą uziarnienia, a następnie określić rodzaj badanego gruntu.

# Krzywa uziarnienia

Przykłady krzywych uziarnienia wraz z podanymi nazwami badanego gruntu

zawartość ziaren (częstek) o średnicy mniejszej niż  $d$



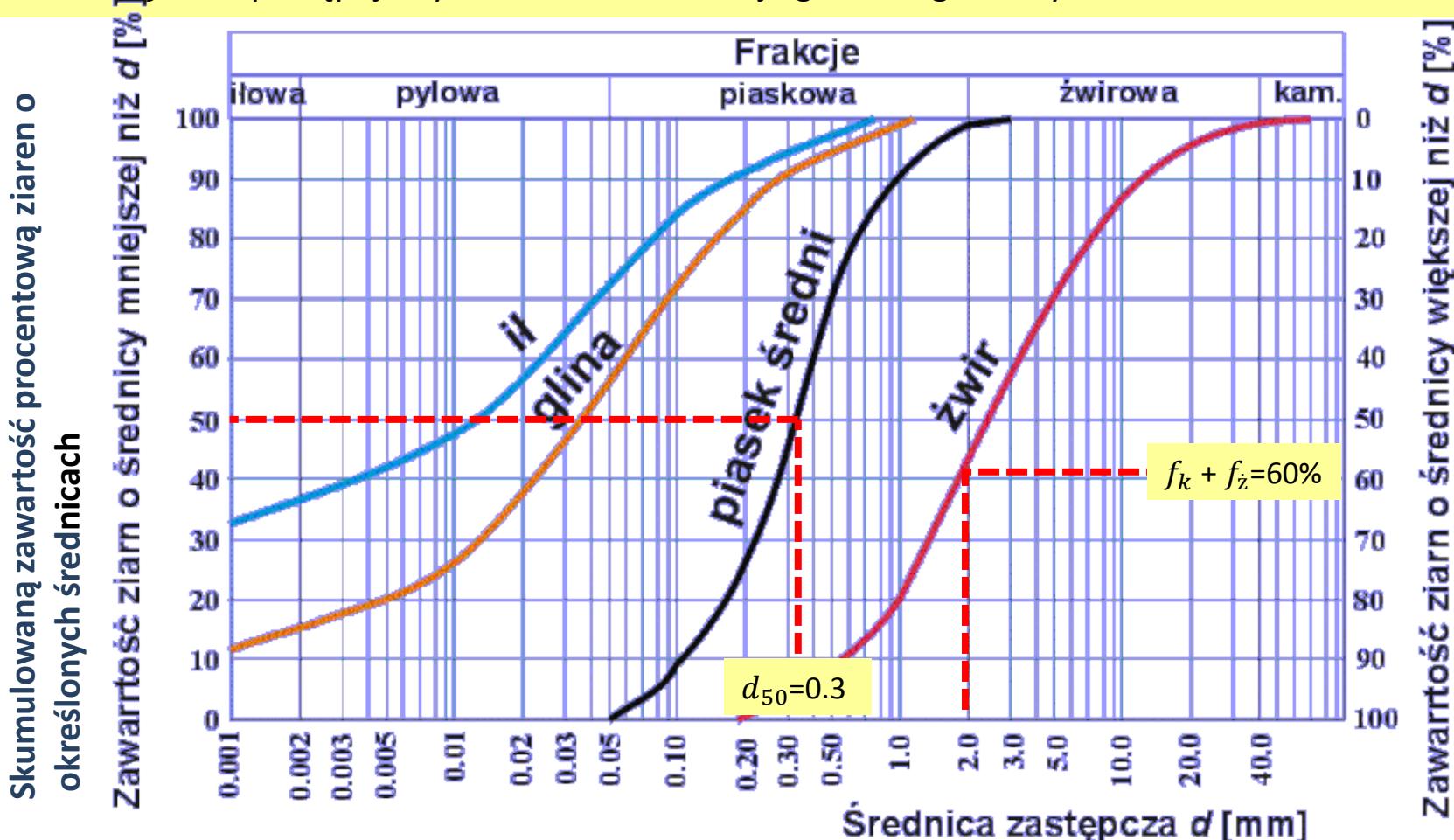
Krzywe uziarnienia gruntów wg. normy PN-86/B-02480

średnica zastępcza ziarna (częstki) –  $d$ , mm

1- grunt kamienisty, 2-żwir, 3- pospółka gliniasta, 4- piasek średni, 5- glina, 6-pył, 7- it

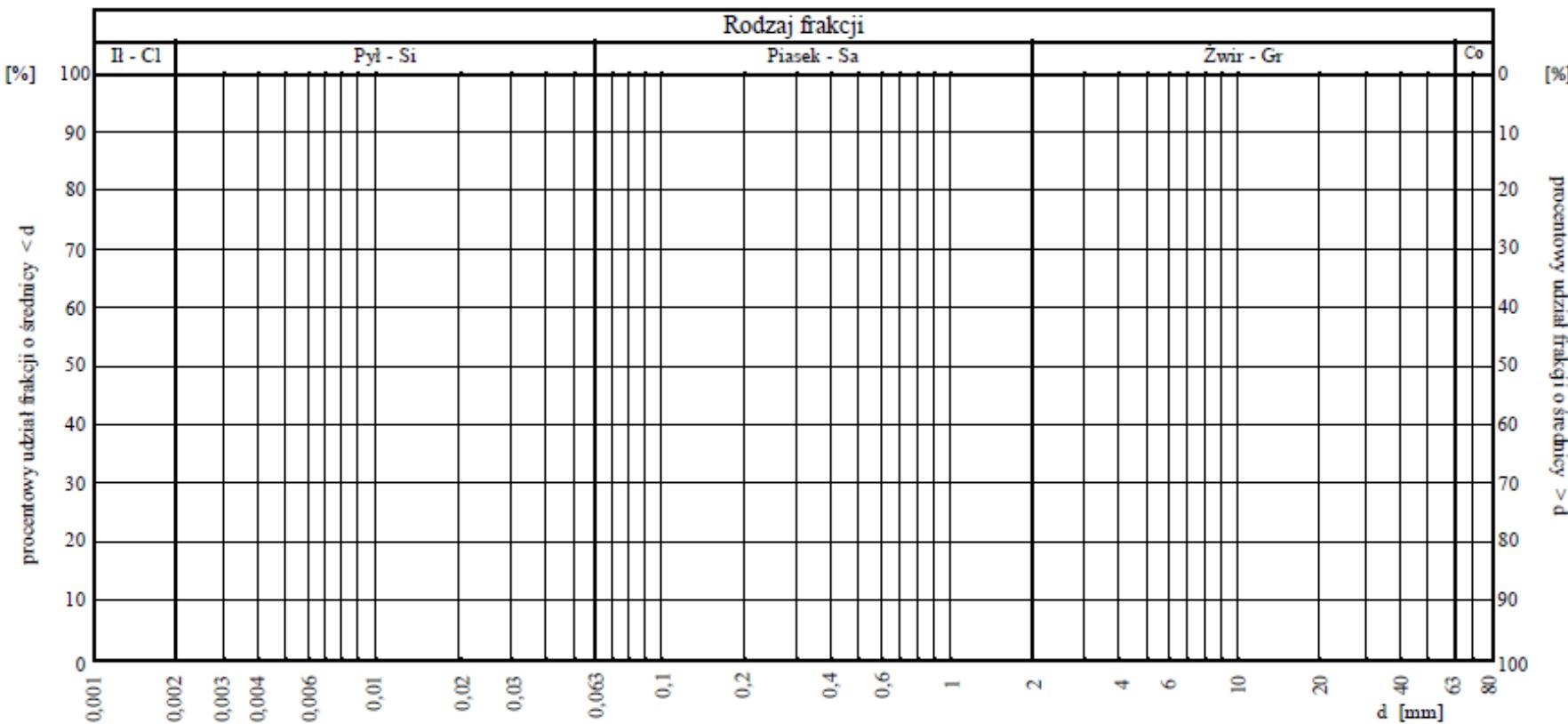
**Rodzaj badanego gruntu** określamy odczytując procentową zawartość poszczególnych frakcji wg. warunków podanych w normie PN-86/B-02480.

- Np. warunek dla żwiru jest następujący  $f_k + f_z > 50\%$  (suma frakcji żwirowej i kamienistej) **frakcja żwirowa zaczyna się od ziaren  $d_{90} > 2\text{mm}$**  - (większych niż 2 mm granica jest nawet zaznaczona na podkładce) - sprawdzamy czy warunek jest spełniony
- Dla **piasku średniego mamy warunek w normie  $0.5\text{mm} > d_{50} > 0.25\text{mm}$**  (sprawdzamy czyli średnica zastępcza  $d_{50}$  średnica poniżej której zawarte jest 50% masy próbki – odczytujemy z lewej osi wykresu)
- Analogicznie postępujemy z określeniem rodzaju gruntu wg. normy PN-EN ISO 14688-1



Po narysowaniu krzywej wg. podanego na wcześniejszym slajdzie schematu należy **określić nazwę gruntu** wg. normy **PN-86/B-02480** i **PN-EN ISO 14688-1** i wpisać pod wykresem obok nazwy proszę podać **symbol gruntu wg. obu norm.** Proszę również odczytać podane pod wykresem średnice zastępcze:  **$d_{10}$ ,  $d_{20}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{60}$ ,  $d_{90}$**

**Wykres analizy sitowej**



Imię i nazwisko:

Gr

Nr ćwiczenia:

Rodzaj gruntu wg PN-EN 14 688-1:

Symbol:

Rodzaj gruntu wg PN-86/B-02480 :

Symbol:

$d_{10}$ = .....  $d_{20}$ = .....  $d_{50}$ = .....  $d_{60}$ = .....  $d_{90}$ = ..... U= .....

## **Krzywa uziarnienia**

Kształt krzywej informuje o rodzaju gruntu , równomierności uziarnienia (jednorodności lub niejednorodności uziarnienia), stopniu wysortowania. Krzywe o stromym przebiegu charakteryzują grunty bardziej jednorodne pod względem wysortowania, a krzywe bardziej spłaszczone, rozciągnięte utwory niejednorodne.

**KSZTAŁT KRZYWEJ DAJE NAM INFORMACJE O:**

- **rodzaju gruntu,**
- **wysortowaniu** (czy dominuje jedna frakcja czy więcej),
- **niejednorodności uziarnienia**

Na podstawie krzywej uziarnienia można określić **wskaźnik wysortowania** oraz **niejednorodności uziarnienia**.

# Krzywa uziarnienia

Proszę na osobnej kartce wyliczyć wskaźnik niejednorodności uziarnienia – wcześniej przepisać podane poniżej wzory, odczytać z krzywej średnice zastępcze i podać wynik a następnie określić czy grunt jest równoziarnisty, nierównoziarnisty czy bardzo nierównoziarnisty

## Wskaźnik niejednorodności uziarnienia

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$
 - wskaźnik niejednorodności uziarnienia

$U < 5$  -grunt równoziarnisty

$5 < U < 15$  -grunt nierównoziarnisty

$U > 15$  -grunt bardzo nierównoziarnisty

## W zależności od wskaźnika niejednorodności uziarnienia:

Zależnie od wskaźnika różnoziarnistości grunty dzieli się na.

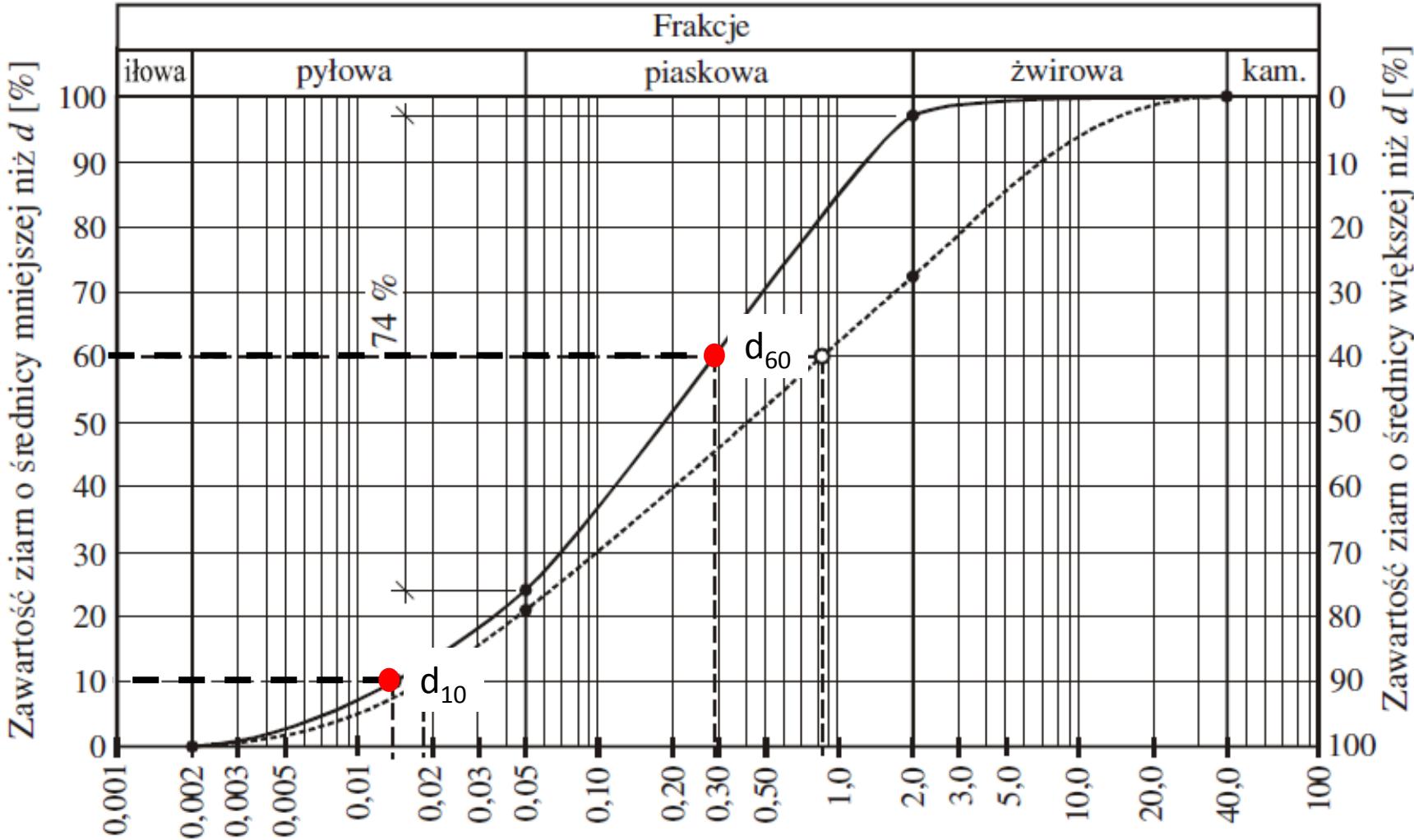
- równoziarniste,
- różnoziarniste,
- bardzo różnoziarniste,

gdy  $1 \leq U \leq 5$  (np. piaski wydmowe, lessy),

gdy  $5 \leq U \leq 15$  (np. gliny holoceneńskie),

gdy  $U > 15$  (np. gliny zwałowe, pospoliki).

# Metoda analizy sitowej



# Krzywa uziarnienia

Proszę na osobnej kartce wyliczyć wskaźnik wysortowania gruntu – wcześniej przepisać podane poniżej wzory, odczytać z krzywej średnicę zastępczą i podać wynik a następnie określić czy grunt jest dobrze czy źle wysortowany.

## Wskaźnik wysortowania gruntu

$$S = \frac{d_{75}}{d_{25}} \text{ wskaźnik wysortowania gruntu}$$

$S=1$  - grunt dobrze wysortowany (występuje tylko 1 rodzaj frakcji)

$S>1$  -grunt źle wysortowany (więcej niż 1 rodzaj frakcji)

$d_{75}$  – średnica zastępcza – średnica poniżej której zawarte jest 75 % masy próbki

*Materiały dla studentów  
z przedmiotu*

***GEOLOGIA, HYDROGEOLOGIA  
I GEOFIZYKA***

*część V – Grunty (przekrój geol-inż)*

*2020/21 tylko do użytku wewnętrznego*

*dr inż. Bernadetta Pasierb*

# **PROFIL GEOLOGICZNY**

# **PROFIL GEOLOGICZNY**

## **Podstawa sporządzenia karty**

Karta dokumentacyjna otworu zwana też profilem geologicznym sporządzana jest dla celów dokumentacyjnych w formie tabelaryczno-graficznej.

Podstawą do sporządzenia karty dokumentacyjnej otworu badawczego jest:

- metryka otworu sporządzana w terenie
- oraz wyniki oznaczeń makroskopowych i laboratoryjnych

# **PROFIL GEOLOGICZNY**

## **Co zawiera karta dokumentacyjna otworu ?**

- **dane informacyjne** – numer otworu, data wykonania, rzędna terenu, nazwisko osoby sprawującej dozór wiercenia,
- **skala głębokości,**
- **profil litologiczny**
- **przelot lub miąższość warstw,**
- **opis gruntów w poszczególnych warstwach,**
- **obserwacje warunków wodnych,**
- **stan i wilgotność gruntów,**
- **opróbowanie,**
- **dodatkowo:** stratygrafia warstw, głębokość i rodzaj badań wykonanych w otworze, wyniki badań laboratoryjnych, wyniki sondowań przeprowadzonych w sąsiedztwie otworu, zarurowanie, sposób konstrukcji , warstwę geotechniczną

# **PROFIL GEOLOGICZNY**

Graficzny profil geologiczny składa się z kilku kolumn przedstawiających: skalę pionową, przelot warstw czyli głębokość stwierdzonych granic warstw, rodzaj utworów wraz z opisem litologicznym i graficznymi symbolami odpowiadającymi danemu gruntowi oraz informacji o wieku warstw, czyli danych stratygraficznych.

## Profil geologiczny

Temat: Zakłady Mechaniczne Kraków

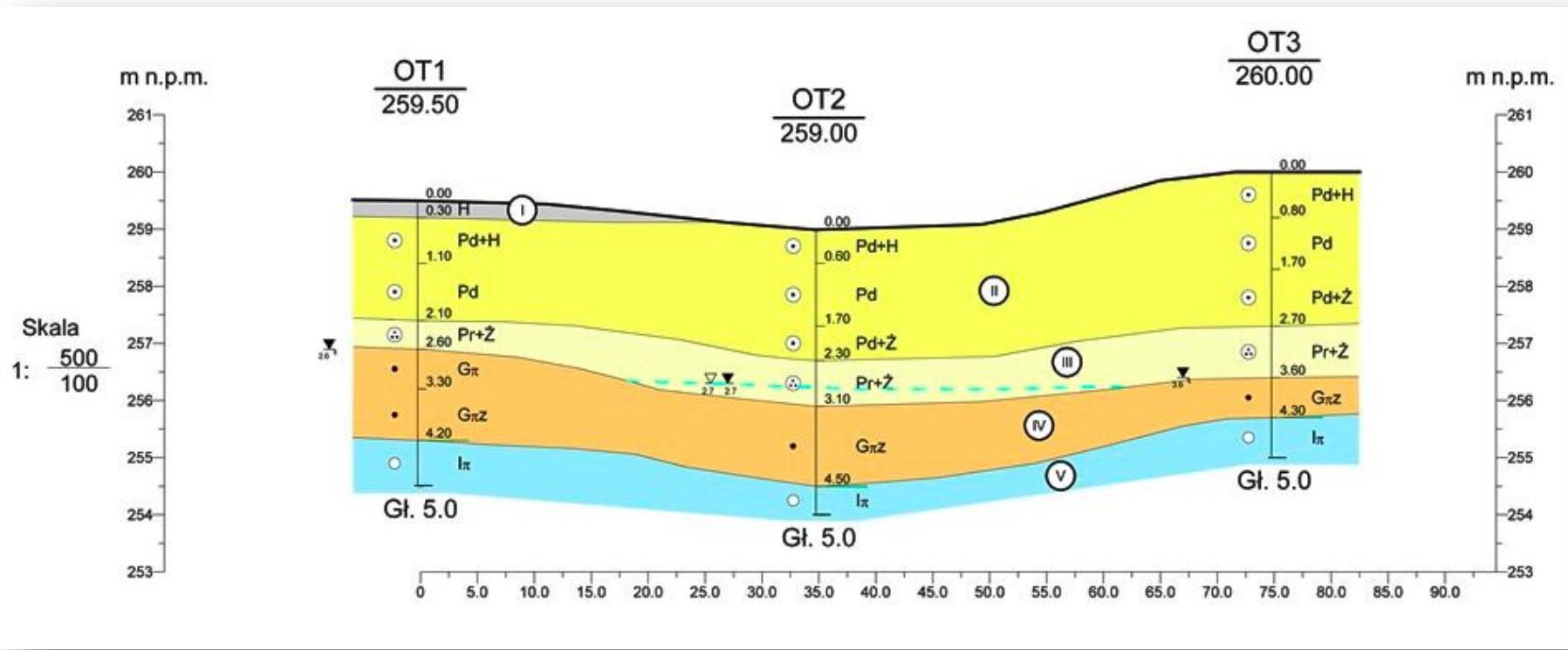
		Profil geologiczny		Otwór Nr 2 Wys. 198,00 m n.p.m.	
Temat: Zakłady Mechaniczne Kraków					
Głębokość od - do	Profil geolog. w m.b.	Profil geolog. skala 1:50		Rodzaj przewierconej warstwy	Stratygrafia
		Poziom wody gruntu	Wilgotność		
0,0 - 0,5				NN Mg	Nasyp niebudowlany (gruz cedlano-betonowy) Nasyp
0,6 - 0,8				H	Grunt próchniczy ciemno szary
0,8 - 1,7	1			$\pi_p$ fsaSi	Pał piaszczysty jasno-brązowy Pał z piaskiem drobnym
1,7 - 2,2	2		1,8	Nm Or	Namul ciemno szary
2,0 - 2,8				T Or	Torf czarny Torf czarny
2,8 - 3,4	3			G Cl	Gлина szaro-brązowa II
3,4 - 4,2	4			G <sub>π<sub>z</sub></sub> siCl	Gлина pylasta związała brązowa II z pytem
4,2 - 5,2		4,2	nw	P <sub>r</sub> CSa	Piasek gruby, szary Piasek gruby
5,2 - 6,3				P <sub>o</sub> fgrCSa	Pospółka szara Piasek gruby ze zwirem drobnym
6,3 - 7,1	6			Z fgrCSa	Zwir piaskowca szary Zwir średni ze zwirem drobnym z domieszką piasku grubego
7,1 - 8,0	7			Krg clcgrCo	Rumosz gliniasty wapienny szary Kamienie ze zwirem grubym z domieszką ilu
8				I <sub>p</sub>	II piaszczysty szary
8,0 - 9,4	9			fsaCl	II z piaskiem drobnym
					Tr

# Symbole graficzne i literowe stosowane na profilach, przekrojach i mapach geologicznych

	NB	Nasyp budowlany		π	Pył
	NN	Nasyp niekontrolowany		πp	Pył piaszczysty
	H	Grunt próchniczy (gleba)		G	Glina
	Nm	Namuł		Gp	Glina piaszczysta
	T	Torf		Gπ	Glina pylasta
	KW	Zwietrzelina		Gpz	Glina piaszczysta zwięzła
	KWg	Zwietrzelina gliniasta		Gz	Glina zwięzła
	KR	Rumosz		Gπz	Glina pylasta zwięzła
	KRg	Rumosz gliniasty		I	Il
	KO	Otoczaki		Ip	Il piaszczysty
	Ż	Żwir		Iπ	Il pylasty
	Żg	Żwir gliniasty		Zc	Zlepieniec
	Po	Pospółka		Pc	Piaskowiec
	Pr	Piasek gruby		M	Mułowiec (łupek piaszczysty)
	Ps	Piasek średni		Ł	Ilowiec (łupek ilasty)
	Pd	Piasek drobny		MI	Margiel
	Pπ	Piasek pylasty		Wp	Wapień
	Pg	Piasek gliniasty		DI	Dolomit
				γ	Skały krystaliczne

# **PRZEKRÓJ GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKI**

# PRZEKRÓJ GEOLOGICZNO - INŻYNIERSKI



**PRZEKRÓJ GEOLOGICZNY** – obrazuje budowę geologiczną, układ warstw i ich pionowe następstwo, zjawiska geologiczne i warunki hydrogeologiczne na płaszczyźnie pionowej zorientowanej w kierunku wynikającym z określonych potrzeb.

**PRZEKRÓJ GEOLOGICZNY** – na platformie elf temat 2 (Tematy do ćwiczenia 2 - przekrój geologiczno-inżynierski) zestaw odpowiadający Państwa numerowi.

Przekrój wykonujecie Państwo najlepiej w formacie A-4, skala pionowa/pozioma 1:100/1:1000. Rysujecie Państwo słupki o szerokości 1 cm w odległości 7 lub 8 cm ( w zależności od danych w zestawie) od siebie. Wnętrze słupka wypełniacie Państwo symbolem graficznym danego gruntu (podane w pliku do tematu 2 i w materiałach) natomiast obok każdej warstwy na podstawie normy Europejskiej PN-EN 14 688-1 oraz normy Polskiej PN-86/B-02480 proszę zamieścić symbole literowe.

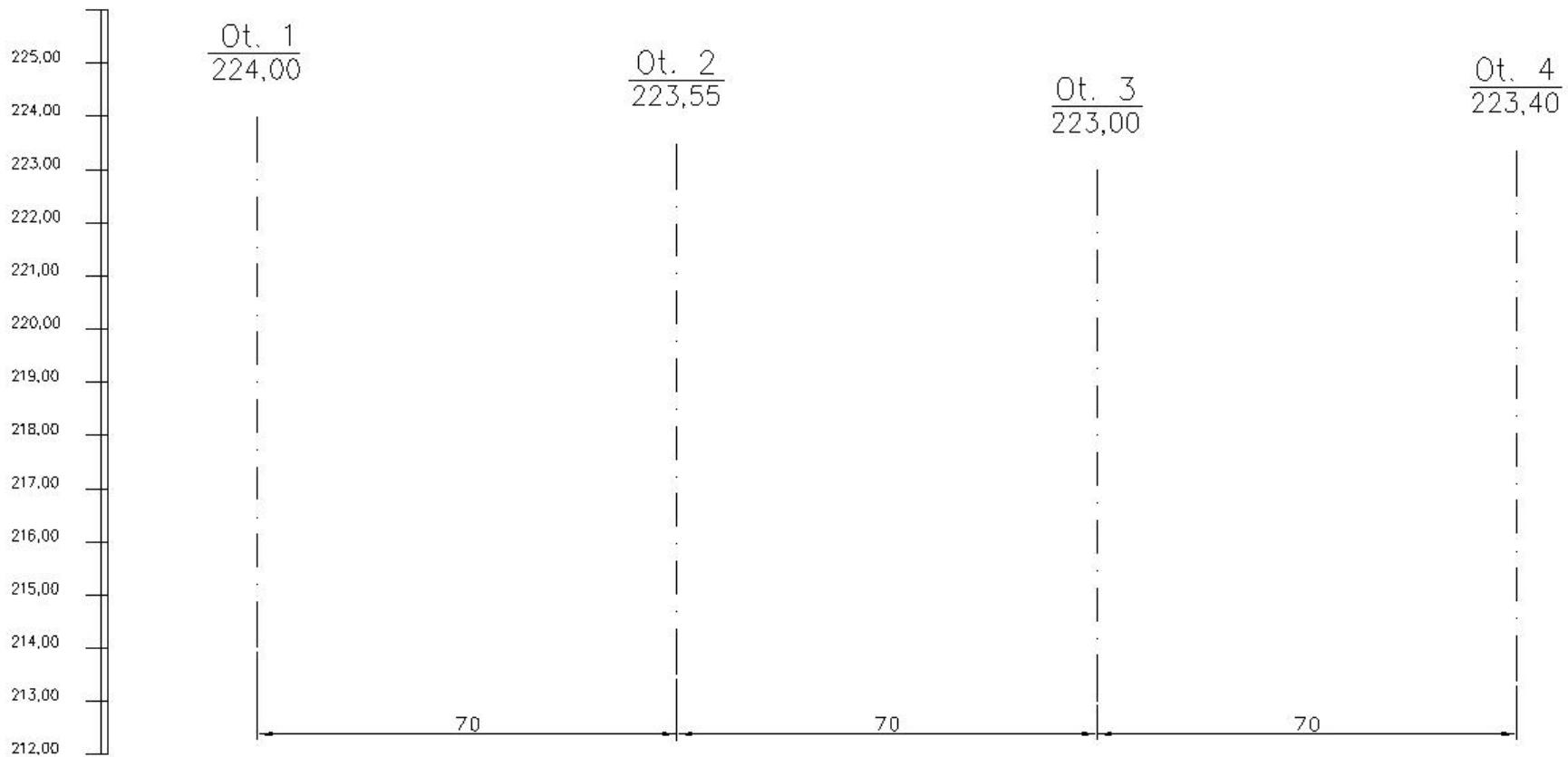
Można to ćwiczenie wykonać odręcznie lub na komputerze w programie Strater, Autocad, Corel, itp.

# **PRZEKRÓJ GEOLOGICZNO - INŻYNIERSKI**

## Przekrój Geologiczno – Inżynierski

Skala 1:100 / 1:1000

m n.p.m.



Wykonał: Jan Kowalski

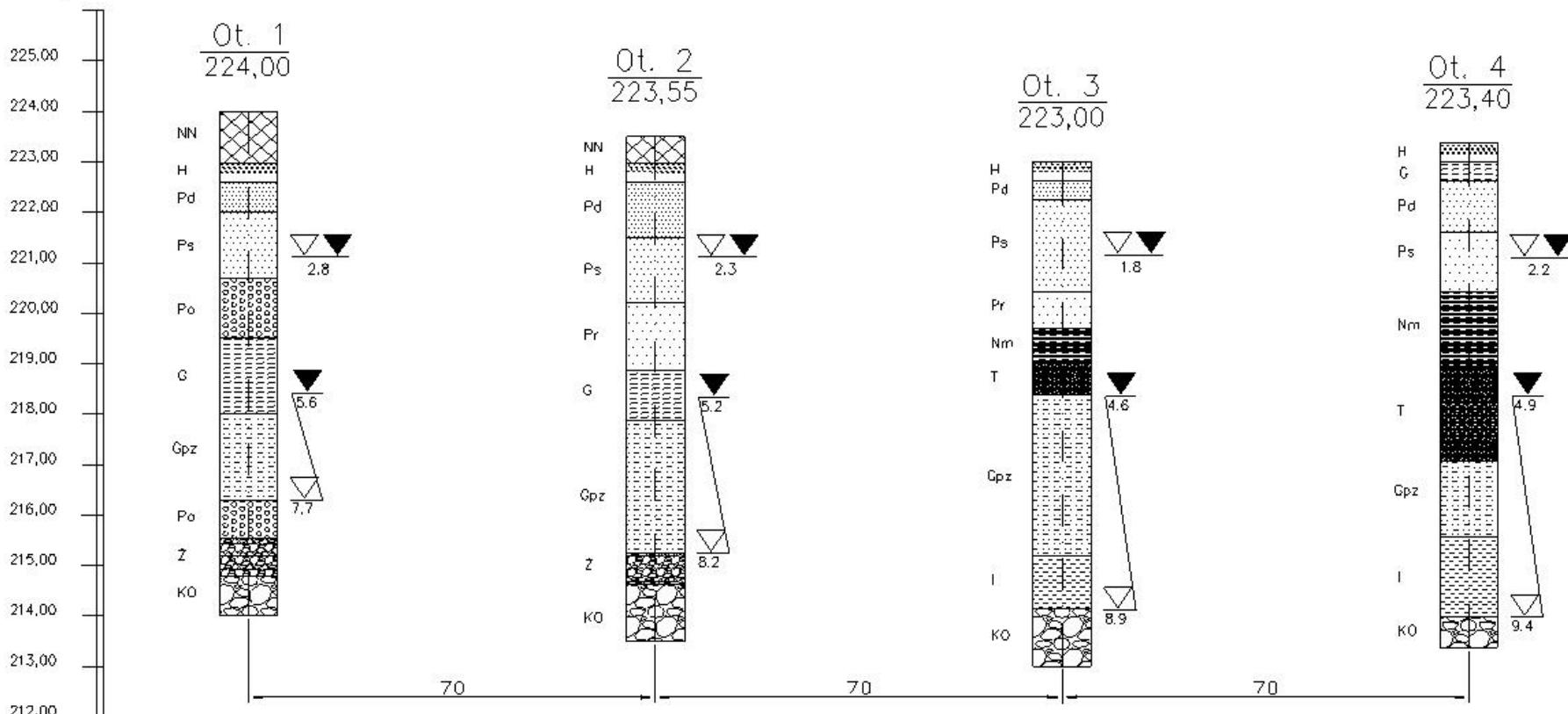
**Etap 1**

# PRZEKRÓJ GEOLOGICZNO - INŻYNIERSKI

## Przekrój Geologiczno – Inżynierski

Skala 1:100 / 1:1000

m n.p.m.



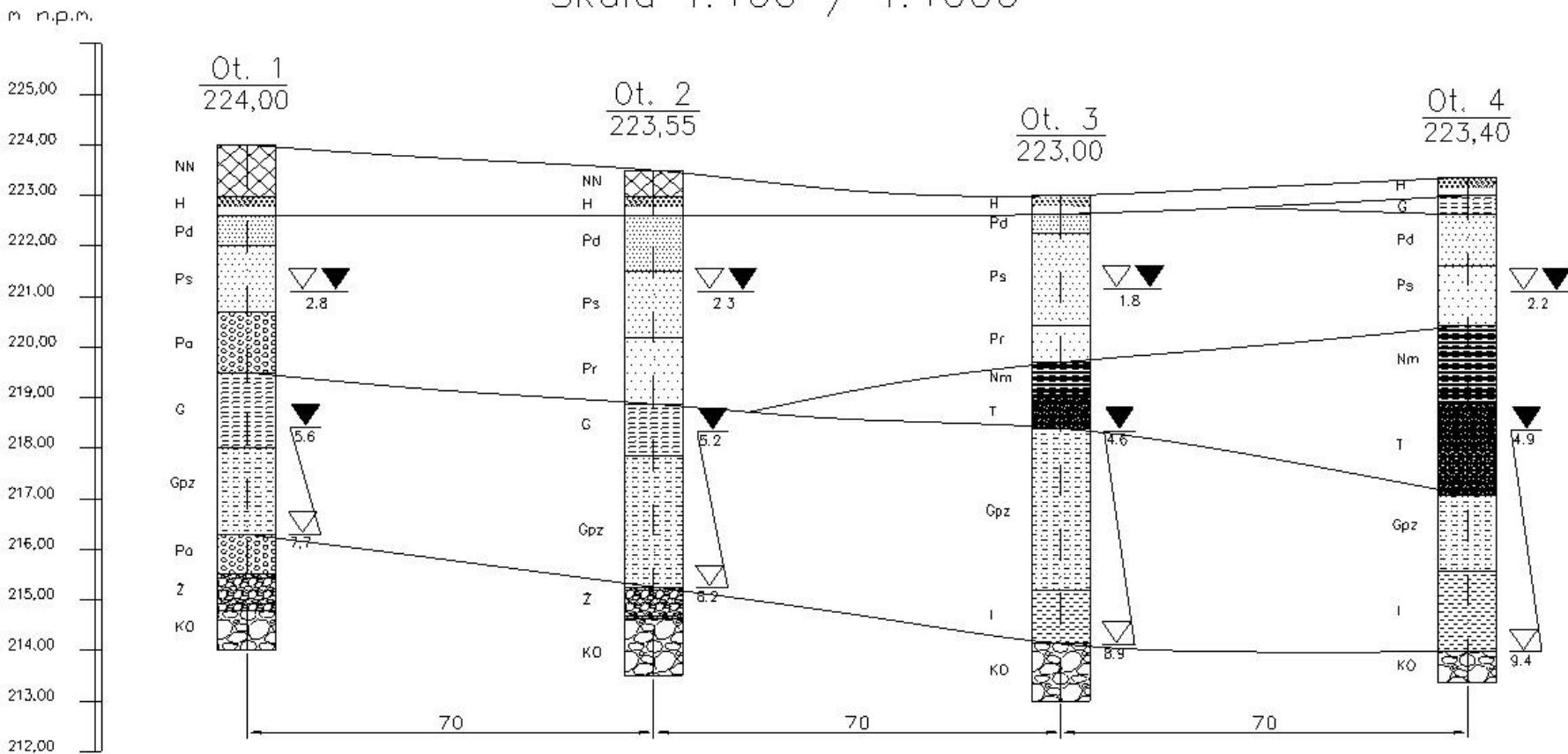
Wykonał: Jan Kowalski

Etap 2

# PRZEKRÓJ GEOLOGICZNO - INŻYNIERSKI

## Przekrój Geologiczno – Inżynierski

Skala 1:100 / 1:1000



Wykonał: Jan Kowalski

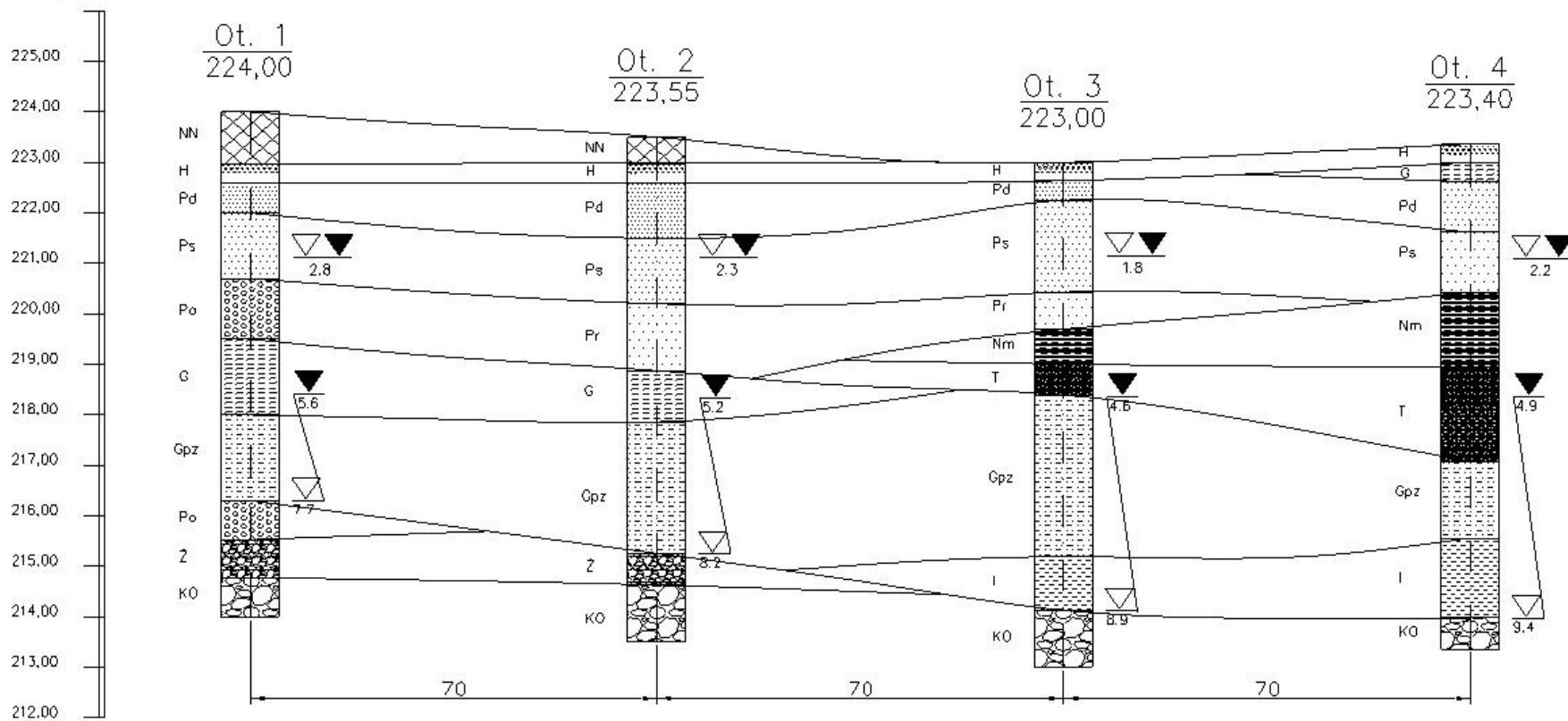
Etap 3

# PRZEKRÓJ GEOLOGICZNO - INŻYNIERSKI

## Przekrój Geologiczno – Inżynierski

Skala 1:100 / 1:1000

m n.p.m.



Wykonał: Jan Kowalski

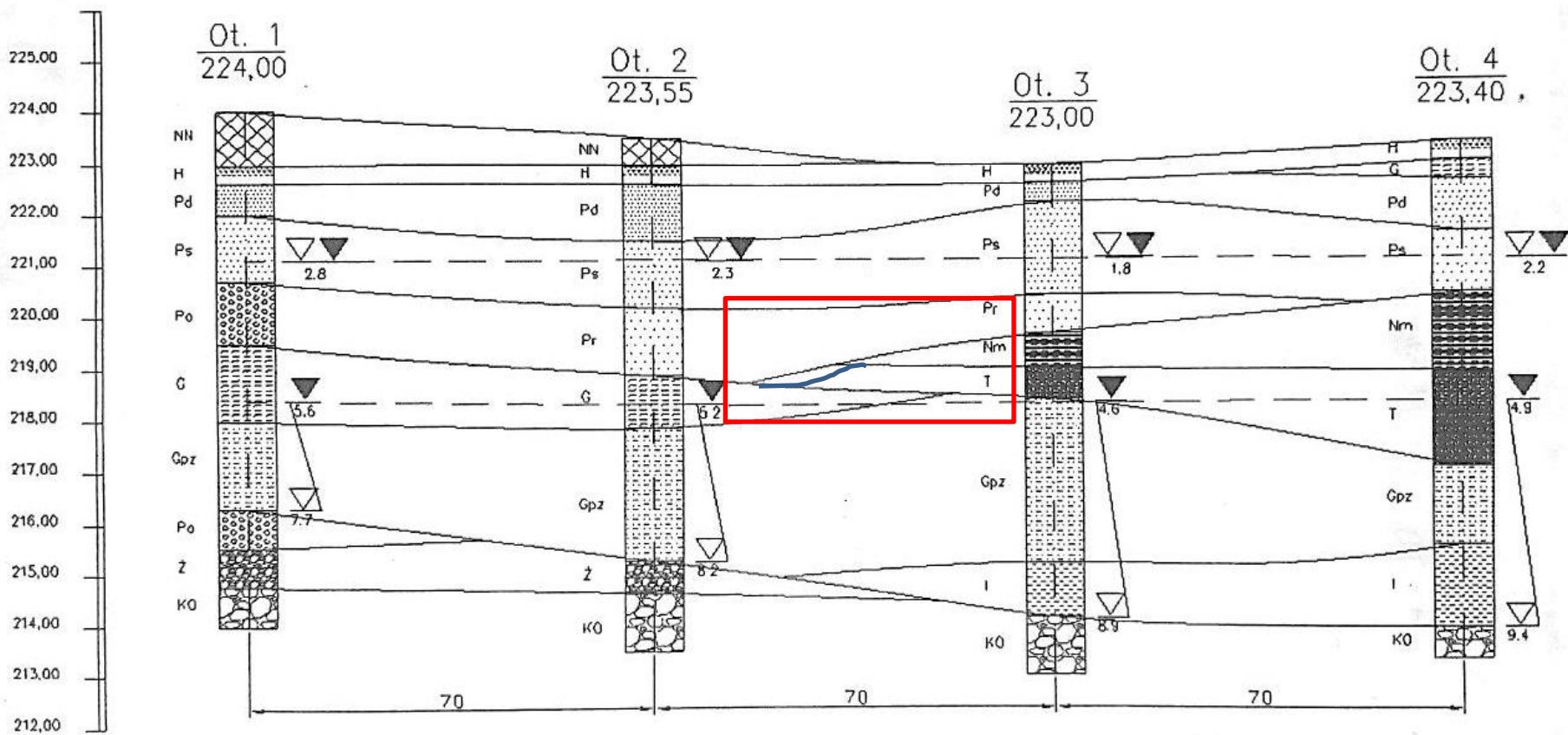
Etap 4

# PRZEKRÓJ GEOLOGICZNO - INŻYNIERSKI

## Przekrój Geologiczno – Inżynierski

Skala 1:100 / 1:1000

m n.p.m.



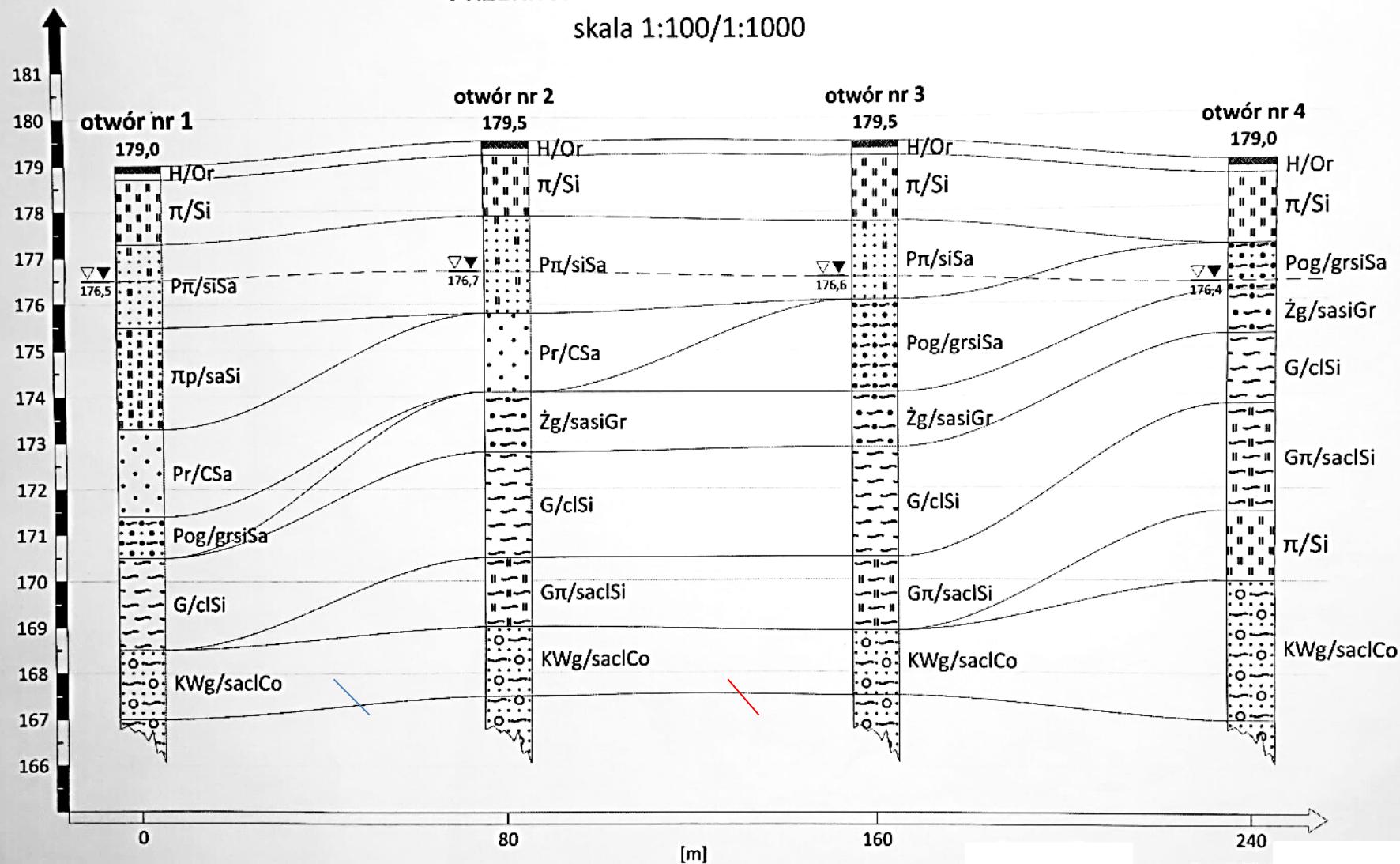
Etap 5

# PRZEKRÓJ GEOLOGICZNO - INŻYNIERSKI

[m n. p. m.]

## PRZEKRÓJ GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKI

skala 1:100/1:1000



*Materiały dla studentów  
z przedmiotu*

***Zjawiska wywołane obecnością  
wody w ośrodku geologicznym***

*część VI*

*2020/21 tylko do użytku wewnętrznego*

*dr inż. Bernadetta Pasierb*

## ZJAWISKA KRASOWE

**KRAS** - rozpuszczanie przez wody powierzchniowe i podziemne skał węglanowych (wapienie i dolomity), gipsowych i solnych.

Najbardziej rozpowszechniony jest kras wapienny,

Zawarty w wodzie kwas węglowy lub wolny dwutlenek węgla doprowadza do przemiany słabo rozpuszczalnego w wodzie węglanu wapnia w łatwo rozpuszczalny kwaśny węglan wapnia:



## ZJAWISKA KRASOWE

### INTENSYWNOŚĆ PROCESÓW KRASOWYCH ZALEŻY OD:

- **Dostępu do wody**

Przede wszystkim występowanie opadów deszczu, ale też wód powierzchniowych (zwłaszcza rzek) i wód podziemnych. Im więcej wody tym intensywniejsze krasowienie.

- **Ilości dwutlenku węgla rozpuszczonego w wodzie.**

Im więcej  $\text{CO}_2$  tym wyższe stężenie kwasu  $\text{H}_2\text{CO}_3$  czyli intensywniejsze krasowienie.

- **Temperatury wody.**

Woda chłodna (około  $0^\circ\text{C}$ ) sprzyja intensywnemu krasowieniu (większe możliwe stężenie  $\text{CO}_2$ ), z kolei woda ciepła spowalnia proces.

- **Pokrycia terenu.**

Obecność roślinności sprzyja zwiększeniu ilości  $\text{CO}_2$  dostajcej się do wsiąkającej wody co wzmagą krasowienie.

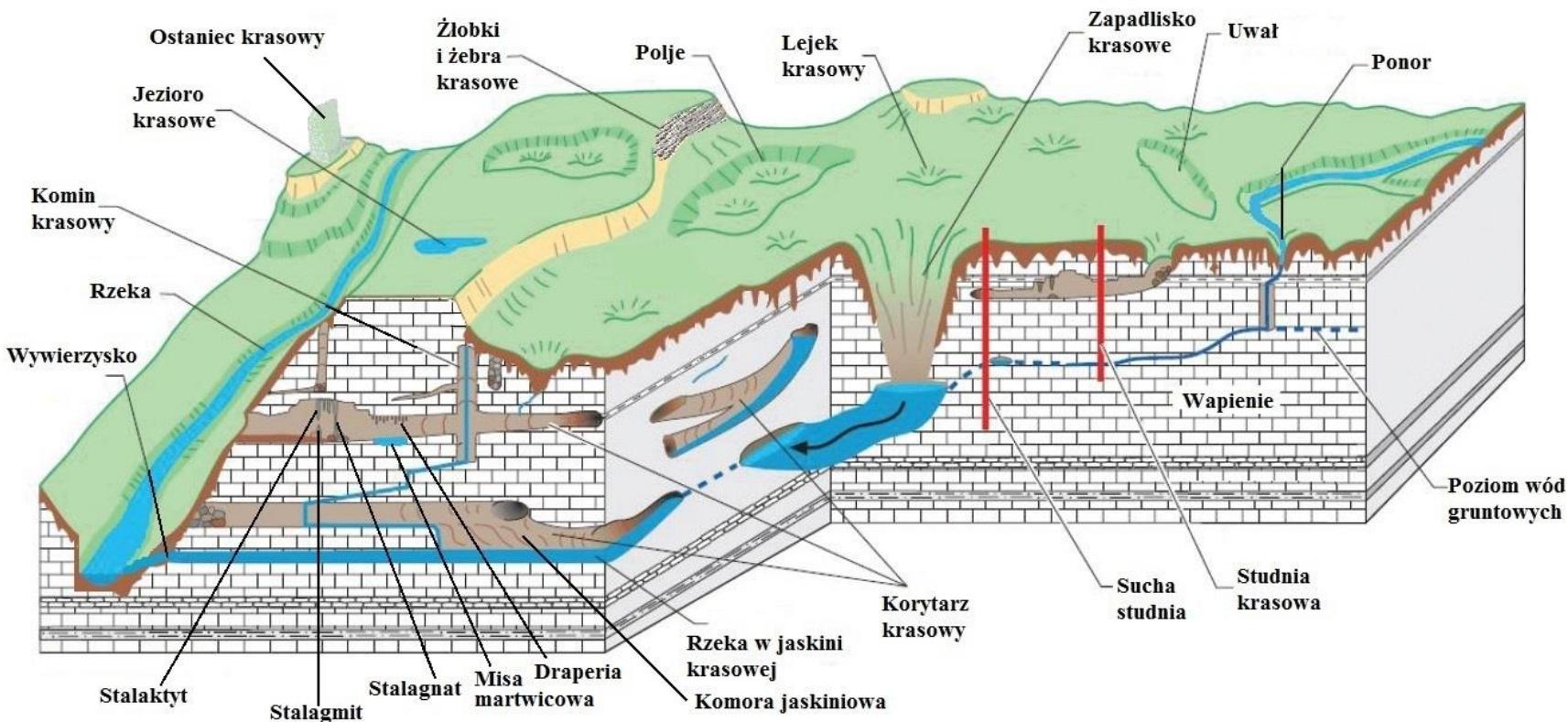
- **Typu i struktury skały.**

Niektóre skały w określonych sytuacjach są bardziej podatne na krasowienie niż inne.

- **Ukształtowania terenu.** Im bardziej płaski teren tym intensywniejsze krasowienie.

# ZJAWISKA KRASOWE

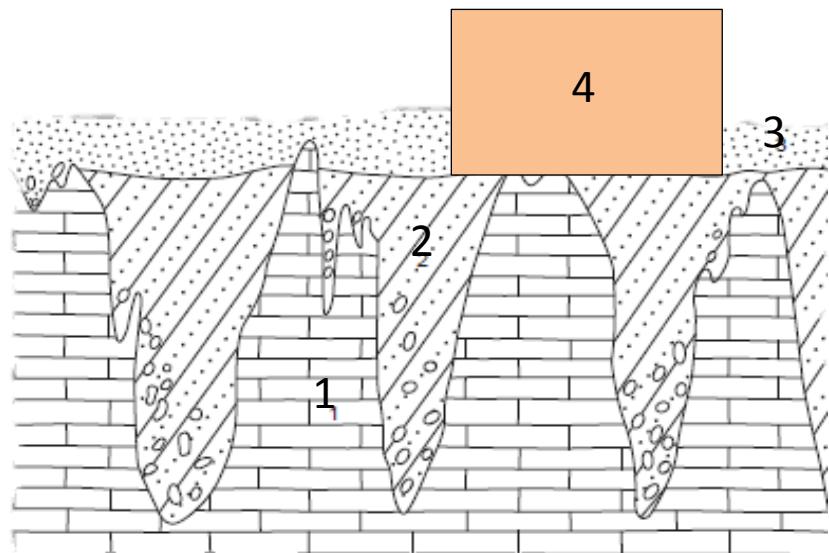
## FORMY KRASU POWIERZCHNIOWEGO I PODZIEMNEGO



# ZJAWISKA KRASOWE

- **Formy krasowe zmieniają pierwotną cyrkulację wody** w ośrodku skalnym - są głównymi drogami migracji zanieczyszczeń płynnych; są drogami wycieków wody ze zbiorników.

- **Obszary krasowe uważane są za złe podłoże budowlane**, szczególnie pod budowę ciężkich obiektów przemysłowych i obiektów hydrotechnicznych.
- **Podziemne formy krasowe grożą zawałami, a powierzchniowe powodować mogą dużą zmienność własności fizyko-mechanicznych**, wtedy, gdy skrasowiałe skały przykryte są utworami młodszymi. Dlatego posadowienie obiektów budowlanych na terenach krasowych wymaga bardzo dokładnego rozpoznania form krasowych, a także warunków hydrogeologicznych.

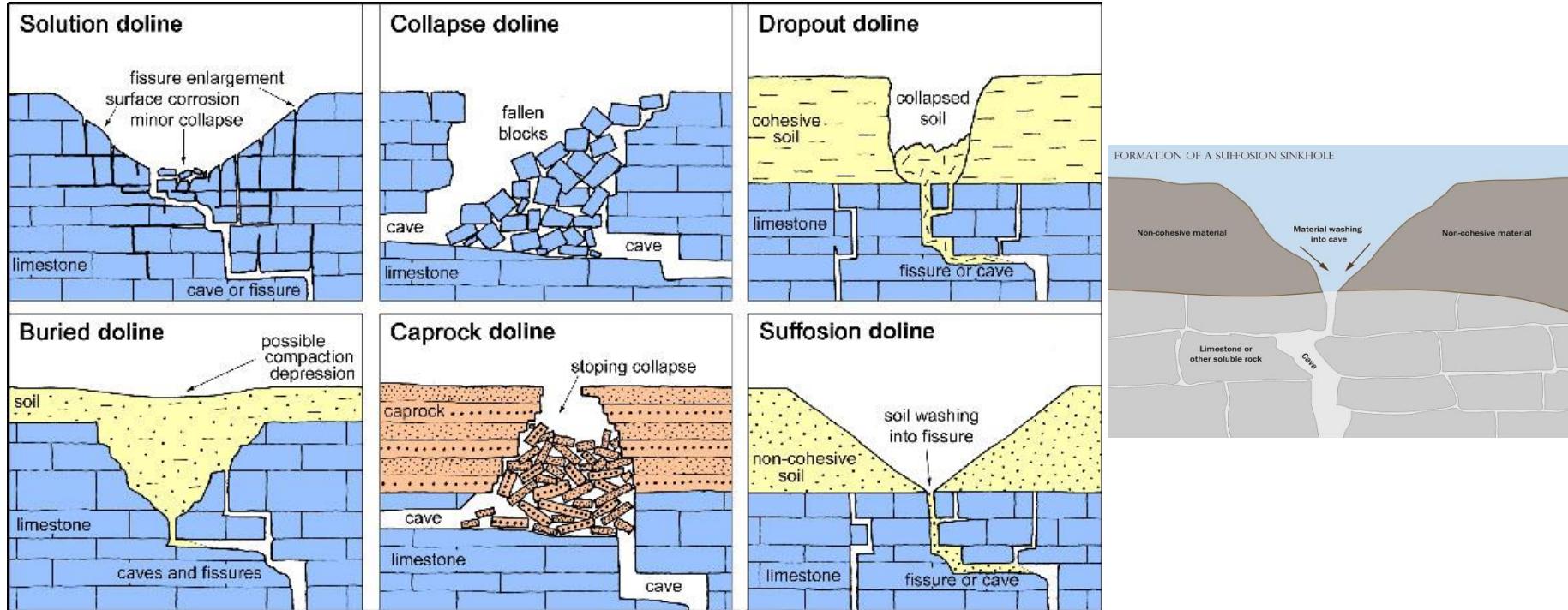


## Wykształcenie krasu w formie organów krasowych

1-Organy krasowe w wapieniu, 2-głębokie wcięcia erozyjne wypełnione glinami zwietrzelinowymi, 3-piaski pokrywowe, 4-budowla

# SUFOZJA

**SUFOZJA** – to proces wymywania i transportu nierozpuszczalnych w wodzie ziaren skalnych (tzw. sufozja mechaniczna).



**SUFOZJA CHEMICZNA** – (np. procesy krasowienia) to proces rozpuszczania przede wszystkim węglanów, chlorków i gipsu w wodzie i transportowania materiału w formie roztworu.

## KURZAWKA

Sufozja może powodować równie tzw. **upłynnienie gruntu**, w przypadku gdy grunty przechodzą do gęstej mieszaniny i tworzy się **kurzawka** (mieszczanina wody, gliny i piasku).

**KURZAWKA** – jest to drobnoziarnisty luźny osad, np. piasek lub muł wymieszany z wodą o konsystencji galarety, słabo związany z gruntem. Podczas prowadzenia robót inżynierskich kurzawka zachowuje się jak gęsta ciecz.

Kurzawkę zwalcza się przez:  
zagrożenia dla życia ludzkiego

- zamrażając grunt lub drenując
- zmiana lokalizacji obiektu
- obniżenie zwierciadła wody
- osuszanie gruntu
- ścianki szczelinowe

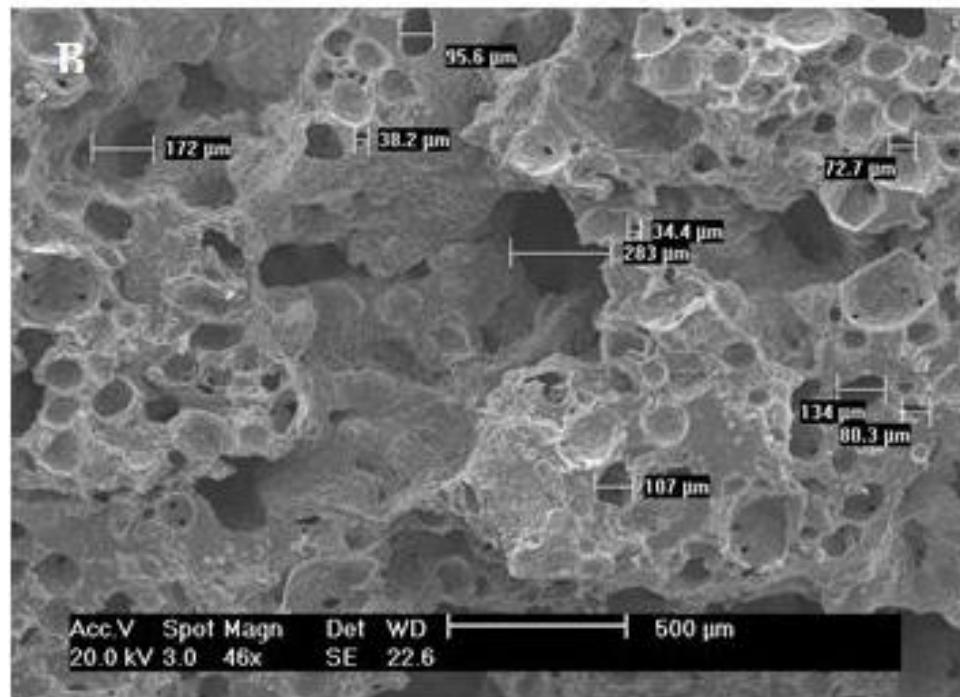


**Kurzawka" na Orliku** aleksandrzak@rc.fm

## **KOLMATACJA**

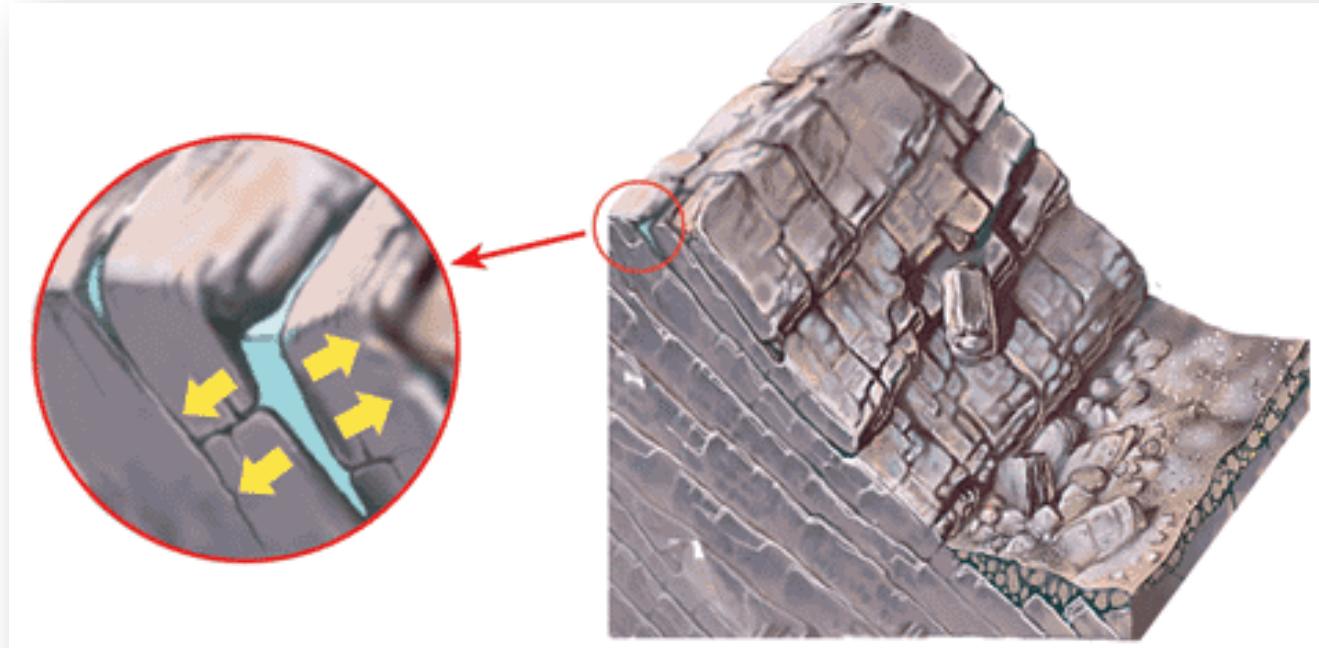
**KOLMATACJA (proces odwrotny do sufozji) – osadzanie (deponowanie) ziaren mineralnych w przestrzeni porowej skał lub w przestrzeni międzyziarnowej gruntów, lub w spękanach (mechaniczna)**

**KOLMATACJA** – wytracanie z roztworu najczęściej węglanu wapienia i związków żelaza i osadzanie materiału na powierzchni porów (chemiczna)



## **ZAMRÓZ, WIETRZENIE MROZOWE, DEZINTEGRACJA MROZOWA, GELIFRAKCJA**

**ZAMRÓZ, WIETRZENIE MROZOWE, DEZINTEGRACJA MROZOWA, GELIFRAKCJA** - naprzemienne zamarzania (zwiększenie objętości wody) i rozmarzania wody w gruncie gruntu.  
Powodują powstawania sieci szczelin i rozwarstwień.



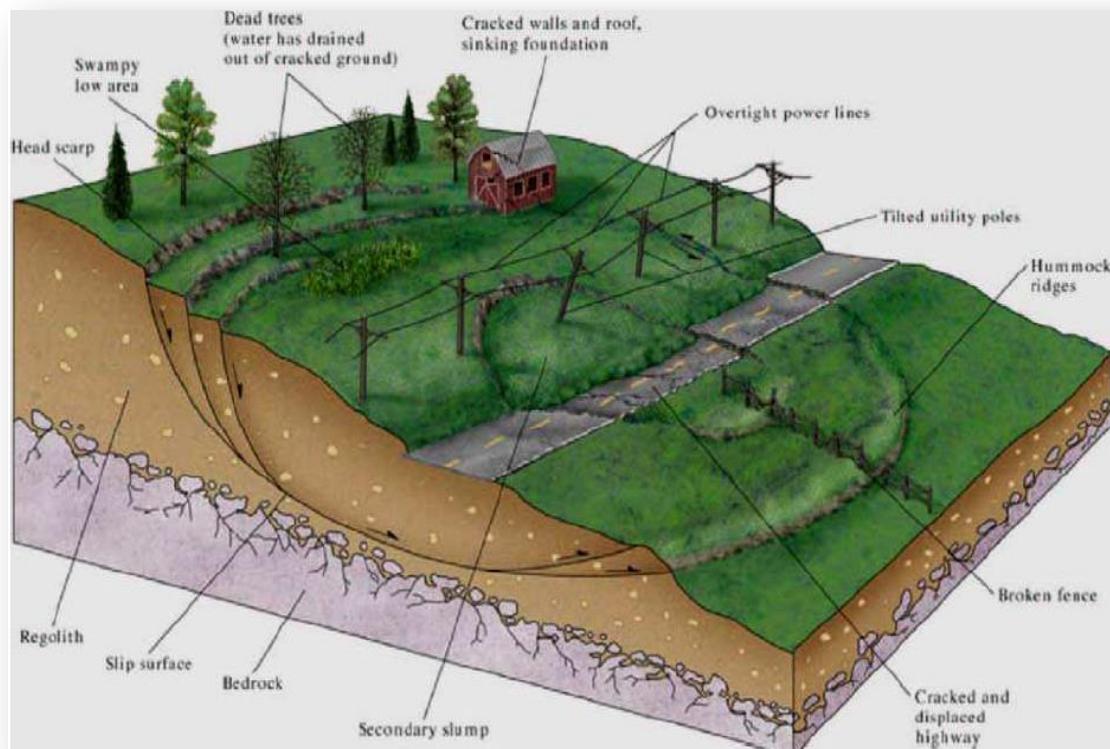
W Polce strefa przemarzania sięga do 0,8-1,4m.

*POWIERZCHNIOWE*

*RUCHY MASOWE (GRAWITACYJNE)*

# **POWIERZCHNIOWE RUCHY MASOWE (GRAWITACYJNE)**

**Powierzchniowe ruchy masowe (osuwiska)** - przemieszczanie gruntów, zwietrzeliny i luźnych skał w dół stoku spowodowane zaburzeniem równowagi pomiędzy siłami utrzymującymi (związek i spójność gruntu, jej tarcie wewnętrzne, między-warstwowe), a siłami odrywającymi (składowa siły ciężkości skierowana zgodnie z kierunkiem nachylenia zbocza)



Osuwiska (wraz z erozją i wietrzeniem) są jedną z głównych składowych procesu denudacji (tzn. wyrównywanie i obniżanie powierzchni terenu).

## **STOPIEŃ AKTYWNOŚCI (wg VARNESA):**

- AKTYWNE**

czyli takie , ktore aktualnie są w ruchu, lub też uległy przemieszczeniu w ciągu ostatnich sezonow – choć w okresie badań są stabilne

- AKTYWNE CIĄGLE (Instrukcja, PAN)**

będące w ciągłym ruchu lub którego objawy aktywności występowali w trakcie prowadzenia rejestracji albo **w ciągu co najmniej ostatnich 5 lat**

- NIEAKTYWNE**

na których ślady aktualnego ruchu nie są widoczne i na których ruch nie zachodzi w ciągu ostatnich sezonow; na takich zboczach ślady dawnego przemieszczenia mogą być widoczne i ruch może się ponownie uaktywnić przy niekorzystnych zmianach warunkow zewnętrznych i wewnętrznych

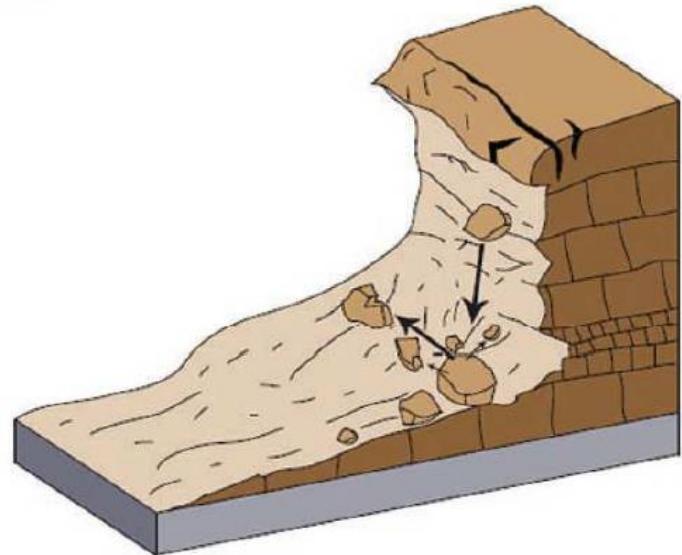
- AKTYWNE OKRESOWO (Instrukcja, PAN)**

osuwisko, w obrębie którego objawy aktywności występowali **w nieregularnych odstępach czasu, w ciągu ostatnich 50 lat**

## **CZYNNIKI INICJUJĄCE POWSTAWANIE OSUWISK**

- nachylenie stoku,
- typ i miąższość koluwiów,
- typ podłoża – np. obecność łupków, iłów,
- naturalne (np. przez rzekę)
- antropogeniczne (np. budowa drogi) podcięcie zbocza,
- obciążenie zbocza,
- drgania antropogeniczne i naturalne trzęsienia ziemia,
- nasiąkanie koluwiów wodą wsiąkową (opady) i podziemną,
- klimat a zwłaszcza takie jego elementy jak częstotliwość i intensywność opadów oraz zmiany temperatury np. proces zamrozu.

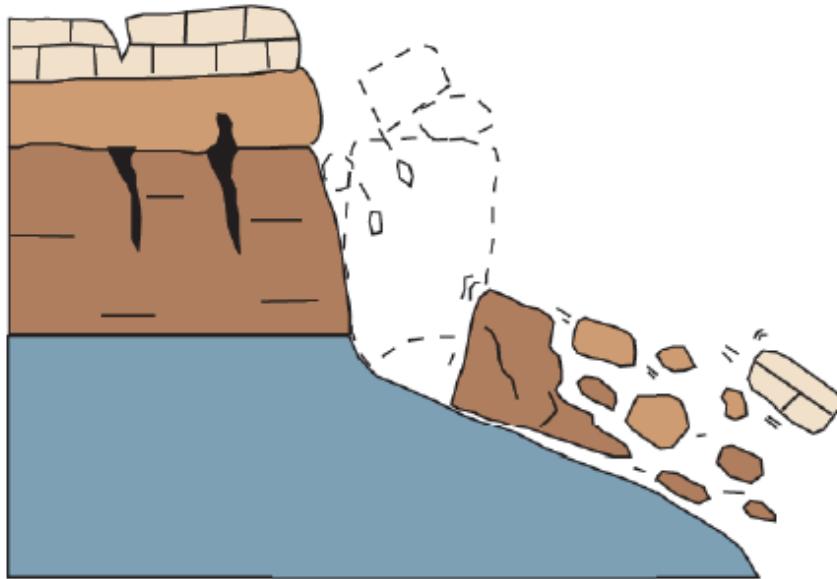
**OBRYWANIE** (*falls*) jest **wynikiem nagłego oderwania się mas skalnych**, głazów, gruntów, które przemieszczają się ze stromych zboczy wzdłuż powstałych powierzchni nieciągłości, spękań, przełomów, połączeń między warstwami. Zjawisko to przebiega gwałtownie i z dużą prędkością. Ruch mas skalnych odbywa się głównie drogą powietrzną. Materiał głównie swobodnie opada, podskakuje (kozluje) i toczy się.



Na rozwój tego zjawiska ma głównie wpływ grawitacja, wietrzenie mechaniczne, obecność wody w szczelinach i porach ośrodka skalnego (zamarzanie i odmarzanie), podcinanie przez rzekę, czynnik ludzki – np. podczas budowy dróg, (podcinanie, odpreżenie masywu skalnego), trzęsienia ziemi i inne wstrząsy (np. górnictwo)

# **POWIERZCHNIOWE RUCHY MASOWE (GRAWITACYJNE)**

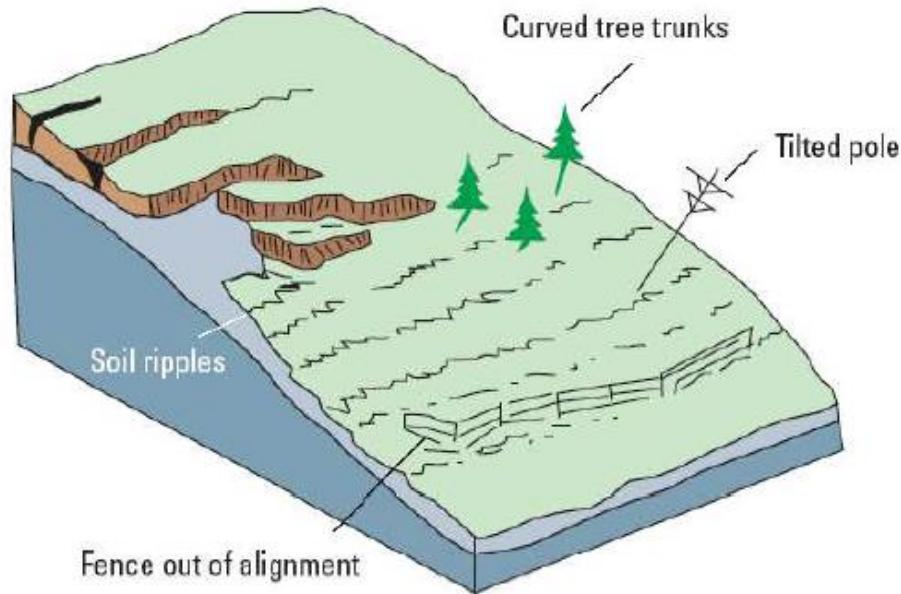
**OBWAŁY** (*topples*) - **oddzielenie się i oderwanie** materiału geologicznego poniżej punktu środka ciężkości przemieszczonych mas. Ma to miejsce wzdłuż powierzchni spękań, przełomów.



Zjawisko to przebiega bardzo zróżnicowanie, niekiedy wolno, niekiedy uzyskuje ekstremalne prędkości. Materiał gromadzony u podnóża skarpy, a efekty ruchu mas (skały, zwietrzeliny, grunty) nie jest tak „widowiskowy” jak w przypadku obrywów.

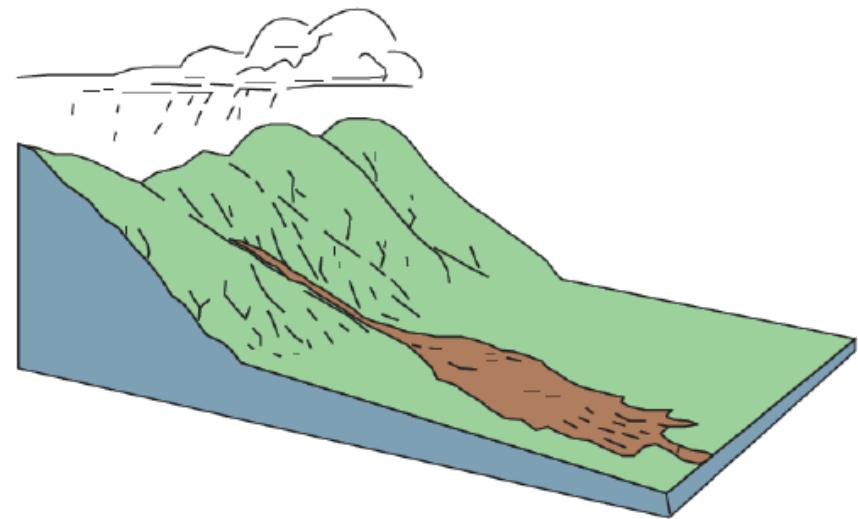
**SPEŁZYWANIE** (*creep*) - powolny stały ruch, któremu ulegają zwietrzeliny lub utwory luźne leżące na zboczach nawet o małych nachyleniach (od 3°).

Gdy dochodzi do zamarzania i rozmarzania zbocza, spełzywanie nazywa się **soliflukcją** lub **kongeliflukcją**; i zachodzi po granicy strefy rozmarzniętej i zmrożonej.



Proces ten przebiega z różną prędkością, jego nasilenie związane jest z okresami opadów i roztopów, ale też może odbywać się bez udziału wody. Zależy w dużej mierze od rodzaju podłoża. Less jest odporny na spełzywanie. Spełzywaniu podlegają przede wszystkim ilę, gliny, piaski drobnoziarniste.

**SPŁYWY** (*flows*) – przemieszczanie się silne przepojonej wodą pokrywy zwietrzelinowej, zwłaszcza gdy jest zbudowana z utworów gliniastych lub pylastych. Spływy występują najczęściej w porze wiosennej w związku z nagłymi roztopami oraz w czasie gwałtownych opadów.

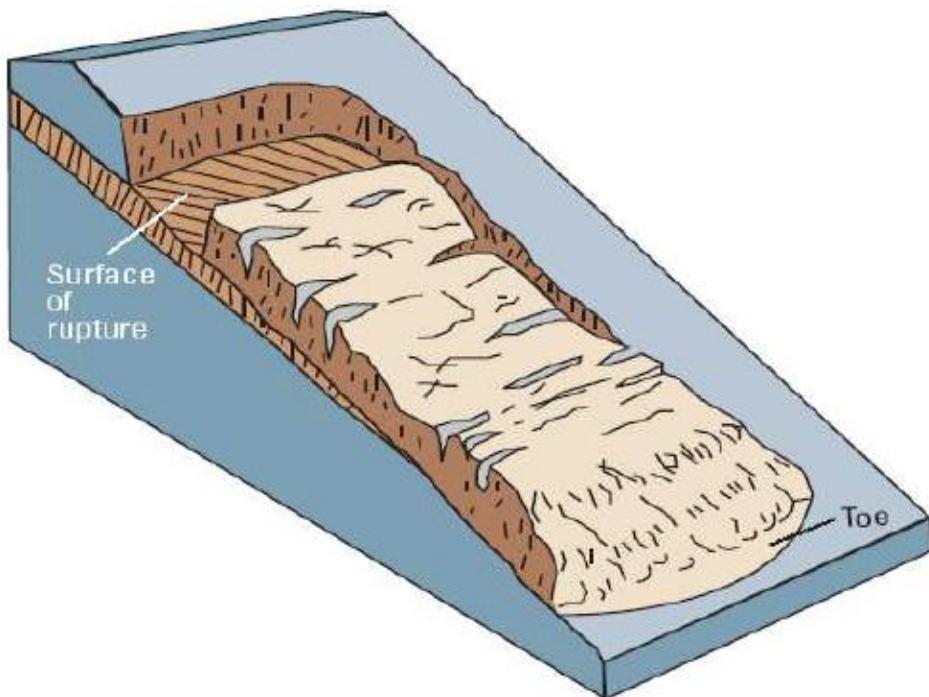


**ROZRÓŻNIA SIĘ SPŁYWY BŁOTNE,  
BŁOTNO-GRUZOWE CZY BŁOTNO-  
KAMIENISTE**

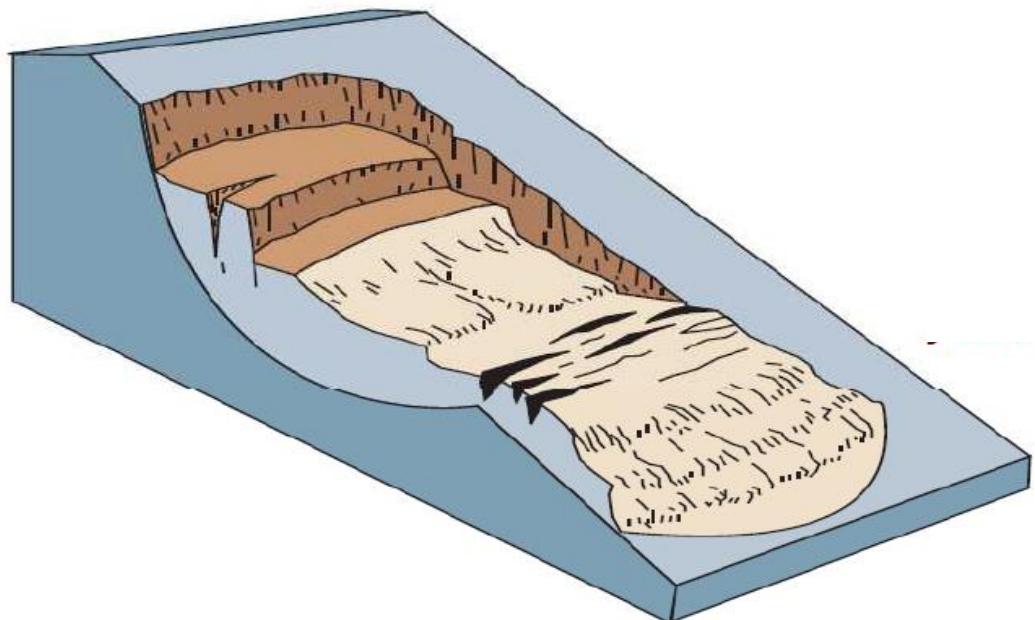


**ZSUW** to zsuwanie się, osuwanie, ześlizg, przemieszczanie się nadkładu (koluwiów) po powierzchni litego podłoża; wzdłuż określonej powierzchni (powierzchnia ścięcia)

**ZSUW TRANSLACYJNY** (*translational landslide*) wzdłuż powierzchni uwarstwienia, wzdłuż granicy zwietrzelina – skała macierzysta (skała lita), wzdłuż szczelin. Jest to ruch ślizgowy masy skalnej bez obrotu.



**ZSUW ROTACYJNY** (*rotational landslide*) zachodzą po powierzchniach walcowych, a koluwia przemieszczają się ruchem postępowo-rotacyjnym; pojawiają się głównie w rejonach z budową naprzemienną lub fliszową (warstwy przepuszczalne i nieprzepuszczalne), np. piaskowce – łupki, żwiry – iły, wapenie – margele.



Rozróżniamy tu zsuwy ze ścinania w materiale jednorodnym (np. w obrębie zwietrzeliny), bądź w utworach warstwowanych. Pojedyncze lub złożono – tarasowe gdy mamy do czynienia z kilkoma wklęsłymi powierzchniami poślizgu. W zsuwach rotacyjnych następuje wymieszanie materiału osuwiskowego – koluwów, albo też może występować szereg osuniętych skib,

## **KLASYFIKACJA ZSUWÓW W ZALEŻNOŚCI OD BUDOWY GEOLOGICZNEJ**

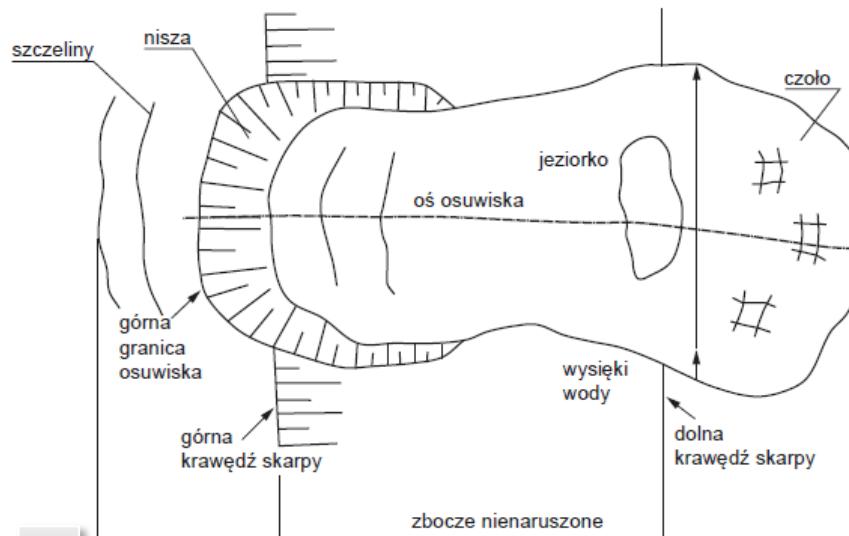
### **PODZIAŁ UZALEŻNIONY OD MATERIAŁU BUDUJĄCEGO ZBOCZE I OD POŁOŻENIA PŁASZCZYZNY POŚLIZGU WZGLĘDEM KIERUNKU NACHYLENIA ZBOCZA:**

- **KONSEKWENTNE**, gdy warstwy gruntów/skalne zapadają zgodnie z kierunkiem zbocza - zsuwy płaszczyznowe przemieszczanie następuje na granicy warstw, spękań, uskoku.
- **ASEKWENTNE**, tworzą się w jednorodnych i najczęściej niewarstwowanych gruntach
- **INSEKWENTNE**, powstają w ośrodkach gdzie płaszczyzna poślizgu rozwija się niezależnie od istniejących powierzchni w masywie

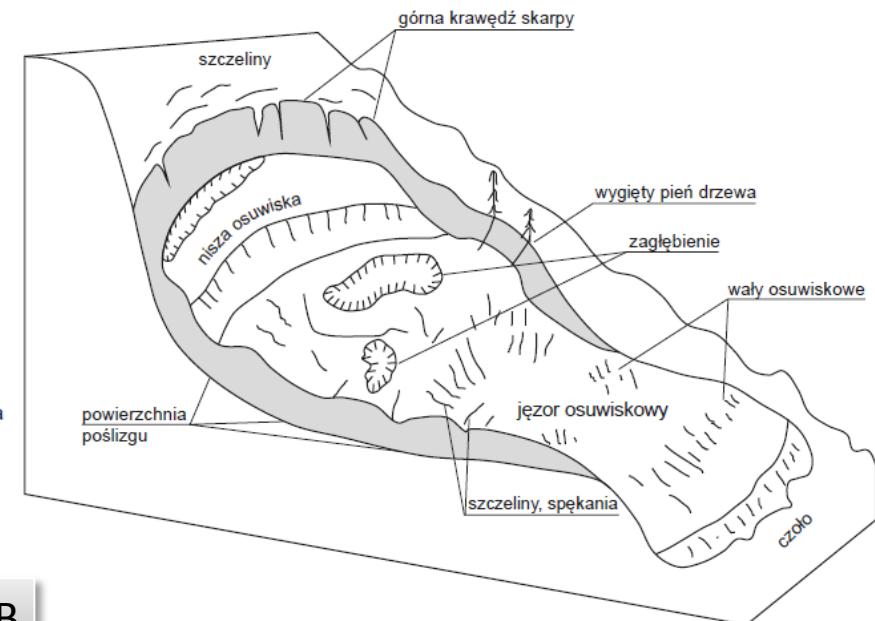
## **WYRÓŻNIAMY RUCHY:**

- ekstremalnie powolny, < 6 mm/rok
- bardzo powolne, > 6 mm/rok
- powolne, > 1,5 m/rok
- średnie, > 1,5 m/miesiąc
- szybki, > 1,5 m/dzień
- bardzo szybki , > 3m/min
- ekstremalnie szybkie , 3m

# **POWIERZCHNIOWE RUCHY MASOWE (GRAWITACYJNE)**



A

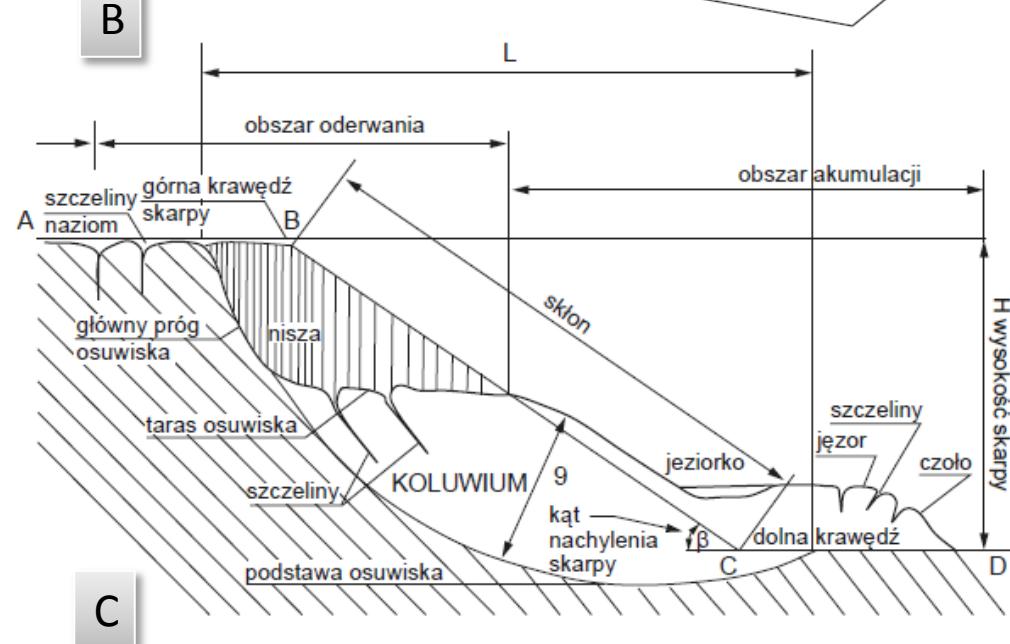


## **Geometryczne elementy osuwiska**

**A – główne elementy osuwiska na planie**

**B - blokdiagram osuwiska**

**C - główne elementy osuwiska w przekroju**



C

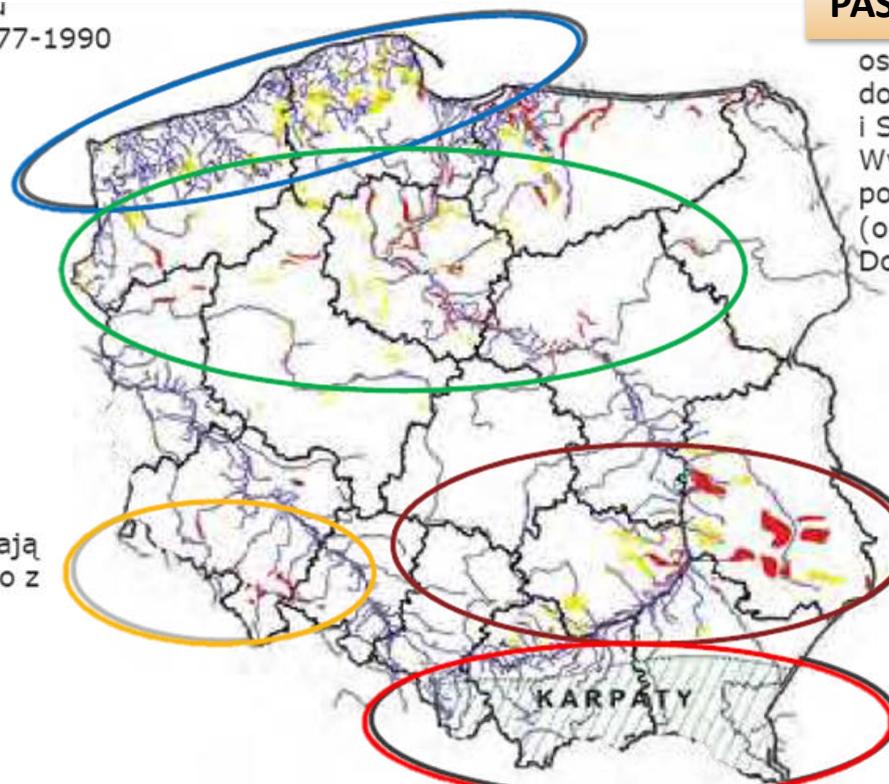
# OBSZARY AKTYWNOŚCI OSUWISK W POLSKICH

## WYBRZEŻE KLIFOWE BAŁTYKU

osuwiska i obrywy powstają na wysokim i stromym zboczu niszczonym przez erozję morską. Najbardziej spektakularnym przykładem zagrożenia osuwiskami i obrywami na polskim wybrzeżu jest klif o długości około 2 km i wysokości do 30 m w Jastrzębiej Górze. Przeciętna wielkość cofania się zbocza klifu zarejestrowana w latach 1977-1990 wyniosła 0,94 metra/rok.

## SUDETY

osuwiska i obrywy nie mają charakteru powszechnego z uwagi na obecność skał magmowych i metamorficznych, odpornych na procesy ruchów masowych.



## PAS NIZIN POLSKI PÓŁNOCNEJ

osuwiska powstają przede wszystkim na zboczach dużych dolin rzecznych: Wisły, Warty, Narwi, Bugu, Noteci, Skrwy i innych większych dopływów Wisły. Najbardziej zagrożone odcinki w dolinie Wisły to skarpy wiślane: w Warszawie, na odcinkach Wyszogród-Płock, Dobrzyń-Włocławek, Toruń-Bydgoszcz.

## PAS WYŻYN POLSKI ŚRODKOWEJ

osuwiska powstają na zboczach doliny Wisły w okolicach Tarnobrzegu i Sandomierza. Występują również na obszarach pokrytych miąższymi osadami lessu (okolice Kazimierza Dolnego, Puław, Krasiczyna).

## KARPATY

osuwiska występują powszechnie, a ich liczba szacowana na podstawie dotychczasowych prac w projekcie System Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO, może wynosić nawet 50 000-60 000. Na 1 km<sup>2</sup> powierzchni Karpat przypadają średnio 2-3 osuwiska, a na obszarach niektórych gmin karpackich aż 6-8 osuwisk/1km<sup>2</sup>.

*Materiały dla studentów  
z przedmiotu*

***NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ***

*część VII*

*2020/21 tylko do użytku wewnętrznego*

*dr inż. Bernadetta Pasierb*

# **ROZPORZĄDZENIE MINISTRA TRANSPORTU, BUDOWNICTWA I GOSPODARKI MORSKIEJ**

Wg. rozporządzenia Ministra z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych.

## **WYRÓŻNIAMY TRZY RODZAJE WARUNKÓW GRUNTOWYCH:**

- 1) proste** - występujące w przypadku warstw gruntów jednorodnych genetycznie i litologicznie, zalegających poziomo, nieobejmujących mineralnych gruntów słabonośnych, gruntów organicznych i nasypów niekontrolowanych, **przy zwierciadle wody poniżej projektowanego poziomu posadowienia** oraz braku występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych;
- 2) złożone** - występujące w przypadku warstw gruntów niejednorodnych, nieciągłych, zmiennych genetycznie i litologicznie, obejmujących mineralne grunty słabonośne, grunty organiczne i nasypy niekontrolowane, przy zwierciadle wód gruntowych **w poziomie projektowanego posadowiania i powyżej tego poziomu** oraz przy braku występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych;
- 3) skomplikowane** - występujące w przypadku warstw gruntów objętych występowaniem niekorzystnych zjawisk geologicznych, **ZWŁASZCZA ZJAWISK I FORM KLASOWYCH, OSUWISKOWYCH, SUFOZYJNYCH, KURZAWKOWYCH, GLACITEKTONICZNYCH, GRUNTÓW EKSPANSYWNYCH I ZAPADOWYCH**, na obszarach szkód górniczych, przy możliwych nieciągłych deformacjach górotworu, w obszarach dolin i delt rzek oraz na obszarach morskich.

# NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ

## KOMPLEKSOWE BADANIA

w skomplikowanych warunkach gruntowych

Badania  
geodezyjne

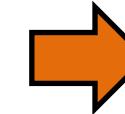
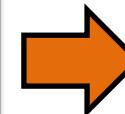
Badania  
geofizyczne

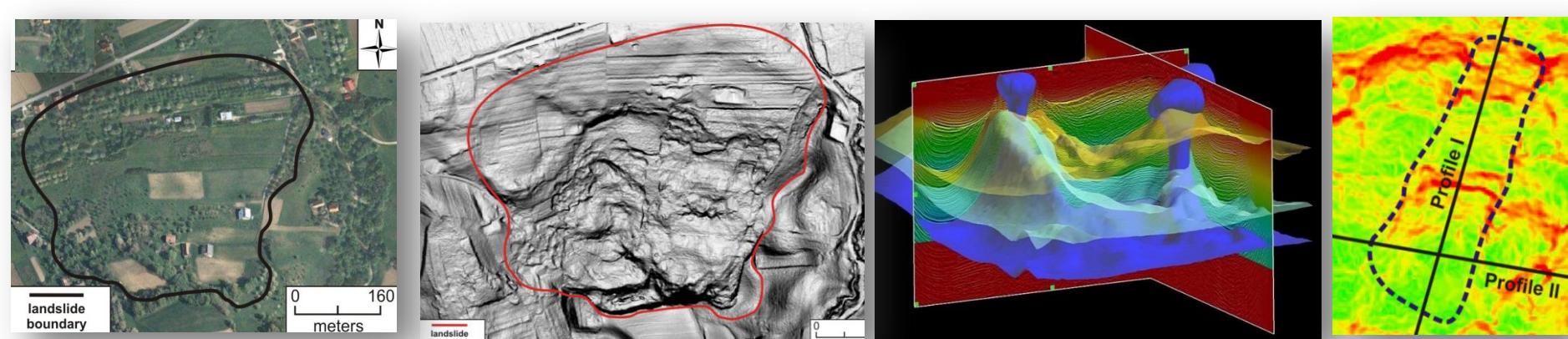
Badania  
geologiczne  
i  
hydrogeologiczne

Badania  
geotechniczne

Badania  
laboratoryjne  
gruntów i skał:

Modelowania  
współpracy  
obiektów  
budowlanych  
z podłożem





**ETAP I  
obszar badań**



**ETAP II  
nieinwazyjne badania**

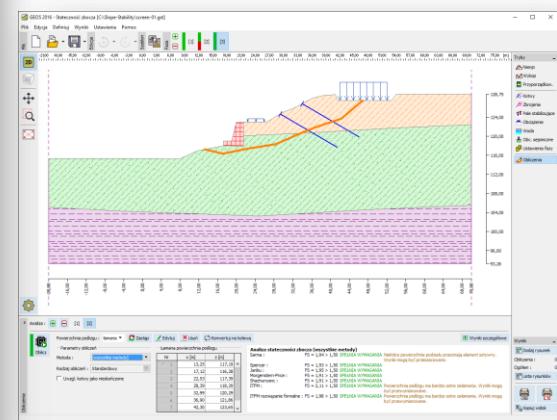
**ETAP III  
badania geologiczne  
i hydrogeologiczne**

**ETAP V  
wiercenia,  
sondowania  
geotechniczne**

**ETAP VI  
badania  
laboratoryjne**

**ETAP VII  
modelowania  
posadowienia  
obiektów**

**ETAP IV  
Pobór próbek**



# NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ

## BADANIA GEODEZYJNE

### 1. Monitoring deformacji powierzchni terenu:

- Naziemny skaning laserowy i pomiary klasyczne
- Lotniczy skaning laserowy (LIDAR, ALS)
- Interferometria radarowa

### 2. Geodezyjny monitoring obiektów budowlanych

- Pomiary osiadań
- Pomiary deformacji konstrukcji budynków

### 3. Inwentaryzacja pustek skalnych

- Naziemny skaning laserowy 3D (TLS)

## 1. MONITORING DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENU

za pomocą naziemnego skaningu laserowego i pomiarów klasycznych



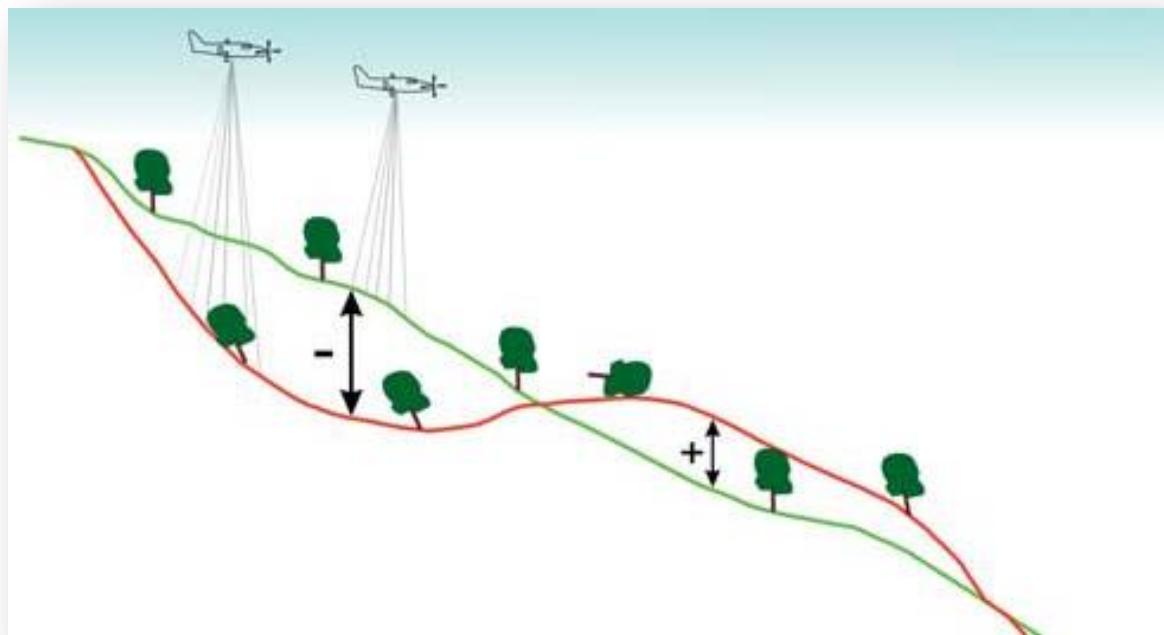
Naziemny skaner fazowy FARO



Tachimetr TOPCON

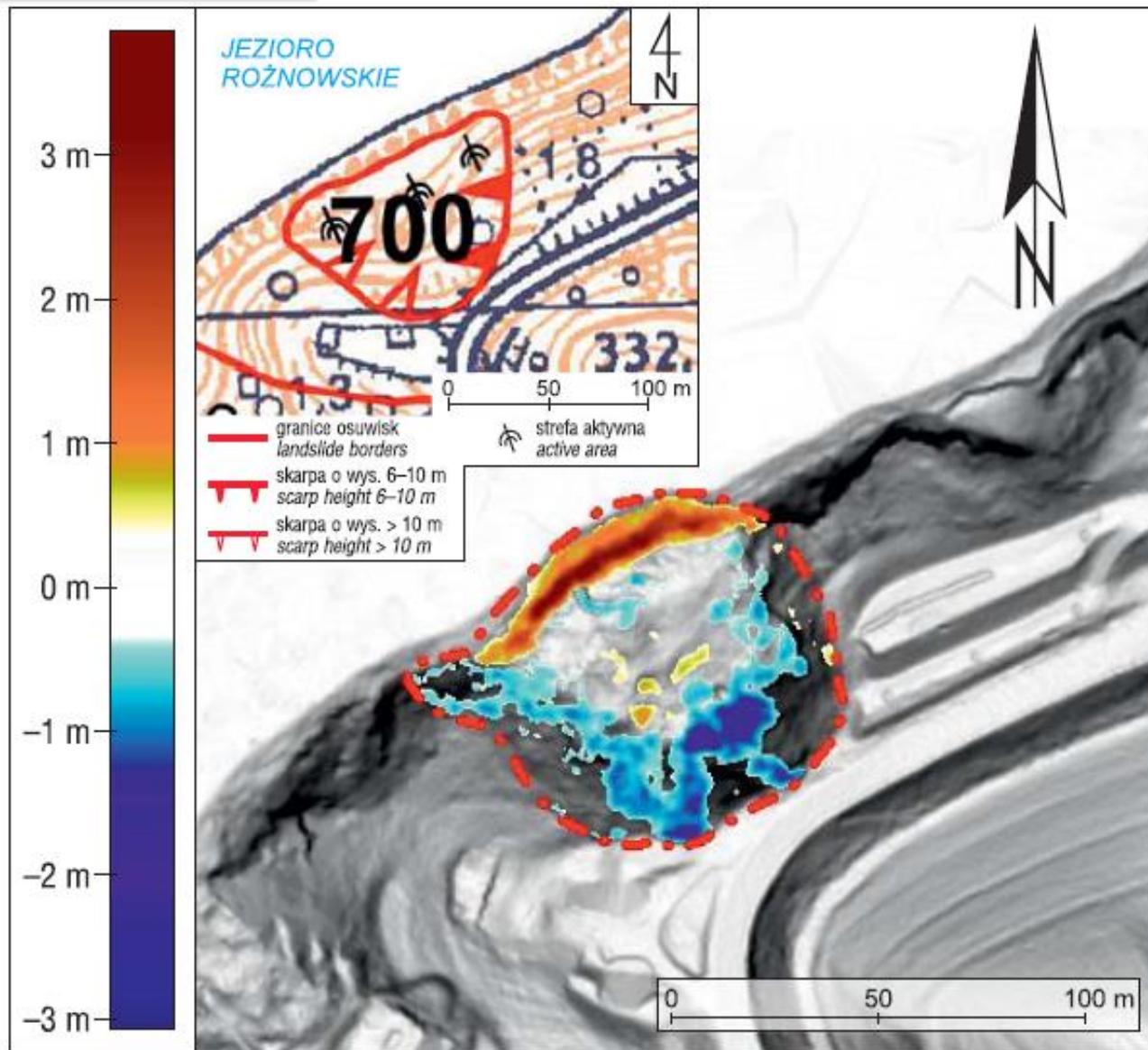
## 1. MONITORING DEFORMACJI PODŁOŻA za pomocą SKANINGU LASEROWEGO

Model różnicowy uzyskuje się poprzez zestawienie danych z co najmniej dwóch nalotów lotniczego skaningu laserowego (**ALS – Airborne Laser Scanning**), wykonanych na tym samym terenie w różnym czasie



Schemat tworzenia modeli różnicowych

## Osuwiska w LIPIU



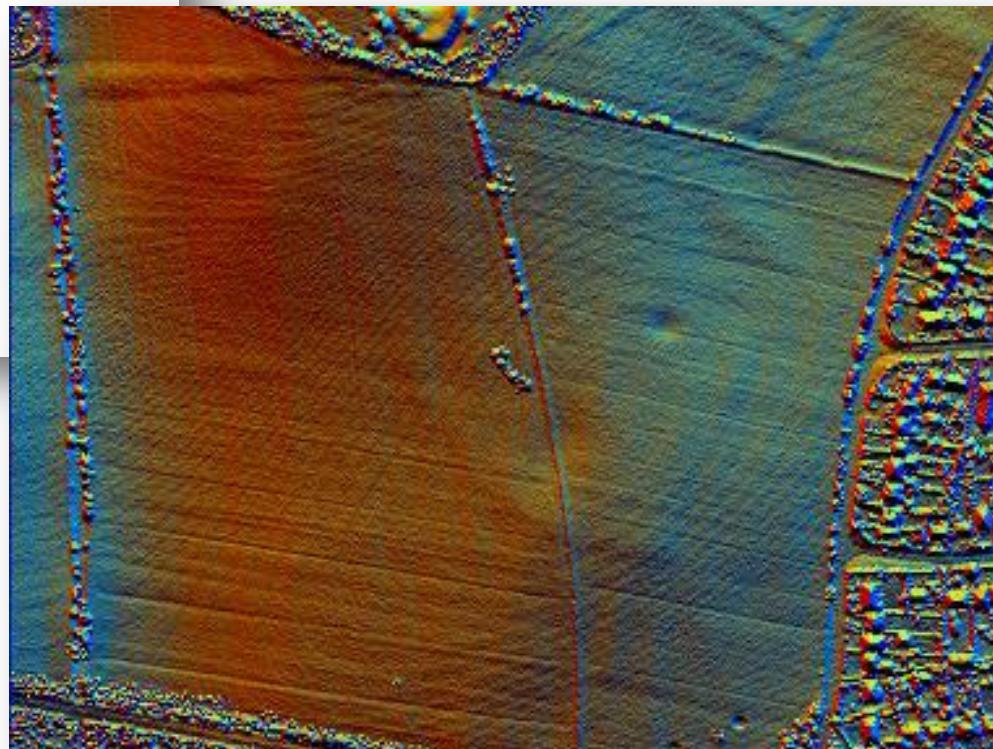
**Model różnicowy osuwiska w Lipiu 2 (2010–2013) oraz fragment mapy osuwisk w gminie Gródek nad Dunajcem (Wójcik i in., 2015)**

## 1. MONITORING DEFORMACJI PODŁOŻA za pomocą LIDARU



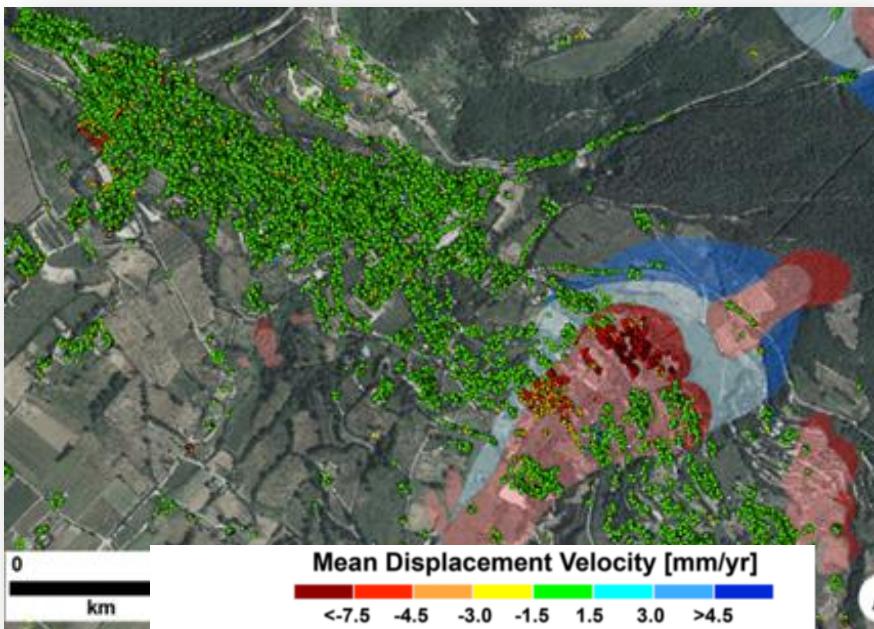
Obniżenie terenu wykryte na podstawie porównania obserwacji Lidarowych wykonanych z 2 letnim odstępem czasowym

Zasada pomiaru LIDAR

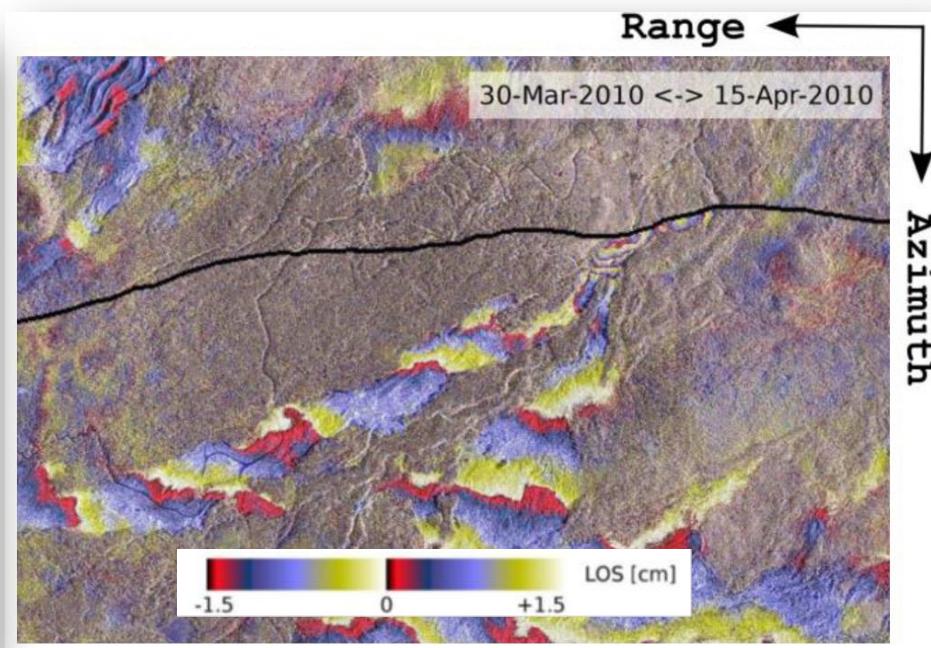


## 1. MONITORING DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENU za pomocą INTERFEROMETRII RADAROWEJ

Przykłady opracowań danych satelitarnych COSMO Sky-med



Mapa deformacji terenu w obrębie osuwiska w mm/rok



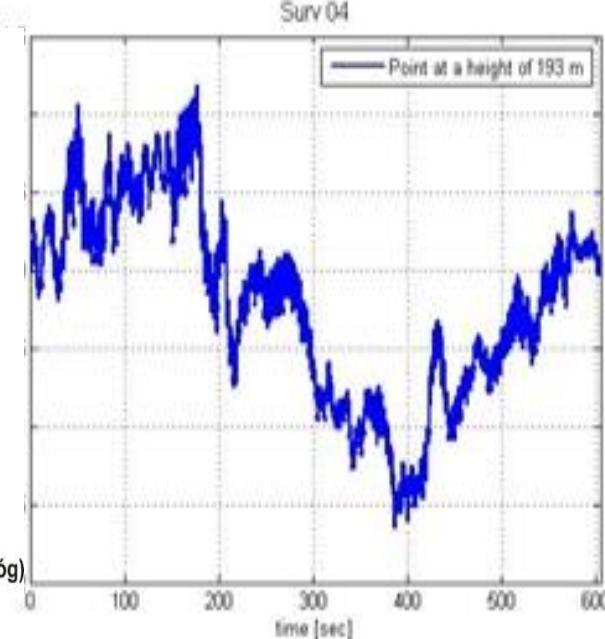
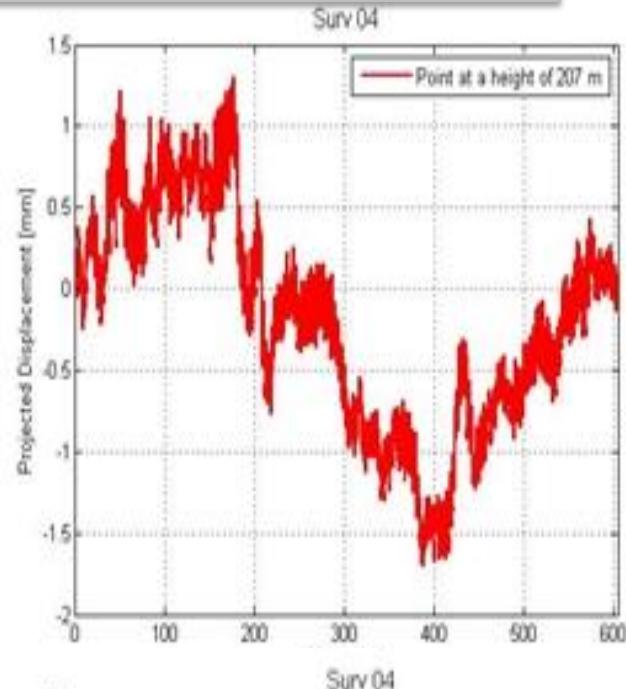
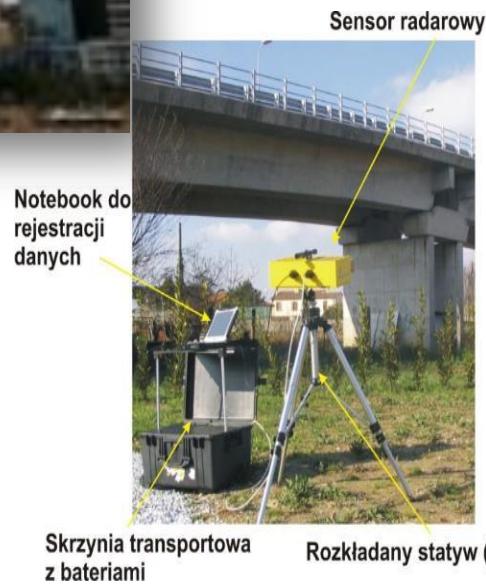
Interferogram (współrzędne radarowe) obrazujący prędkość deformacji terenu w cm/rok

## 2. GEODEZYJNY MONITORING OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

- **POMIARY OSIADAŃ**
- **POMIARY DEFORMACJI KONSTRUKCJI BUDYNKÓW**

# NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ

## RADARY INTERFERENCYJNE – POMIAR DRGAŃ BUDYNKU



Zmierzone przemieszczenia w dwóch punktach wieżowca): czerwona krzywa - szczyt budynku, niebieska - 14m poniżej.

## INWENTARYZACJA PUSTEK SKALNYCH

### NAZIEMNY SKANINGU LASEROWEGO 3D (TLS)



Skaner FARO



Skaner ręczny  
ZEB-REVO

Fragment skanu nieczynnego chodnika KS Wieliczka

## BADANIA GEOFIZYCZNE



METODA  
GEORADAROWA  
GPR

METODA  
TOMOGRAFII  
ELEKTROOPOROWEJ  
ERT



## METODA GEORADAROWA



**Georadar 2D**

Częstotliwość [MHz]	Średnia rozdzielcość [m]	Maksymalny zasięg głębokościowy [m]
10	2,0	60
25	1,0	50
50	0,5	40
100	0,25	25
250	0,10	10
500	0,05	6
800	0,03	2,5
1000	0,025	1,5

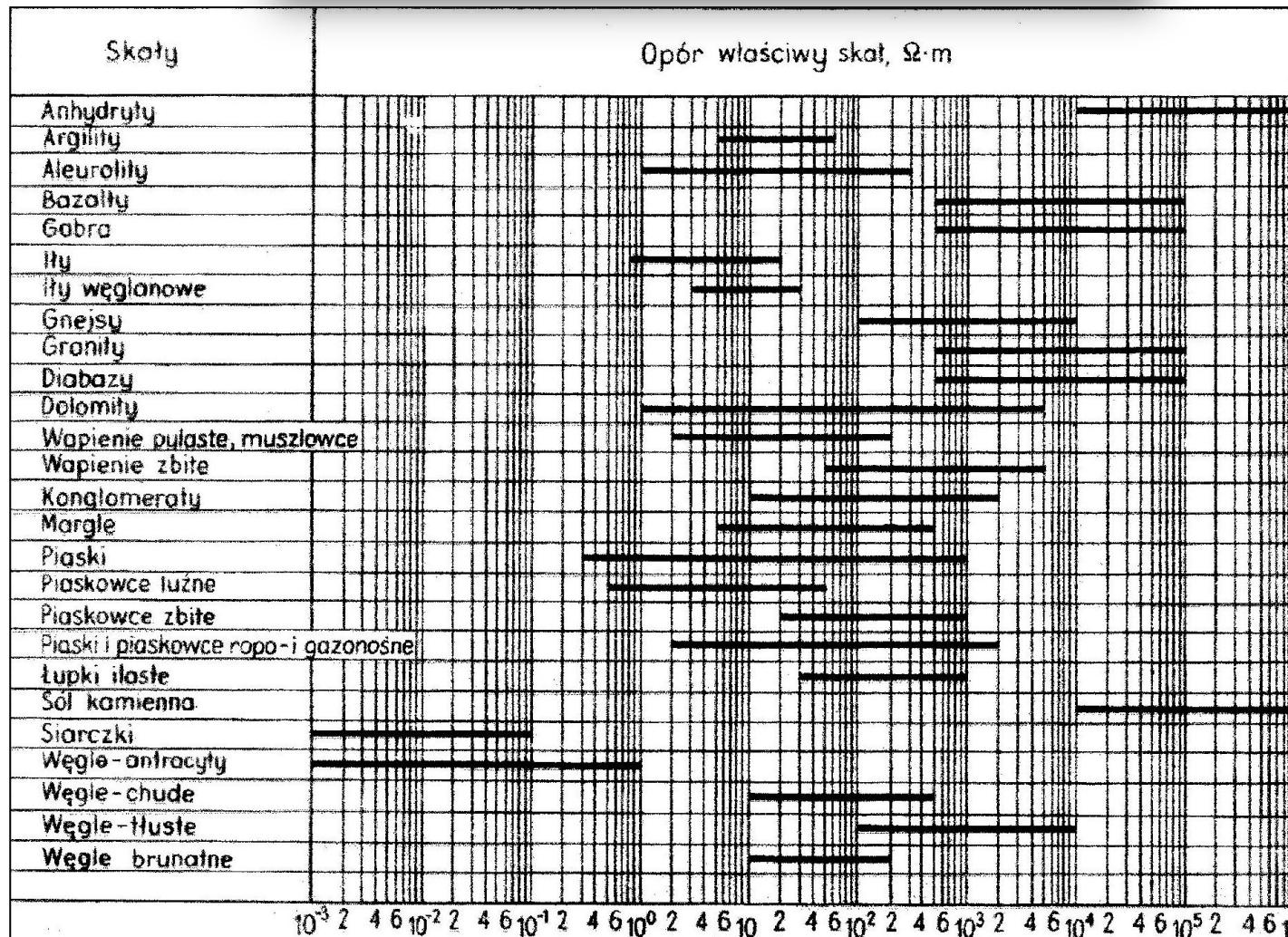
Konstrukcja zestawu georadarowego

Georadar 3D

Podstawowe parametry anten georadarowych

# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

## ERT (Electrical Resistivity Tomography)



## METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

Oporność pozorna jest obliczana według następującego wzoru:

$$\rho_a = k \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

$\rho_a$  - oporność pozorna [ $\Omega\text{m}$ ]

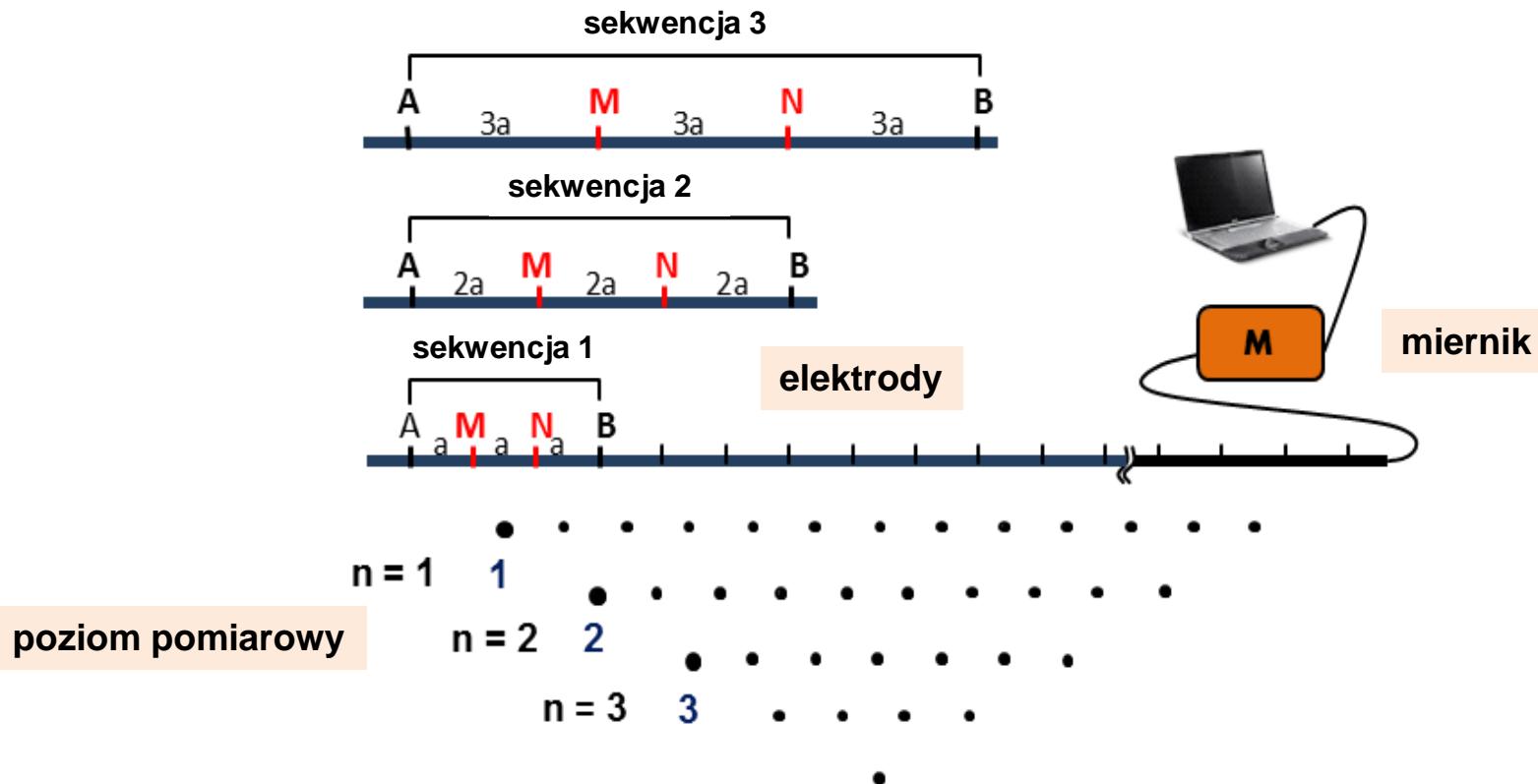
$\Delta V_{MN}$  - różnica potencjałów między elektrodami pomiarowymi  $M$  i  $N$  [V]

$I_{AB}$  - natężenie prądu emitowanego w podłoże przez elektrody  $A$  i  $B$  [A]

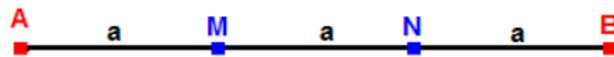
$k$  - współczynnik geometryczny układu pomiarowego, zależny od rozstawu elektrod [m]

## METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

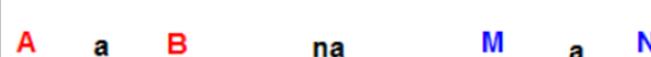
### TYPOWA SEKWENCJA POMIARU



UKŁAD WENNERA



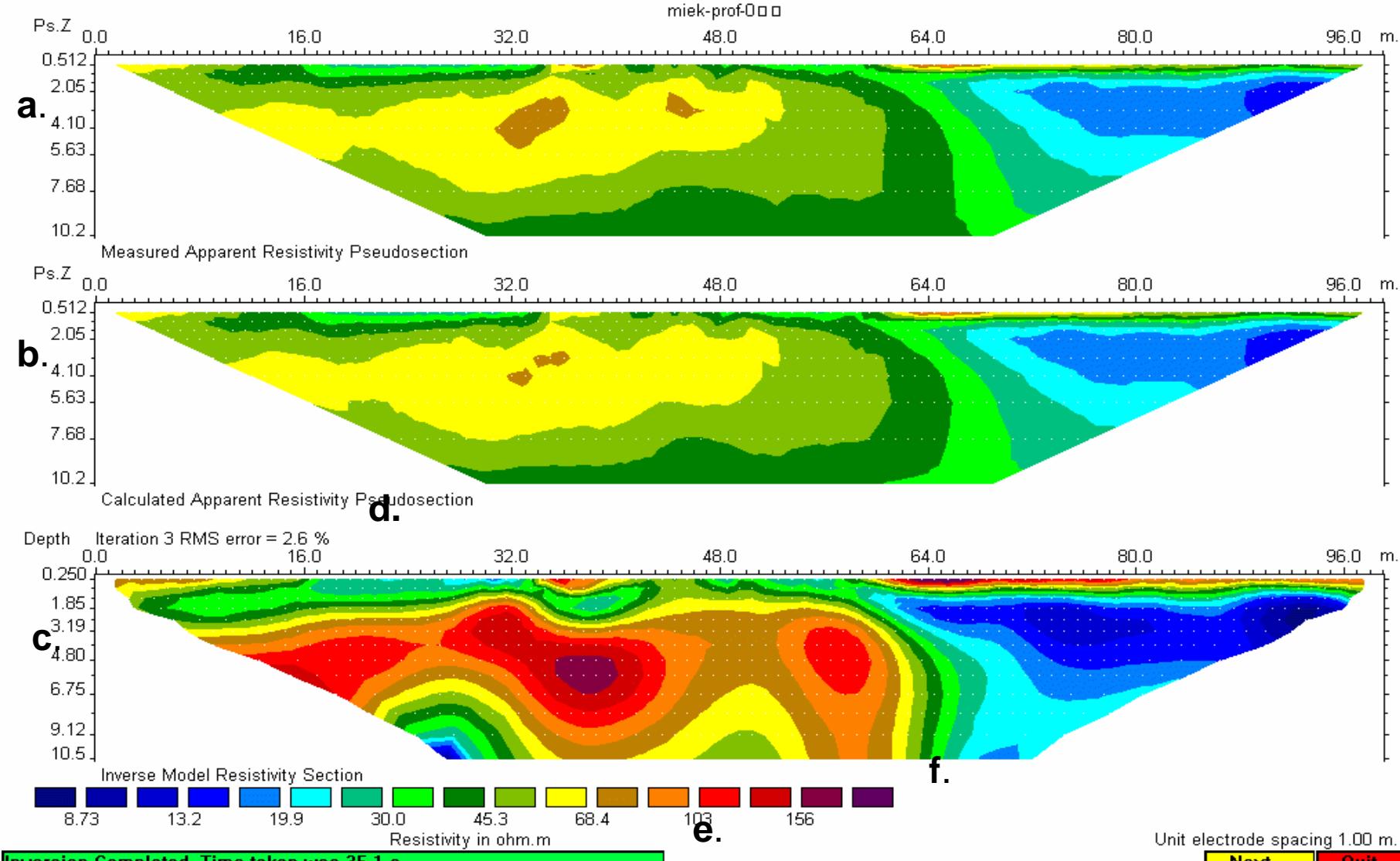
UKŁAD DIPOLE - DIPOLE



# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

RES2DINV v

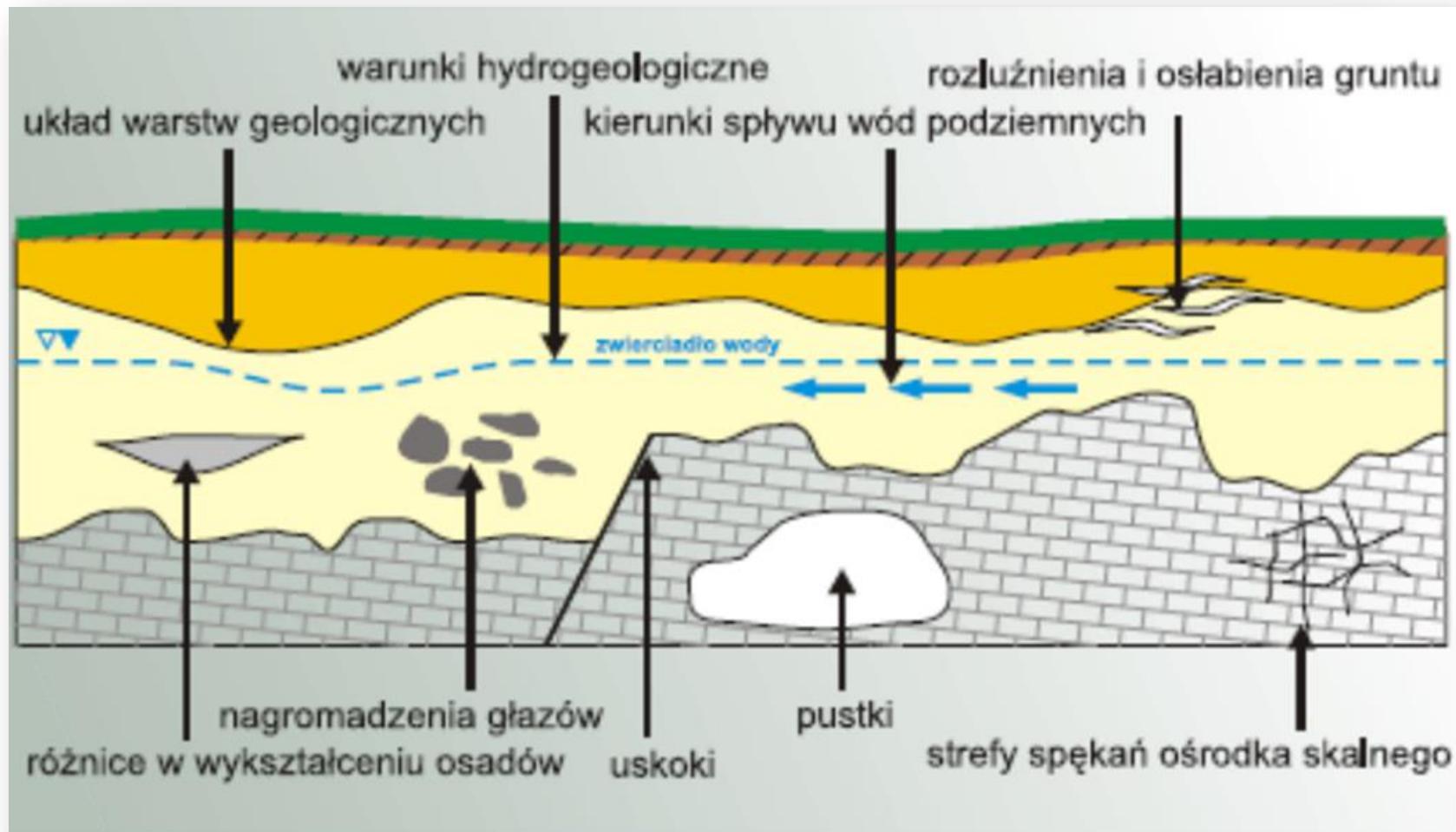
File Edit Change Settings Inversion Display Topography Options Print Help Quit



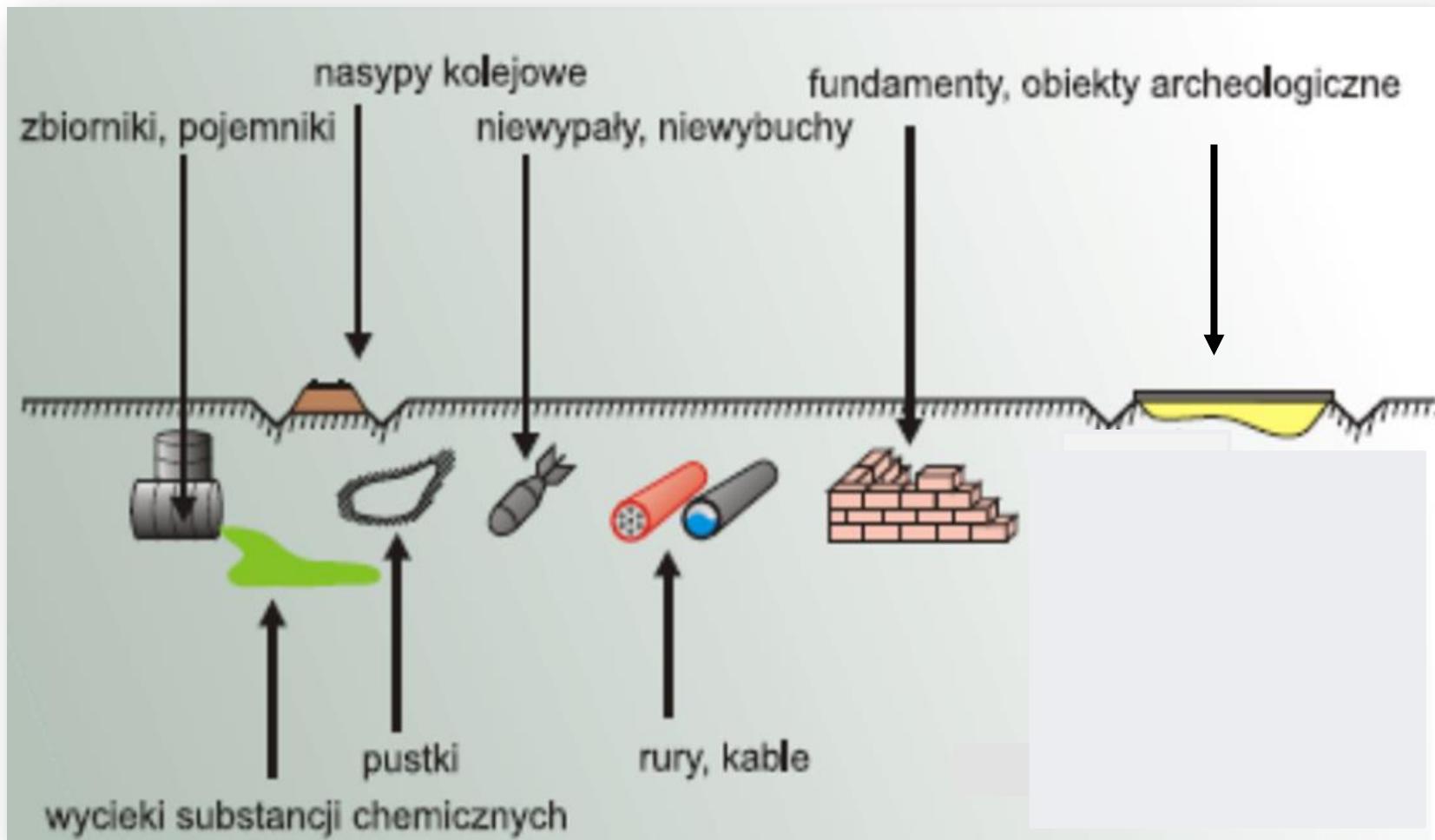
**Fig. 1. Zrzut ekranu programu Res2Dinv do inwersji geoelektrycznej**

(a – przekrój oporności pozornej pomierzonej, b – przekrój oporności pozornej obliczonej na podstawie modelu c),  
 c – model oporności rzeczywistej ośrodka, d – wskaźnik ilości iteracji wraz z błędem dopasowania przekroju obliczonego do rzeczywistego, e – wskaźnik postępu inwersji, f – skala oporności w [ohm\*m], g – opcja do zatrzymania inwersji)

## WYKRYWANIE I BADANIE TYPOWYCH ZJAWISK NATURALNYCH



## LOKALIZACJA OBIEKTÓW ANTROPOGENICZNYCH



# GRAWIMETRIA

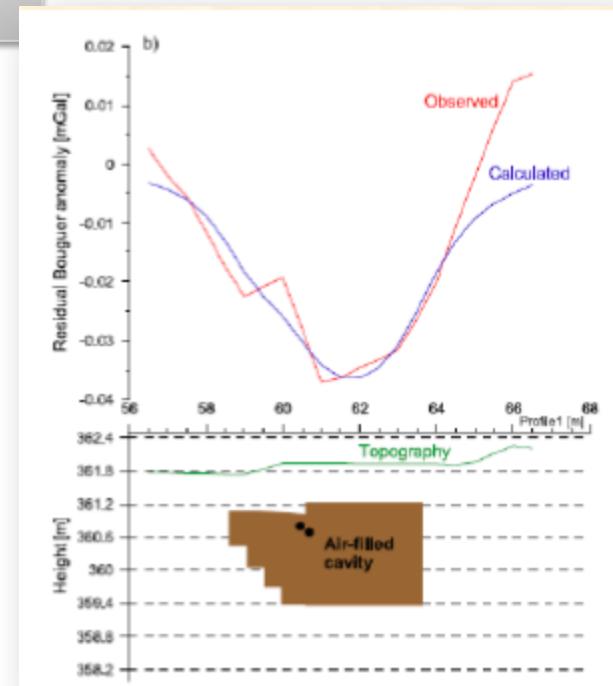
## ANOMALIA SIŁY CIĘŻKOŚCI

**ANOMALIA SIŁY CIĘŻKOŚCI**  $\Delta g$  – to różnica **siły ciężkości**  $g$  między zmierzoną (i zredukowaną do poziomu geoidy) w danym punkcie a **normalną siłą ciężkości**  $g_n$  na danej szerokości geograficznej.

$$\Delta g = g - g_n$$

Zwyczajowo mierzona jest w miligalach (mGal), rzadko stosuje się m/s<sup>2</sup>

**Przyczyną anomalii jest nierównomierne rozmieszczenie mas w różnych punktach na Ziemi oraz lokalne zmiany gęstości warstw skorupy ziemskiej**



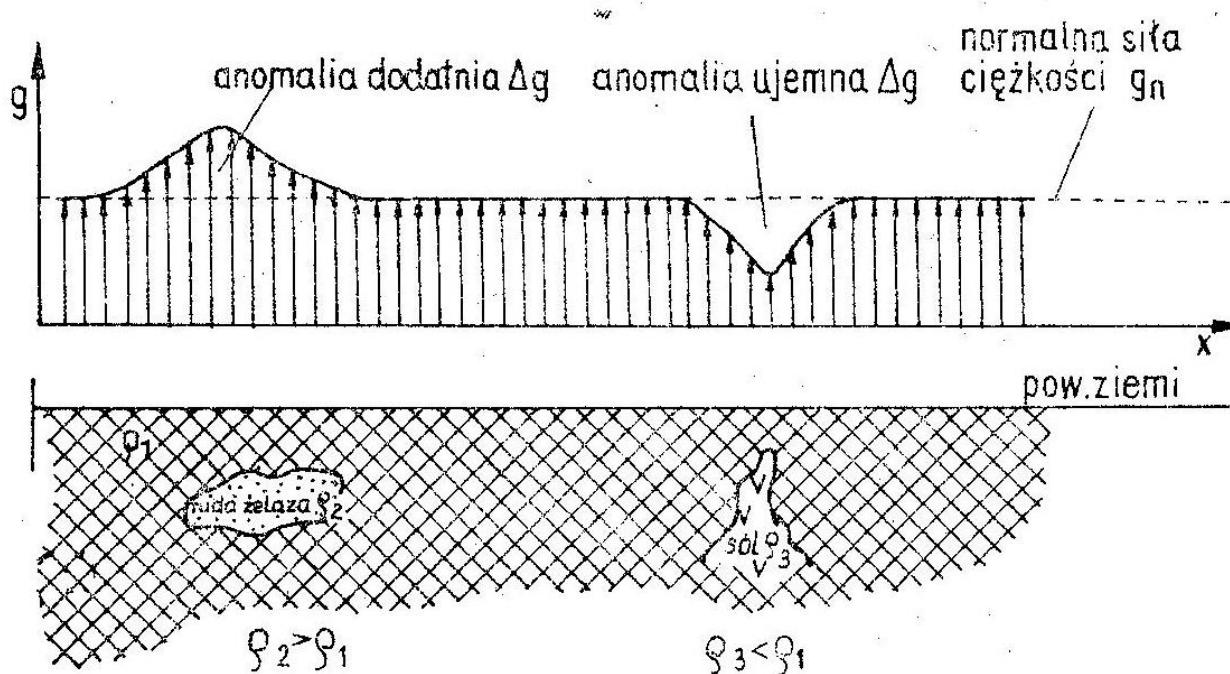
**ANOMALIA SIŁY CIĘŻKOŚCI** odzwierciedla rozkład gęstości w Ziemi, w szczególności utworów budujących górną część skorupy ziemskiej

# GRAWIMETRIA

## ANOMALIA SIŁY CIĘŻKOŚCI

**CIAŁO ANOMALNE, ZABURZAJĄCE**

**obiekt w miejscu jego występowania istnieje nadwyżka albo niedostatek mas**



Rozkład anomalii zależy od wielkości, kształtu i głębokości położenia ciała zaburzającego.

# MAGNETOMETRIA

## ANOMALIA MAGNETYCZNA

RÓŻNICA POMIĘDZY OBSERWOWANĄ W DANYM

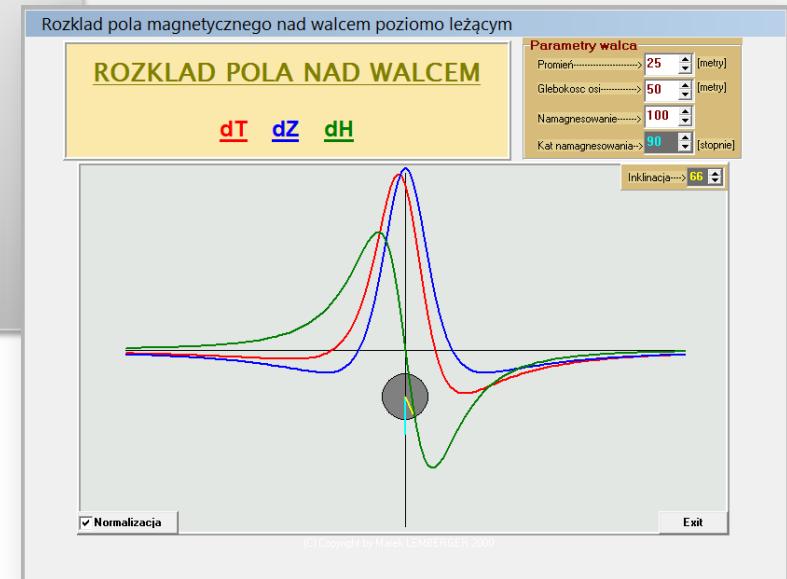
PUNKCIE WARTOŚCIĄ NATEŻENIA POLA

MAGNETYCZNEGO A JEGO WARTOŚCIĄ

NORMALNĄ OKREŚLONĄ METODAMI

ANALITYCZNYMI

$$\Delta T = T_{pom} - T_{baz}$$

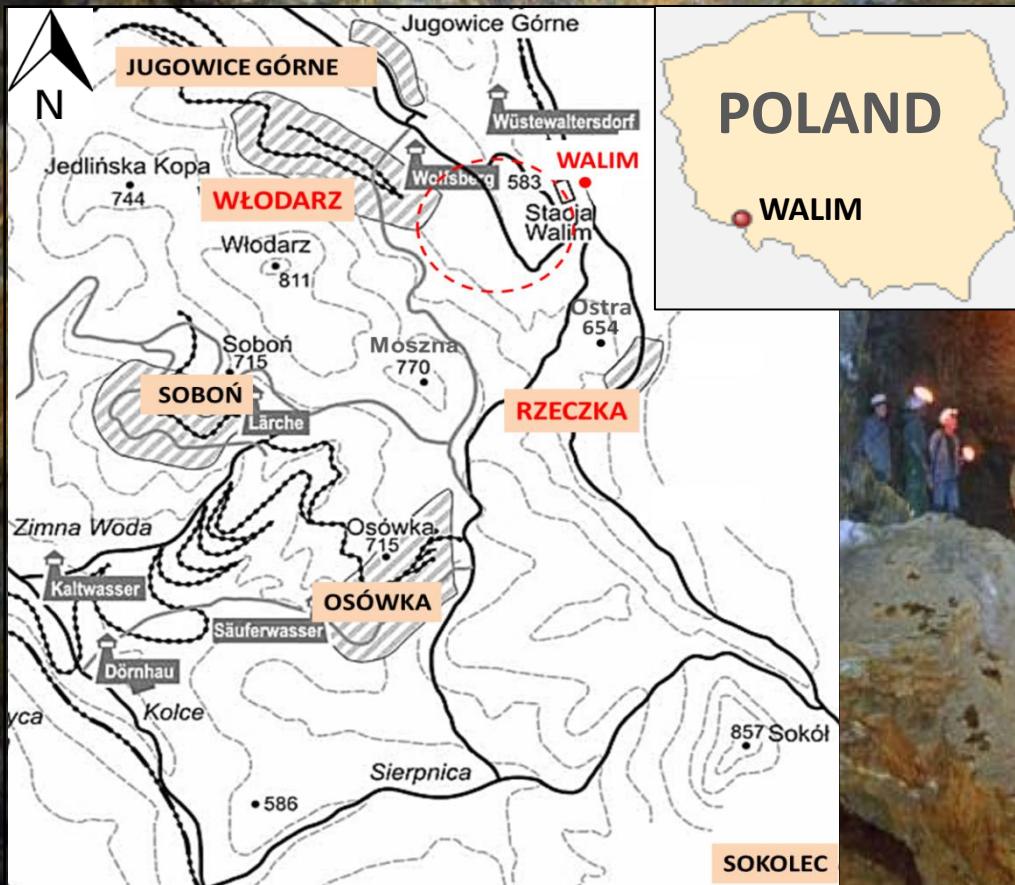


Anomalie występujące w rozkładzie wartości pola magnetycznego wynikają z niejednorodności namagnesowania skał lub występowania utworów rudonośnych i rud o właściwościach para i ferromagnetycznych

# GRAWIMETRIA I MAGNETOMETRIA

1. Wykonujemy pomiar na punktach wartości „g” (grawimetria) lub „T” (magnetometria)
2. Grawimetria - nanosimy poprawki: luni-solarną, topograficzną, wolno-powietrzną, Bouguera, urbanistyczną.
3. Wyliczamy wartość  $\Delta g$  w redukcji Bouguera –  $\Delta g_B$  (grawimetria) lub wyliczamy wartość  $\Delta T$  pomiędzy punktami pomiarowymi a bazą (magnetometria).
4. Wykonujemy interpretację jakościową – wyznaczamy anomalie na krzywej (pomiar 1D) lub mapie (pomiar 2D).
5. Wykonujemy modelowanie - przejście do interpretacji ilościowej.

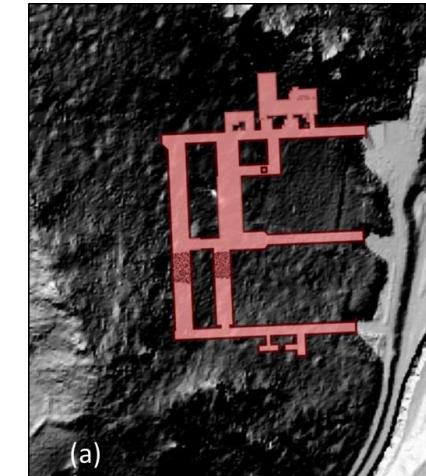
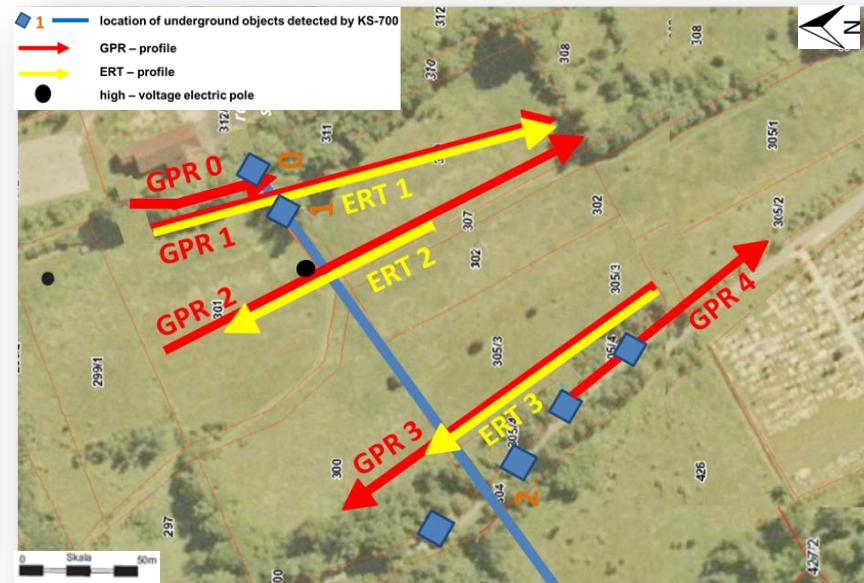
# „PODZIEMNE MIASTO RIESE”



- place measurements
- standard gauge railways
- narrow gauge railway
- railway sidings
- rail stations
- main roads
- other roads
- areas where ground or underground work has been started
- contour lines
- existing bridges
- camps (branches KL Gross-Rosen) included in AL Riese
- camps for forced laborers and prisoners of war

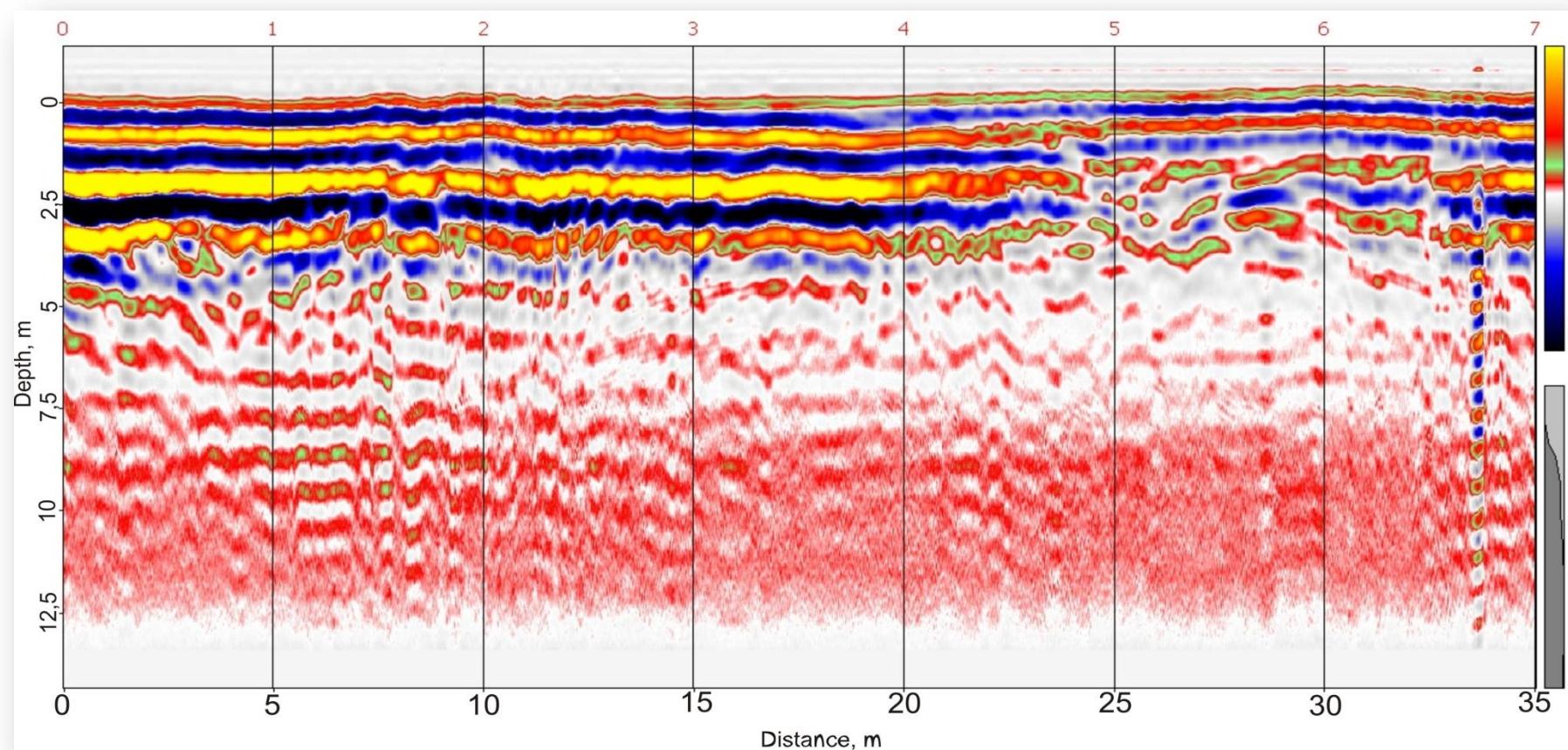


# „PODZIEMNE MIASTO RIESE”



# METODA GEORADAROWA

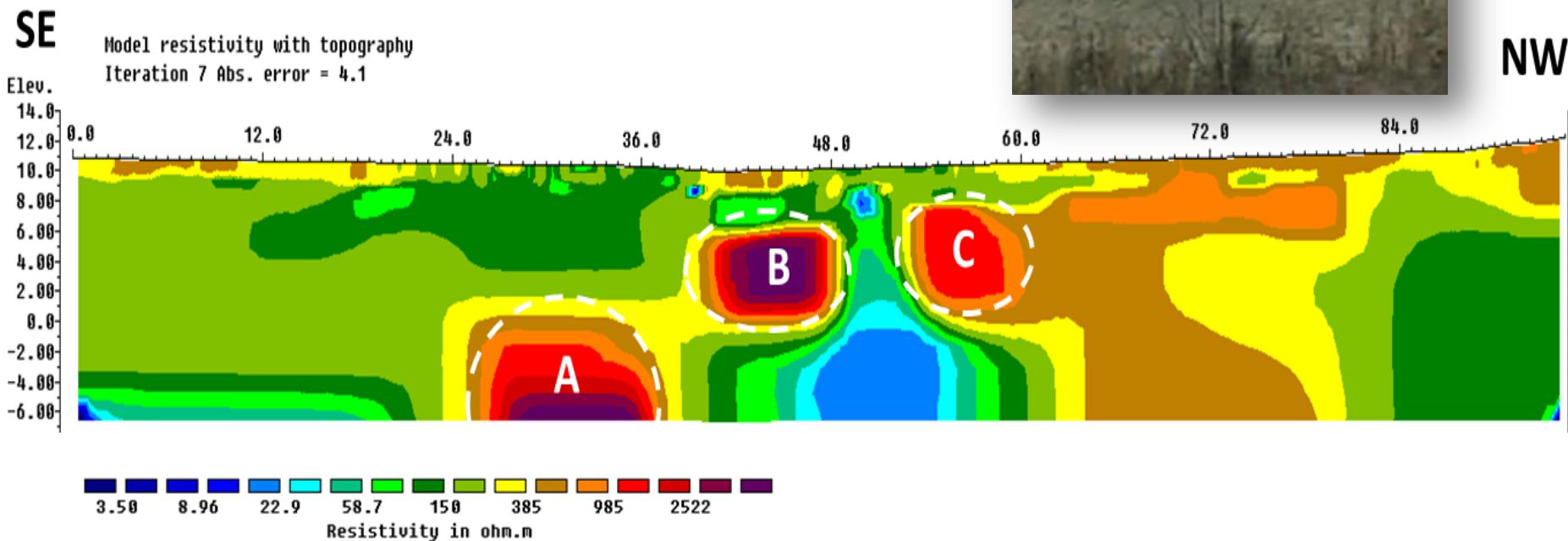
„PODZIEMNE MIASTO RIESE”



Płytko położona niejednorodność podłoża pomiędzy 22 m i 29 m profilu

# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

## „PODZIEMNE MIASTO RIESE”



Rozkład oporności elektrycznej przedstawiony na profilu można by interpretować jako prawdopodobne pustki, które charakteryzują się bardzo wysokimi wartościami oporności, ponad  $2000\Omega$

# LOKALIZACJA STRUKTUR KRASOWYCH

## PLAC SOLNY



# LOKALIZACJA STRUKTUR KRASOWYCH

0 5 10 15 20m



- region of reconnaissance surveys

● - Boreholes

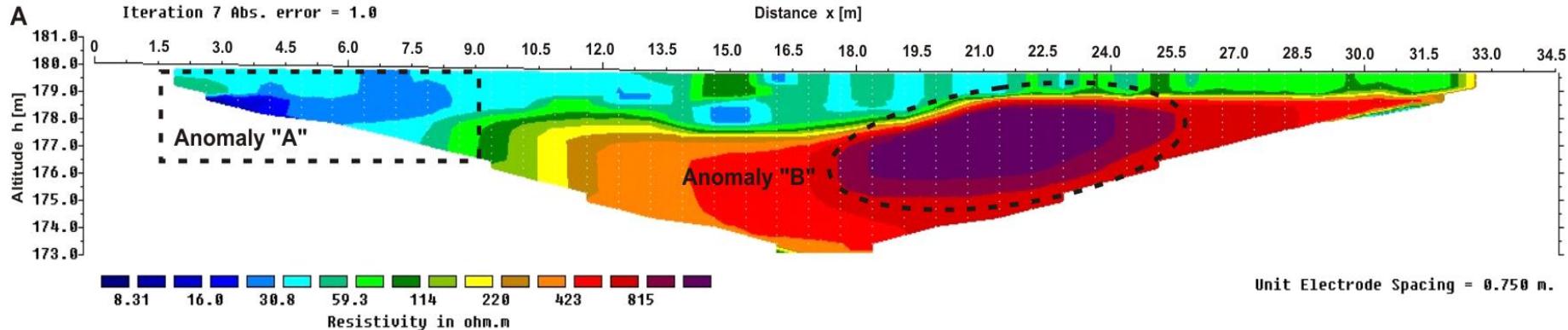
○ - Microgravimetric stations

→ - GPR profiles

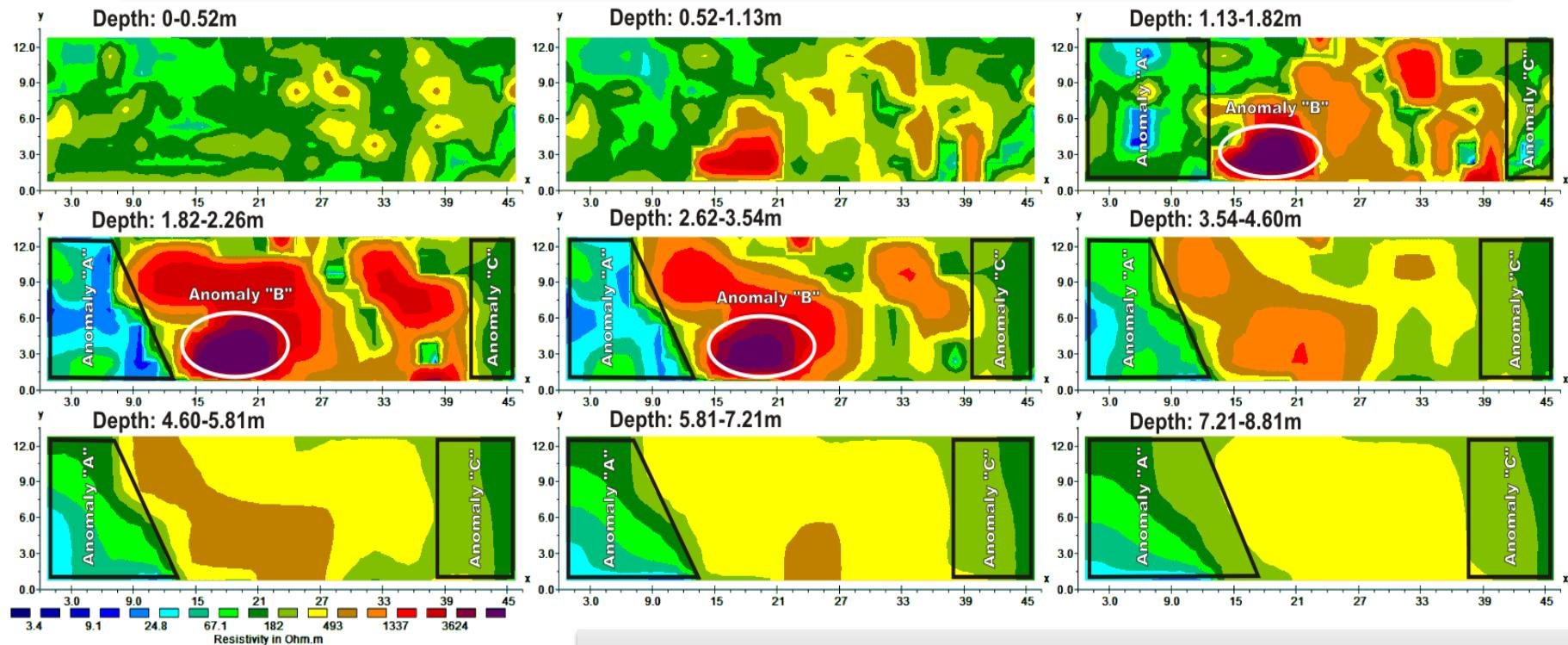
····· - ERT profiles

Projekt rekonesansowych i szczegółowych badań geofizycznych oraz dwie anomalie wyznaczone podczas badań rekonesansowych

# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ



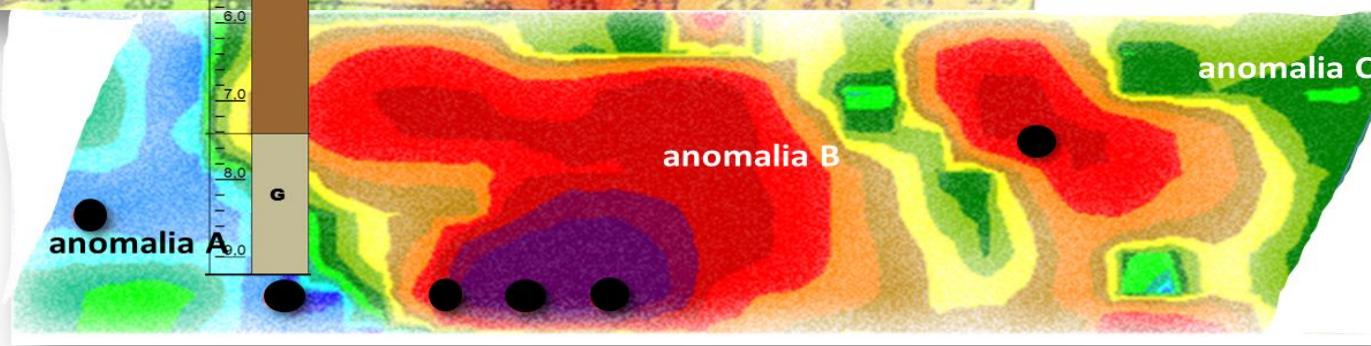
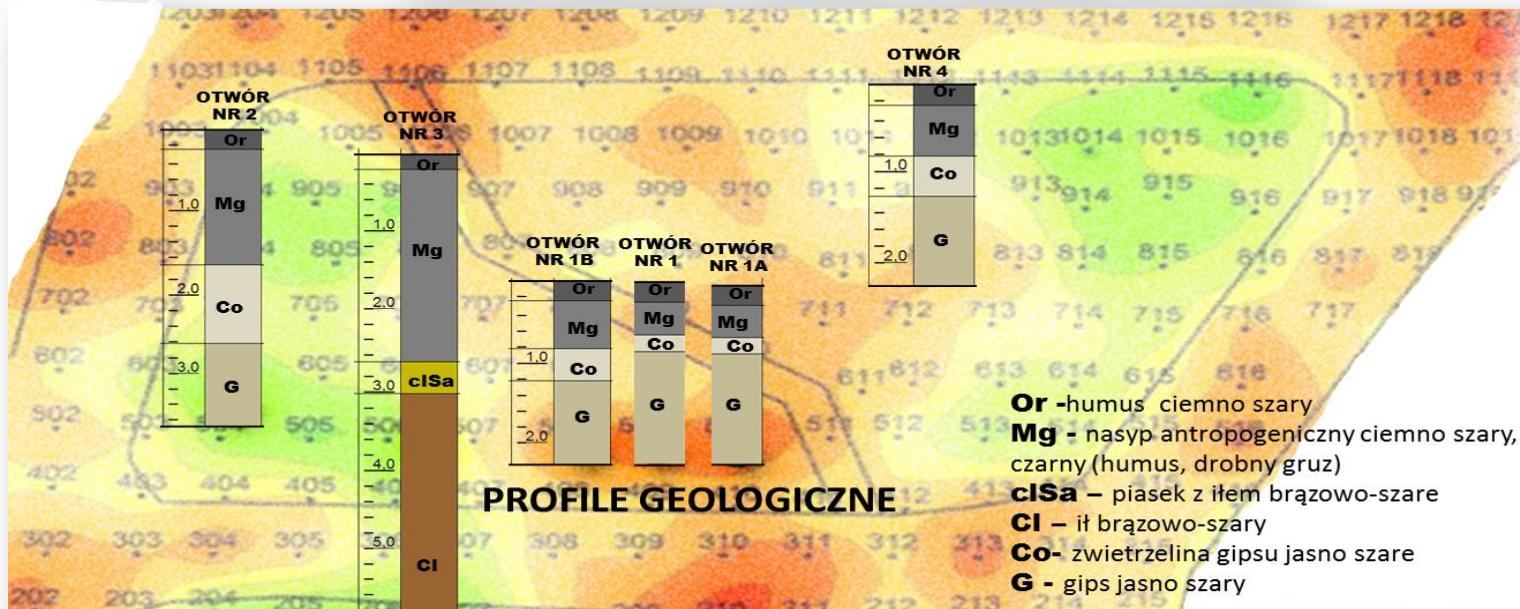
Wynik testowych badań ERT przeprowadzonych układem dipolowym



Cięcia poziome x-y – głębokościowe w metodzie ERT

# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ i GRAWIMETRYCZNA

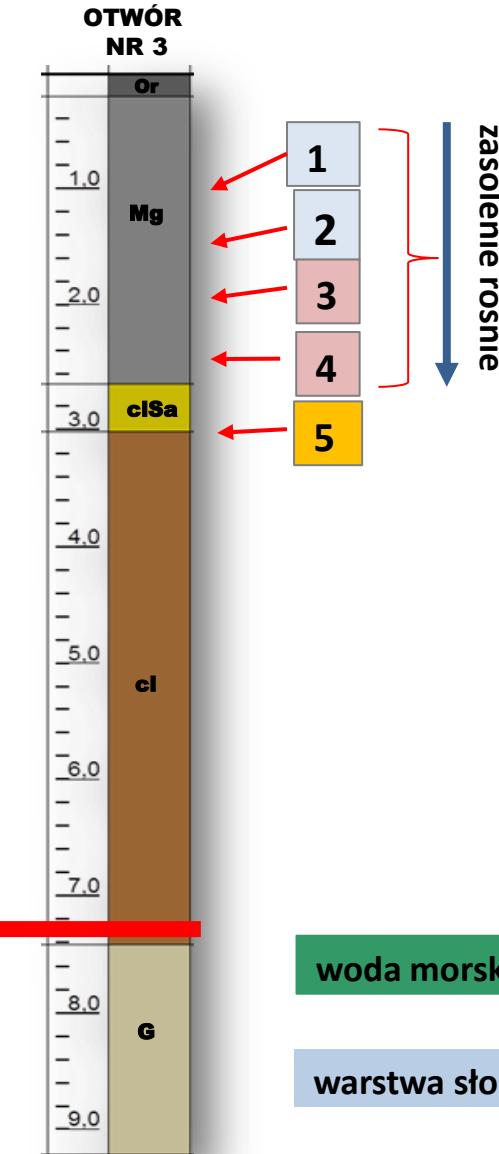
MAPA ROZKŁADU ANOMALII GRAWIMETRYCZNEJ



MAPA ROZKŁADU ANOMALII ELEKTROOPOROWEJ

Mapy rozkładu anomalii grawimetrycznych i elektrooporowych wraz z profilami geologicznymi.

# BADANIA GEOTECHNICZNE I GEOCHEMICZNE



zasolenie podwyższone  
mniejsze niż w 2 warstwach niżejległych

nr próbki- oznaczenia	głębokość [m]	pH	PEW [mS/cm]	Eh [mV]
1	1	7,61	1,817	235
2	1,5	7,71	1,698	222
3	2	7,79	2,12	232
4	2,5	7,89	2,86	182
5	3	8,17	1,696	184

spadek zasolenia

podwyższona wartość  
wskaźnika zasolenia

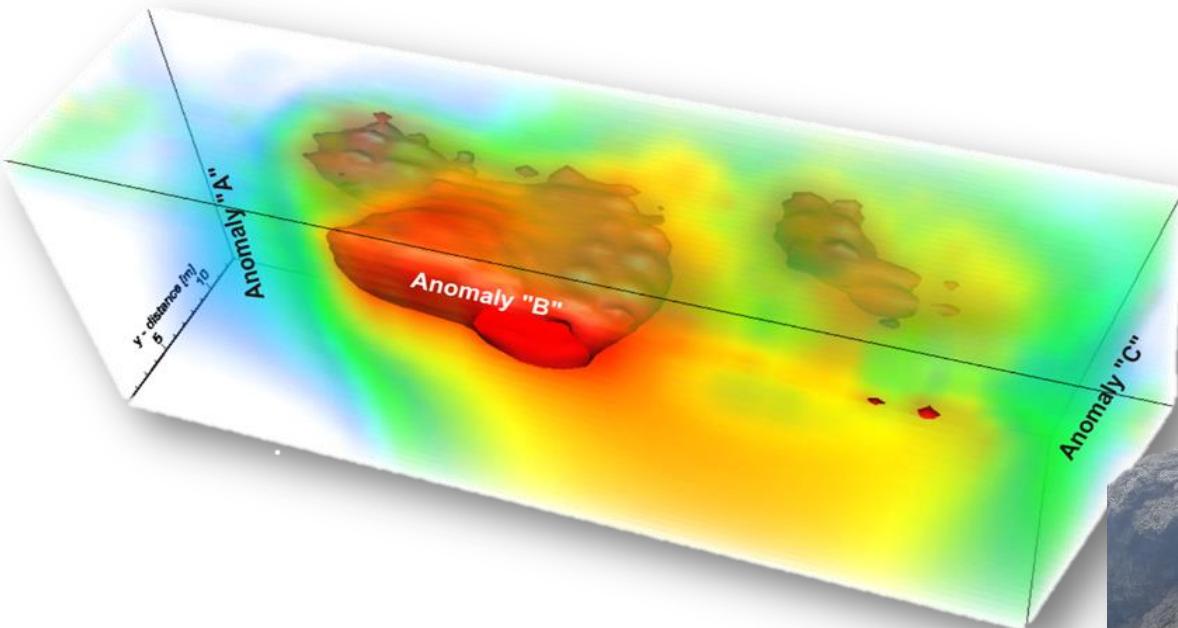
**pH** - ilościowa skala kwasowości i zasadowości roztworów wodnych związków chemicznych

**PEW** - przewodność elektrolityczna właściwa

**Eh** - potencjał oksydacyjno-redukcyjny - ilościowa miara zdolności utleniających .

# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

## LOKALIZACJA STRUKTUR KRASOWYCH



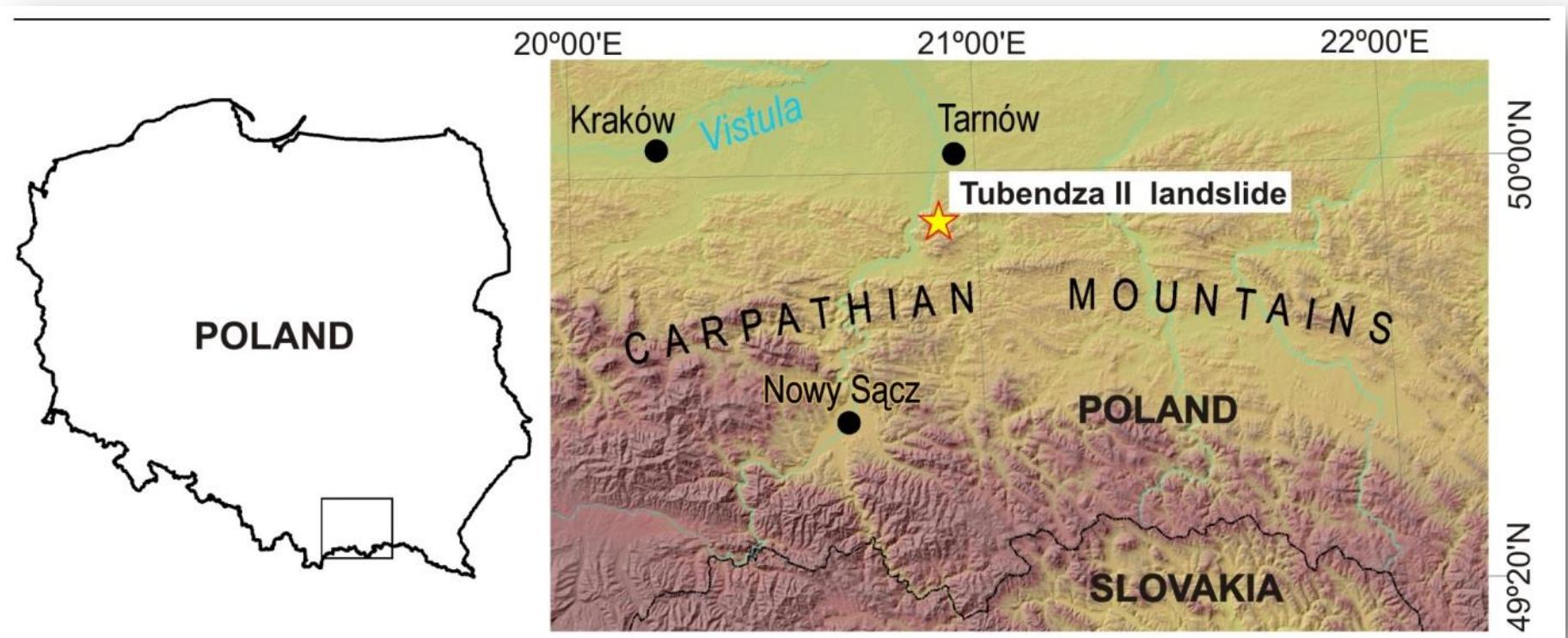
Trójwymiarowy obraz anomalii uzyskany na podstawie badań ERT przeprowadzonych na Placu Solnego.



# NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ

## - METODY GEOFIZYCZNE i GEODEZYJNE

### Lokalizacja osuwiska Tubendza II



# NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ -

## Osuwisko Tubendza II



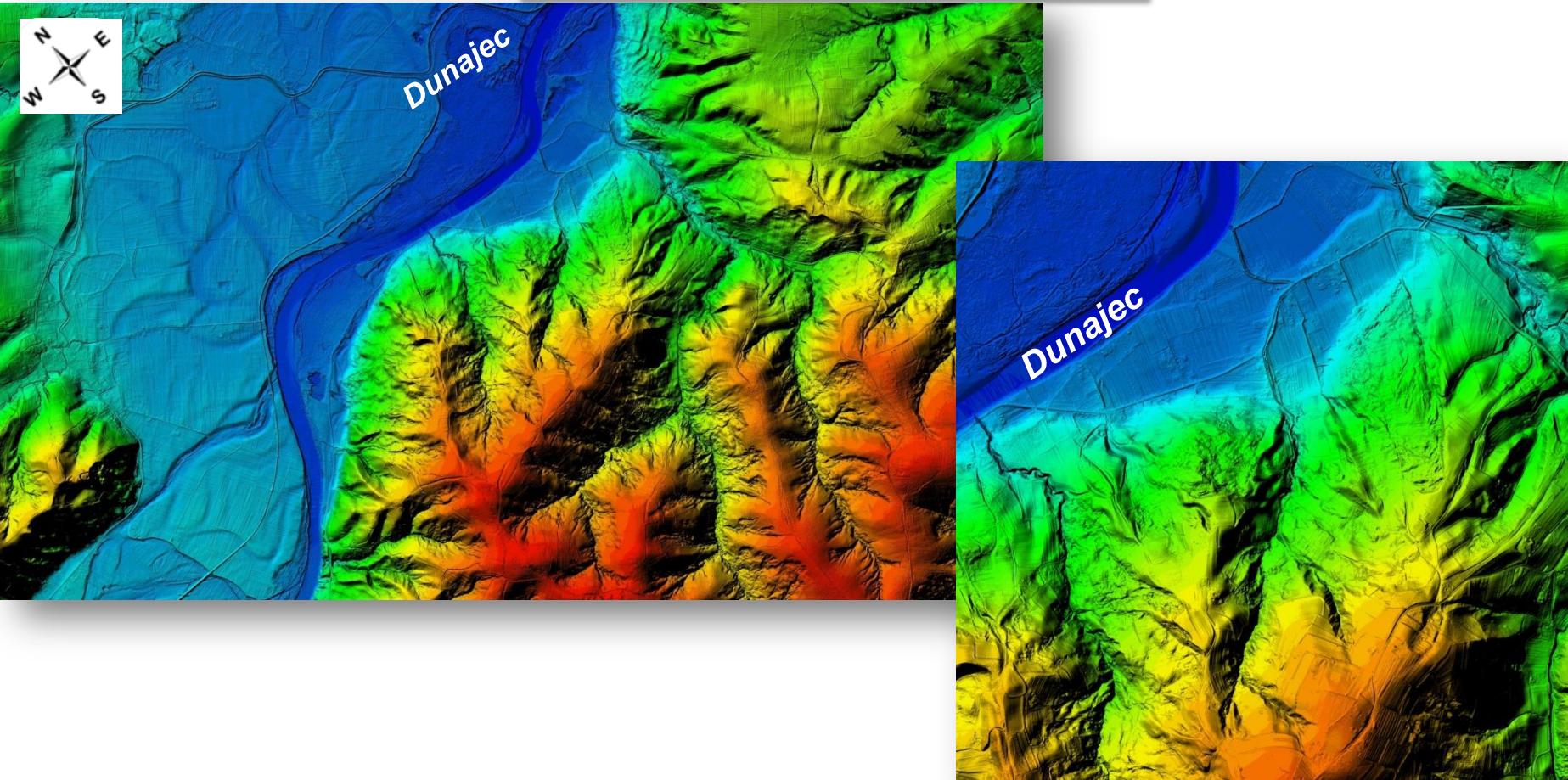
A - ogólny widok (2017 r.), B - poprzeczne szczeliny (2015 r.),  
C – uszkodzona droga (2014-2015 r.), D - zniszczony dom (2010 r.)

(foto. B. Pasierb i J. Cebulski)

# NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ

## - METODY GEOFIZYCZNE i GEODEZYJNE

### Osuwisko Tubendza II w 3D

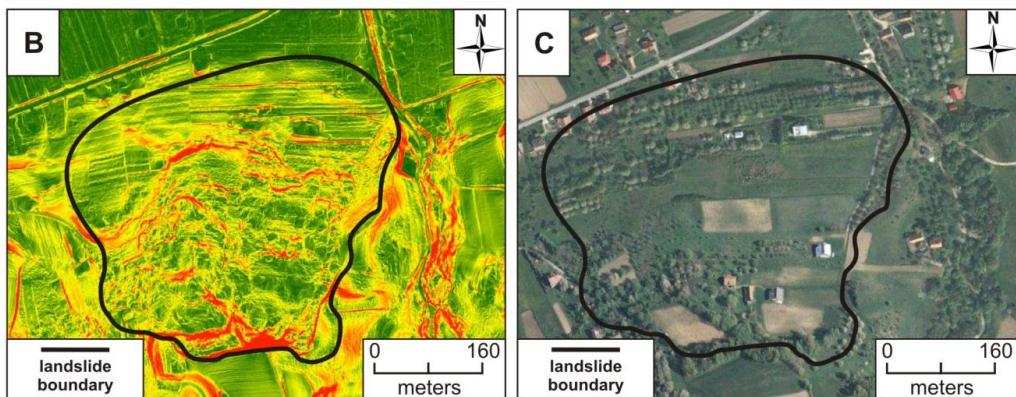
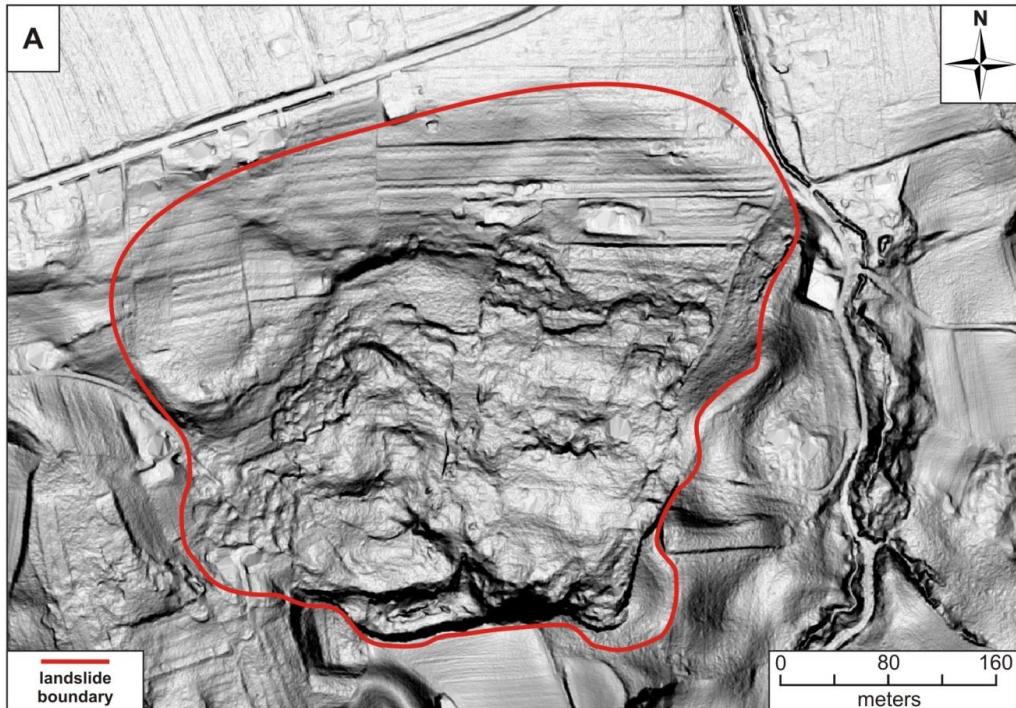


3-D obraz osuwiska Tubendza II (Numeryczny model terenu (DTM) na podstawie skaningu laserowego, (wg. Informatyczny System Osłony Kraju ISOK, rozdzielcość 1m)

(<http://www.kzgw.gov.pl>)

# NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ - METODY GEOFIZYCZNE i GEODEZYJNE

## Skaning laserowy



Tubendza II landslide on high resolution DEMs and orthophotomap.

A – hillshade map;

B – slope map;

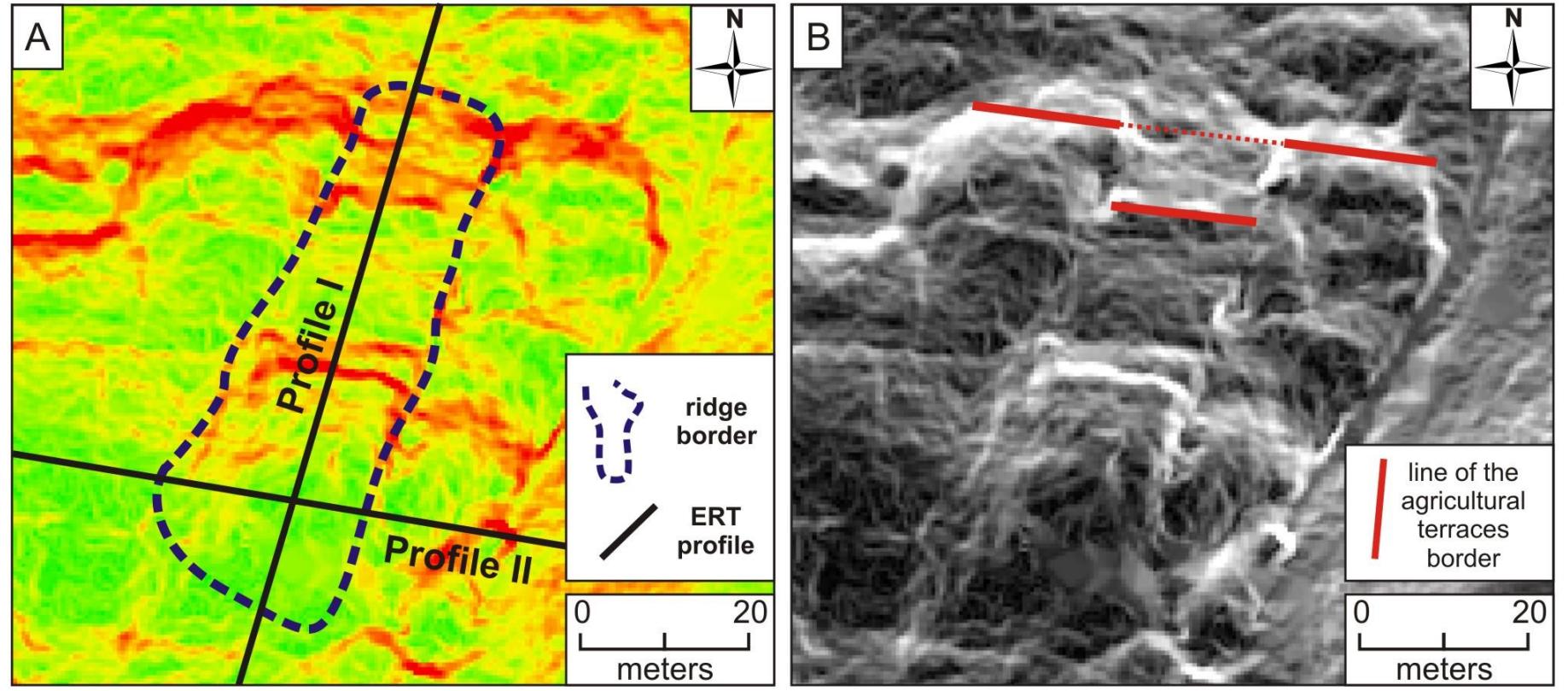
C – orthophotomap



**W 2015 r. –odległość ok. 2,4 m  
W 2017 r. w odległości 9,6 m.**



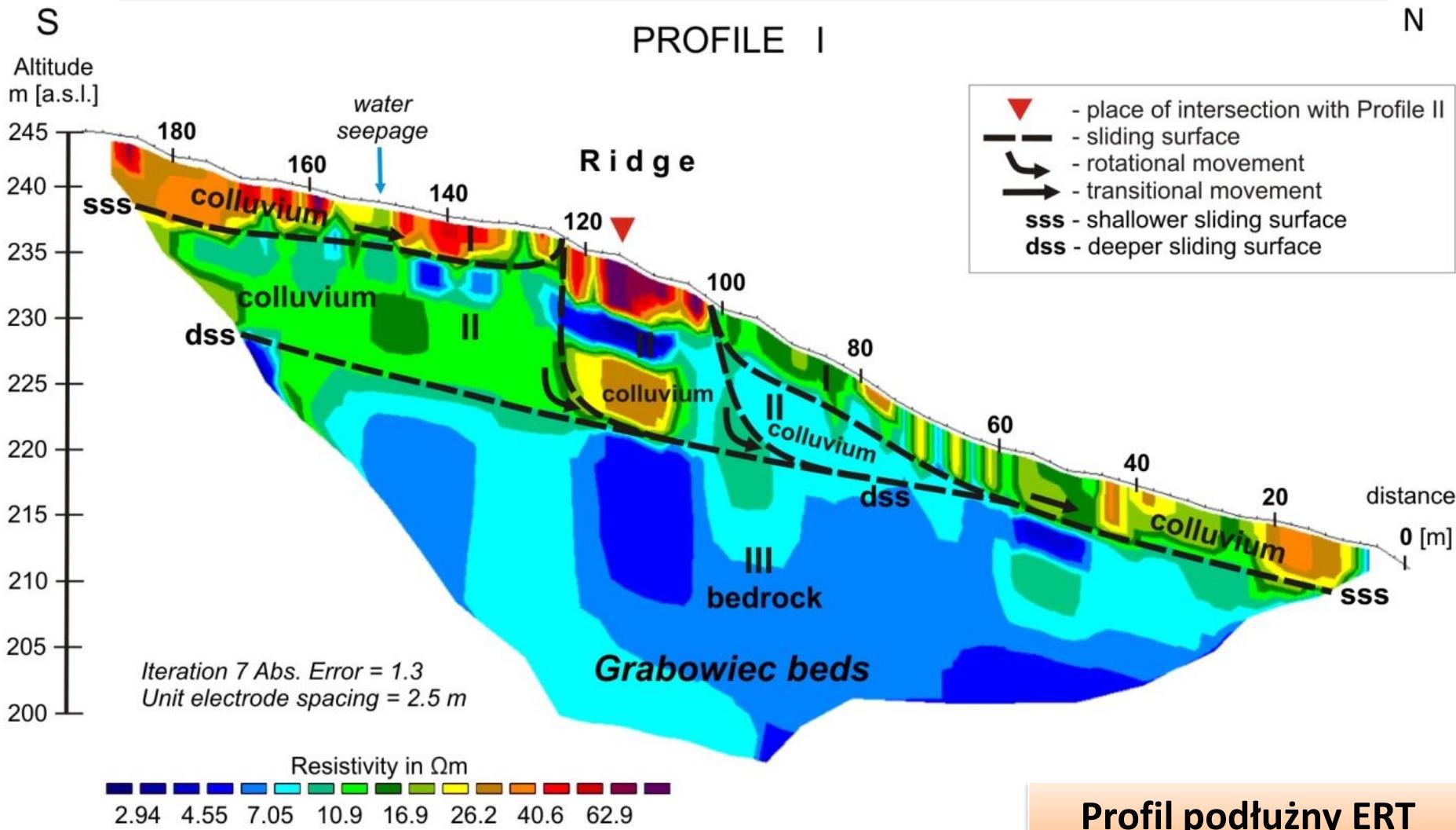
(Foto. J. Cebulski i B. Pasierb)



**Szczegółowa mapa osuwiska Tubendza II  
(A) z zaznaczonymi profilami ERT i granicami pola uprawnego (B)**

# NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ

## METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ



# NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ

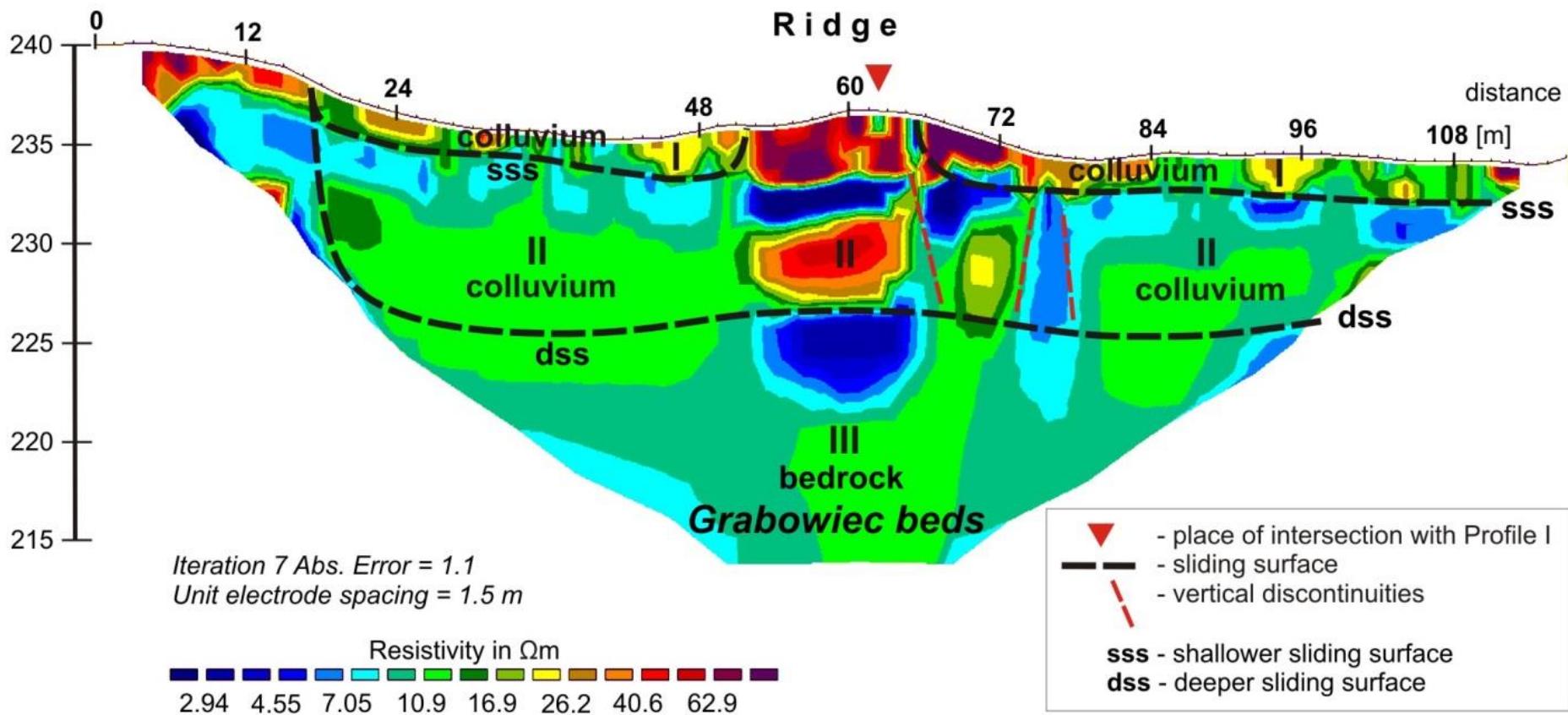
## METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

E

W

Altitude  
m [a.s.l.]

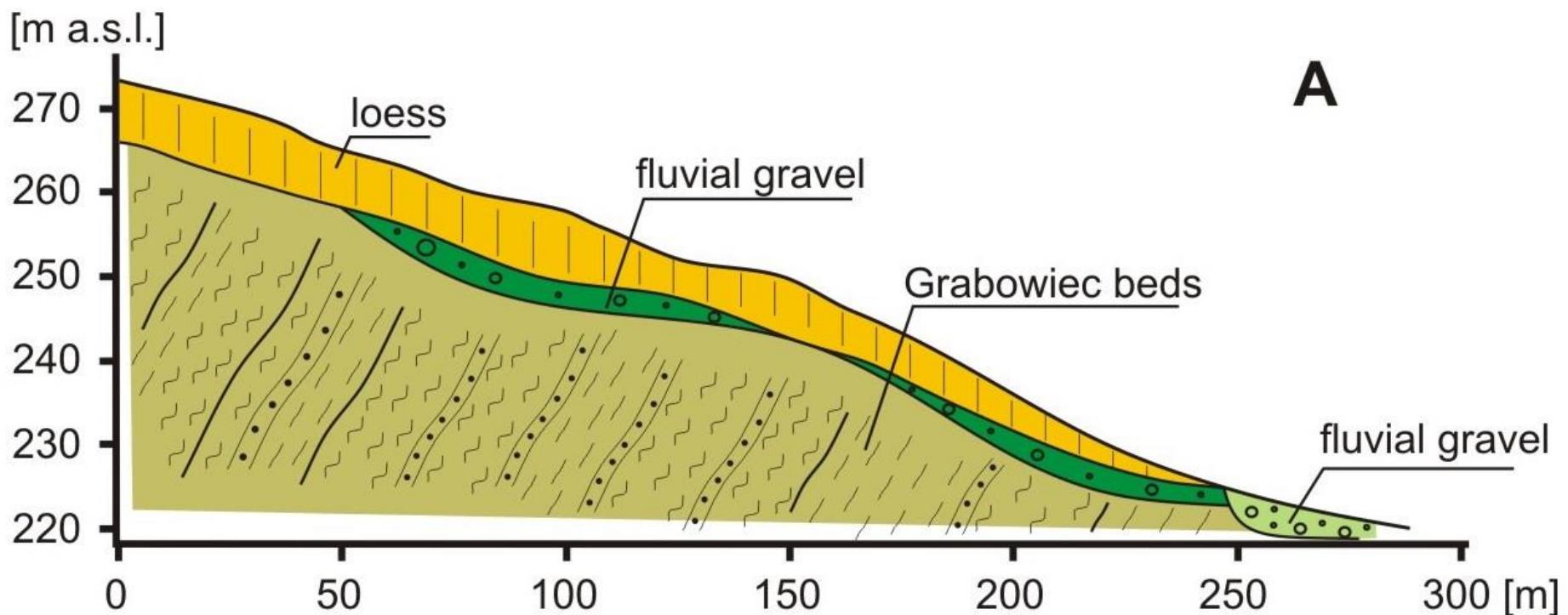
PROFILE II



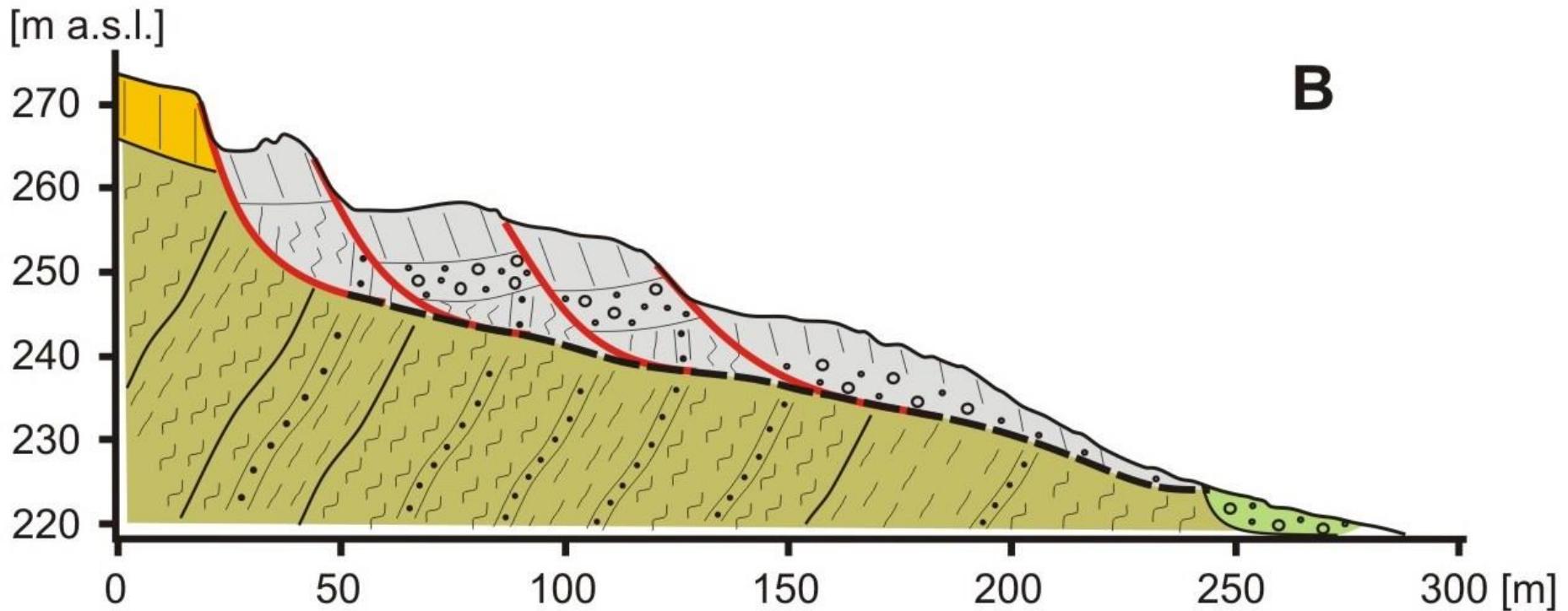
Profil poprzeczny ERT

## Prawdopodobne etapy ewolucji osuwiska

### A - pierwotny stok wypukło-wklesły

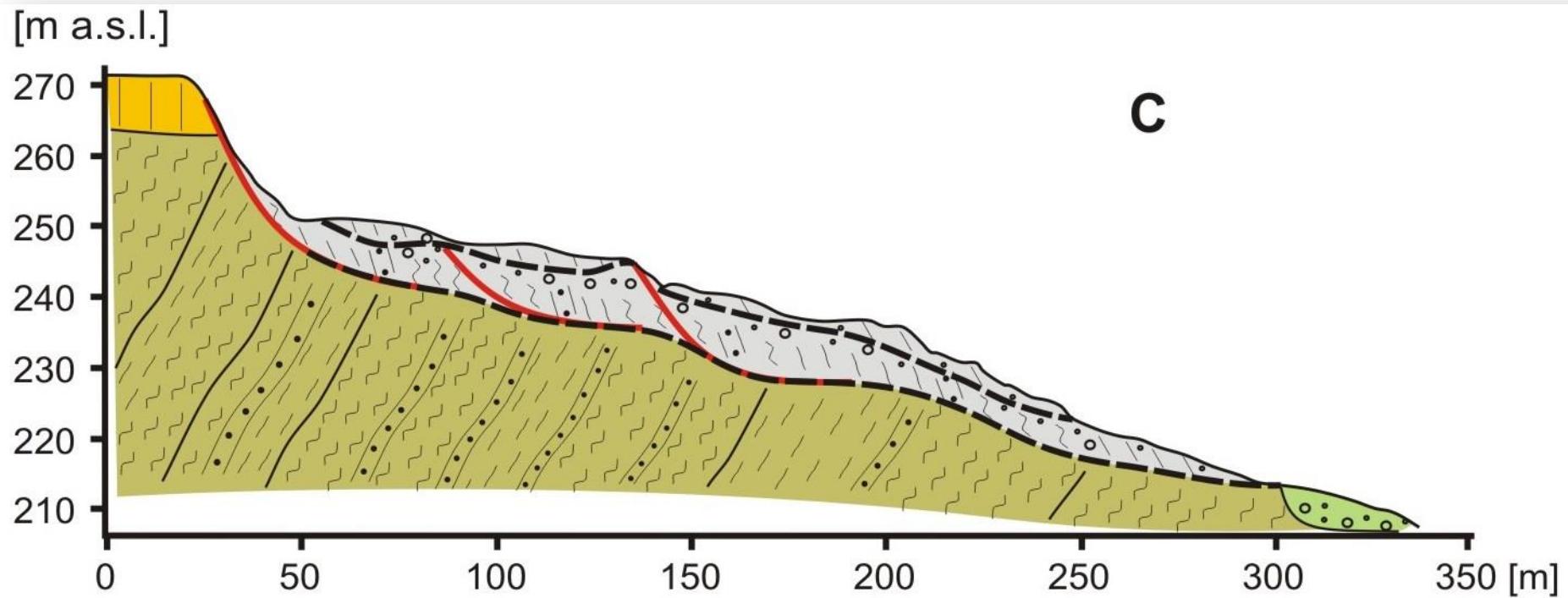


## Prawdopodobne etapy rozwoju osuwiska B – ruchy rotacyjne



## Prawdopodobne etapy rozwoju osuwiska

### C – ruchy rotacyjne i translacyjne (głębokie zsuwы)



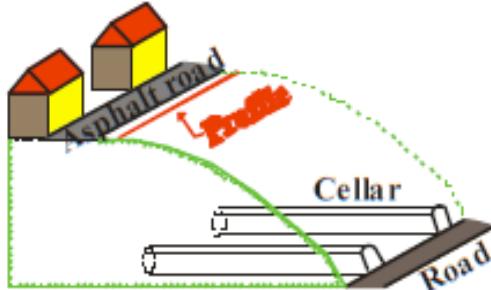
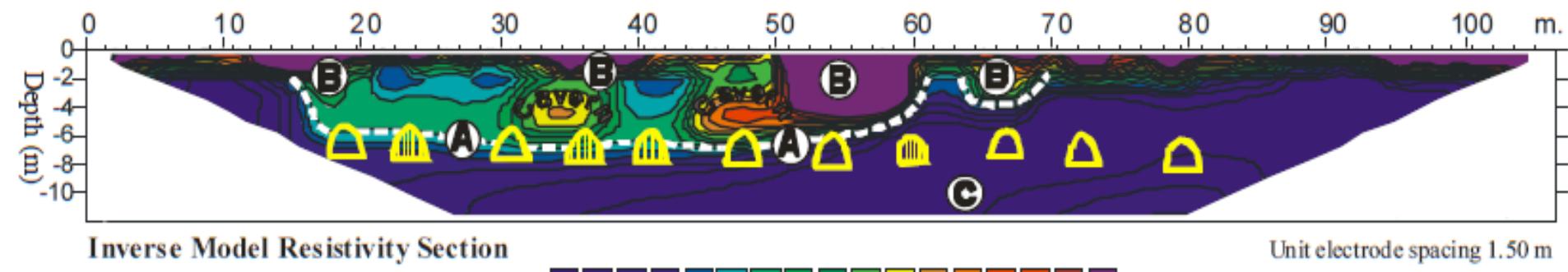
## **NIEINWAZYJNE BADANIA GEOZAGROŻEŃ - METODY GEOFIZYCZNE i GEODEZYJNE**

- Badania wskazują, że ruchy koluwiów są efektem uwarunkowań geologicznych.
- Dokładają się do tego uwarunkowania atmosferyczne. Wyraźne ożywienie ruchów osuwiskowych po znacznych opadach atmosferycznych. Podłoże skalne z uwagi na litologię i tektonikę ułatwia te ruchy.
- **Osuwisko Tubendza II jest:**
- skalno-zwietrzelinowe (ze względu na rodzaj materiału),
- złożone; rotacyjno-translacyjne (ze względu na rodzaj ruchu),
- aktywne i okresowo aktywne (wg stopnia aktywności).

# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

## MONITORING STABILNOŚCI ZBOCZA

Iteration 5 Abs. error = 1.61 %



Cellars

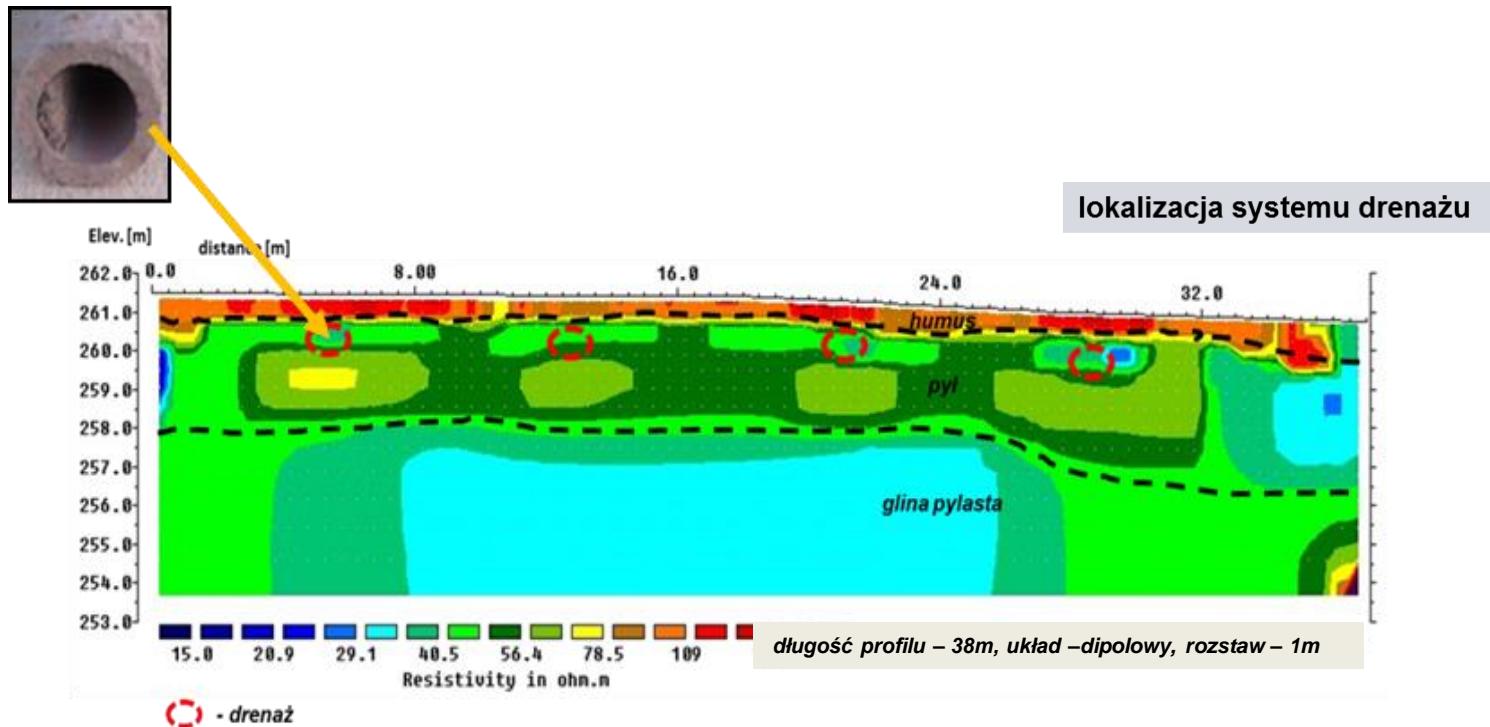
- Unbroken
- Rooff fall

- (A) Base of disturbed area
- (B) Backfill
- (C) Clay

Zawalenie sklepień piwniczek, strefy osłabień, pustek, składowania materiału antropogenicznego

# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

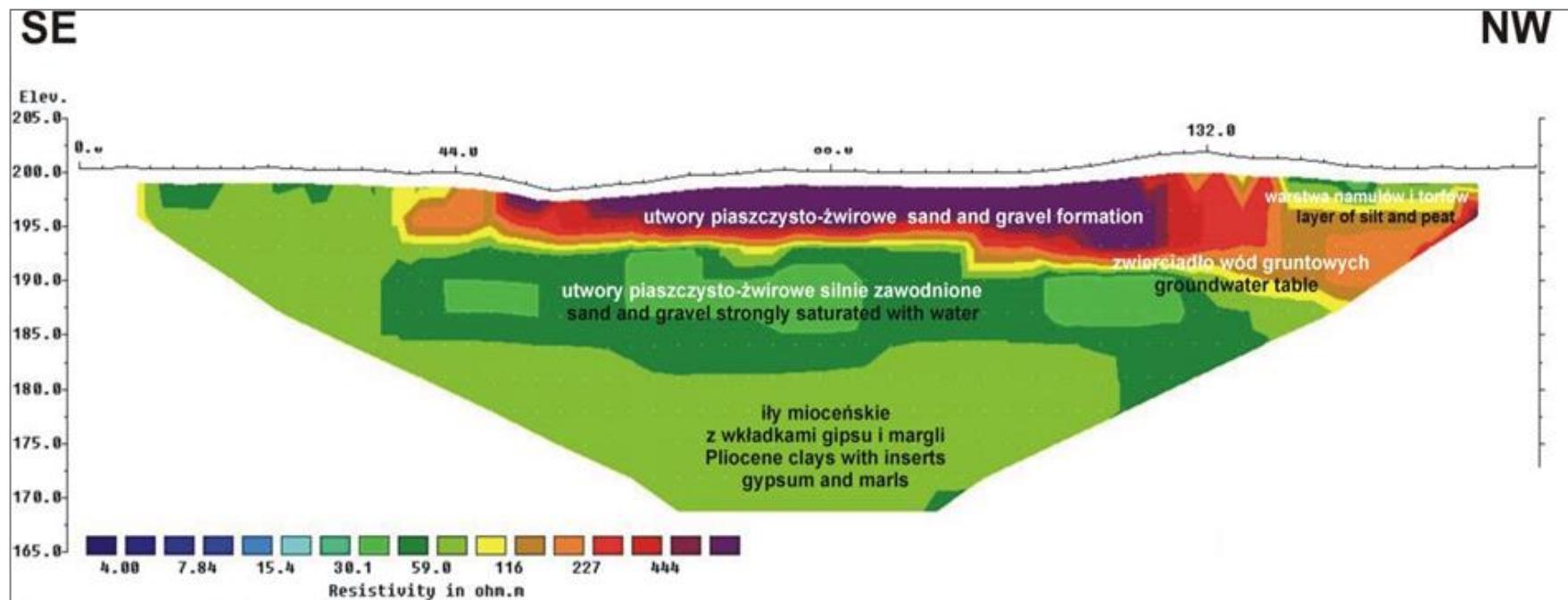
## ROZPOZNANIE GEOLOGICZNE PODŁOŻA I OBIEKTÓW ANTROPOGENICZNYCH



Układ dipolowy rozstaw 1m, humus 0.5, 100-150Ωm, lessopodobne 1.5-2m, gliny pylaste

# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

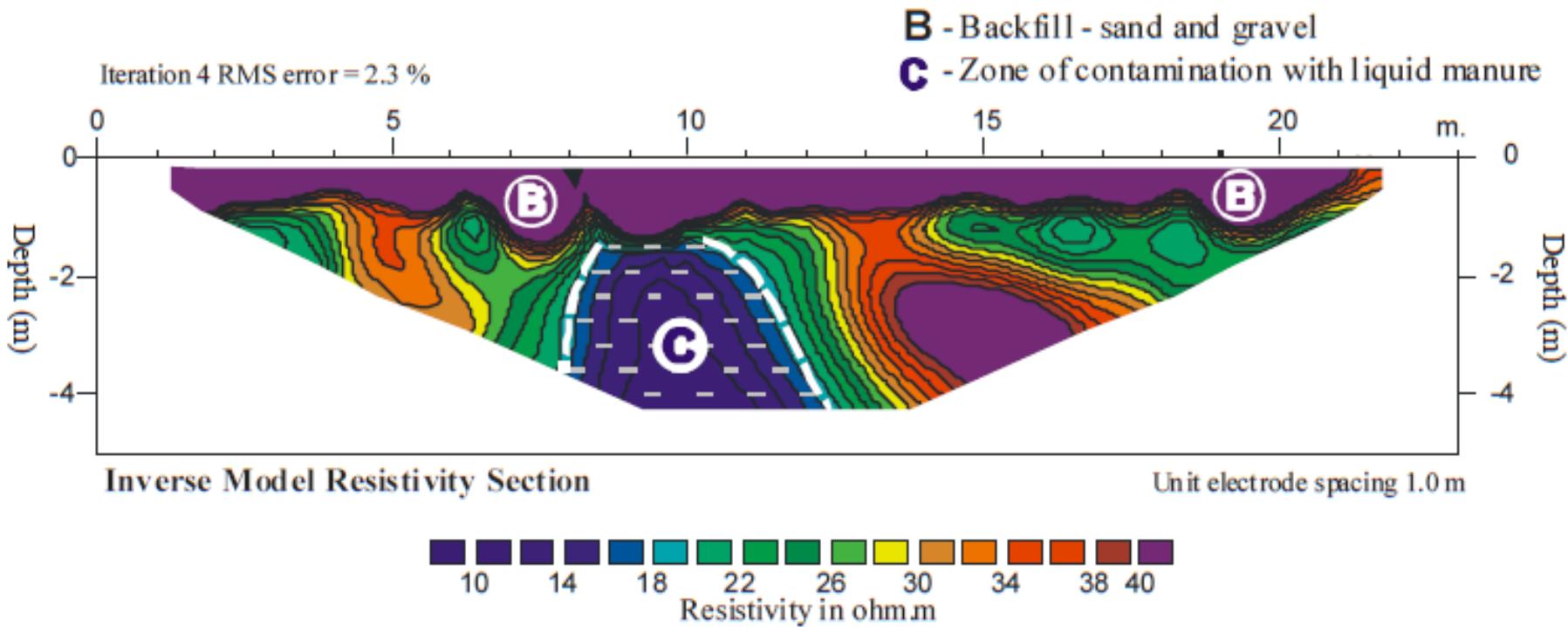
## ROZPOZNANIE PODŁOŻA POD KĄTEM WYSTĘPOWANIA GRUNTÓW ORGANICZNYCH



W formie cienkich wkładek w strefie przypowierzchniowej, poza konturem projektowanego obiektu szeroki zakres oporności utworów zmiennym zawodnieniem, położenia zwierciadła wód gruntowych.

# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

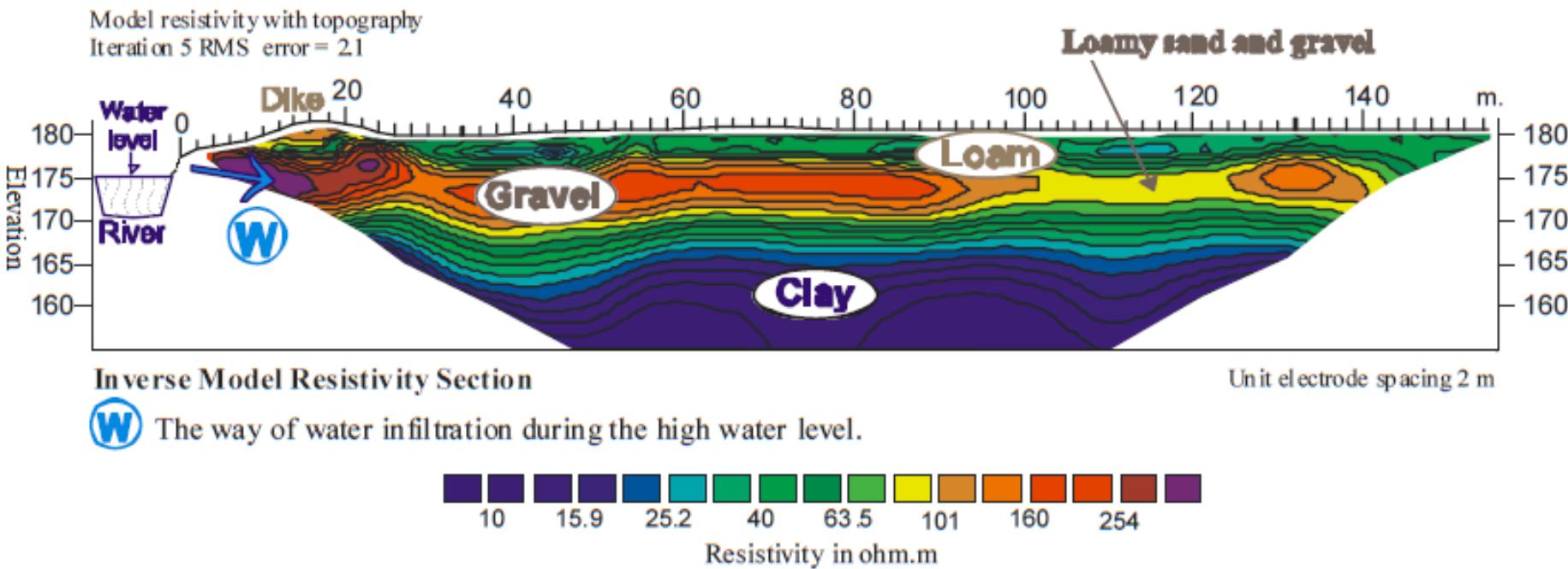
## OCHRONA ŚRODOWISKA



Ochrona wód gruntowych – farma świń  
wykrycie wycieku ze zbiornika płynnego nawozu  
zanieczyszczenia substancjami organicznymi – niskie oporności

# METODA TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ

## BADANIE WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH



Monitorowanie wału rzeki, stan techniczny  
Struktura wału osady żwirowe

*Materiały dla studentów  
z przedmiotu*

*Podstawy geologii i hydrogeologii inżynierskiej  
oraz  
Geologia, geofizyka i hydrogeologia*

*część VIII – tektonika (część 1 teoria)*

*2020/21 tylko do użytku wewnętrznego*

*dr inż. Bernadetta Pasierb*

# **TEKTONIKA**

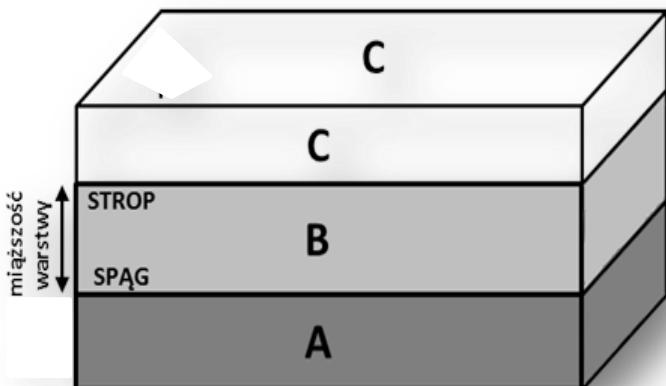
**dr inż. Bernadetta Pasierb**

KATEDRA GEOINŻYNIERII I GOSPODARKI WODNEJ Ś-1  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
POLITECHNIKA KRAKOWSKA

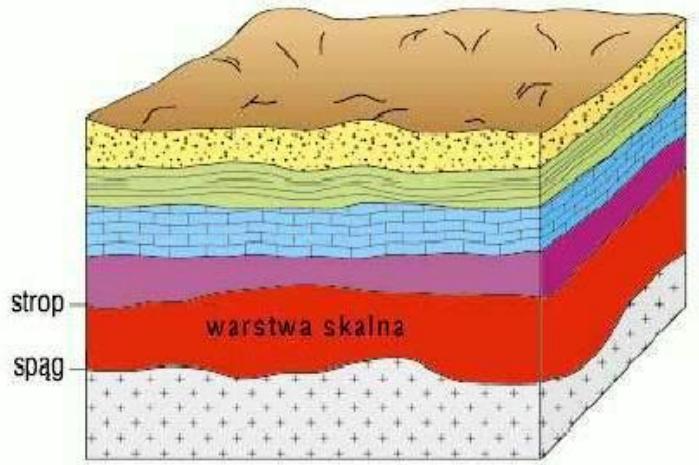
# ELEMENTY UŁOŻENIA WARSTWY

**WARSTWA** - to bryła skalna ograniczona dwiema, w przybliżeniu równoległymi powierzchniami; górną zwaną stropem i dolną nazywaną spągiem.

**MIAJĘSZOŚĆ WARSTWY (grubość)** - najkrótsza odległość między stropem a spągiem warstwy, mierzona prostopadle do płaszczyzny stropu i spągu.



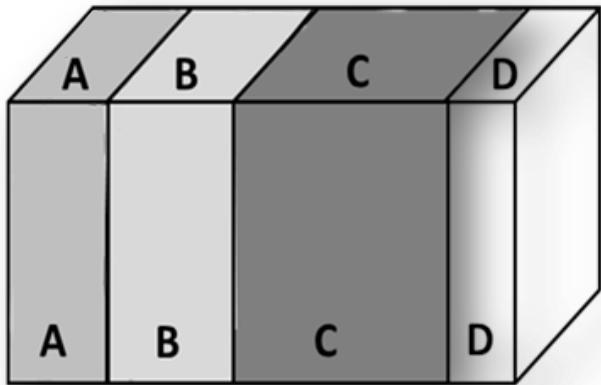
WARSTWOWANIE SKAŁ



## WARSTWY LEŻĄ POZIOMO

- na płaszczyźnie poziomej widzimy tylko warstwę najmłodszą.
- na przekroju pionowym widać kolejne warstwy

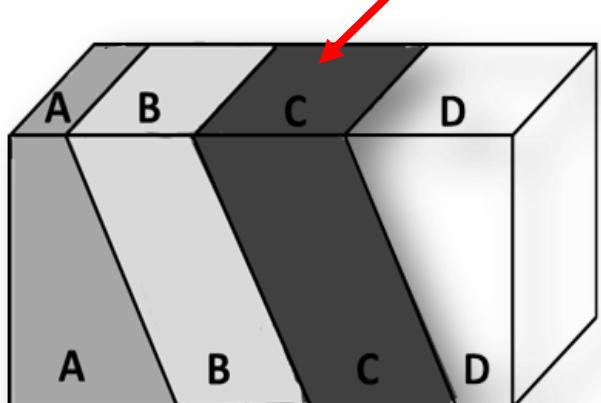
# ELEMENTY UŁOŻENIA WARSTWY



## WARSTWY LEŻĄ PIONOWO

- na poziomej powierzchni terenu widać kolejne warstwy o mniejszości rzeczywistej

wychodnia warstwy



## WARSTWY SĄ NACHYLONE – BUDOWA MONOKLINALNA

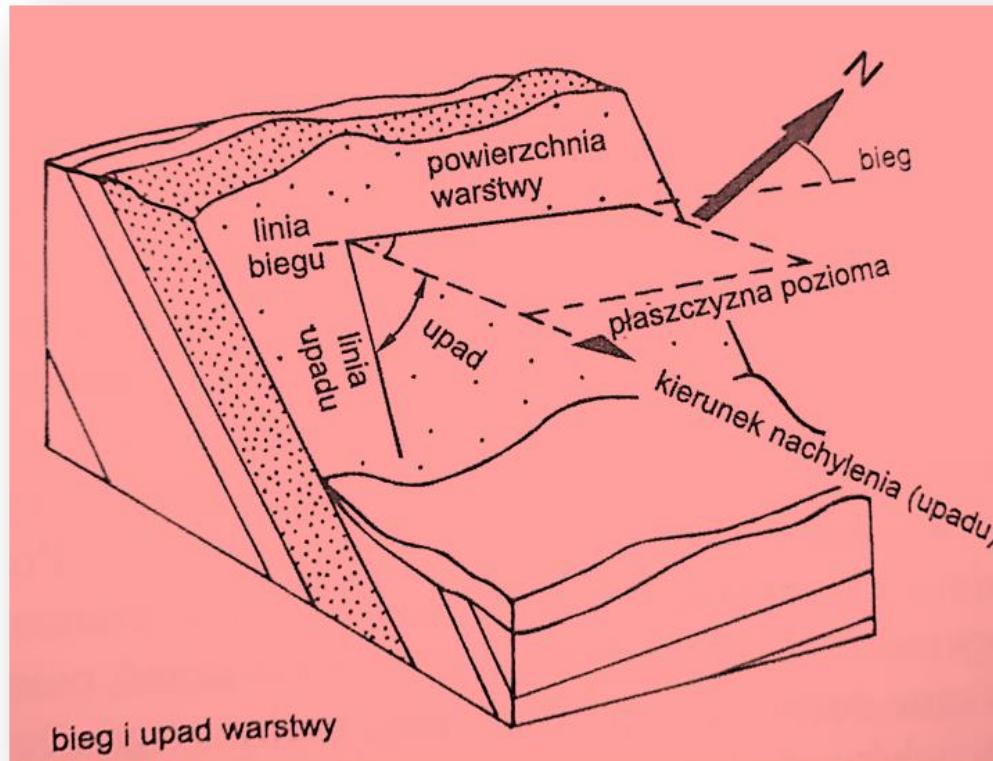
- na płaszczyźnie poziomej widzimy kolejne warstwy a szerokość wychodni jest większa od mniejszości warstw

**WYCHODNIA WARSTWY** – obszarem jej występowania na powierzchni terenu

# **ELEMENTY UŁOŻENIA WARSTWY**

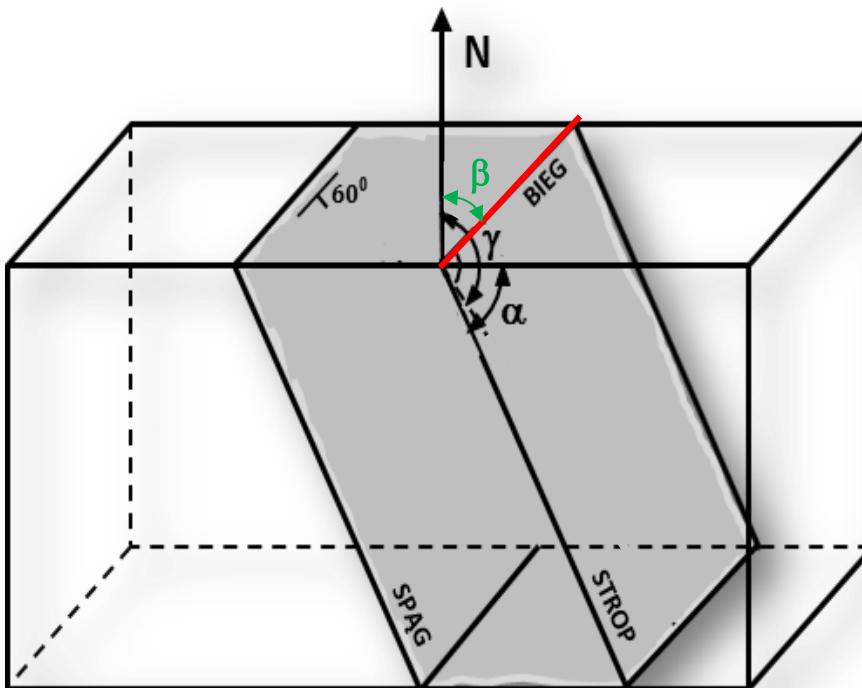
**Położenie warstwy nachylonej** określa się w stosunku do stron świata i do płaszczyzny poziomej za pomocą trzech elementów jej ułożenia:

- **BIEGU,**
- **UPADU**
- **KIERUNKU ZAPADANIA WARSTWY**



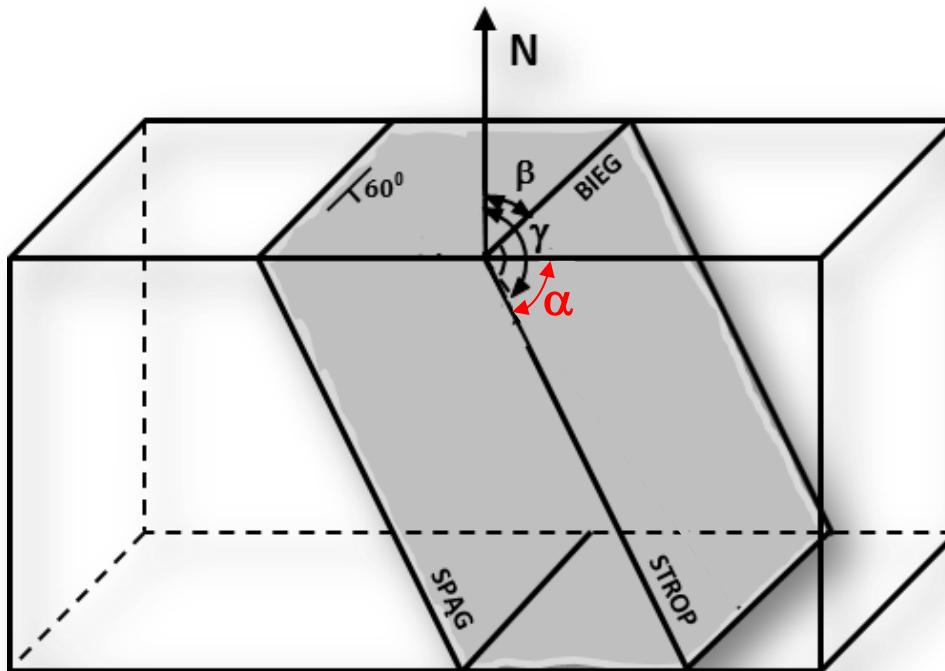
# ELEMENTY UŁOŻENIA WARSTWY

**BIEG WARSTWY (ROZCIĄGŁOŚĆ)** - to krawędź przecięcia powierzchni stropowej lub spągowej z powierzchnią poziomą.



**AZYMUT BIEGU WARSTWY (KIERUNEK BIEGU WARSTWY)  $\beta$**  – kąt poziomy zawarty pomiędzy kierunkiem północy geograficznej a linią biegu, z przedziału wartości w zakresie  $0^\circ$ - $180^\circ$ .

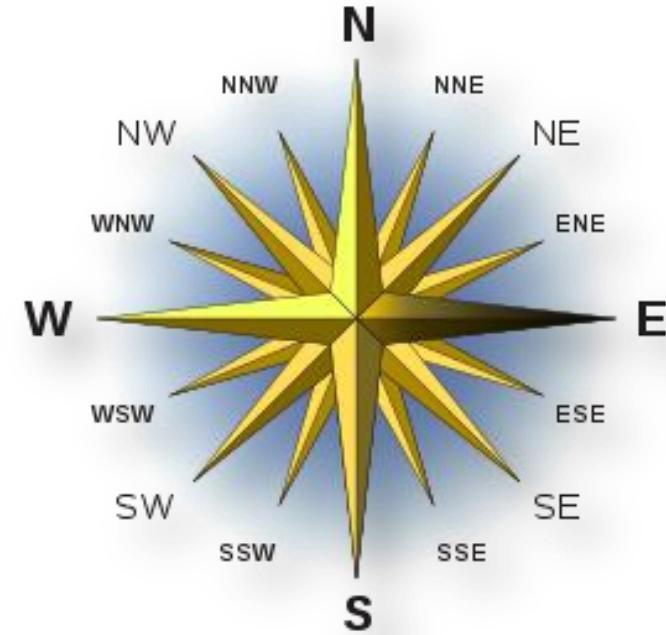
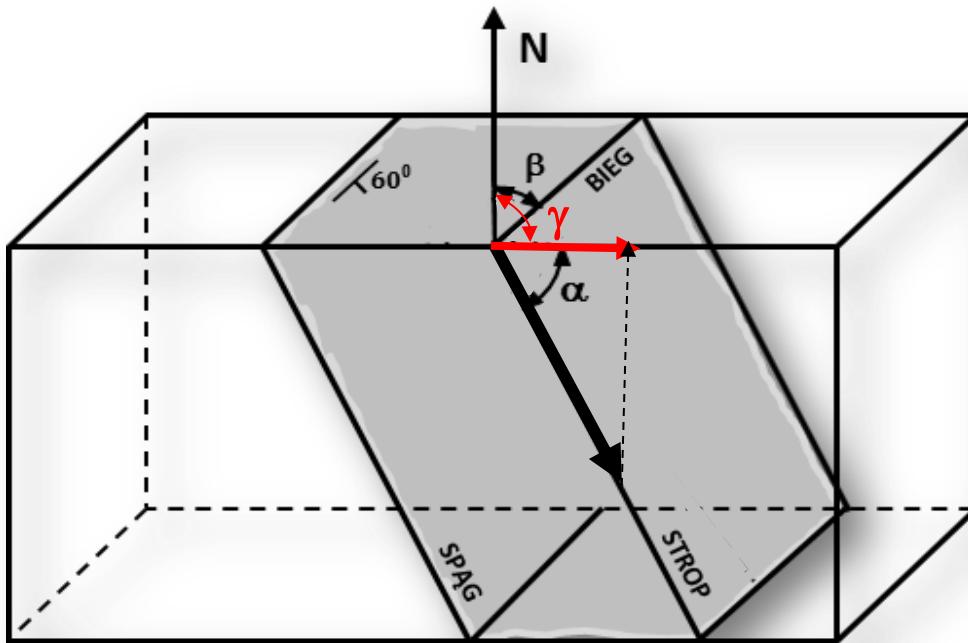
# ELEMENTY UŁOŻENIA WARSTWY



**UPAD WARSTWY (KĄT UPADU WARSTWY)  $\alpha$**  – jest to kąt dwuścienny zawarty między powierzchnią stropu lub spągu warstwy, a powierzchnią poziomą. Kąt ten znajduje się w płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do linii biegu warstwy i przyjmuje wartości od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ .

# ELEMENTY UŁOŻENIA WARSTWY

**KIERUNEK ZAPADANIA WARSTWY** — określany jest jako kierunek rzutu pionowego na płaszczyzną poziomą linii największego spadku stropu lub spągu warstwy.



**KIERUNKU ZAPADANIA  $\gamma$**  - określany jest w zakresie od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ , lub w odniesieniu do stron świata.

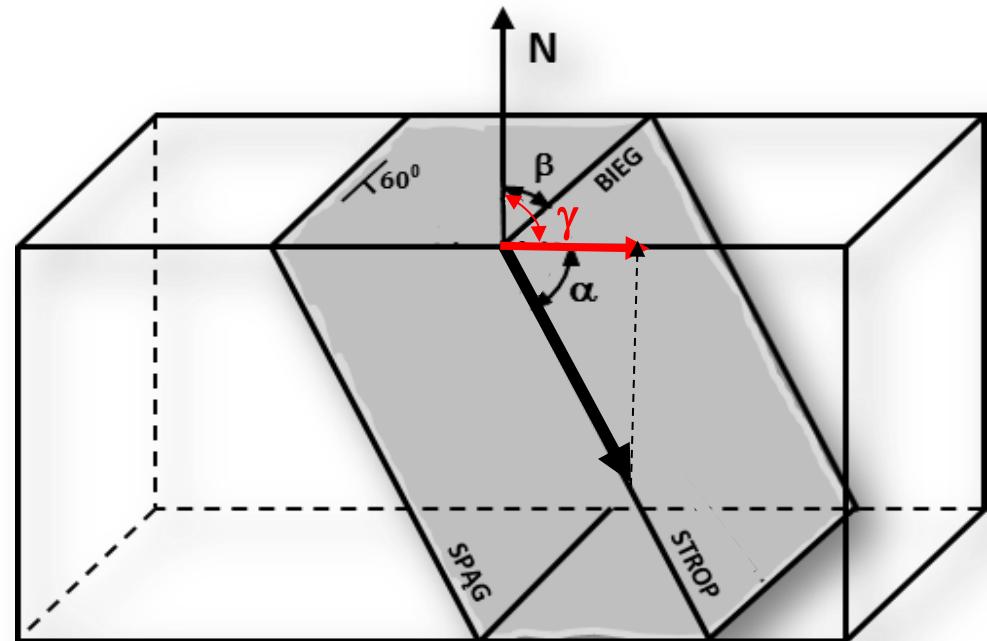
W zapisie trójczłonowym położenie warstwy nachylonej ma następującą postać:  
**azymut biegu warstwy / kąt upadu / kierunek zapadania**  
 $\beta$  /  $\alpha$  / kierunek zapadania

# ELEMENTY UŁOŻENIA WARSTWY

Pomiędzy kierunkiem zapadania, a biegiem warstwy istnieje związek wyrażający się **prostopadłością** linii kierunku zapadania do linii biegu warstwy. Nabylenie warstwy można zatem przedstawić w formie dwuczłonowej, używając zamiast azymutu biegu warstwy – azymut kierunku zapadania.

**azymut kierunku zapadania / kąt upadu**

$$\gamma (\beta + 90^\circ) / \alpha$$

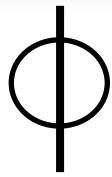
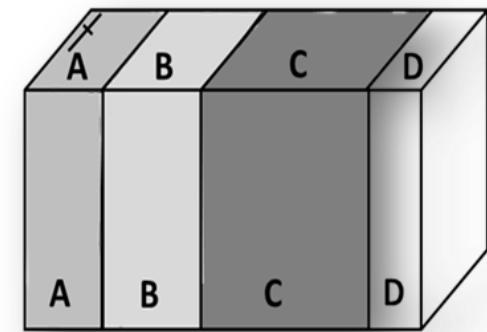
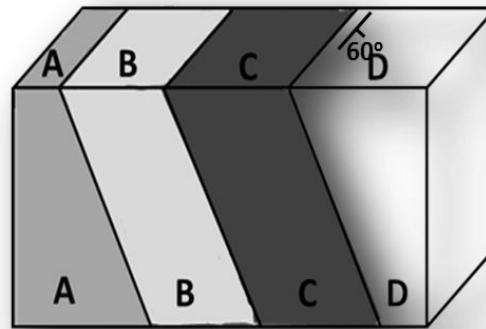
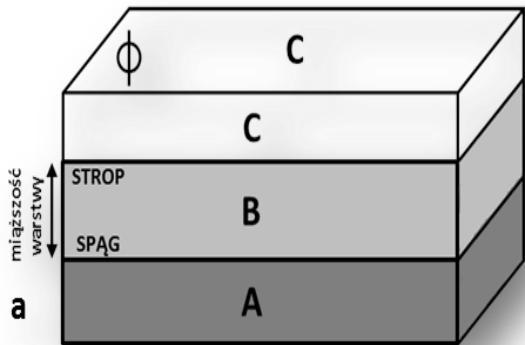


Elementy ułożenia warstwy  
można zapisać następująco:

w zapisie dwuczłonowym  $135^\circ/60^\circ$   
w zapisie trójczłonowym  $45^\circ/60^\circ/\text{SSE}$

## ELEMENTY UŁOŻENIA WARSTWY

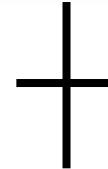
Na mapie ułożenie warstwy oznacza się specjalnym symbolem, w którym **dłuższy odcinek wyznacza bieg warstwy, krótszy wskazuje kierunek zapadania, natomiast wielkość kąta upadu określa się cyfrą**



warstwa pozioma



warstwa nachylona



warstwa pionowa

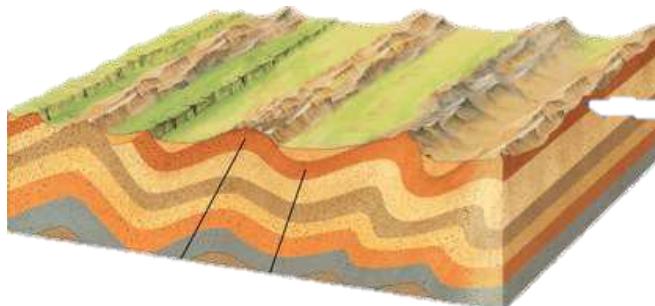
# **DEFORMACJE**

**DEFORMACJE TEKTONICZNE** - odkształcenia skorupy ziemskiej, powstałe pod wpływem działania distrofizmu

**DEFORMACJA CIĄGŁA** - struktura tektoniczna powstała wskutek przemieszczenia się materii skalnej **bez przerwania ciągłości warstw**, w wyniku czego następuje **tylko jej ugięcie**

**Deformacje ciągłe to m.in.:**

- **monokliny,**
- **fałdy,**
- **fleksury,**
- **płaszczowiny** (tzn. zespoły fałdów obalonych, pomasuwanych na siebie); zerodowana część płaszczowymi może tworzyć okna tektoniczne.

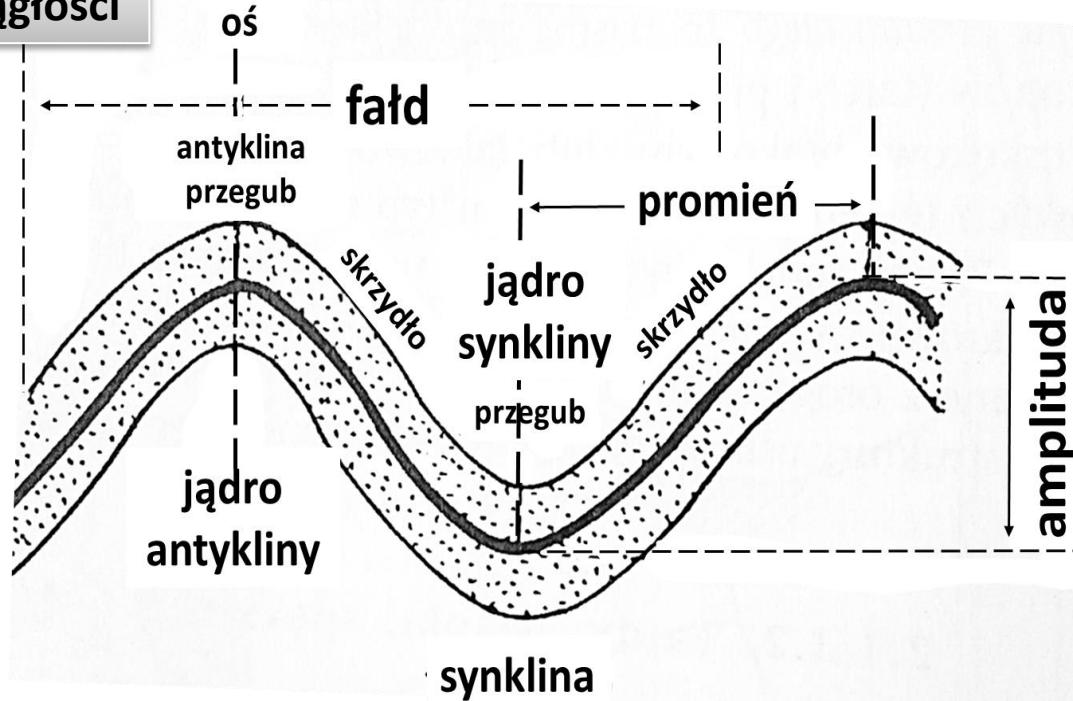


# DEFORMACJE CIĄGŁE

## FAŁDY

### Wygięcie warstw bez przerwania ich ciągłości

- **jądro** – jest to wewnętrzna część antykliny i synkliny.  
W przypadku antykliny zbudowana z utworów najstarszych, a w przypadku synkliny z najmłodszych.
- **skrzydło** – to część nachylona fałdu
- **przegub** – część fałdu o największej krzywiźnie, łącząca dwa skrzydła (siodło - antyklina –część wypiętrzona, Łęk –synklinia - obniżona)
- **oś** – stanowi ją linia przecięcia powierzchni osiowej ze środkiem przegubu

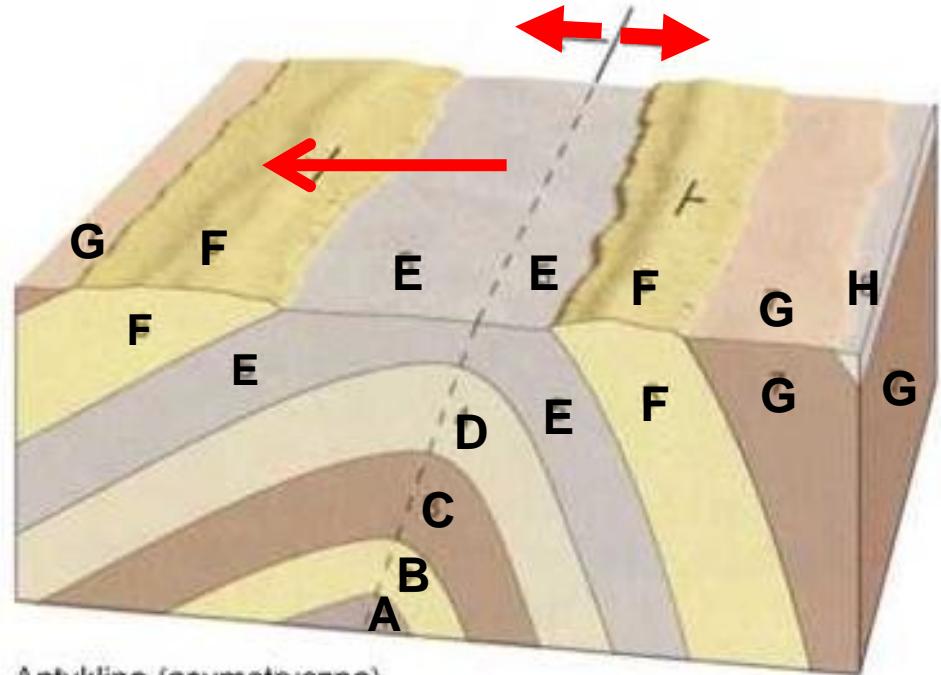


- **promień** – to najmniejsza odległość między osiami antykliny i synkliny.
- **amplituda** – odległość między przegubami antykliny i synkliny.

## FAŁDY

### ANTYKLINA

- W jądrze antykliny znajdują się wychodnie warstw najstarszych, na skrzydłach wstępują kolejno utwory coraz młodsze.
- Upady na skrzydłach skierowane są na zewnątrz jądra.
- Wiek fałdowania określa się, jako młodszy od najmłodszej sfałdowanej warstwy.

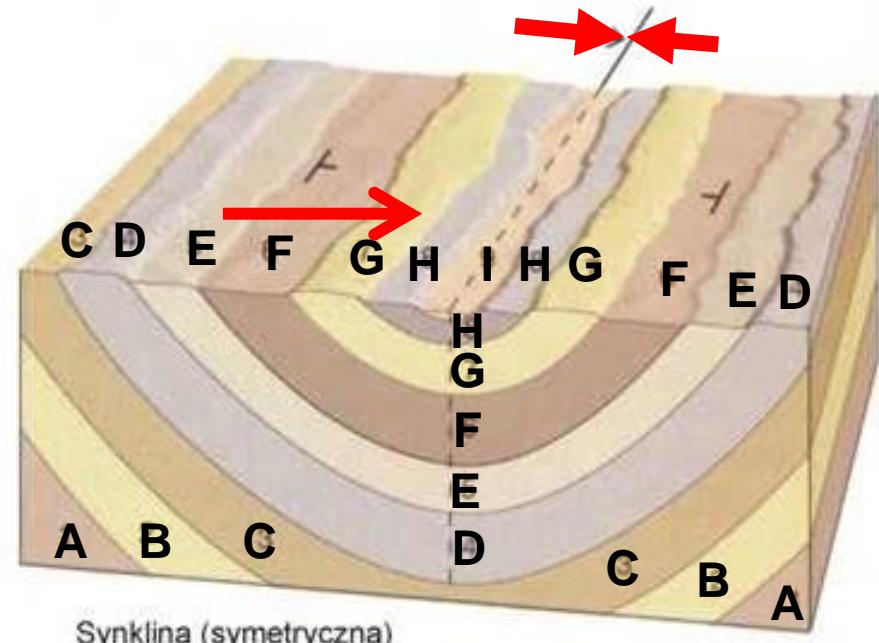


Antyklina (asymetryczna)

Kierunek zapadania warstw jest zawsze w stronę utworów najmłodszych.

### **SYNKLINA**

- W jądrze synkliny znajdują się wychodnie warstw najmłodszych, a utwory coraz starsze następują kolejno w kierunku obu skrzydeł.
- Upady na obu skrzydłach synkliny skierowane są w stronę jądra
- W przypadku synkliny pochylonej, wychodnie warstw na obu skrzydłach mają różną szerokość - wychodnie węższe oznaczają skrzydło stromsze, szersze łagodniejsze



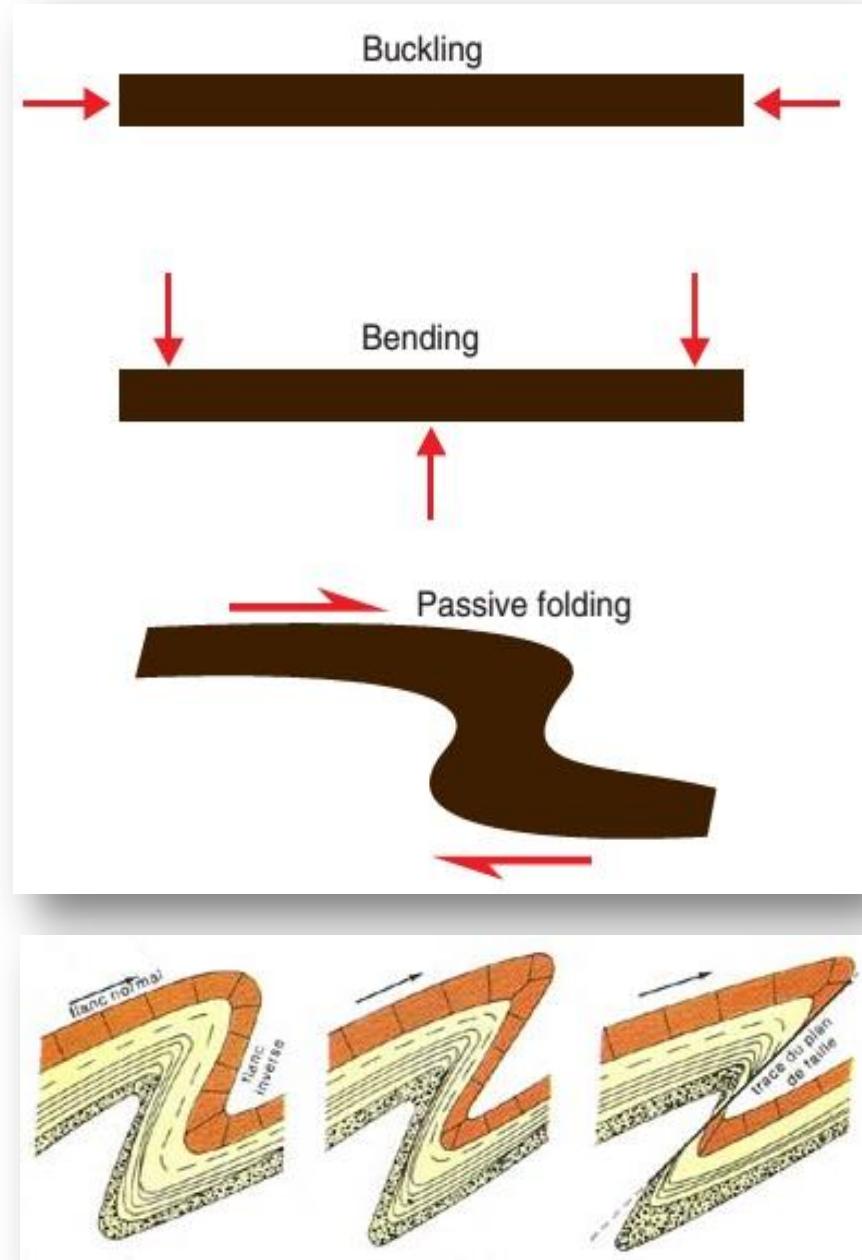
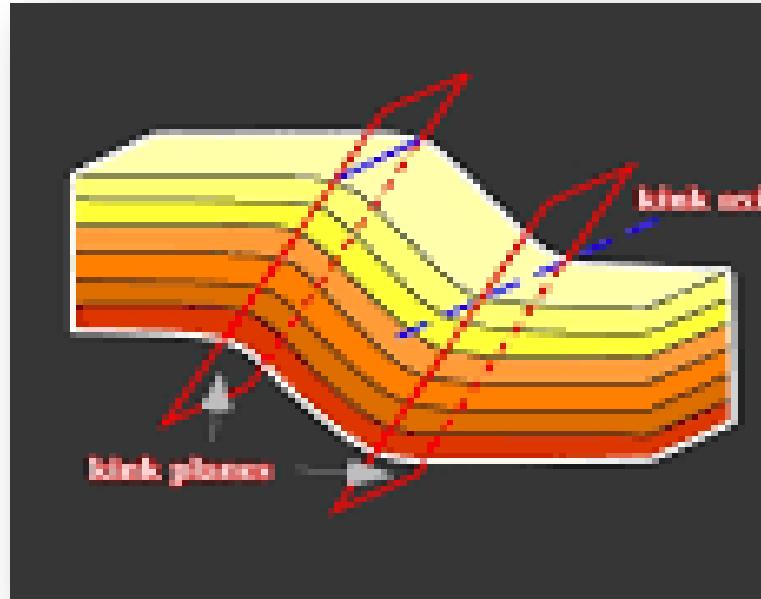
Synkлина (symetryczna)

**Kierunek zapadania warstw jest zawsze w stronę utworów najmłodszych.**

# DEFORMACJE CIĄGŁE

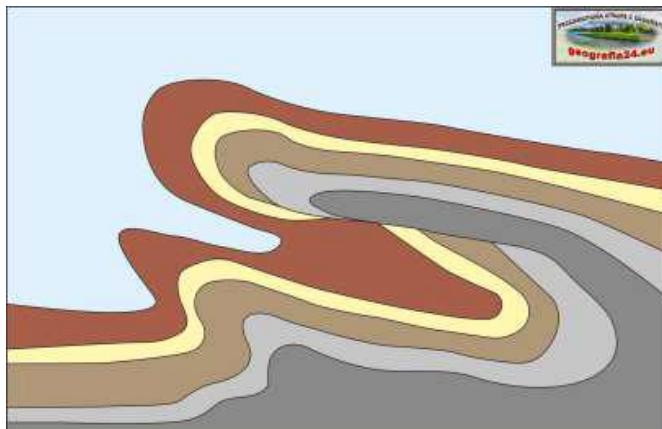
## FLEKSURA

to ciągła dyslokacja tektoniczna pośrednia pomiędzy fałdem a uskokiem. Powstaje wskutek przemieszczenia warstw skalnych bez przerwania ich ciągłości,



# **DEFORMACJE CIĄGŁE**

## **ŁUSKA TEKTONICZNA**

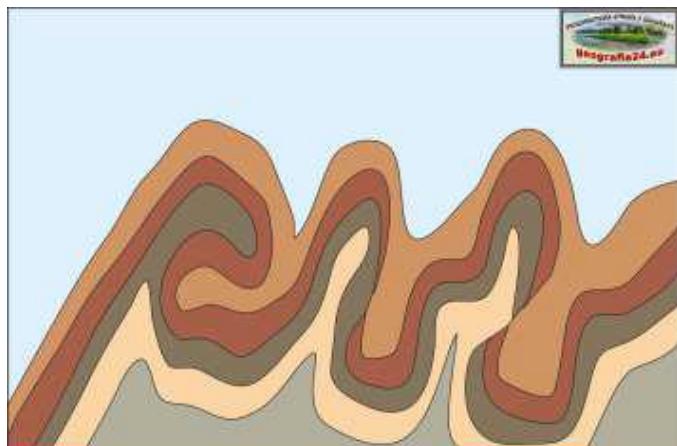


Odmiana fałdu przewalonego lub leżącego, którego dolna część została częściowo zniszczona i jest najczęściej oderwana od podłoża.



# **DEFORMACJE CIĄGLE**

## **PŁASZCZOWINY**



To wielkie fałdy oderwane od podłoża, przewrócone i przesunięte na odległości liczone w dziesiątkach, a niekiedy nawet w setkach kilometrów. Oderwanie od podłoża wskazuje, że płaszczowina, mimo generalnie ciągłej budowy, jest jednak strukturą leżącą na pograniczu struktur ciągłych i nieciągłych

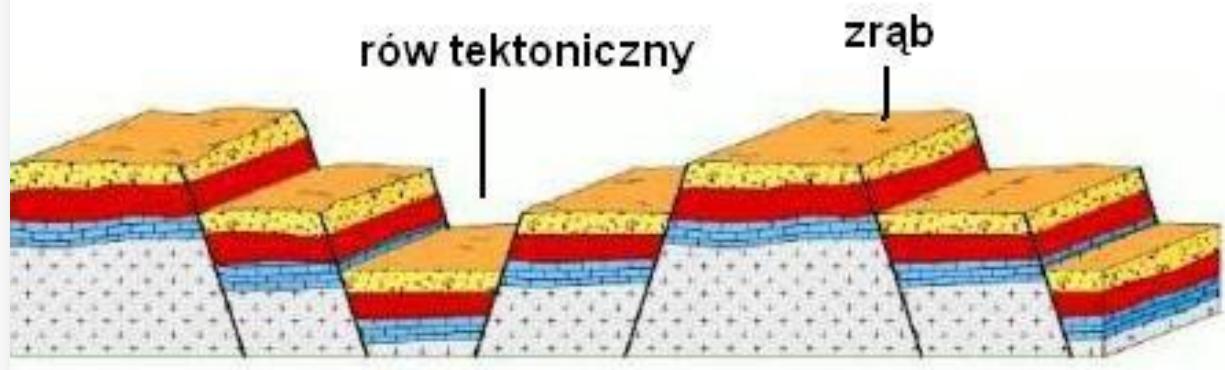
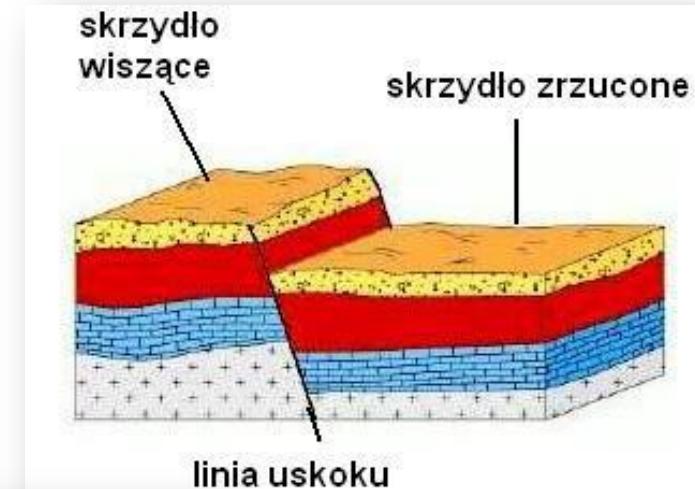


# **DEFORMACJE NIECIĄGŁE**

**DEFORMACJA NIECIĄGŁA** - struktura tektoniczna powstała wskutek pionowego lub poziomego przesunięcia warstw lub masywów skalnych, z przerwaniem ich ciągłości wzdłuż pęknięcia

**Deformacje nieciągłe to m.in.:**

- uskoki
- rowy
- zrąby tektoniczne.



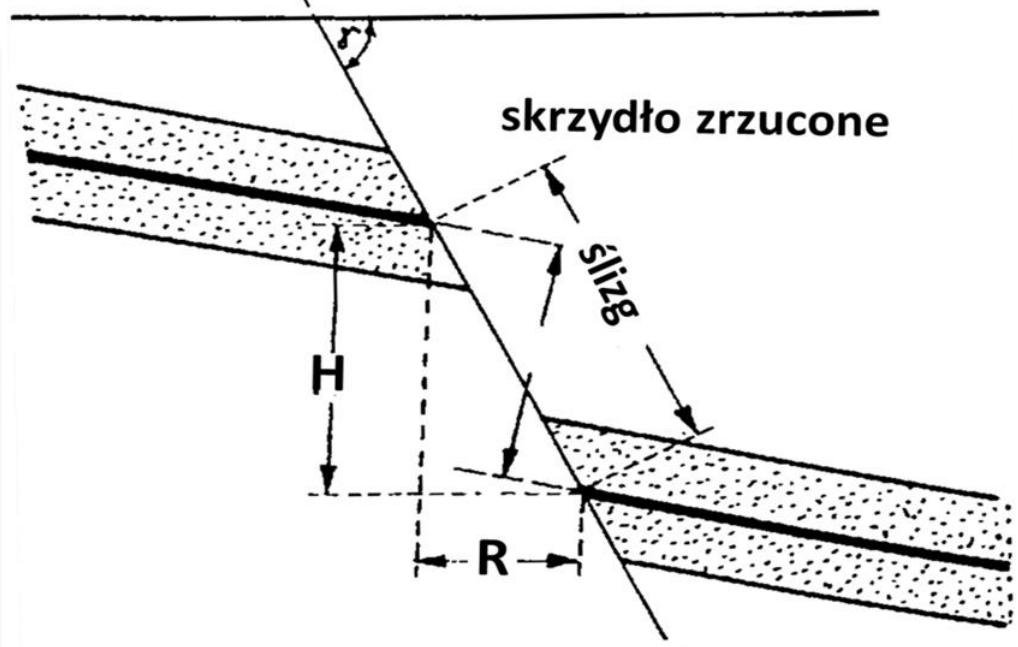
# **DEFORMACJE NIECIAĞLE**

## **USKOK**

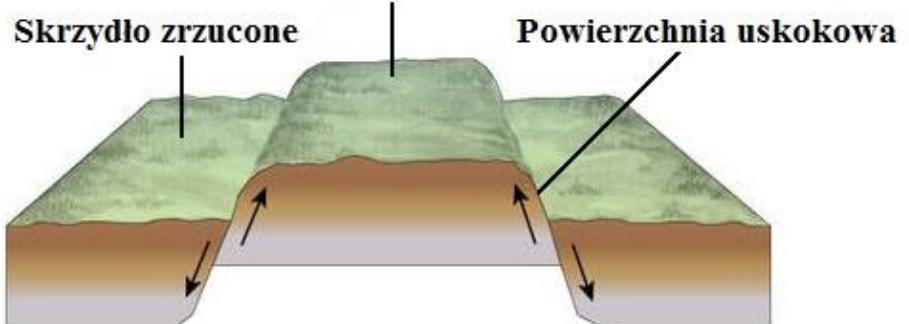
W uskoku wyróżnia się:

- **skrzydło wiszące** - część podniesiona uskoku
- **skrzydło zrzucone** - część obniżona
- **amplituda uskoku** (wysokość H) - odległość między skrzydłami tej samej warstwy mierzona w pionie.
- **rozstęp warstwy** (R) - odległość pozioma
- **śлизg** - powierzchnia uskokowa
- **lusterko tektoniczne** – gdy powierzchnia ślizgu jest zupełnie gładka

**skrzydło wiszące**



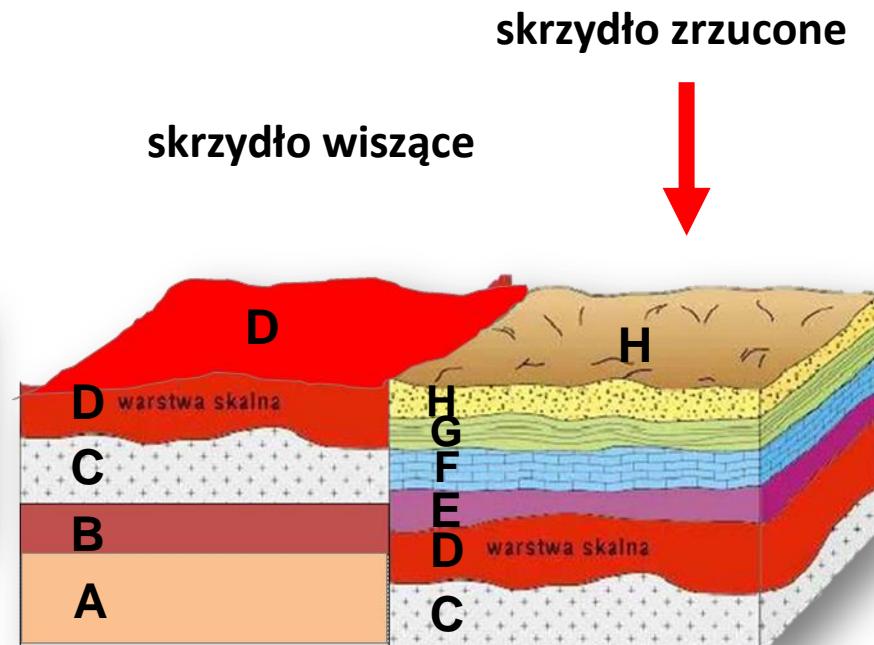
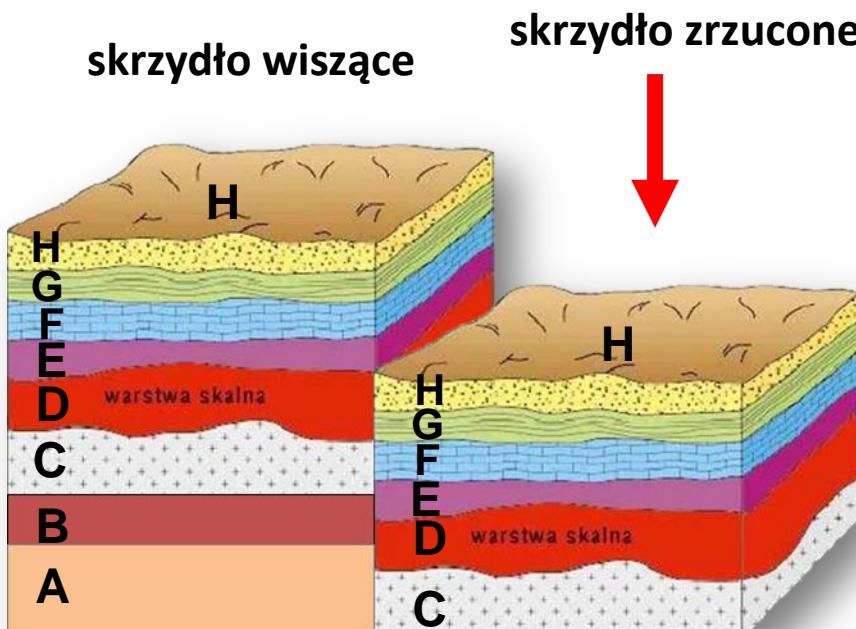
**Skrzydło wiszące**



# **DEFORMACJE NIECIĄGŁE**

## **USKOK**

- **W skrzydle wiszącym** zawsze znajdują się **warstwy starsze**, na wprost skał młodszych
- Wiek uskoku określa się, jako młodszy od najmłodszej warstwy z której jest zbudowany, a starszy od utworów w nim nie występujących.

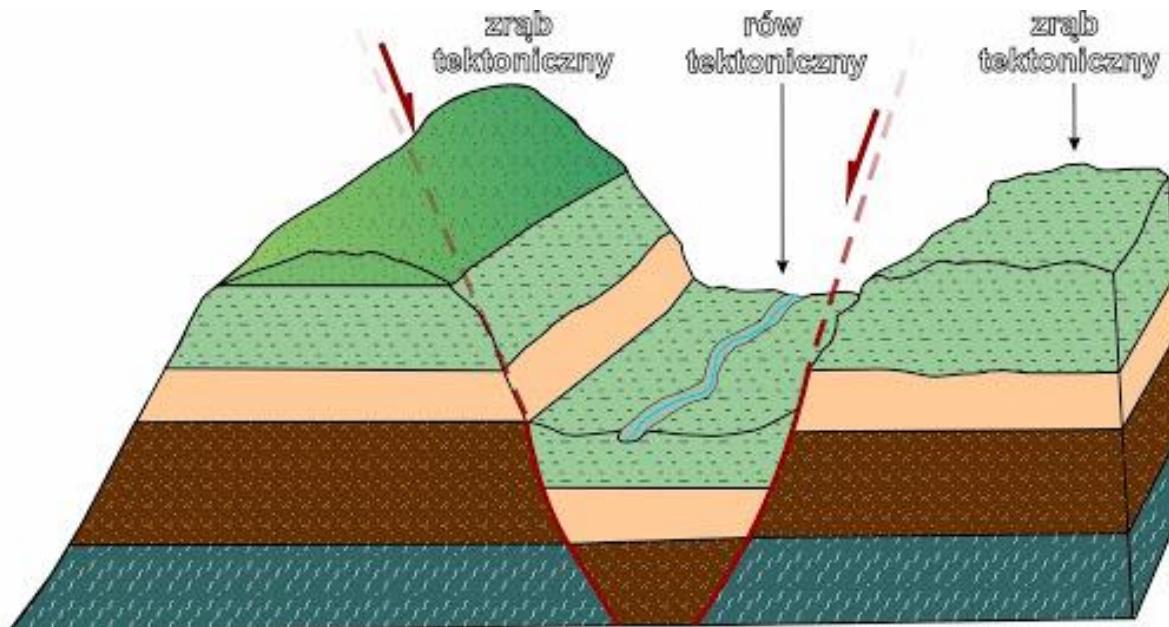


# **DEFORMACJE NIECIĄGŁE**

## **ROWY I ZRĄBY**

**ZRĄBY** — blok skorupy ziemskiej, wyniesiony względem sąsiednich bloków i obcięty ze wszystkich stron uskokami; zaznacza się pojawieniem ograniczonego uskokami pasa utworów starszych wśród warstw młodszych.

**RÓW TEKTONICZNY** — struktura obniżona w stosunku do sąsiednich bloków oraz obcięta względem nich z dwóch stron uskokami; zaznacza się pojawieniem ograniczonego uskokami pasa utworów młodszych wśród warstw starszych.



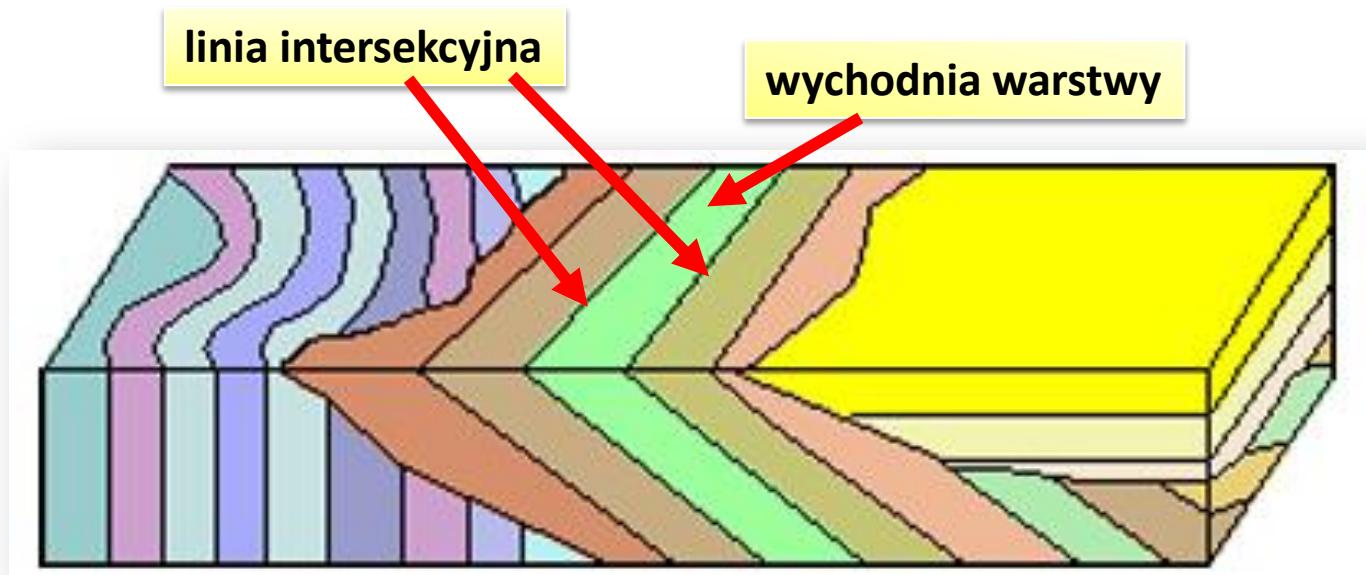
# MAPKA INTERSEKCYJNA

- **Linia intersekcyjna** – jest to linia przecięcia powierzchni geologicznej (stropu lub spągu warstwy, uskoku, nasunięcia) z powierzchnią terenu.

- **Wychodnia warstwy** - jest powierzchnią zawartą między liniami intersekcyjnymi stropu i spągu danej warstwy.

**Szerokość wychodni zależy:**

- od kąta upadu warstwy i jest tym szersza im upad jest mniejszy i odwrotnie
- od miąższości warstwy
- od kąta nachylenia zbocza, na którym warstwa się odsłania

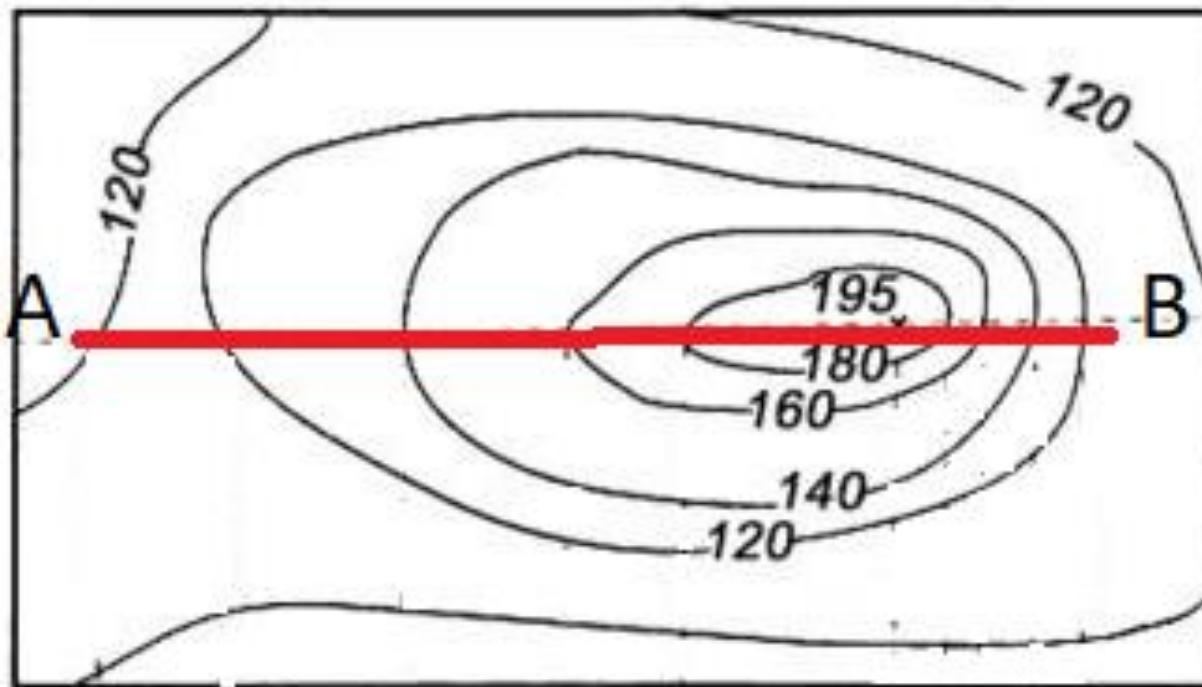


## PRZEKRÓJ GEOLOGICZNY NA PODSTAWIE MAPKI INTERSEKCYJNEJ

### LINIA PRZEKROJU

Linię przekroju przeprowadza się przez najbardziej charakterystyczne elementy budowy geologicznej, lub elementy będące przedmiotem zainteresowania badanego obszaru. Opisuje się np. przekrój A-B i orientuje w stosunku do stron świata (np. NW-SE).

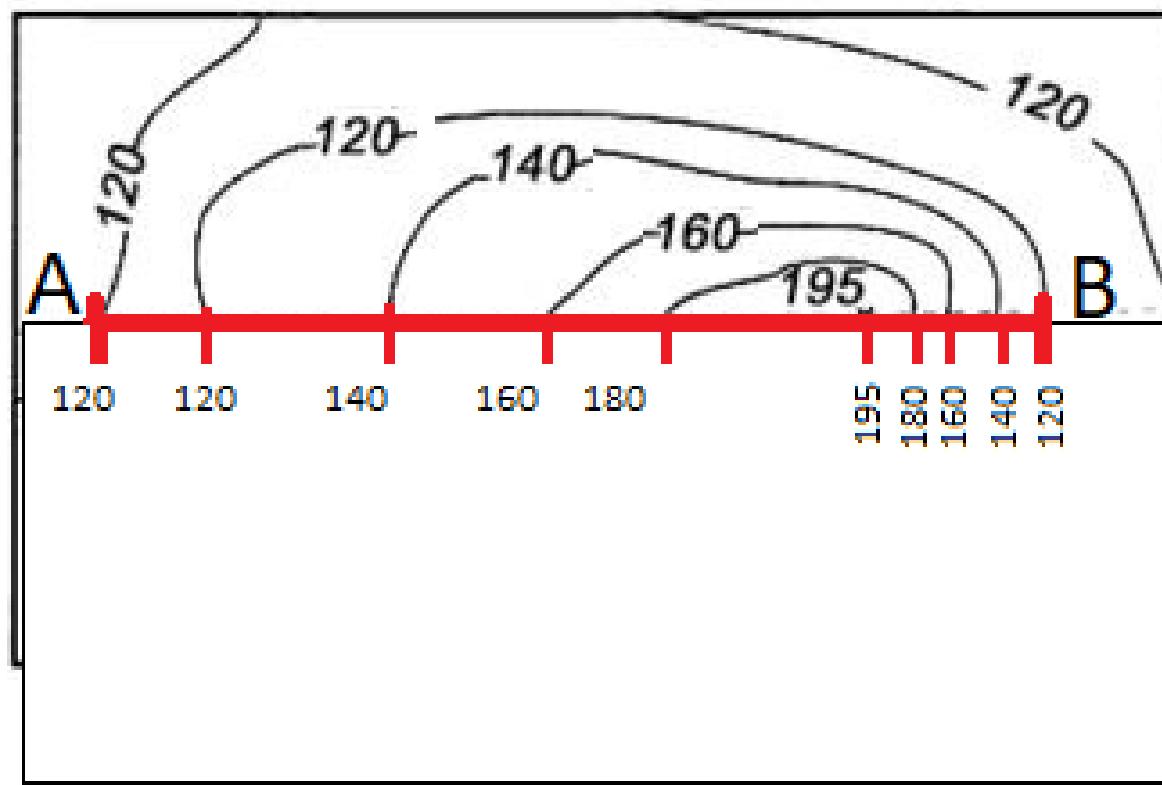
1



# *MAPKA INTERSEKCYJNA*

Zaznaczamy punkty przecięcia linii przekroju z poziomikami.

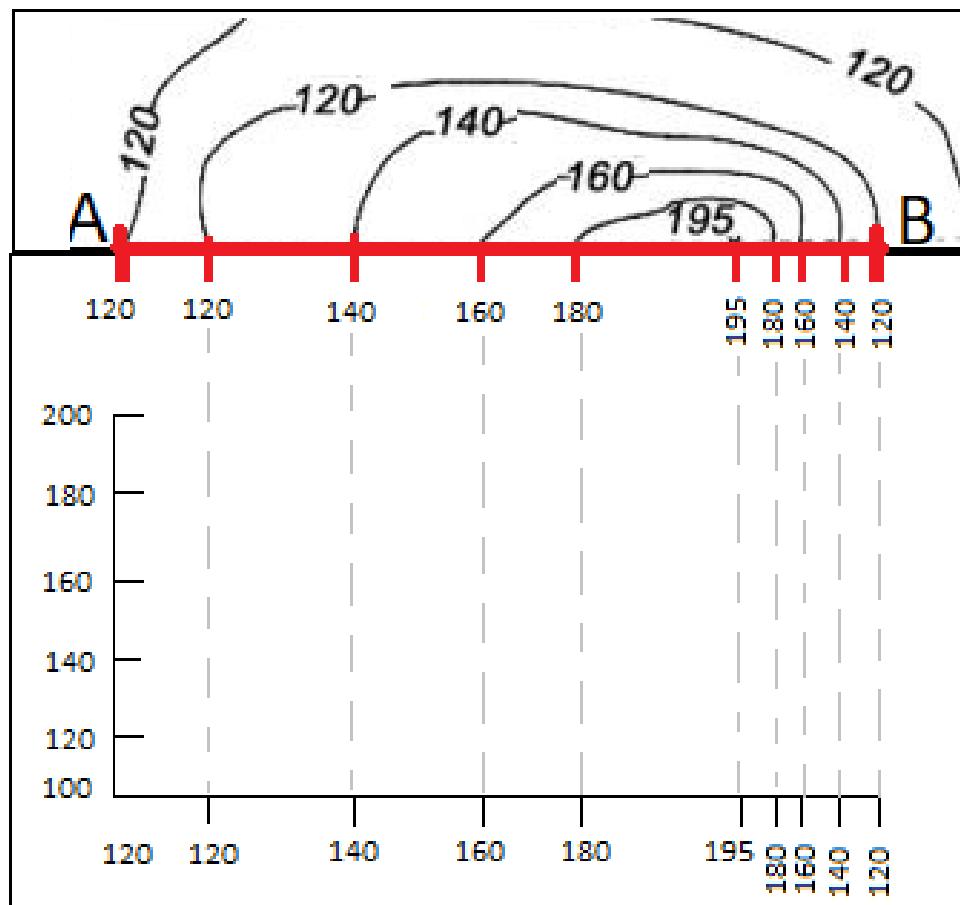
2



# MAPKA INTERSEKCYJNA

Rysujemy układ współrzędnych ODPOWIEDNIO W SKALI, żeby wyrysowany profil odzwierciedlał rzeczywiste ukształtowanie danego terenu.

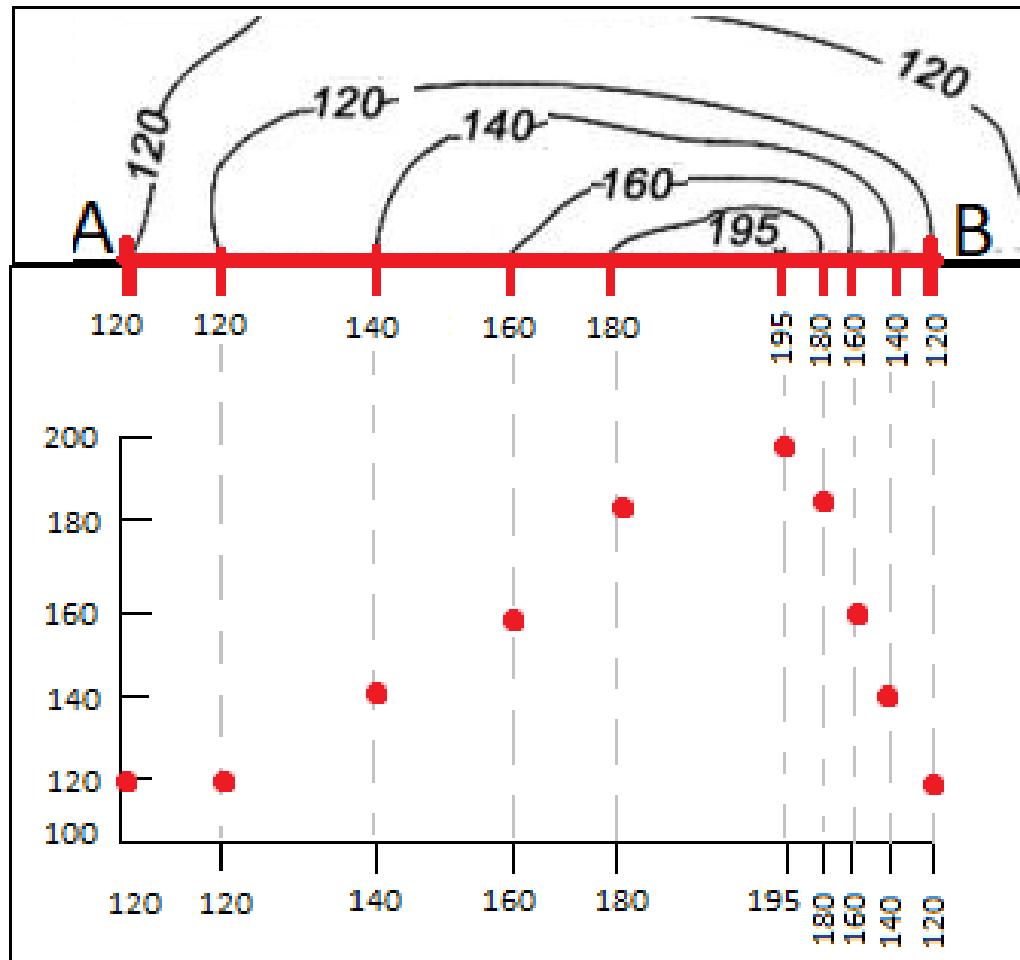
3



# MAPKA INTERSEKCYJNA

Rzutujemy (w pionie) na wykres wysokościowo-odległościowy, punkty przecięcia linii przekroju z kolejnymi poziomikami, o znanych wysokościach,

4

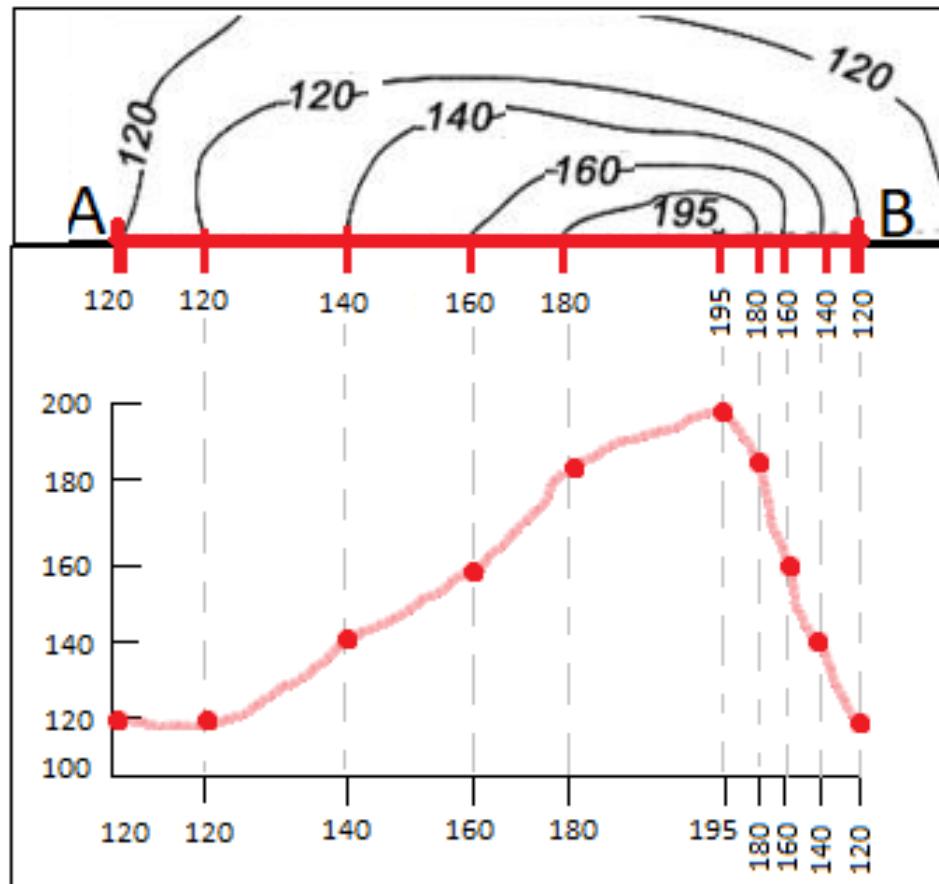


# MAPKA INTERSEKCYJNA

Łączymy zaznaczone punkty

**LINIA MORFOLOGII TERENU** - to krawędź przecięcia płaszczyzny pionowej przekroju z powierzchnią terenu.

5



# *MAPKA INTERSEKCYJNA*

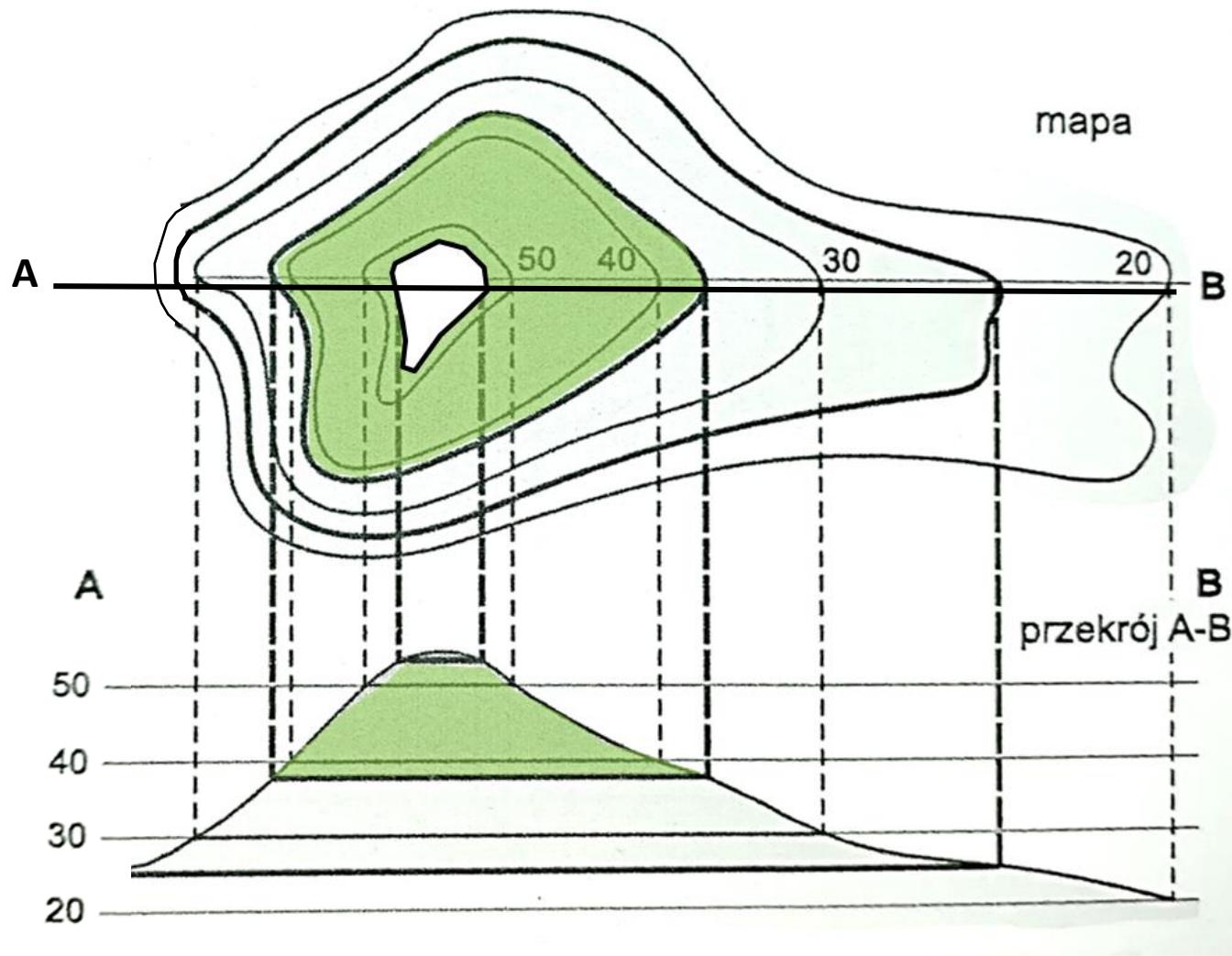
## **BUDOWA GEOLOGICZNA**

W przygotowany przekrój wrysowuje się treść geologiczną.

- Na linię morfologiczną rzutuje się punkty przecięcia linii przekroju z liniami intersekcyjnymi.
- Dalsze tworzenie przekroju geologicznego polega na interpretacji mapy w zakresie wydzielenia struktur tektonicznych, rekonstrukcji sposobu ułożenia warstw, ich kierunku zapadania, kątów upadu, przebiegu linii nasunięć i uskoków.

Na linię morfologiczną rzutuje się punkty przecięcia linii przekroju z liniami intersekcyjnymi.

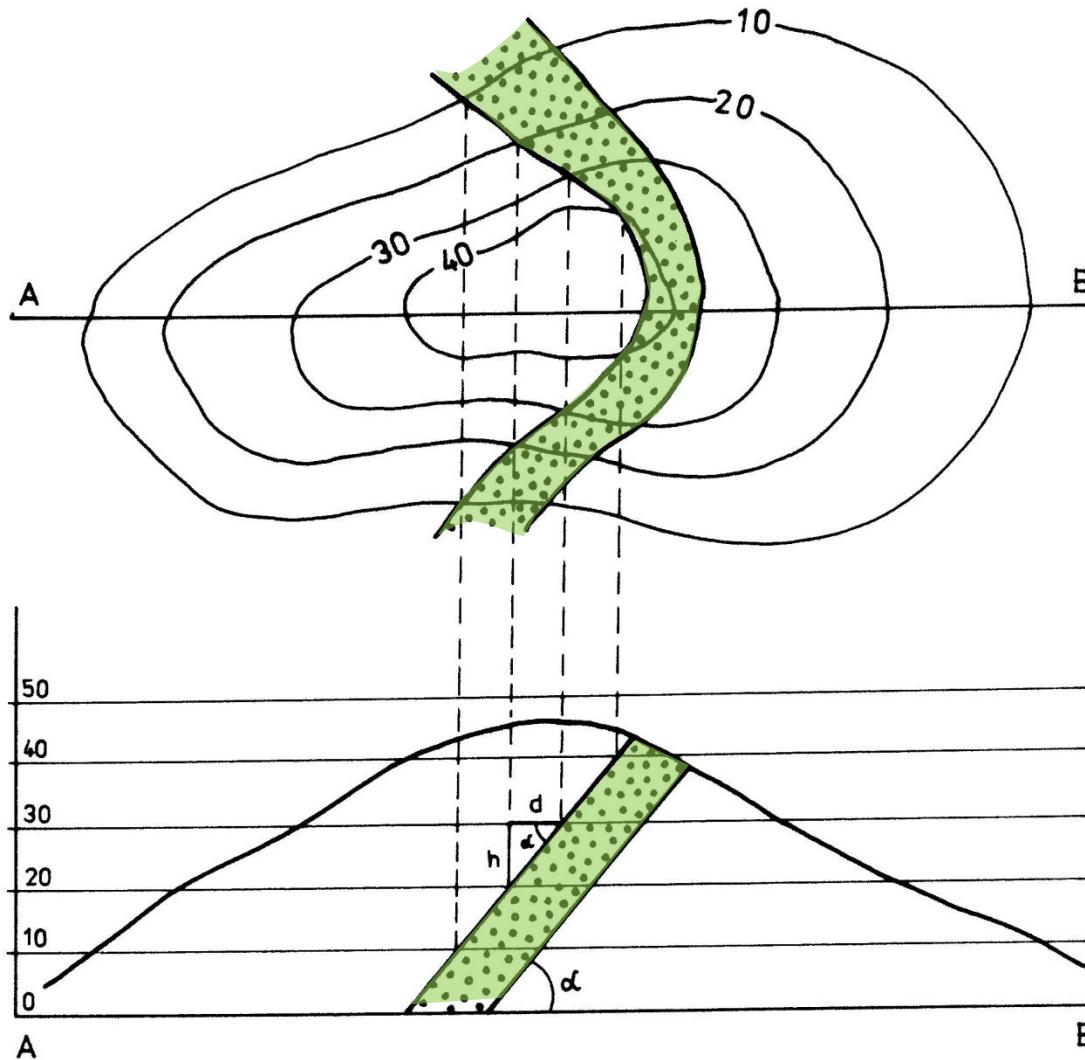
1



### WARSTWY ZALEGAJĄ POZIOMO

krawędzie przecięcia płaszczyzny stropowej i spągowej z powierzchnią terenu wyznaczają przebieg linii intersekcyjnych który JEST ZGODNY z przebiegiem poziomów terenu

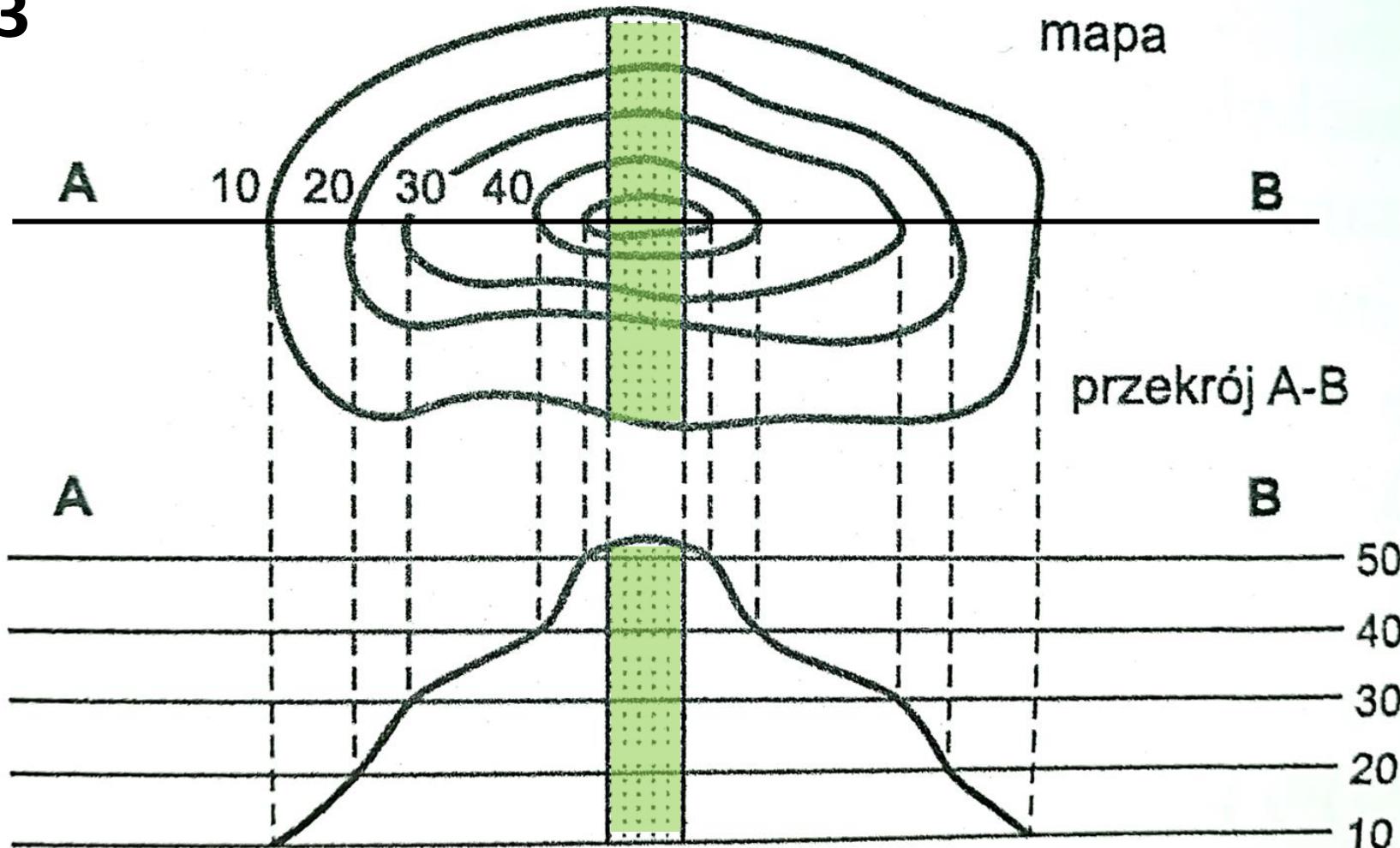
2



### WARSTWY NACHYLONE (MONOKLINA)

przebieg linii intersekcjnej JEST NIEZGODNY z przebiegiem poziomów terenu, a wielkość niezgodności -odchylenia wzrasta z wielkością kąta upadu warstwy

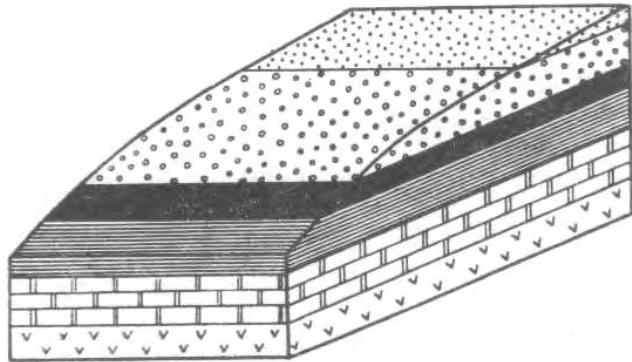
3



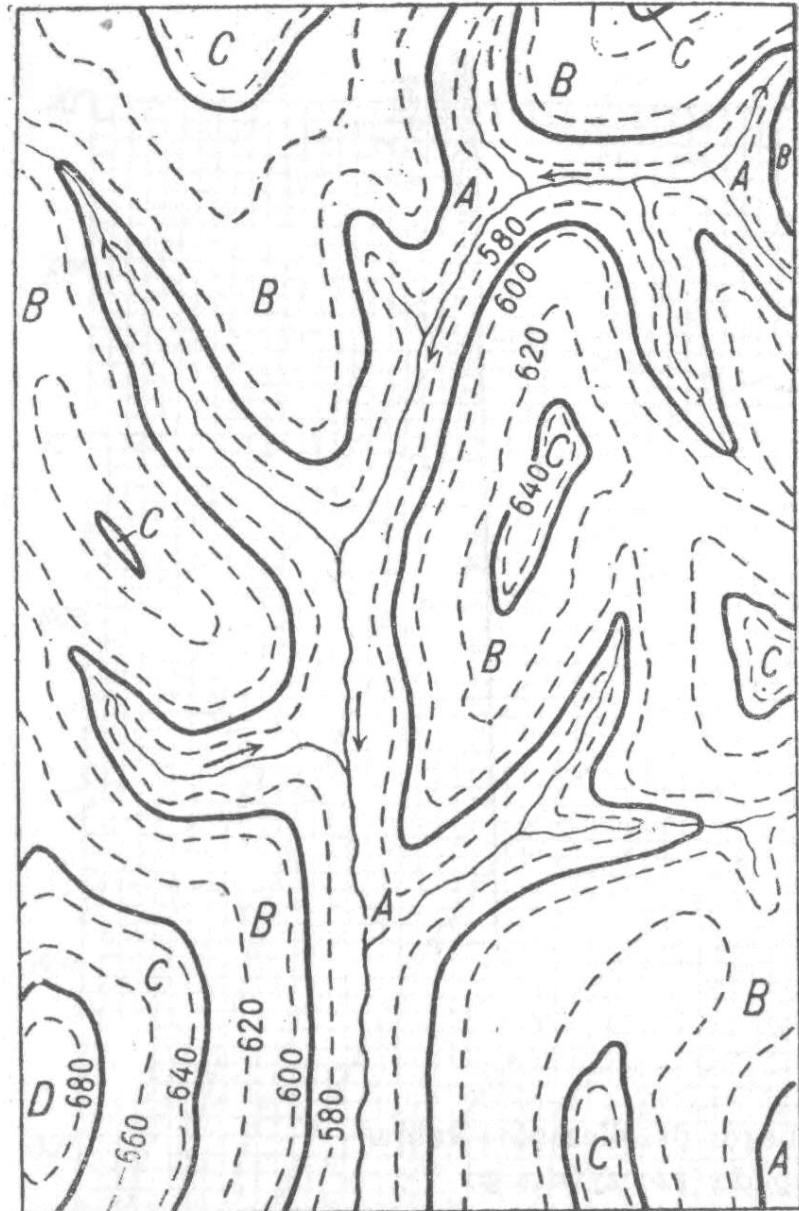
**WARSTWY ZALEGAJĄ PIONOWO – przebieg linii intersekcyjnej NIE ZALEŻY OD RZEŹBY TERENU i jest zawsze linią prostą zgodną z biegiem warstwy**

## OBRAZ INTERSEKCYJNY BUDOWY PŁYTOWEJ NA MAPIE

Płyta albo obszar płytowy jest to obszar poziomo lub prawie poziomo leżących warstw (ich upad nie przekracza  $5^{\circ}$ )



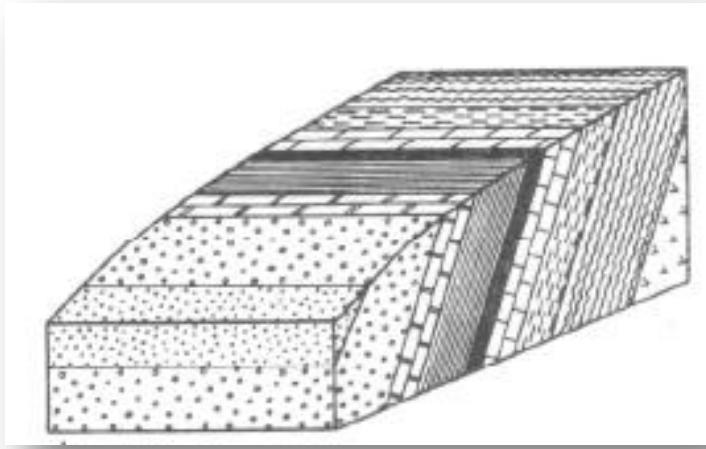
Linie intersekcyjne biegą równolegle do poziomic



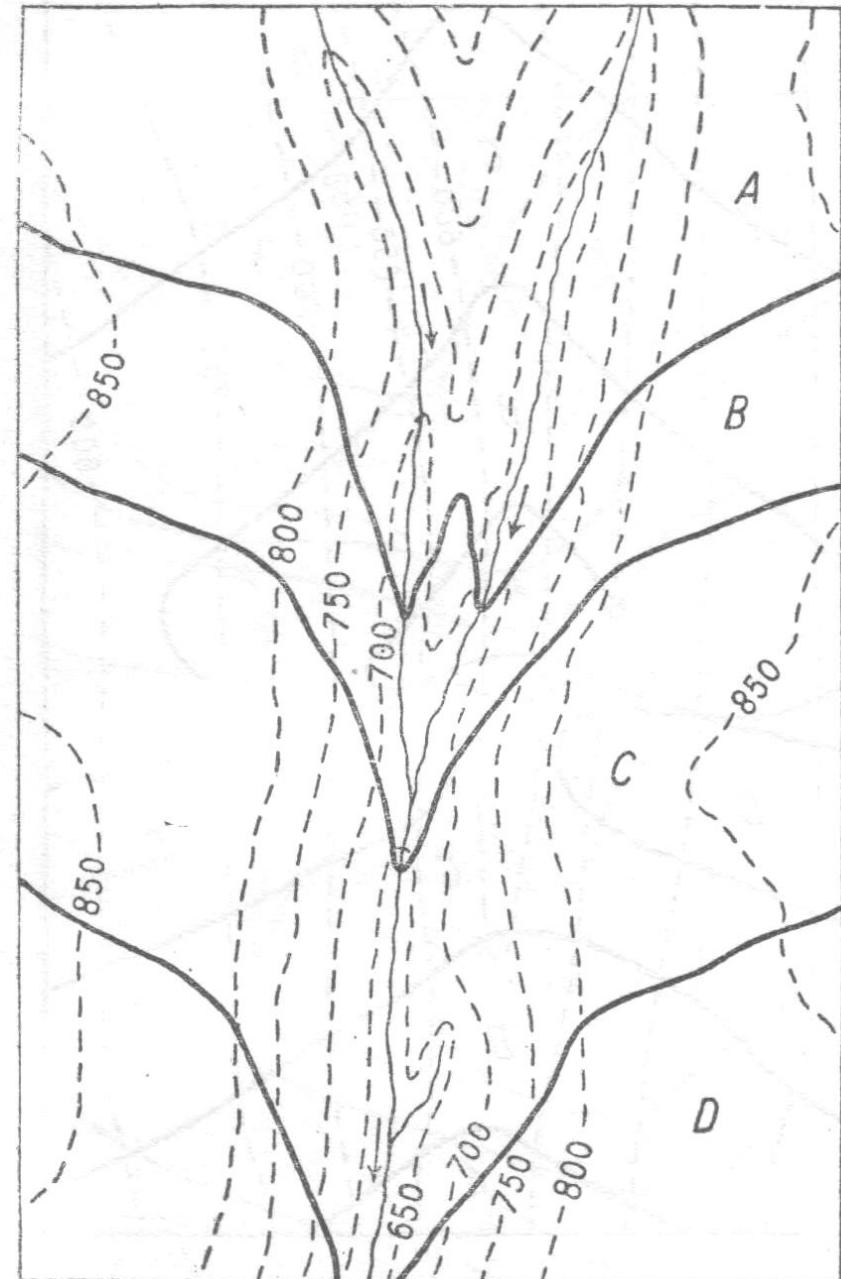
## OBRAZ INTERSEKCYJNY MONOKLINY NA MAPIE

Monoklina jest to obszar występowania warstw nachylonych w jedną stronę i pod mniej więcej tym samym kątem.

W monoklinie warstwy nie powtarzają się i zapadają w kierunku warstw młodszych.



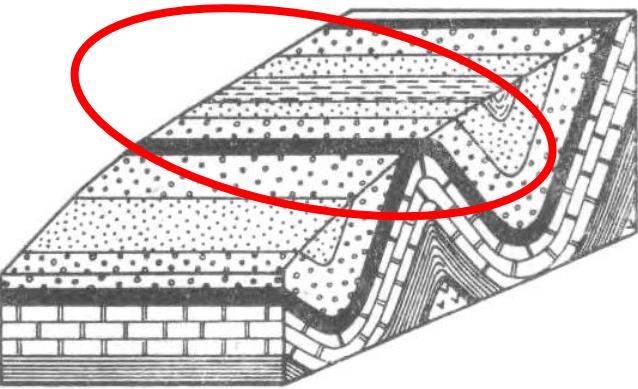
Poszczególne warstwy następują kolejno od starszych do młodszych, a przebieg linii intersekcyjnych i jest niezgodny z przebiegiem poziomic i uzależniony jest od wielkości kąta upadu warstw



## OBRAZ INTERSEKCYJNY OBSZARU FAŁDOWEGO

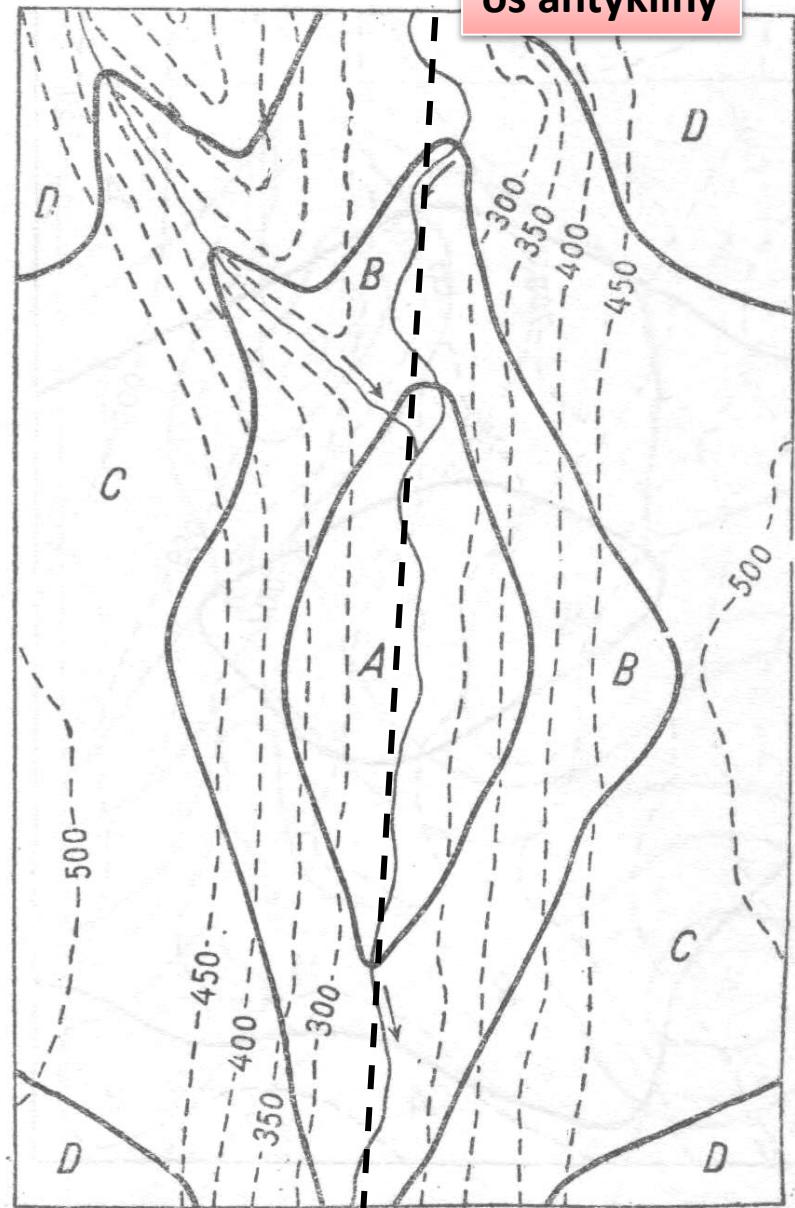
**Antyklina, czyli siodło jest wygięta ku górze.**

Zwiera warstwy najstarsze w części wewnętrznej, czyli w jądrze a młodsze na zewnętrznej, czyli w skrzydłach.



W obrazie intersekcyjnym **warstwa starsza** jest otoczona z dwóch stron **warstwami bezpośrednio młodszymi**

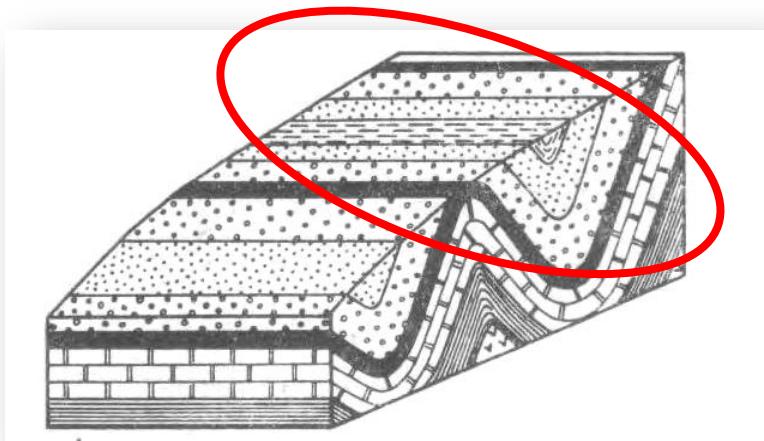
**oś antykliny**



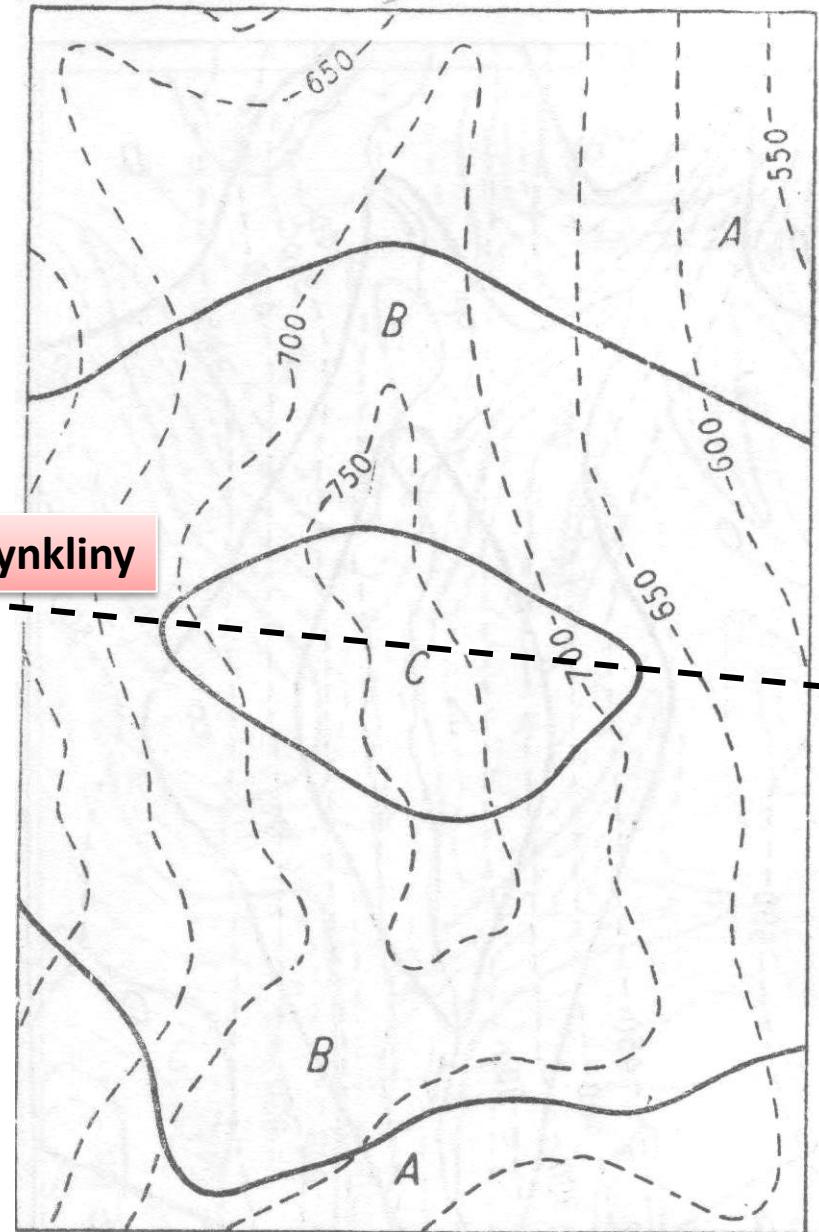
## OBRAZ INTERSEKCYJNY OBSZARU FAŁDOWEGO

Synkлина, czyli łęk jest wklęsła.

Zawiera w jadrze warstwy najmłodsze,  
ku skrzydłom kolejno coraz starsze.

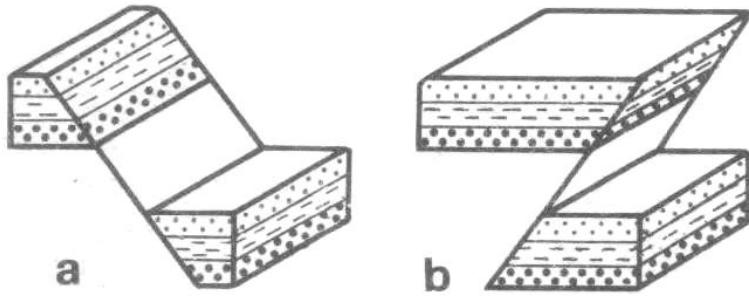


W obrazie intersekcyjnym **warstwa młodsza**  
jest otoczona z dwóch stron **warstwami**  
**bezpośrednio starszymi**



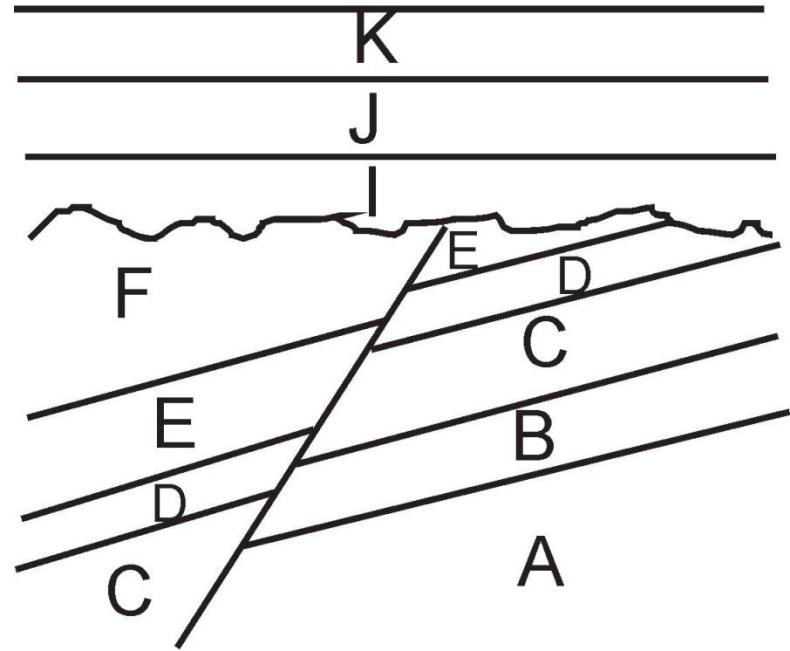
## OBRAZ INTERSEKCYJNY DEFORMACJI NIECIAGŁYCH- USKOKI

Uskok jest to przerwanie ciągłości warstw i przesunięcie ich wzdułż pewnej płaszczyzny

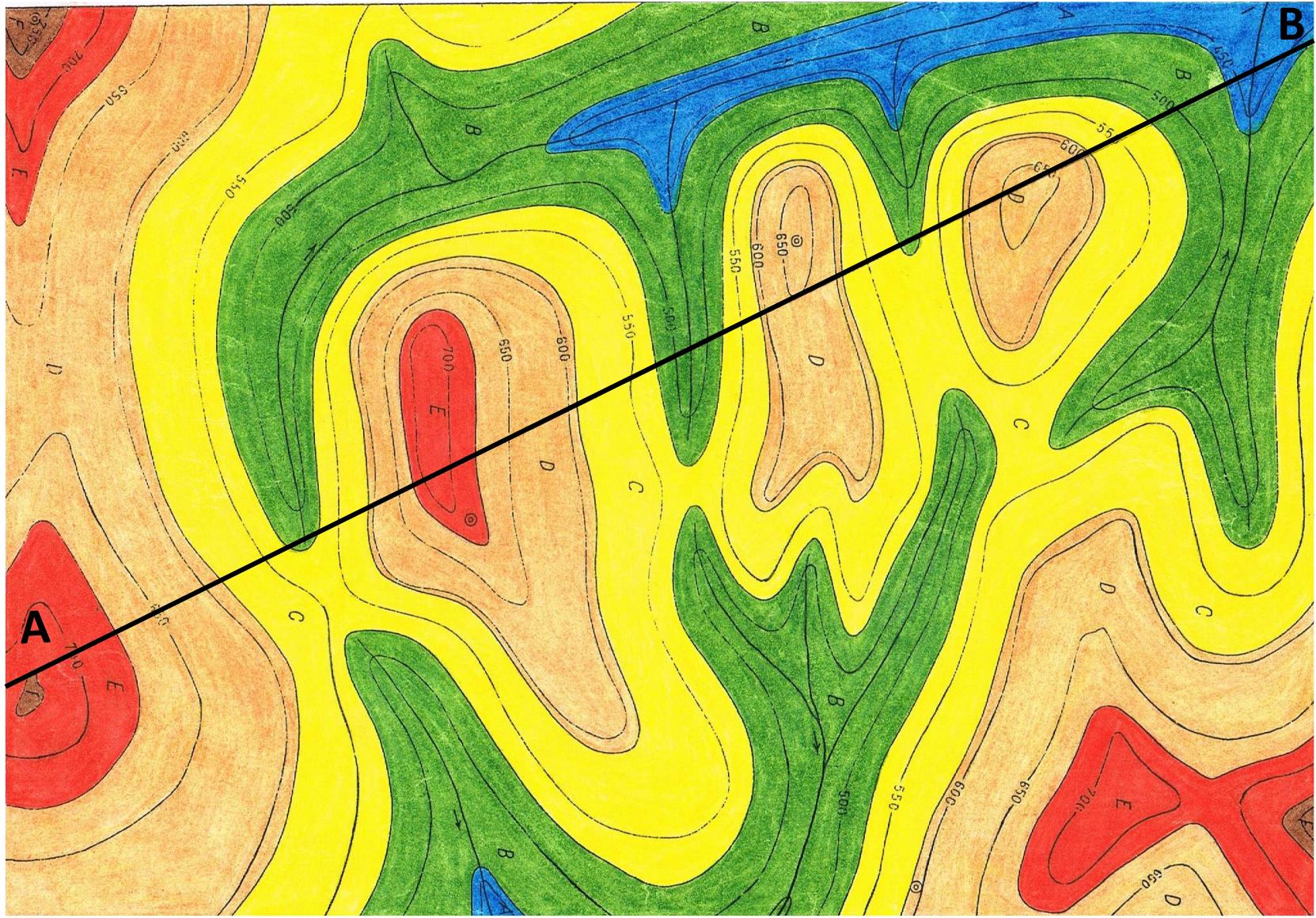


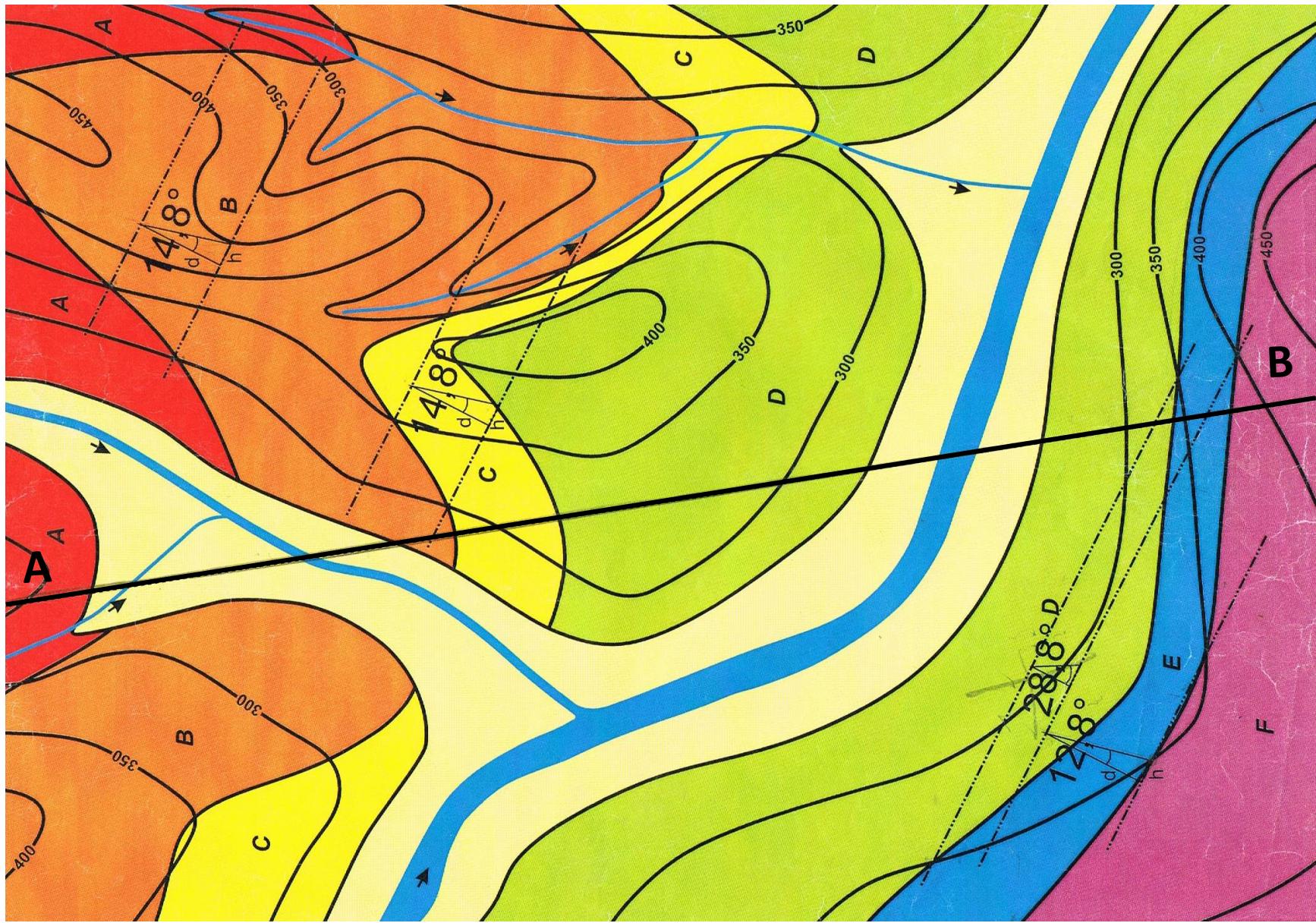
Uskok jest młodszy od najmłodszej warstwy przez niego przeciętej, a starszy od najstarszej warstwy nie przeciętej uskokiem.

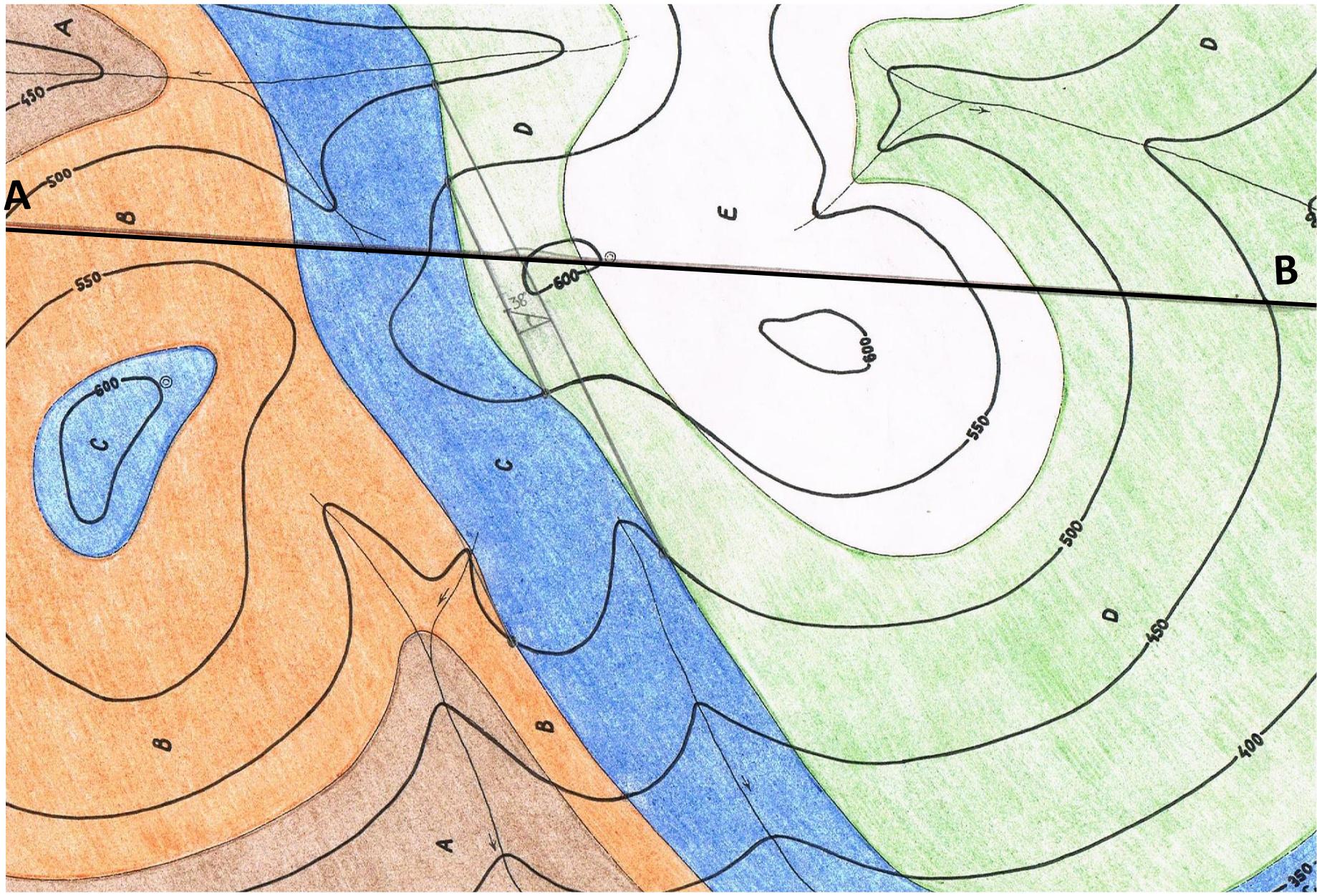
W obrazie intersekcyjnym uskok to przerwanie ciągłości linii intersekcyjnych



Uskok przedstawiony na rysunku powstał po uformowaniu się warstwy F, a przed osadzeniem się warstwy I.



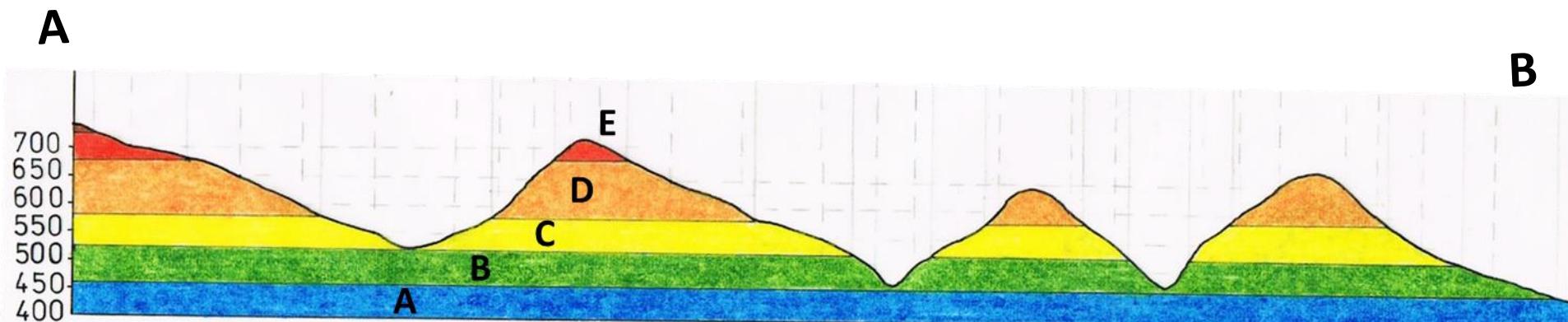






# PRZEKRÓJ GEOLOGICZNY Z MAPKI INTERSEKCYJNEJ NR 9

SKALA 1:10000



**A**

Wysokość  
[m n. p. m.]

**B**

## PRZEKRÓJ GEOLOGICZNY Z MAPKI INTERSEKCYJNEJ NR 12

SKALA 1:10000

1600

1200

800

600

450

400

350

300

**A**

**B**

**C**

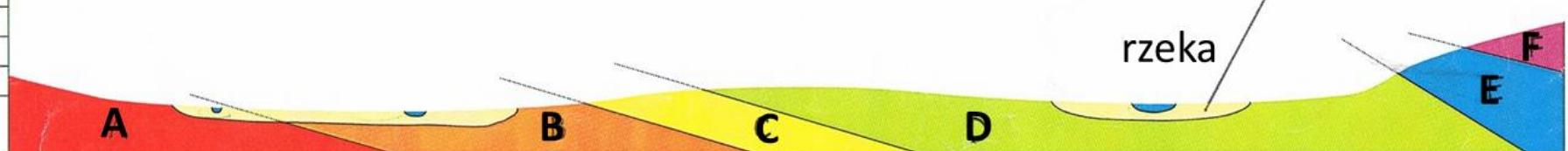
**D**

osady czwartorzędowe

rzeka

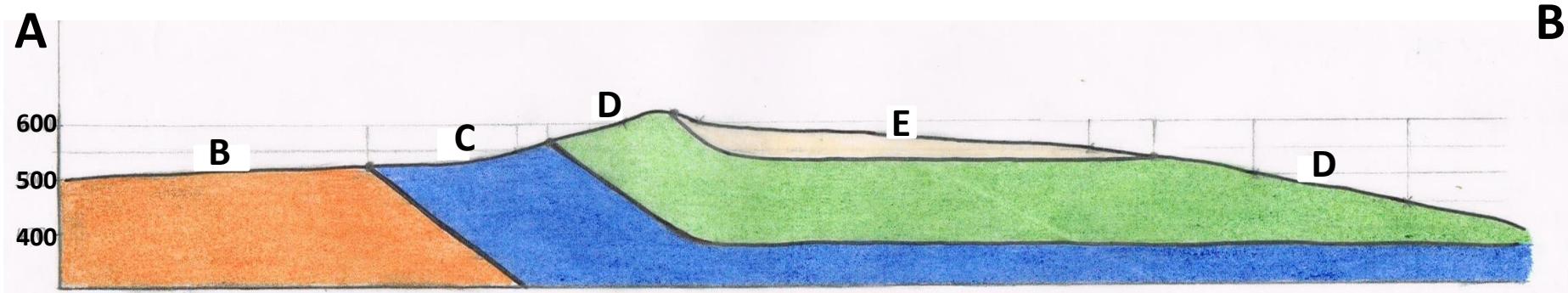
**E**

**F**



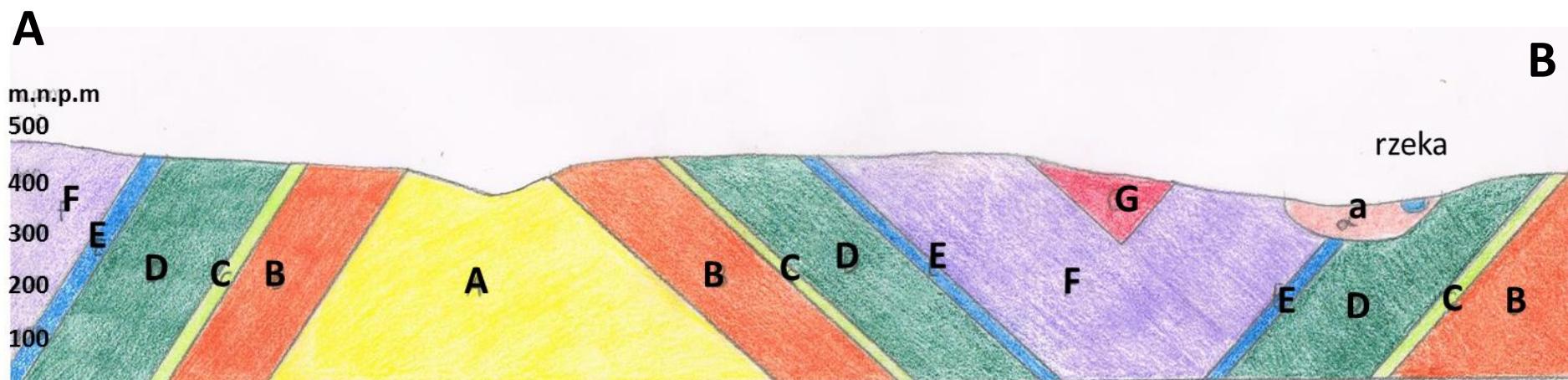
# PRZEKRÓJ GEOLOGICZNY Z MAPKI INTERSEKCYJNEJ NR 16

SKALA 1:10000



# PRZEKRÓJ GEOLOGICZNY Z MAPKI INTERSEKCYJNEJ NR 31

SKALA 1:10000



*Materiały dla studentów  
z przedmiotu*

*Podstawy geologii i hydrogeologii inżynierskiej  
oraz  
Geologia, geofizyka i hydrogeologia*

*część VIII – tektonika (część 3 ćwiczenia)*

*2020/21 tylko do użytku wewnętrznego*

*dr inż. Bernadetta Pasierb*

## WYZNACZANIE BIEGU I KĄTA UPADU WARSTWY NA PODSTAWIE MAPKI INTERSEKCYJNEJ

Bieg, kąt upadu i kierunek nachylenia (zapadania) warstwy z mapy określamy na podstawie:

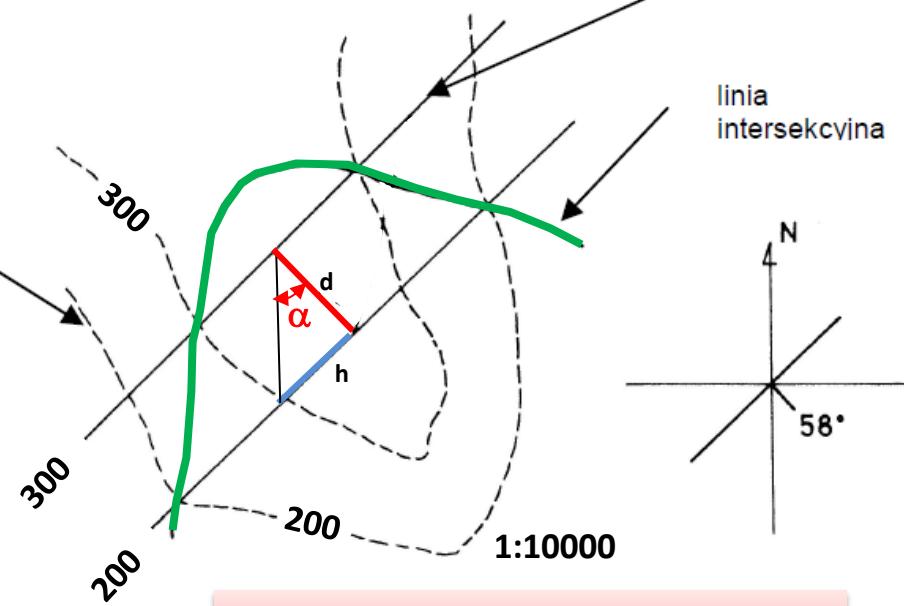
- przebiegu poziomic
  - linii intersekcyjnej
- 
- Szukamy miejsca przecięcia: **dwóch poziomic terenu z jedną linią intersekcyjną**
- 
- Punkty łączymy ze sobą i otrzymujemy dwie proste równoległe (**bieg warstwy**), które łączymy ze sobą prostą prostopadłą - **moduł intersekcyjny d**

- Na jednej z linii powstacej z połączenia punktów przecięcia poziomicy o wartości niższej z linią intersekcyjną zaznaczamy odpowiednio w skali odcinek równy różnicy poziomic - **h - różnica wznieśień pomiędzy biegami (poziomicami strukturalnymi)**

poziomica

bieg warstwy

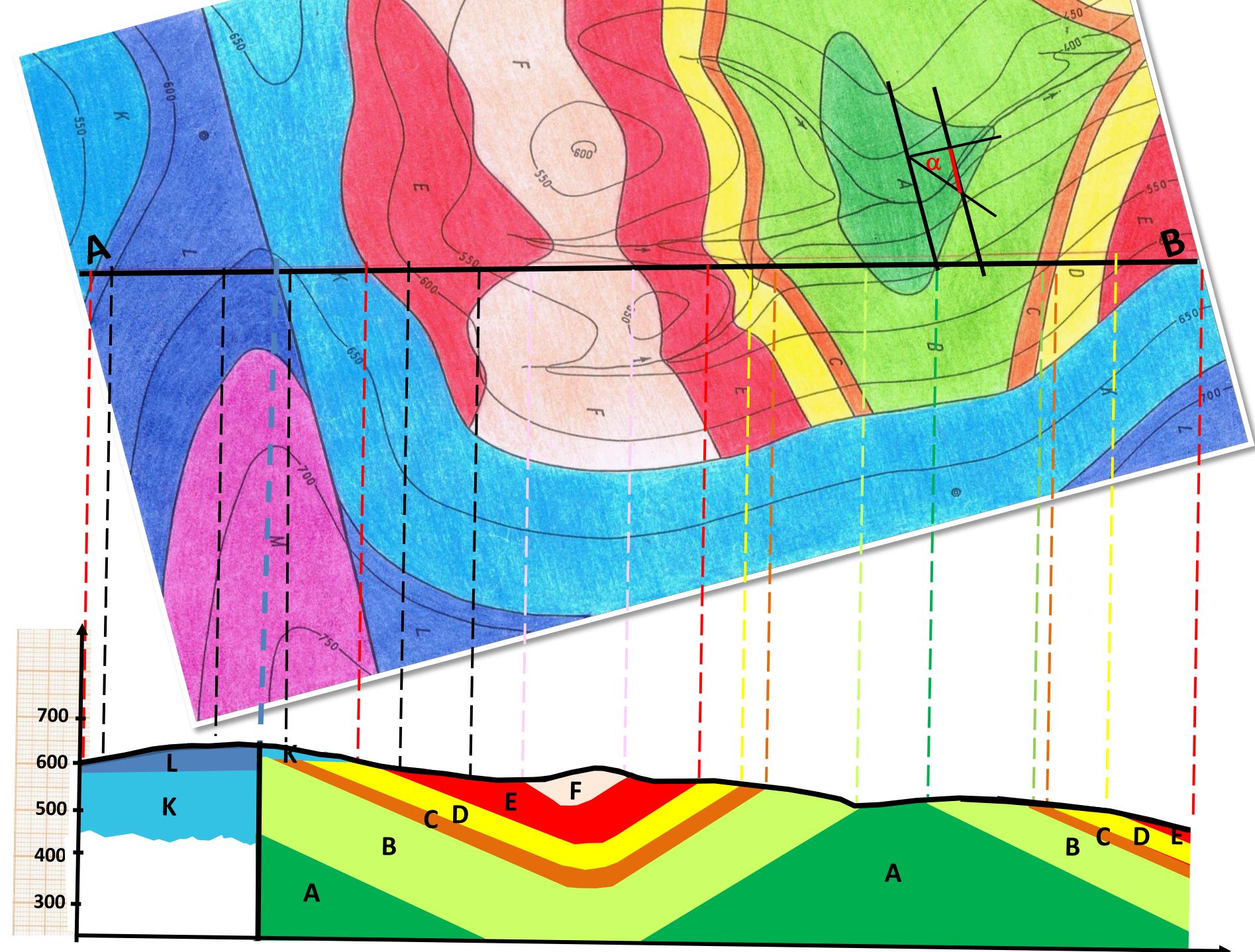
linia intersekcyjna



kąt upadu oblicza się ze wzoru

$$\tg \alpha = \frac{h}{d}$$

**kierunek nachylenia (zapadania) warstwy:**  
warstwa nachylona jest w kierunku biegu niższego.



MATERIAŁY DO ĆWICZENIA  
**ANALIZA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH**  
**dla wybranego rejonu Polski**

**Schemat opisu:**

**1. Nazwa regionu**

**2. Opis geomorfologii**

- położenie, opis granic, podział na jednostki geomorfologiczne, krótki opis jednostek (gdzie się znajdują, jak są ukształtowane, jak zaznaczają się ich granice) ogólne ukształtowanie terenu, typ rzeźby (młoda, dojrzała), max. wzniesienie, obniżenia terenu, rzeźba terenu,

**3. Budowa geologiczna**

**- podłoże przedczwartorzędowe**

Ogólna charakterystyka regionu ( typ budowy, wymienić jednostki i serie tektoniczne – na podstawie literatury; podręczniki, artykuły, strony internetowe ale tylko jednostek naukowych, np. PAN, PIG, zamieścić mapkę z tego rejonu),

Charakterystyka opisywanego obszaru; opis tektoniki, rodzaju skał, stratygrafii, jak powstały, jaki jest ogólny kierunek zapadania i kąt upadu warstw, charakterystyka uskoków i granic nasunięcia.

**- utwory czwartorzędowe**

Podać gdzie występują np. w dolinie rzecznej, na zboczach. Jak są zbudowane, krótki opis utworów

**4. Warunki hydrogeologiczne**

Charakterystyka wód powierzchniowych – podać rzekę główną wraz z dopływami stałymi i okresowymi, obecność zbiorników wodnych, obszarów podmokłych i terenów źródłowych. Charakterystyka wód gruntowych na podstawie mapy hydrogeologicznej, wyszczególnienie i opis poziomów wodonośnych

**5. Problemy geologiczno-inżynierskie**

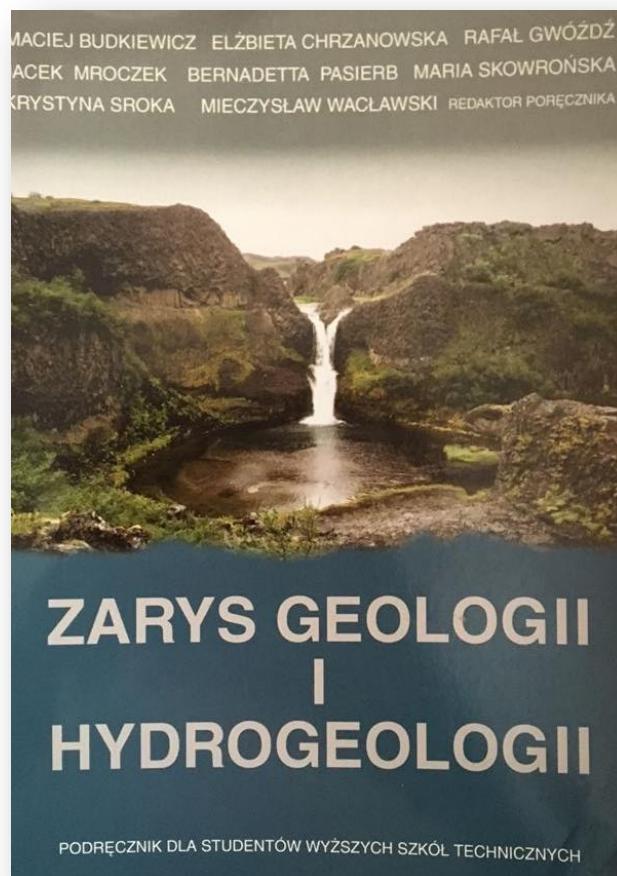
Opis jest głównym problemem geologiczno-inżynierski w opisywanym regionie. Charakterystyka osuwisk, podcięć erozyjnych, stożków napływowych, obecność skrasowiających skał - pustek krasowych, utworów ilastych, pokrywy lessowej kamieniołomów, itp.

**POLITECHNIKA KRAKOWSKA im. TADEUSZA KOŚCIUSZKI**

## **ZARYS GEOLOGII I HYDROGEOLOGII**

**Podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych  
na kierunkach Budownictwo i Inżynieria Środowiska**

**Praca zbiorowa pod redakcją Mieczysława Waclawskiego**



**Kraków 2003**

## **10. ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I HYDROGEOLOGII POLSKI**

### **10.1. WPROWADZENIE**

Realizacja różnego rodzaju obiektów inżynierskich związanych z zabudową lub przekształcaniem zewnętrznego środowiska naturalnego wymaga odpowiedniego rozpoznania cech geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych podłoża gruntowego.

Rodzaj i zakres badań służących temu rozpoznaniu mogą być bardzo zróżnicowane w zależności od budowy geologicznej terenu, a także od rodzaju obiektu (przewidywanego sposobu posadowienia, wrażliwości konstrukcji obiektu na deformacje podłoża gruntowego, wymogów bezpieczeństwa budowliego itp.).

W przypadku obiektów skupionych, które stanowią większość inwestycji budowlanych, badania rozpoznawcze obejmują stosunkowo niewielkie powierzchnie terenu. Są to zwykle obszary stanowiące fragment określonej jednostki fizjograficznej (doliny rzecznej, zbocza wzniesienia itp.).

W niektórych przypadkach (prosta budowa geologiczna terenu i niska kategoria geotechniczna obiektu) ustalenie zakresu i rodzaju badań, a także geotechniczna interpretacja wyników tych badań, nie sprawiają istotnych trudności i nie wymagają odniesienia do warunków geologiczno-inżynierskich całej jednostki fizjograficznej, do której należy badany teren, a tym bardziej do całego regionu geologicznego.

W wielu jednak przypadkach znajomość warunków geologiczno-inżynierskich całego regionu jest w tym względzie celowa, a niekiedy wręcz niezbędna. Dotyczy to zwłaszcza obiektów infrastruktury liniowej (np. dróg, rurociągów), przebiegających przez różne jednostki fizjograficzne. W niektórych przypadkach jest to również konieczne dla właściwej oceny oddziaływania obiektów (w czasie ich budowy i eksploatacji) na środowisko, a w szczególności na wody podziemne.

Jest jeszcze jeden, bardzo ważny aspekt tej sprawy. Otóż znajomość regionalnych warunków geologiczno-inżynierskich może być w wielu przypadkach przydatna jeszcze na wstępny etapie projektowania inwestycji dla optymalnego wyboru lokalizacji obiektu. Pozwala to często uniknąć wielu zbytecznych kosztów i trudności związanych zarówno z badaniami podłoża, jak i z posadowieniem, a często również z eksploatacją obiektu.

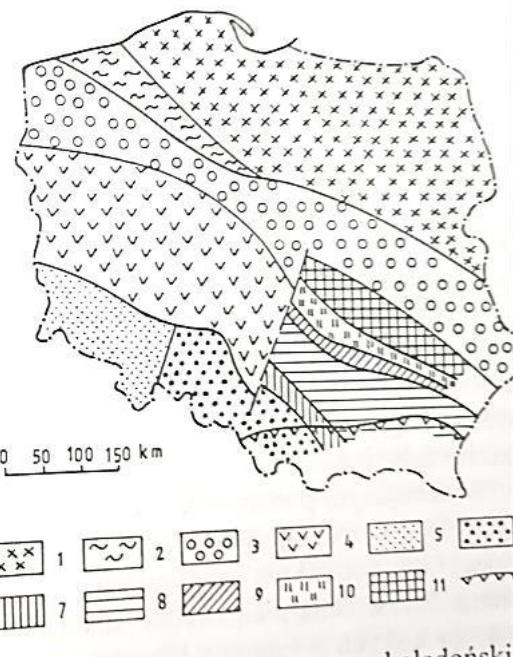
Mając na względzie podane wyżej uwagi przedstawia się w niniejszym podręczniku zarys ogólnych warunków geomorfologicznych, geologicznych i hydrogeologicznych i niektórych problemów geologiczno-inżynierskich w obrębie głównych regionów geologicznych Polski.

Na wstępnie wymaga wyjaśnienia kwestia przyjętego podziału obszaru Polski na regiony geologiczne. Budowa geologiczna obszaru Polski jest zróżnicowana i w licznych rejonach bardzo złożona. Jest to wynikiem wielu zjawisk geologicznych jakie zachodziły w całym okresie dziejów tej części kuli ziemskiej, a w szczególności deformacji tektonicznych litosfery oraz procesów sedymentacyjno-erozyjnych. Szczególną rolę w tym względzie odegrało położenie obszaru Polski na styku trzech głównych struktur tektonicznych kontynentu europejskiego [63]: prekambryjskiej platformy wschodnioeuropejskiej (platformy wschodnioeuropejskiej), paleozoicznego pasma fałdowego Europy Zachodniej i Środkowej (platformy zachodnioeuropejskiej) i alpejskiego pasma fałdowego Europy Południowej (orogenu alpejskiego).

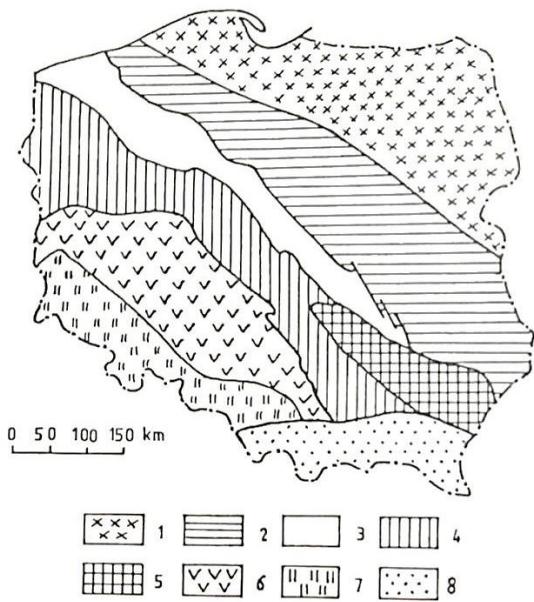
Na platformie wschodnioeuropejskiej położona jest północno-wschodnia część Polski. Zachodnie i środkowe części Polski należą do platformy zachodnioeuropejskiej. Te dwie struktury oddziela strefa głębokich uskoków, zwana strefą Teisseyre a – Tornquista.

W obrębie wymienionych platform powstał w czasie orogenezy kaledońskiej i waryscyjskiej szereg struktur fałdowo-uskokowych. Tworzą one najstarsze prekambryjsko-paleozoiczne jednostki geologiczne Polski (rys. 194).

194. Mapa prekambryjskich i paleozoicznych jednostek geologicznych Polski (Stupnicka E. [63] – uproszczona): 1 – platforma wschodnioeuropejska, 2 – struktura Koszalin-Chojnice, 3 – niecka nadburzańska i zapadlisko przedgórskie wartyściów zachodniej Polski, 4 – wartyścijskie struktury fałdowe zachodniej Polski, 5 – blok dolnośląski, 6 – struktura śląsko-morawska, 7 – strefa krakowska, 8 – strefa miechowsko-rzeszowska, 9 – strefa kielecka, 10 – strefa lysogórskiego, 11 – strefa radomsko-kraśnicka, 12 – północna granica Karpat



W czasie orogenezy alpejskiej w obrębie obu platform powstały najmłodsze, fałdowo-uskokowe struktury tektoniczne. Na całym obszarze objęły one mezozoiczną pokrywę osadową struktur paleozoicznych, a w rejonie południowo-zachodnim (szczególnie w obszarze sudeckim) również starsze struktury paleozoiczne (rys. 195).



Rys. 195. Mapa mezozoicznych i trzeciorzędowych jednostek geologicznych Polski (Stupnicka E. [63] – uproszczona): 1 – płyta permsko-mezozoiczna Polski, 2 – niecka pomorsko-warszawsko-lubelska (niecka brzeżna), 3 – wał środkowopolski, 4 – niecka szczecińsko-lódzko-mazowiecka, 5 – zręb: świętokrzyski i dolnego Sanu, 6 – monokliny: przedsudecka i krakowsko-częstochowska, 7 – struktury zrębowo-uskokowe regionu sudeckiego i niecki górnośląskiej, 8 – Karpaty

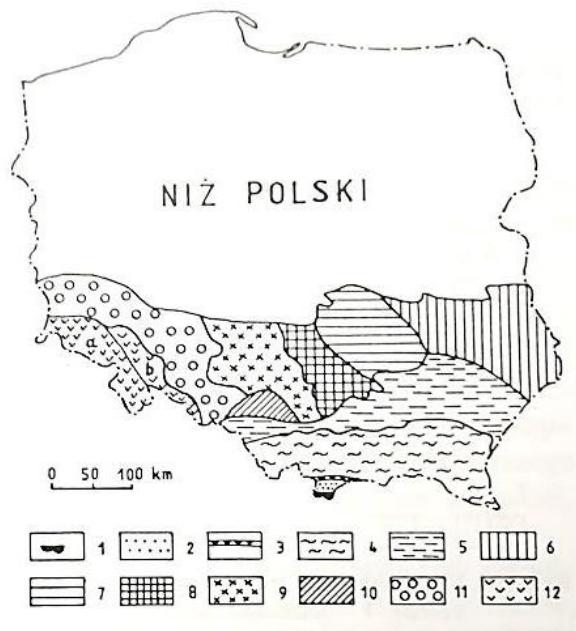
W obrębie środkowej i północnej Polski struktury mezozoiczne zostały przykryte osadami trzeciorzędowymi, które tworzą dwie rozległe niecki: poznańską i mazowiecką.

Południową część Polski zajmują Karpaty. Stanowią one strukturę fałdową, uformowaną w orogenezie alpejskiej, nasuniętą częściowo na południową strefę struktur prekambryjskich i paleozoicznych. Zbudowane są głównie z osadowych skał mezozoicznych i kenozoicznych, a w części masywu tatrzanskiego również ze skał krystalicznych.

W granicach wymienionych wyżej dużych struktur tektonicznych wydzielają się szereg mniejszych jednostek. Zasadniczym kryterium podziału są z reguły cechy tektoniczne, a obok nich litologia i stratygrafia. W zależności od zakresu i celu badań mogą też być uwzględniane inne cechy rejonu, np. hydrogeologiczne, geomorfologiczne, surowcowe.

W niniejszym podręczniku zastosowano podział obszaru Polski na 13 regionów (rys. 196), wyróżniających się odrębnym stylem morfologii, budowy geologicznej i specyfiką warunków geologiczno-inżynierskich przypowierzchniowych partiów terenu. Przewodnią ideą i celem zastosowanego podziału było wydzielenie obszarów, na których występują lub mogą się pojawić w przyszłości specyficzne problemy geologiczno-inżynierskie, istotne dla realizacji przedsięwzięć geotechnicznych.

196. Szkic podziału obszaru Polski na regiony geologiczne: 1 – Tatry, 2 – Niecka Podhalańska, 3 – Pieniny, 4 – Karpaty fliszowe, 5 – Zapadlisko Przedkarpackie, 6 – Niecka Lubelska, 7 – Góry Świętokrzyskie, 8 – Niecka Miechowska, 9 – Monokлина Krakowsko-Częstochowska, 10 – Niecka Górnosłaska, 11 – Nizina Śląska, 12 – Sudety (a) i Przedgórze Sudetek (b)



Z tego też względu niektóre regiony obejmują obszary wchodzące w skład pojedynczych, określonych struktur paleozoicznych, mezozoicznych lub trzeciorzędowych. W skład innych regionów wchodzą jednostki należące do różnych struktur tektoniczno-stratygraficznych.

W 12 przypadkach wydzielone regiony odpowiadają pod względem nazwy i obszarów występowania jednostkom przyjmowanym powszechnie w opracowaniach geologicznych i (lub) hydrogeologicznych. W jednym przypadku – dla Niziny Śląskiej – nazwę i zasięg regionu przyjęto z podziału geomorfologicznego [23]. Obszar ten, wciśnięty pomiędzy Regionem Sudeckim, Monokliną Krakowsko-Częstochowską i Niecką Górnosłowską, zaliczany jest do Nizu Polskiego. Jednakże ze względu na położenie, silne powiązanie z otaczającymi regionami i pewne odrębności geologiczne i geomorfologiczne w porównaniu z pozostałą częścią Nizu uznano za celowe wydzielić go jako odrębną jednostkę geologiczną.

Z większością problemów geologiczno-inżynierskich można się spotkać w każdym regionie; inne są związane ściśle z określonymi cechami fizjograficznymi danego regionu. Szczegółowe omawianie wszystkich typowych i występujących powszechnie w każdym regionie problemów nie miałoby z wielu względów uzasadnienia. Mając to na względzie najpełniejszą charakterystykę warunków i problemów geologiczno-inżynierskich przeprowadzono jedynie dla Karpat fliszowych.

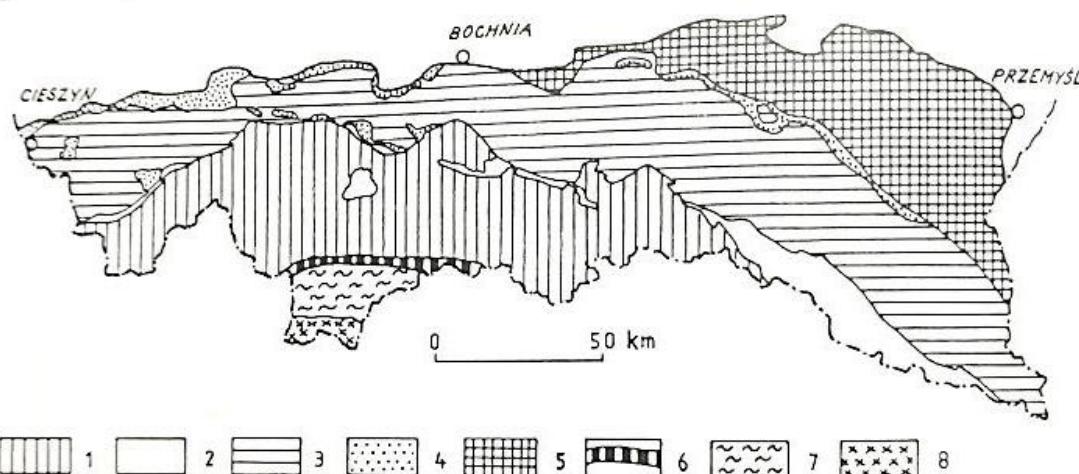
Region ten potraktowano jako wzorcowy zakładając, że wiele jego cech geologiczno-inżynierskich może być odniesionych do innych regionów, zwłaszcza górskich i niektórych wyżynnych. W pozostałych przypadkach ograniczono się do zaprezentowania najważniejszych, a zarazem charakterystycznych dla danego regionu problemów; inne, powszechnie problemy tylko zasygnalizowano.

## ZESPÓŁ I

### 10.2. KARPATY FLISZOWE

#### 10.2.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY

Karpaty zewnętrzne, zwane powszechnie Karpatami fliszowymi, na terenie Polski zajmują znaczny obszar południowej części kraju. Północną granicę tej jednostki, za którą uważa się najczęściej czoła nasunięć zewnętrznych struktur fliszowych na utwory mioceńskie Zapadiska Przedkarpackiego, przebiega wzdłuż linii : Cieszyn – Andrychów – Wieliczka – Tarnów – Dębica -Rzeszów – Przemyśl (rys.197). Na przeważającej części granica ta jest wykształcona w formie progu morfologicznego o wysokości przekraczającej miejscowości 100 m.



Rys. 197. Mapa głównych jednostek tektonicznych Karpat polskich (Książkiewicz M. [40] – uproszczona): 1 – jednostka magurska, 2 – jednostki: przedmagurska, grybowska i dukielska, 3 – jednostka śląska, 4 – jednostka podlaska, 5 – jednostka skolska (skibowa), 6 – Pieniny, 7 – Niecka Podhalańska, 8 – Tatry

Od strony południowej, na odcinku około 60 km, Karpaty fliszowe graniczą z Pieninami, zaliczanymi do Karpat wewnętrznych. Poza tym odcinkiem jednostka fliszowa rozciąga się do południowo-wschodniej, południowej i południowo-zachodniej granicy Polski i kontynuuje się na terenach Ukrainy, Słowacji i Czech.

Ze względu na cechy fizjograficzne w obrębie Karpat fliszowych wydziela się wiele jednostek geomorfologicznych. Południową i środkową część pasma karpackiego tworzą jednostki o charakterze górkowym. Są to zwarte masywy, struktury pasmowe o grzbietach rozciągającymi się przeważnie w kierunku równoleżnikowym, jak też izolowane wyniesienia o charakterze wyspowym. Do największych jednostek geomorfologicznych tego obszaru należą: Beskidy: Śląski, Mały, Żywiecki, Makowski, Wyspowy, Sądecki, Niski, Bieszczady i Gorce.

Północna strefa Karpat fliszowych określana jest mianem Pogórza Karpackiego. Tworzą ją jednostki o charakterze wyżynnym. Do głównych jednostek należą Pogórze: Śląskie, Wielickie, Wiśnickie, Rożnowskie, Ciężkowickie, Strzyżowskie, Dynowskie i Przemyskie.

Wyróżny element geomorfologiczny na obszarze górskiej części Karpat fliszowych stanowią liczne obniżenia tektoniczno-erozyjne, stanowiące kotły śródgórskie. Największym z nich są Doliny Jasielsko-Sanockie. Występują one pomiędzy Beskidem Niskim i Bieszczadami a wschodnimi jednostkami Pogórza Karpackiego. Jest to jednostka o charakterze erozyjno-denudacyjnym, wypreparowana na obszarze centralnej depresji karpackiej, o założeniu tektonicznym.

Znaczne rozmiary ma Kotlina Żywiecka występująca u zbiegu trzech Beskidów : Małego, Śląskiego i Żywieckiego. Według Książkiewicza [40] stanowi ona okno tektoniczne pogłębione procesami erozyjnymi. Zbliżone do niej rozmiary i podobny charakter tektoniczno-erozyjny ma Kotlina Sądecka, utworzona u zbiegu trzech rzek: Dunajca, Kamienicy i Popradu.

Naturalne granice pomiędzy jednostkami geomorfologicznymi stanowią doliny większych rzek karpackich. Sieć dolin rzecznych tworzy także system obniżeń morfologicznych dzielących poszczególne jednostki na mniejsze struktury górskie i pogórskie.

## 10.2.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

### 10.2.2.1 Podłoże przedczwartorzędowe

Karpaty fliszowe stanowią masyw o skomplikowanej tektonice typu fałdowego. Serie skalne, głównie osadów fliszowych z okresu górnej jury, kredy i starszego trzeciorzędu, zostały sfałdowane w czasie trzeciorzędowej orogenezy alpejskiej. Utwory te w całym regionie tworzą skaliste podłoże terenu.

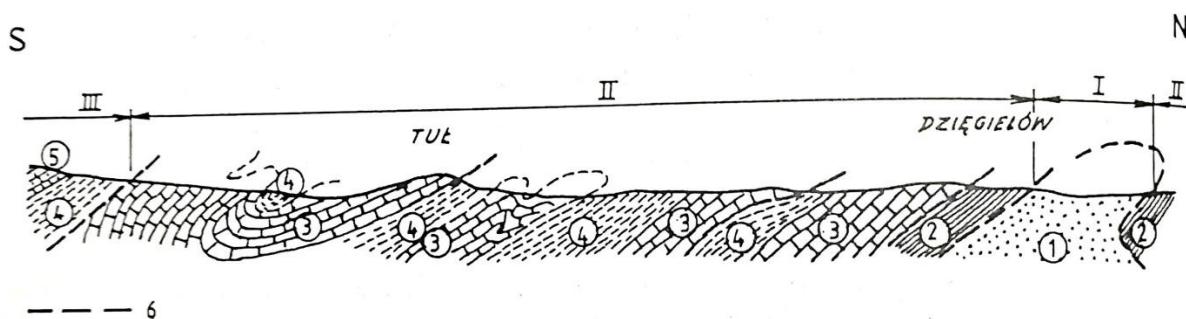
Głównymi składnikami fliszu są naprzemianlegle ułożone warstwy (lub zespoły warstw) głównie piaskowców i łupków oraz w mniejszym zakresie zlepieńców, mułowców, margli i wapieni. Ze względu na udział głównych składników wydziela się kilka rodzajów kompleksów fliszowych (L. Zabuski i in. [70]), przedstawionych w tabeli 35.

Tabela 35

Rodzaj kompleksów fliszowych

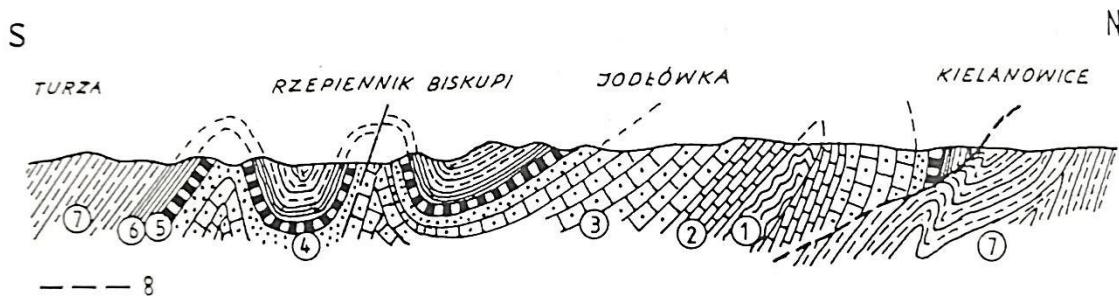
Rodzaj fliszu		Zawartość piaskowców w kompleksie fliszowym w %
flisz piaskowcowy		> 75
flisz normalny	piaskowcowo-łupkowy	50 ÷ 75
	łupkowo-piaskowcowy	25 ÷ 50
łupkowy		< 25

Sfałdowane i odklute od starszego podłoża warstwy flisz uformowane w poszczególnych rejonach basenu sedymentacyjnego zostały przesunięte na północ. Utworzyło się w ten sposób szereg odrębnych, ponasuwanych na siebie jednostek tektonicznych, zwanych płaszczowinami (rys. 198).



Rys. 198. Uproszczony przekrój geologiczny przez jednostki fliszowe w rejonie Cieszyna (na podstawie Książkiewicza M. [40]): I – jednostka podśląska, II – jednostka śląska – płaszczowina cieszyńska, III – jednostka śląska – płaszczowina godulska; 1 – pstre łupki i warstwy krośnieńskie, 2 – dolne łupki cieszyńskie, 3 – wapenie cieszyńskie, 4 – górnne łupki cieszyńskie, 5 – warstwy grodziskie, 6 – strefy nasunięć płaszczowin głównych i cząstkowych

W obrębie płaszczowin utwory fliszowe są w różnym stopniu sfałdowane, złuskowane i często silnie zdeformowane (rys. 199). Występują w nich liczne przesunięcia i zlustrzenia warstw. Bieg struktur fałdowych jest przeważnie zgodny z biegiem łuku Karpat i jest zbliżony do kierunku równoleżnikowego.



Rys. 199. Uproszczony przekrój geologiczny przez jednostkę śląską w rejonie Ciężkowic (na podstawie Książkiewicza M. [40]): 1 – warstwy Igockie, 2 – warstwy godulskie, 3 – warstwy istebniańskie, 4 – piaskowce ciężkowickie, 5 – warstwy hieroglifowe i łupki pstre, 6 – łupki menilitowe, 7 – warstwy krośnieńskie, 8 – strefy nasunięć i uskoków

Struktury fałdowe pocięte są licznymi uskokami, w większości o przebiegu prostopadłym lub poprzecznym do biegu fałdów. Wiele uskoków sięga znacznych głębokości i obejmuje często większe partie fliszu należącego do różnych jednostek stratygraficznych i litologicznych.

Warstwy utworów fliszowych zapadają w przeważających przypadkach w stronę sektora SW – S – SE pod kątem w granicach od kilkunastu do kilkudziesięciu stopni. Lokalnie występują znaczne zaburzenia w przestrzennym ułożeniu warstw. Są one związane z deformacjami tektonicznymi występującymi w szczególności w strefach uskoków, nasunięć i okien tektonicznych.

Utwory fliszowe zawierają gęstą sieć spękań wietrzeniowych, tektonicznych i syngenetycznych. Szczególnie silne spękania tektoniczne związane są ze strefami uskokowymi.

W obrębie poszczególnych masywów skalnych największa szczelinowatość fliszu występuje w strefie przypowierzchniowej dolin rzecznych. Jest to związane z rozluźnieniem wietrzeniowym i relaksacją naprężeń w górotworze, wywołaną rozcięciem fliszu siecią głębokich dolin. Z kolei większą szczelinowatość wykazują z reguły masywy zbudowane z flisu piaskowcowego, o dużym zaangażowaniu tektonicznym.

W obrębie Karpat fliszowych wydziela się następujące główne jednostki tektoniczne (płaszczowiny):

#### **Jednostka magurska**

Jednostka magurska występuje w południowej strefie Karpat fliszowych. W zachodniej i środkowej części łuku polskich Karpat jednostka ta dominuje obszarowo nad innymi jednostkami. W zachodniej części jest ona nasunięta na jednostkę przedmagurską, w środkowej części na jednostkę śląską, a w części wschodniej (na wschód od doliny Wisłoki) na jednostkę dukieńską. Zasięg nasunięcia wynosi około 40 km.

W obrębie jednostki magurskiej występuje kilka okien tektonicznych, w których odsłaniają się utwory przykrytych innych jednostek. Do większych należą okna: Mszany Dolnej, Szczawy, Ropy i Świątkowej.

W granicach występowania jednostki magurskiej przeważają obszary zbudowane z kompleksów fliszu piaskowcowego i piaskowcowo-łupkowego (piaskowce magurskie, warstwy inoceramowe). Liczne są też tereny z fliszem łupkowym i łupkowo-piaskowcowym.

#### **Jednostka przedmagurska i dukieńska**

W zachodniej części Karpat (do doliny Soły) jednostka ta odsłania się po północnej granicy jednostki magurskiej, na granicy z jednostką śląską. Jest ona tam wykształcona w postaci wąskiej strefy dwóch fałdowych łusek przedmagurskich.

Na wschód od doliny Soły jednostka przedmagurska chowa się pod jednostkę magurską. Ponownie odsłania się na wschód od Dukli, gdzie przechodzi w zespół kilku łusek jednostki dukieńskiej.

Na obszarze jednostki przedmagurskiej przeważają obszary zbudowane z fliszu normalnego i łupkowego.

#### **Jednostka śląska**

Jednostka ta przylega do północnej granicy jednostki podmagurskiej (dukielskiej) i magurskiej. W granicach Polski zajmuje ona pod względem obszaru występowania utworów fliszowych drugą pozycję (po jednostce magurskiej). Styl tektoniczny jednostki śląskiej zmienia się wzdłuż strefy jej występowania. W zachodniej części (do doliny Skawy) jednostka ta zbudowana jest z dwóch drugorzędnego płaszczyzn: cieszyńskiej (północnej) i nasuniętej na nią godulskiej.

Płaszczyzna cieszyńska wykształcona jest w postaci kilku łusek i odsłania się na obszarze Pogórza Śląskiego i okna tektonicznego Żywca. Przeważają w jej budowie utwory fliszu łupkowego i łupkowo-piaskowcowego, należące do łupków cieszyńskich (dolnych i górnych) i wapieni cieszyńskich, lokalnie z intruzjami zasadowymi skał wylewnych – cieszynitów.

Płaszczyzna godulska buduje dwie jednostki geomorfologiczne: Beskid Śląski i Beskid Mały. Są to dwa bloki tektoniczne rozdzielone od siebie strefą uskoku nożycowego, w których serie warstw fliszowych są słabo sfałdowane i zapadają prawie monoklinalnie w kierunku południowym.

W budowie płaszczyzny godulskiej dominujący udział mają kompleksy fliszu piaskowcowego, reprezentowanego głównie przez warstwy Igockie, godulskie, istebniańskie i krośnieńskie.

Środkową część jednostki śląskiej, od doliny Skawy, a ścisłe od poprzecznego uskoku przebiegającego przez dolinę Skawy, do doliny Dunajca tworzą dwie strefy synklinorialne, rozdzielone zaburzoną strefą lanckorońską.

Na wschód od doliny Dunajca jednostka śląska zbudowana jest z szeregu fałdów, w części brzeżnej (północnej) złuskowanych.

W środkowej i wschodniej części jednostki śląskiej rodzaj kompleksów fliszowych budujących przypowierzchniowe partie terenu jest w poszczególnych obszarach bardzo zróżnicowany.

W obrębie jednostki śląskiej występuje kilka okien tektonicznych. Do ważniejszych należą okna: Żywca, Wadowic, Lanckorony, Myślenic, Wiśniowej, Żegociny i Węglówki.

#### **Jednostka podśląska**

Jednostka podśląska rozprzestrzenia się w postaci wąskiej, silnie sfałdowanej i często złuskowanej strefy przed czołem jednostki śląskiej, lokalnie magurskiej, a miejscami jest całkowicie zakryta utworami jednostki śląskiej. W niektórych miejscach utwory tej jednostki odsłaniają się w oknach tektonicznych w obrębie jednostki śląskiej. W zachodniej części jest ona nasunięta na utwory mioceńskie Zapadliska Przedkarpackiego, a w części wschodniej na jednostkę skolską.

W budowie jednostki podśląskiej przeważają kompleksy fliszu łupkowego i łupkowo-piaskowcowego. Znaczny udział mają też niefliszowe serie pstrych margli i łupków. W rejonie Andrychowa pomiędzy utworami jednostki podśląskiej i śląskiej występują porwaki (zwane skałkami andrychowskimi) podłożem przedfliszowym: granitognejsów oraz osadowych skał jurajskich i kredowych, głównie wapieni, margli i zlepieńców.

#### **Jednostka skolska (skibowa)**

Jednostka ta występuje w północno-wschodniej części Karpat fliszowych. Składa się ona z dwóch struktur tektonicznych. Brzeżna, północna strefa jednostki jest wykształcona w postaci wąskich i stromych fałdów, często złuskowanych, tworzących formę antyklinalną. Południowa część jednostki jest formą synklinorialną, złożoną z szeregu spłaszczonych fałdów. W obrębie całej jednostki skolskiej przeważają obszary zbudowane z fliszu łupkowego i łupkowo-piaskowcowego.

#### **10.2.2.2. Pokrywa czwartorzędowa**

Na zboczach dolin rzecznych i wzgórz utwory podłożu fliszowego są praktycznie na całym obszarze Karpat przykryte pokrywą czwartorzędowych utworów zboczowych.

Utwory te są reprezentowane przez różne typy genetyczne. W każdym typie mogą występować różne rodzaje gruntów o odmiennym składzie mineralno-petrograficznym i uziarnieniu. Do głównych typów genetycznych zalicza się trzy rodzaje utworów: zwietrzeliny, koluwia i deluwia.

Zwietrzeliny są podstawowym typem genetycznym, w większości przypadków stanowiącym wyjściowy materiał pozostałych rodzajów utworów.

Wykształcenie warstwy zwietrzeliny, tak w profilu pionowym, jak i w różnych częściach danego zbocza jest z reguły zróżnicowane. Jest ono zależne od cech litologicznych i ułożenia ławic utworów fliszowych w strefie wietrzenia.

W pokrywach zwietrzelinowych rozwiniętych na łagodnie nachylonych zboczach, występują często w pełni rozwinięte, typowe profile zwietrzelinowe o ciągłym przejściu: od strefy materiału drobnoziarnistego, poprzez strefę złożoną z okruchów skalnych i materiału drobnoziarnistego, strefę okruchów skalnych, do spękanego podłoża.

Na stromych zboczach, na których zachodzi intensywna erozja deszczowa (ablacja) profile pokrywy zwietrzelinowej są często niepełne, pozbawione strefy materiału drobnoziarnistego.

Zawartość okruchów skalnych w poszczególnych częściach profilu zwietrzelinowego zależy od udziału skał twardych w macierzystym kompleksie fliszowym. Z kolei średnica tych okruchów w określonych przedziałach profilu zwietrzelinowego jest z reguły tym większa, im większą miąższość miały warstwy skał twardych. Na wartość średnicy okruchów może mieć znaczący wpływ gęstość sieci pierwotnych spękań kompleksów fliszowych (syngenetycznych i tektonicznych).

Duże zróżnicowanie pod względem uziarnienia wykazują też koluwia. Mogą być one reprezentowane przez różnego rodzaju spoiste grunty drobnoziarniste. Drugi, częsty rodzaj koluwiów w Karpatach, stanowią grunty o składzie ziarnowym odpowiadającym gruntom gruboziarnistym i gruntom kamienistym. W składzie tych koluwiów, podobnie jak w przypadku zwietrzelin, można wydzielić materiał drobnoziarnisty i okruchy skalne. Niejednokrotnie składniki te tworzą w pokrywach koluwalnych wkładki lub przewarstwienia.

U podnóża zboczy, a także w ich wyższych partiach, w obniżeniach i załomach morfologicznych występują powszechnie drobnoziarniste deluwia.

Miąższość pokrywy czwartorzędowej zbudowanej z wymienionych wyżej trzech rodzajów utworów najczęściej mieści się w przedziale 2 – 5 m, a niekiedy osiąga większe wartości dochodzące nawet do kilkunastu metrów.

W wielu rejonach Karpat fliszowych na zboczach występują grube pokrywy glin o miąższości dochodzącej lokalnie do kilkunastu metrów. Są to głównie produkty intensywnego rozwoju wietrzenia i wielu innych procesów zboczowych, jakie zachodziły w czasie zlodowaceń plejstoceńskich. Występują one szczególnie w rejonach zbudowanych z flisu o niskiej odporności na niszczące procesy surowego klimatu peryglacialnego.

W wielu miejscach, szczególnie na obszarze Pogórzy, występują ponadto grube pokrywy utworów pylasto-gliniastych zaliczanych do lessów lub glin lessopodobnych pochodzenia wietrzeniowego. Miąższość tych pokryw dochodzi miejscami do 15-20 m.

W dolinach rzek Karpackich podłoże fliszowe przykrywają czwartorzędowe osady rzeczne, fluwioglacialne, a lokalnie glacjalne. Biorą one udział w budowie systemu tarasów o zróżnicowanej budowie i genezie.

Niskie tarasy holocenejskie są przeważnie tarasami akumulacyjnymi. Ponadzalewowe tarasy plejstoceńskie są przeważnie tarasami erozyjno-akumulacyjnymi. Osady czwartorzędowe są złożone na erozyjnych cokołach fliszowych. W większości przypadków występują dwa lub trzy tarasy plejstoceńskie o wysokości przeważnie w przedziałach: 4-10 m, 15-30 m i 30-40 m ponad obecnym dnem doliny. Miejscami zachowały się utwory czwartego, najstarszego tarasu plejstoceńskiego. Są to przeważnie listwy tarasów na zboczach dolin, na wysokości dochodzącej nawet do 90 m ponad obecnym dnem doliny.

Osady rzeczne tarasów mają w ogólności budowę dwudzielną. Dolne partie są zbudowane z gruboziarnistych utworów (otoczaków, żwirów i pospółek) należących do facji korytowej, stożków napływowych itp. Utwory te są nadbudowane madami (głównie w tarasach holocenejskich) lub pokrywami gliniastymi utworów zboczowych. W strefie wylotu dolin na obszary Pogórzy tarasy wysokie są w wielu rejonach nadbudowane rozległymi plejstoceńskimi stożkami napływowymi.

Miąższość osadów dolinnych i szerokość uformowanych z nich tarasów wzrastażą generalnie z biegiem dolin i osiągają tym większe wartości im większa jest zlewnia rzeki. W dolinach większych rzek miąższość osadów rzecznych wahę się od kilku metrów w górnym odcinku do kilkunastu metrów w strefie wylotu dolin z masywu karpackiego. Większą miąższość - od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów - osiągają one w kotlinach śródgórskich (szczególnie Żywieckiej i Sądeckiej). Szerokość tarasów (den dolin) w dolnych odcinkach głównych cieków karpackich dochodzi do kilku kilometrów.

### **10.2.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE**

Region fliszowy charakteryzuje się specyficznymi warunkami hydrogeologicznymi. Jest to wynikiem zarówno budowy geologicznej jak i geomorfologii terenu. W ogólnym ujęciu wydziela się w nim dwa piętra wodonośne: czwartorzędowe i fliszowe (kredowo- trzeciorzędowe).

Wody piętra czwartorzędowego związane są głównie ze żwirowo piaszczystymi osadami rzecznymi. Zasobne poziomy wodonośne występują w osadach wypełniających doliny Małej Wisły, jej większych karpackich dopływów oraz kotliny śródgórskie. Dwanaście z tych poziomów zalicza się [28] do systemu głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP).

Przepuszczalność utworów wodonośnych jest bardzo zróżnicowana. Wartość współczynnika wodoprzepuszczalności  $k$  waha się w przedziale  $10^{-5} - 10^{-3}$  m/s, przy czym najczęściej jest rzędu  $10^{-4}$  m/s.

Poziomy czwartorzędowe w osadach rzecznego są zasilane przez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych oraz przez lateralny dopływ wód podziemnych z przyległych masywów fliszowych budujących zbocza dolin. Wody mają zwykle zwierciadło swobodne położone, w zależności od wysokości tarasów, na głębokości od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów. Przeważnie mają one bezpośrednią więź hydraliczną z wodami powierzchniowymi macierzystych cieków.

Wody występujące w zboczowych utworach czwartorzędowych przykrywających podłoże fliszowe poza dnami dolin na ogół nie tworzą ciągłych poziomów wodonośnych. Są to głównie wsiąkowe wody opadowe i wody wysącujące się miejscami z podłoża fliszowego.

Warunki hydrogeologiczne piętra fliszowego, a w szczególności wodonośność i przepuszczalność fliszu, są związane z dwoma głównymi cechami skał: porowatością i szczelinowatością. Znaczące wartości efektywnej porowatości i szczelinowatości fliszu związane są przede wszystkim z warstwami piaskowców (zlepieńców), które stanowią główny składnik wodonośny fliszu. Dlatego też największą wodonośność i przepuszczalność stwierdza się zwykle w kompleksach fliszu piaskowcowego, a najmniejszą w kompleksach fliszu łupkowego.

Ławice lub kompleksy ławic łupków w zależności od stopnia szczelinowatości, tworzą nieprzepuszczalne lub o mniejszej przepuszczalności przewarstwienia utworów wodonośnych. Spękania związane z uskokami przecinającymi całe kompleksy fliszu przeważnie tworzą połączenia hydrauliczne wielu ośrodków wodonośnych.

Ze względu na powyższe cechy hydrogeologiczne piętro fliszowe traktuje się jako jeden nieciągły poziom wodonośny, złożony z wielu ośrodków wodonośnych (zbiorników) o zróżnicowanych cechach hydrogeologicznych, połączonych ze sobą systemem mniej lub bardziej przepuszczalnych spękań szczelin.

W profilu pionowym obszaru krążenia wód poziomu fliszowego można wydzielić dwie strefy hydrogeologiczne związane ze szczelinowatością. Strefa górna, o większej wodonośności i przepuszczalności, obejmuje obszar wietrzeniowego i relaksacyjnego rozluźnienia fliszu, w którym zachodzi intensywne krążenie (wymiana) wody. Z licznych badań [8] wynika, że strefa intensywnego krążenia zwykle nie przekracza 30 - 40 m. Lokalnie, zwłaszcza w obrębie wzgórz zbudowanych z gruboławicowych warstw fliszu piaskowcowego, o dużym zaangażowaniu tektonicznym, zasięg tej strefy zwiększa się do 60 - 80 m, a w sporadycznych przypadkach może nawet przekraczać 200 m.

Poniżej strefy intensywnego krążenia zmniejsza się szczelinowość skał; maleje udział szczelin kapilarnych i nadkapilarnych. W konsekwencji tego maleje wodonośność i przepuszczalność fliszu. Krążenie wody jest utrudnione i wzrasta mineralizacja wody.

Głównym źródłem zasilania poziomu fliszowego są opady atmosferyczne infiltrujące przez pokrywę utworów czwartorzędowych, przede wszystkim zwietrzelinowych.

Podstawowy drenaż poziomu fliszowego, warunkujący główne kierunki przepływu wody w naturalnym systemie krążenia, zachodzi na dnie dolin rzecznych. Bezpośredni, liniowy element drenażu stanowią bądź koryta cieków, bądź dolinne osady rzeczne.

Na zboczach dolin wody fliszowe drenowane są przez liczne źródła, zwykle o małej wydajności [8]. W obrębie poszczególnych zboczy źródła występują na różnej wysokości, bądź rozproszone nieregularnie, bądź w postaci skupień liniowych. Liniowy układ źródeł może być związany z elementami morfologii zbocza (np. strefami podnóżów progów denudacyjnych). Często jednak jest to wynikiem występowania źródeł o charakterze zaporowym lub przelewowym na kontakcie ośrodków wodonośnych z ośrodkami nieprzepuszczalnymi lub o znacznie niższej przepuszczalności.

Zwierciadło wody w poziomie fliszowym jest miejscami swobodne, miejscami napięte. W grzbietowych partiach zboczy przeważa zwierciadło swobodne, a w obrębie dolnych części zboczy i dna dolin zwierciadło napięte.

Zróżnicowana jest też głębokość zwierciadła pod powierzchnią terenu. Największa jest w ogólności w obrębie wzgórz, gdzie może dochodzić do 20-30 m. Na zboczach dolin głębokość zwierciadła wynosi od zera (w miejscach wypływu źródeł) do kilku lub kilkunastu metrów. Na dnie dolin zwierciadło tych wód w niektórych miejscach drenażu (koryta potoków, strefy podnóża zboczy) występuje na powierzchni terenu, w innych sięga do głębokości kilku metrów. Zwykle też na dnie dolin wody poziomu fliszowego i czwartorzędowego mają wspólne zwierciadło.

Stany zwierciadła wody wykazują wyraźną reakcję na warunki infiltracyjnego zasilania. Przy czym na dnie dolin amplituda wahania zwierciadła nie jest wielka i z reguły nie przekracza 1-2 m. Większa wartość, dochodząca do kilku, a niekiedy kilkunastu metrów, występuje na zboczach dolin. Zwykle największe wahania zwierciadła wody występują w danym rejonie w obszarach zbudowanych z fliszu o małej wodonośności i przepuszczalności. Przeważnie dotyczy to flisu łupkowego, a także flisu normalnego o słabym zaangażowaniu tektonicznym.

W strefie krążenia wody poziomu fliszowego są w przeważającej części wodami słodkimi. Miejscami występują wody mineralne trzech typów: solanki (chlorkowe), szczawowe i siarkowodorowe. Solanki, występujące m.in. w Beskidzie Niskim, Wyspowym i Żywieckim, są pochodzenia reliktowego. Genezę szczawów wiąże się z nasycaniem wód infiltracyjnych dwutlenkiem węgla pochodzenia głębinowego (np. w Beskidzie Sądeckim) lub związanego z węglowodorami rejonu karpackiego. Pochodzenie siarkowodoru w wodach siarkowodorowych, powszechnych w całym regionie fliszowym, wiąże się z rozkładem siarczków i bituminami występującymi w osadach fliszowych.

#### **10.2.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

Złożona budowa geologiczna Karpat fliszowych sprawia, że w regionie tym występują liczne problemy geologiczno-inżynierskie przy realizacji zadań związanych z budownictwem i inżynierią środowiska. Najpoważniejszy problem stanowią osuwiska. Ich liczbę w tym regionie ocenia się na ponad 10 tysięcy. Są wśród nich reprezentowane wszystkie rodzaje ruchów osuwiskowych. Obszerną charakterystykę osuwisk w Karpatach fliszowych zawiera praca L. Zabuskiego i in. [70].

W zależności od lokalnego wykształcenia biernych czynników ruchów osuwiskowych (budowy geologicznej, morfologii terenu) oraz rodzaju czynników aktywnych (podcięcia zbocza, nawodnienia gruntów, statycznych lub dynamicznych obciążzeń zbocza itp.) mogą to być obrywy, osypiska (usypiska), zsuwy i spełzywanie (spływy).

Najliczniejszą grupę osuwisk stanowią, podobnie jak w innych regionach górskich, zsuwy (rotacyjne, translacyjne). One też stwarzają najczęściej problemów w zakresie oceny stanu istniejącego i prognozy stateczności zboczy oraz sposobu zabezpieczenia obszaru osuwiskowego.

Ze względu na przebieg powierzchni (strefy) poślizgu i rodzaj przemieszczanych utworów w osuwiskach Karpat fliszowych można wydzielić umownie dwa generalne rodzaje osuwisk: fliszowe i pokrywowe.

W osuwiskach fliszowych powierzchnia poślizgu lub główna jej część przebiega w obrębie utworów fliszowych. Przemieszczeniu ulega część masywu fliszowego wraz z nadległą pokrywą utworów zboczowych. Osuwiska fliszowe są zwykle osuwiskami strukturalnymi. Powierzchnia poślizgu przebiega wzdłuż powierzchni uławicenia (uwarstwienia) lub powierzchni spękań, albo wzdłuż obu tych powierzchni.

W pierwszym przypadku mamy do czynienia z osuwiskami konsekwentnymi. Na zboczach naturalnych występują one wówczas, gdy kierunek zapadania warstw jest zgodny z kierunkiem nachylenia powierzchni zbocza (zbocza konsekwentne). Mogą one również wystąpić na konsekwentnych skarpach wykopów przecinających kompleksy fliszowe wzdłuż biegu warstw.

Powierzchnie poślizgu (płaskie lub zeszodkowane) występują najczęściej w obrębie kompleksów skał miękkich, o niskiej wytrzymałości na ścinanie i podatnych na rozłasowanie oraz spadek spójności przy nawodnieniu lub też na kontakcie tych skał z innymi składnikami flisu. Dotyczy to w szczególności łupków ilastycznych, a zwłaszcza łupków pstrych. Dużą predyspozycję do poślizgów

wykazują powierzchnie uwarstwienia w rejonie silnych zaburzeń tektonicznych, wzdłuż których występowały w przeszłości przesunięcia lub złuskowania fałdów.

Osuwiska fliszowe, w których poślizg następuje wzdłuż powierzchni spękań mogą się rozwijać w zasadzie przy dowolnym ułożeniu warstw w stosunku do kierunku nachylenia powierzchni zbocza. Odszczytowanie i przesunięcia mogą wykorzystywać spękania wietrzeniowe, syngenetyczne i tektoniczne. Największą jednak rolę w tym względzie odgrywają spękania tektoniczne. Mogą to być spękania (cios) związane z pofałdowaniem warstw, szczególnie silnie rozwinięte w przegubach fałdów oraz spękania występujące w strefach złuskowań, uskoków, nasunięć i okien tektonicznych. Niejednokrotnie poślizg zachodzi po powierzchni uskokowej.

Na zboczach subsekwentnych o kierunku zapadania warstw poprzecznym w stosunku do kierunku nachylenia zbocza mogą się tworzyć osuwiska, w których poślizg następuje częściowo po powierzchni uwarstwienia, a częściowo po powierzchni spękań.

Wśród osuwisk pokrywowych występują zarówno ruchy translacyjne, jak i ruchy rotacyjne. W pierwszych (strukturalnych) poślizg następuje najczęściej wzdłuż powierzchni granicznej pomiędzy pokrywą utworów zboczowych i podłożem fliszowym. Powierzchniami poślizgu mogą też być powierzchnie rozdzielające dwa rodzaje utworów zboczowych, np. zwietrzeliny i deluwia. Osuwiska rotacyjne, w zależności od wykształcenia pokrywy zboczowej, mogą się rozwijać w obrębie jednego rodzaju utworów zboczowych lub obejmować cały pakiet różnych utworów.

Na zboczach Karpat fliszowych liczne są zarówno osuwiska czynne, jak i ustabilizowane. Te pierwsze, nie licząc ciągłych spełzywań, zwykle uaktywniają się po wystąpieniu sprzyjających warunków: głównie długotrwałych opadów lub erozyjnych i sztucznych podcięć zboczy. Pod działaniem tych i innych czynników stale też przybywa nowych osuwisk na zboczach dotychczas statecznych. Znamienny był w tym względzie rok 1997.

Wśród osuwisk ustabilizowanych, z natury rzeczy o dużej predyspozycji do odnowienia się ruchów, wiele powstało w dawnych okresach geologicznych. Często są to osuwiska w obrębie fliszu, z głęboko położonymi powierzchniami poślizgu.

Osuwiska stwarzają w regionie Karpat fliszowych poważne problemy w zagospodarowaniu terenu oraz przy realizacji i eksploatacji wielu obiektów budowlanych. Wynikają one z kilku powodów.

W dużym stopniu przyczyna tego tkwi w masowym występowaniu osuwisk na terenie całego regionu (przy zróżnicowanej koncentracji ruchów w obrębie poszczególnych jednostek geomorfologicznych). Istotną rolę odgrywa również duża predyspozycja utworów budujących zbocza karpackie do utraty stateczności. Powoduje to, że na wielu zboczach, dotychczas stabilnych, istnieje potencjalne zagrożenie powstania osuwisk przy wystąpieniu czynnika aktywnego, niekiedy nawet niezbyt intensywnego.

Inna przyczyna problemów związanych z osuwiskami wiąże się z trudnościami przy opracowaniu dokładnej oceny stateczności zbocza. Odnosi się to zarówno do oceny stanu istniejącego, jak i prognozy stateczności zboczy dotychczas stabilnych. Wymaga to bowiem przeprowadzenia z reguły długotrwałych i kosztownych badań, często wymagających zastosowania wysoko specjalistycznych metod rozpoznawczych. Dotyczy to w szczególności rozpoznania potencjalnych stref przemieszczeń w podłożu fliszowym.

I wreszcie kwestia najistotniejsza. Stabilizacja zboczy osuwiskowych jest zadaniem wyjątkowo trudnym, niekiedy wykraczającym poza realne możliwości bądź ze względów ekonomicznych, bądź też ze względów technicznych.

Najwięcej przypadków problemów geotechnicznych związanych z osuwiskami występuje przy budowie i eksploatacji dróg. W licznych przypadkach osuwiska stanowią zagrożenie dla wiejskich zabudowań gospodarskich, a także dla innych obiektów budowlanych, lokalizowanych na zboczach, a często i u podnóża zbocza. Nie bez znaczenia są też szkody jakie powodują osuwiska w lasach i uprawach rolnych.

Szczególne nagromadzenie problemów geologiczno-inżynierskich pojawia się przy budowie i eksploatacji zbiorników wodnych w tym regionie. W pierwszym rzędzie jest to problem stateczności zapory. Zagrożeniem dla stateczności obiektu mogą być w szczególności osuwiska w strefie przyczółków zapory, przesunięcia poziome zapory po powierzchni spękań i złustrowań oraz nierównomierne osiadania podłoża w obrębie poszczególnych skał fliszowych i w strefach spękań.

W strefach silnego spękania skał może wystąpić nadmierna filtracja wody ze zbiornika pod korpusem lub przyczółkami zapory. Niezależnie od niekorzystnych skutków hydrogeologicznych

(ucieczki wody ze zbiornika, podtopienia przyległych terenów), zjawisko to stanowi czynnik zagrażający stateczności zapory. Wynika stąd problem badań przepuszczalności (wodochłonności) podłoża i odpowiedniego uszczelnienia górotworu.

Istotny problem stanowią zagrożenia stateczności zboczy zbiornika i położonych w ich obrębie obiektów budowlanych. Przyczyną zagrożeń są głównie osuwiska związane z powstaniem zbiornika: podniesienie poziomu wód podziemnych w obrębie zboczy oraz podcięcia abrazyjne brzegów zbiornika.

W wielu przypadkach dla uniknięcia tych zagrożeń zachodzi konieczność zmiany pierwotnej koncepcji zbiornika, co do lokalizacji lub technicznych rozwiązań zapory lub obiektów towarzyszących.

Inny problem geologiczno-inżynierski w Karpatach fliszowych, wynikający z morfologii regionu, stanowi erozja deszczowa i rzeczna. Wynikiem pierwszej jest dostarczanie do rzek w czasie wzmożonych opadów atmosferycznych znacznej ilości rumowiska unoszonego i zawieszonego, pochodzącego z erozji gleb.

W skład tego rumowiska wchodzą, oprócz składników mineralnych, znaczne ilości części organicznych oraz nawozów i środków ochrony roślin. Jest to jedno z podstawowych ognisk zanieczyszczeń wód powierzchniowych.

Skutkiem bocznej erozji rzecznej są liczne, opisane wyżej ruchy osuwiskowe. Erozyjne pogłębianie koryt rzecznych, oprócz ujemnego wpływu na różnego rodzaju budowle hydrotechniczne, powoduje stopniowe obniżanie się zwierciadła wód podziemnych drenowanych przez rzeki.

## ZESPÓŁ II

### 10.3. TATRY

#### 10.3.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY

Tatry stanowią południową część Karpat wewnętrznych na terenie Polski. Jest to najwyższa jednostka geomorfologiczna w całej strukturze karpackiej. Tworzą one łańcuch górski o szerokości około 17 km, rozciągający się równoleżnikowo na długości około 55 km.

Tatry mają wyjątkowo urozmaiconą rzeźbę terenu. Grzbiety i wzniesienia górskie o stromych stokach i w większości przypadków ostrych szczytach, pocięte są licznymi głębokimi dolinami potoków. Jest to wynikiem przede wszystkim deformacji tektonicznych i zróżnicowanej podatności skał na procesy erozyjne. Znaczącą rolę odegrały w tym względzie zjawiska związane z plejstoceńskimi lodowcami górskimi.

W polskiej części Tatr wydziela się dwie główne jednostki: Tatry Wysokie i Tatry Zachodnie. Każda z tych jednostek ma bardzo złożoną i zróżnicowaną rzeźbę. Wysokość szczytów w obrębie Tatr Zachodnich dochodzi do około 2248 m n. p. m. (Bystra), a w obrębie Tatr Wysokich do 2499 m n. p. m. (Rysy).

#### 10.3.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

##### 10.3.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe

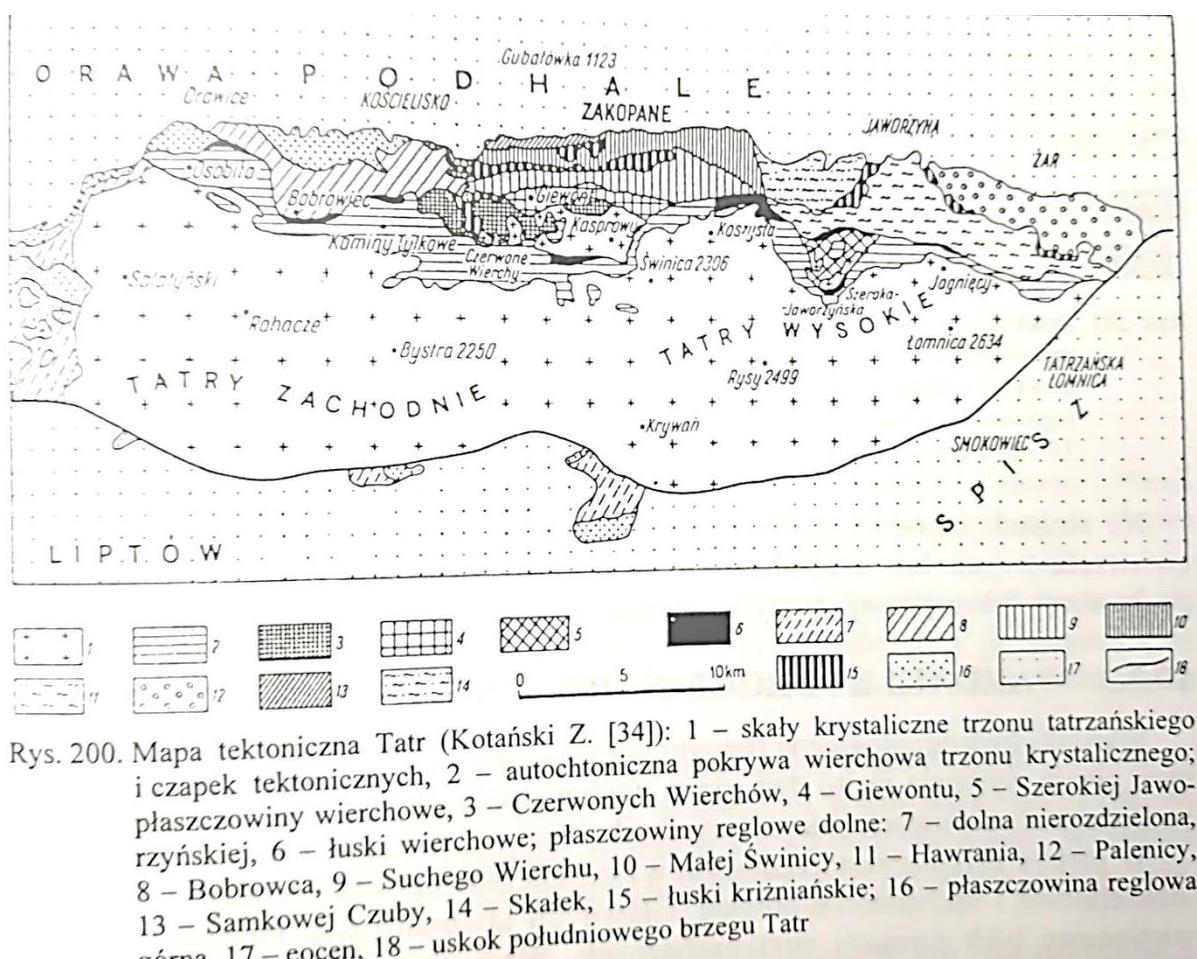
Podłoże przedczwartorzędowe Tatr stanowią skały o dużym zróżnicowaniu pod względem genezy, wieku i tektoniki.

Południową część Tatr tworzy paleozoiczny trzon krystaliczny złożony ze skał magmowych (granity, granodioryty, tonality) i metamorficznych (różne odmiany gnejsów, amfibolity i łupki krystaliczne). Skały te występują również lokalnie po północnej stronie trzonu krystalicznego w postaci czapek przykrywających młodsze skały osadowe.

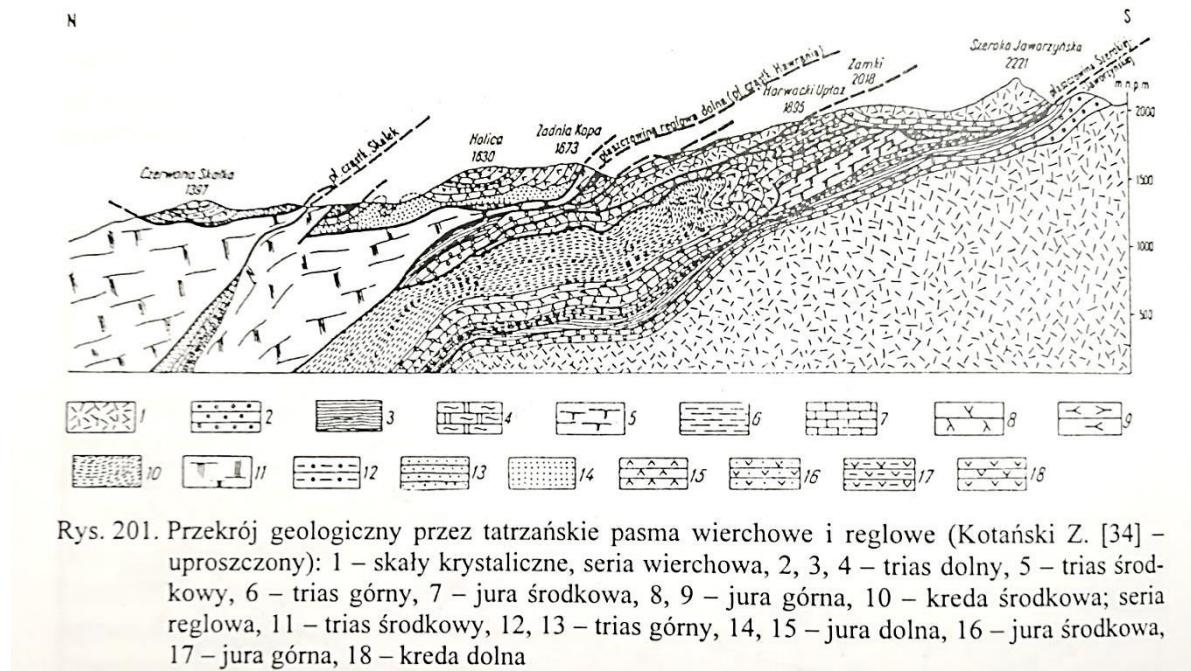
Północną część Tatr budują skały osadowe powstałe w okresie od triasu po starszy eocen. Najliczniej reprezentowane są wapienie i dolomity. Prócz nich występują zlepieńce, piaskowce, łupki i margele.

W czasie ruchów górotwórczych skały pokrywy osadowej zostały silnie sfałdowane, odkłute od podłoża i ponasuwanie na siebie w formie płaszczyzn. W obrębie tych struktur tektonicznych wydziela się dwie główne płaszczyzny, nasunięte z południowego rejonu Tatr, w znacznej części z obszaru położonego po południowej stronie trzonu krystalicznego: wierzchową i reglową.

Płaszczyzna południowa – wierzchowa – spoczywa na trzonie krystalicznym i autochtonicznej osadowej osłonie mezozoicznej trzonu krystalicznego. Płaszczyzna północna – reglowa – nasunięta jest na osady płaszczyzny wierzchowej. Płaszczyzny główne składają się z wielu wtórznych jednostek strukturalnych: płaszczyzin, łusek, czapek tektonicznych (rys. 200, 201).



Region tatrzański cechuje wyjątkowo złożona budowa geologiczna. W całym regionie utwory skalne są silnie spękane, z licznymi przesunięciami i zlustrzeniami. Warstwy skał osadowych budujących poszczególne serie (płaszczowiny) wykazują dużą lokalną zmienność pod względem układu przestrzennego. W skałach weglanowych występuje silnie rozwinięty kras.



Rys. 201. Przekrój geologiczny przez tatrzańskie pasma wierzchowe i reglowe (Kotański Z. [34] – uproszczony): 1 – skały krystaliczne, seria wierzchowa, 2, 3, 4 – trias dolny, 5 – trias środkowy, 6 – trias górny, 7 – jura środkowa, 8, 9 – jura góra, 10 – kreda środkowa; seria reglowa, 11 – trias środkowy, 12, 13 – trias górny, 14, 15 – jura dolna, 16 – jura środkowa, 17 – jura góra, 18 – kreda dolna

### 10.3.2.2. Utwory czwartorzędowe

Utwory czwartorzędowe występują głównie w obrębie polodowcowych rynien morfologicznych (żłobów) i dolin potoków.

Na zboczach tych rynien i dolin występują stożki usypiskowe i piargi zbudowane z rumoszu skalnego oraz pokrywy gruzowo-gliniastych utworów morenowych. Na dnie dolin potoków występują pokrywy otoczaków i gruboziarnistych żwirów rzeczno-lodowcowych.

Na stokach łagodnie nachylonych występują pokrywy utworów zwietrzelinowych lub soliflukcyjnych. Strome stoki górskie są przeważnie pozbawione pokryw zwietrzelinowych lub występują tylko cienkie, nieciągłe pokrywy tych utworów.

### 10.3.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Warunki hydrogeologiczne regionu tatrzańskiego są słabo rozpoznane. W ogólnym ujęciu wydziela się tu dwa piętra wodonośne: piętro przedczwartorzędowego podłoża skał osadowych (triasu, jury, kredy i eocenu) oraz piętro czwartorzędowe.

W piętrze przedczwartorzędowym występują głównie wody krasowe, krasowo-szczelinowe i szczelinowo-porowe. Głównymi utworami wodonośnymi są skały węglanowe tych formacji stratygraficznych.

Wody tego piętra traktuje się jako jeden nieciągły poziom wodonośny, złożony z wielu zbiorników, przeważnie połączonych ze sobą hydraulicznie za pomocą systemu spękań. W obrębie poszczególnych zbiorników zwierciadło wody jest przeważnie napięte.

Wody piętra przedczwartorzędowego występujące w przypowierzchniowej strefie intensywnego krążenia są drenowane przez doliny potoków tatrzańskich. Część wód, biorących udział w powolnym krążeniu, zasila dolny poziom wodonośny piętra trzeciorzędowego Niecki Podhalańskiej.

Piętro czwartorzędowe tworzą utwory polodowcowe, rzecznolodowcowe i rzecze. Występują w nich wody o swobodnym zwierciadle, zasilane infiltracją opadów i dopływem bocznym z piętra przedczwartorzędowego. Wody te są drenowane przez koryta potoków i w większości przypadków są w bezpośredniej więzi hydraulicznej z wodami cieków powierzchniowych.

#### **10.3.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

W rejonie tatrzańskim, stanowiącym Park Narodowy i podlegającym z tego powodu szczególnej ochronie, zagospodarowanie obiekktami budowlanymi ma ograniczony zakres. Obejmuje ono w zasadzie tylko lokalnie obiekty sportowo-turystyczne jak wyciągi, schroniska, narciarskie trasy zjazdowe i trasy pieszego ruchu turystycznego.

Przy budowie i eksploatacji tych obiektów najistotniejszy problem może stanowić zapewnienie stateczności podłoża skalnego. Niekorzystne warunki w tym względzie wiążą się z dużym nachyleniem stoków, deformacjami tektonicznymi (sfałdowania, zlustrzenia, spękania) i skrasowaniem skał węglanowych.

Niekiedy znaczne zagrożenia i utrudnienia mogą być związane z obrywami i osypiskami.

### **ZESPÓŁ III**

#### **10.4. NIECKA PODHALAŃSKA**

##### **10.4.1. Rys geomorfologiczny**

Niecka Podhalańska stanowi obniżenie tektoniczne pomiędzy Tatrami i Pieninami. Składa się ona z dwóch głównych jednostek geomorfologicznych: Rowu Podtatrzańskiego i Pogórza Gubałowskiego.

Rów Podtatrzański zajmuje południową część jednostki, rozciągającą się równoleżnikowo u podnóża Tatr. Stanowi on formę obniżoną w stosunku do Pogórza Gubałowskiego w wyniku erozyjnej działalności potoków tatrzańskich i procesów denudacyjnych.

W jego skład wchodzi kilka kotlin poprzedzielanych poprzecznymi grzbietami. Powierzchnie terenu w obrębie kotlin są przeważnie wyrównane, nachylone ku północy i wznoszą się na wysokość w przedziale 800 – 950 m n. p. m. Wysokość terenu w obrębie grzbietów rozdzielających kotliny mieści się przeważnie w przedziale 900 – 1150 m n. p. m.

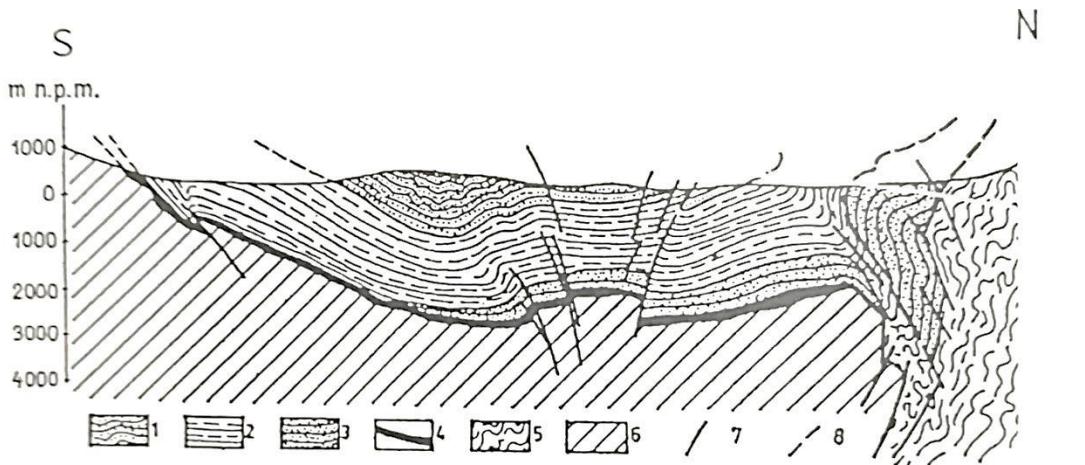
Pogórze Gubałowskie rozciąga się po północnej stronie Rowu Podtatrzańskiego pasem o szerokości dochodzącej do około 14 km. Jest to forma o charakterze wału górskego, rozciętego poprzecznie dolinami potoków tatrzańskich na kilka działów. Powierzchnia terenu w jego obrębie wznosi się do wysokości około 1200 m n. p. m. w części południowej Pogórza i opada w kierunku północnym do wysokości około 800 m przy granicy z Pieninami.

##### **10.4.2. BUDOWA GEOLOGICZNA**

###### **10.4.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe**

Przedczwartorzędowe podłoże Niecki tworzą osady trzeciorzędowe, eoceanicko - oligoceńskie. Spągową część tych utworów stanowi kompleks zlepieńców, dolomitów, wapieni i margli. Ponad nimi występuje seria piaskowcowo-lupkowych osadów określanych jako flisz podhalański.

Utwory te tworzą rozległą, płaską synklinę o przebiegu równoleżnikowym. W obrębie dna i południowego skrzydła Niecki spoczywają one na skałach osadowych należących do tatrzańskiej serii reglowej (rys. 202). W strefie północnego skrzydła Niecki przylegają do utworów Pienin. Miąższość całej serii osadów trzeciorzędowych w Niegocie wahana się w granicach od około 1500 m w części zachodniej do około 2000 m w części wschodniej.



Rys. 202. Przekrój geologiczny przez Nieckę Podhalańską (Mastella L. [z:] Stupnicka E. [63] – nieznacznie zmieniony): 1 – flisz serii chochołowskiej, 2 – flisz serii zakopiańskiej, 3 – flisz serii szafalarskiej, 4 – zlepieńce i wapienie serii numulitowej, 5 – pieniński pas skałkowy, 6 – utwory tatrzańskiej serii reglowej, 7 – uskoki, 8 – kontakt pienińskiego pasa skałkowego z fliszem podhalańskim

W środkowej części synkliny warstwy nie wykazują dużych zaburzeń tektonicznych i zapadają pod małym kątem, z reguły nie przekraczającym  $10^{\circ}$ . Bardziej strome ułożenie warstw występuje w strefach przy południowej i północnej granicy niecki, gdzie serie skalne są wygięte ku górze. Silniejsze zaburzenia i dyslokacje tektoniczne występują jedynie w strefie przyległej do Pienin.

#### 10.4.2.2. Pokrywa czwartorzędowa

Pokrywę czwartorzędową na obszarze Niecki Podhalańskiej tworzą prawie równorzęduśnie dwa rodzaje utworów: utwory fluwioglacialne i rzeczne oraz utwory zboczowe.

Główny składnik utworów fluwioglacialnych i rzecznych stanowią osady żwirowo-piaszczyste rozległych i zazębających się stożków napływowych (pokryw fluwioglacialnych), usypanych w plejstocenie przez liczne potoki tatrzańskie w trzech głównych fazach zlodowacenia Tatr.

Utwory te poza Kotliną Kościeliską wyścielają doliny potoków wypływających z Tatr gdzie tworzą trzy systemy włożonych w siebie pleistoceńskich tarasów akumulacyjnych, wznoszących się ponad obecne koryta potoków na wysokość w granicach: 8-15 m, 15-35 m i 40-50 m. Prócz tego pokrywają one znaczne tereny wierzchowinowe pomiędzy dolinami tych potoków, zwłaszcza w obrębie Rowu Podtatrzańskiego.

W otoczeniu koryt potoków występują ponadto holocene żwirowo-piaszczyste osady rzeczne, tworzące tarasy zalewowe o wysokości 1-2 m ponad dnem koryt oraz 3-4 metrowej wysokości tarasy ponadzalewowe.

Utwory zboczowe występujące na stokach dolin i wzniesień są reprezentowane przede wszystkim przez gliniasto-rumoszowe zwietrzeliny fliszu podhalańskiego. Na większości stoków grunty zwietrzelinowe podlegały procesom soliflukcyjnym, głównie w plejstocenie. Lokalnie, zwłaszcza we wschodniej części Niecki, pokrywę zboczną tworzą koluwia rozwinięte na gruntach zwietrzelinowych.

#### 10.4.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W obrębie Niecki Podhalańskiej wydziela się dwa piętra wodonośne: trzeciorządowe i czwartorzędowe.

Na piętro trzeciorządowe składają się dwa poziomy wodonośne. Poziom dolny związany jest z kompleksem skał węglanowych i zlepieńców podścielających serię fliszu podhalańskiego. Występują

w nim wody szczelinowe i szczelinowo-krasowe typu artezyjskiego lub subartezyjskiego. Są one zasilane głównie wodami podziemnymi dopływającymi z masywu tatrańskiego oraz częściowo przez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych w wąskiej strefie wychodni skał wodonośnych tego poziomu, przebiegającej wzduł północnej granicy Tatr. Wody te nie biorą udziału w intensywnym krążeniu. Na przeważającej części Niecki, z wyjątkiem strefy przytatrańskiej, są to wody termalne o temperaturze dochodzącej do 80 °C.

Poziom górny w piętrze trzeciorzędowym tworzą utwory flisz podhalańskiego. Pod względem cech hydrogeologicznych poziom ten jest podobny do poziomu fliszowego w Karpatach zewnętrznych, opisanego w rozdz. 10.2.3.

Składa się on z wielu zbiorników lokalnie oddzielnych, przeważnie jednak połączonych ze sobą hydraulicznie za pomocą systemu spękań. Głównym ośrodkiem wodonośnym są warstwy piaskowców. Występują w nim wody szczelinowe i szczelinowo-porowe o zwierciadle przeważnie napiętym. Skupiają się one w przypowierzchniowej strefie wietrzeniowego i relaksacyjnego rozluźnienia flisz, sięgającej do głębokości kilkudziesięciu metrów. W niższych partiach serie fliszowe są nieprzepuszczalne i stanowią kompleks oddzielający poziom górny od poziomu dolnego.

Wody poziomu fliszowego zasilane są przez wody opadowe infiltrujące przez pokrywy czwartorzędowe. Biorą one udział w intensywnym krążeniu i są drenowane przez koryta potoków.

Wodonośne piętro czwartorzędowe tworzą osady fluwioglacialne i rzeczne. Główne, zasobne poziomy wodonośne występują w tych utworach wypełniających doliny rzeczne. Mniejszą zasobność mają poziomy związane z pokrywami żwirowo-piaszczystymi występującymi na terenach wierzchowinowych, pomiędzy dolinami potoków.

Utwory wodonośne tych poziomów cechują się dużą przepuszczalnością. Występujące w nich wody mają przeważnie zwierciadło swobodne, które lokalnie wykazuje znaczne wahania dochodzące do kilku metrów.

Praktycznie wszystkie poziomy wodonośne piętra czwartorzędowego są drenowane przez koryta cieków powierzchniowych. Przy czym wody występujące w poziomach tarasów niskich mają zwykle bezpośrednią więź hydrauliczną z wodami powierzchniowymi.

Wody poziomów żwirowo-piaszczystych mają połączenia hydrauliczne z wodami poziomu fliszowego. Polegają one bądź na bezpośrednim kontakcie tych wód i wspólnym zwierciadle (sytuacja taka występuje zwykle na dnie dolin rzecznych), bądź też na infiltracji wód z pokrywy żwirowo-piaszczystej do podłoża fliszowego.

Wody podziemne występują również w pokrywie utworów zboczowych. Przeważnie jednak nie tworzą one ciągłych poziomów wodonośnych. Są to głównie wody opadowe infiltrujące do głębszych partii podłoża skalnego, a lokalnie wody wypływające z poziomu fliszowego na powierzchnię terenu w postaci źródeł lub wysięków.

#### **10.4.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

Na obszarze Niecki Podhalańskiej znaczący problem geologiczno-inżynierski mogą stanowić lokalnie osuwiska. Rozwijają się one głównie w rejonach wychodni flisz podhalańskiego, przeważnie w obrębie gliniasto-rumoszowych zwietrzelin, a miejscami również w obrębie łupkowych i łupkowo-piaskowcowych serii fliszowych.

Większość osuwisk występuje we wschodniej części rejonu podhalańskiego i głównie na stokach Pogórza Gubałowskiego. Liczne są też osuwiska w strefie granicznej Niecki z Tatrami i Pieninami.

### **ZESPÓŁ IV**

#### **10.5. PIENINY**

##### **10.5.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY**

Pieniny, w literaturze geologicznej nazywane powszechnie Pienińskim pasem skałkowym, stanowią wąskie, łukowe pasmo górskie o szerokości nie przekraczającej kilku kilometrów. Na obszarze Polski rozdzielają one Karpaty fliszowe od Niecki Podhalańskiej.

Pod względem geomorfologicznym jest to obszar wykształcony w postaci stromych wzgórz zbudowanych z twardych skał (głównie wapiennych), wypiętrzających się z osłony innych formacji skalnych o mniejszej odporności na wietrzenie i erozję.

W części zachodniej skałki wapienne tworzą szereg izolowanych wzgórz o wysokości dochodzącej do około 775 m n. p. m. W części wschodniej skałki tworzą grzbiet górski o wysokości wzgórz dochodzącej do około 1050 m n. p. m., rozdzielony przełomową doliną Dunajca na trzy mniejsze jednostki: Pieniny Spiskie, Pieniny i Małe Pieniny.

Tereny osłony skałek stanowią obszary o znacznym stopniu zrównania denudacyjnego. Powierzchnia w ich obrębie obniżona jest w stosunku do szczytów skałek od około 100 m w części zachodniej pasa, do około 200 m w części wschodniej.

## 10.5.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

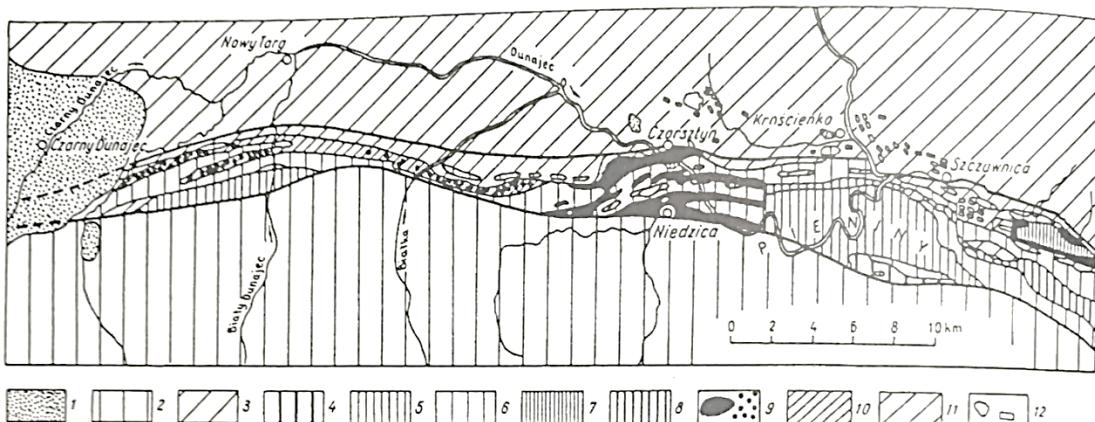
### 10.5.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe

W budowie przedczwartorzędowego podłoża Pienin biorą udział utwory z okresu jury, kredy i trzeciorzędu.

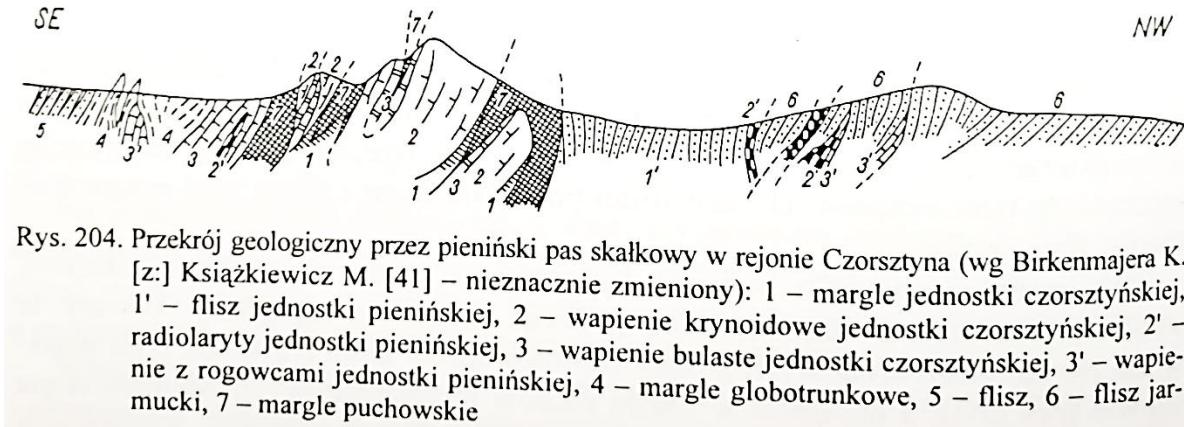
Wzniesienia skałkowe zbudowane są z twardych, odpornych na procesy denudacyjne utworów z okresu jury i dolnej kredy: wapieni, rogoców i radiolarytów, z przewarstwieniami margli, łupków marglistycznych, łupków i piaskowców. W wykształceniu litologicznym tych utworów widoczna jest duża analogia do mezozoicznych serii tatrzańskich.

W osłonie skałkowej występują podatniejsze na denudację zlepieńce, piaskowce, margle i łupki górnej kredy i starszego trzeciorzędu, w znacznej części o charakterze fliszu. Utwory te, zwłaszcza z formacji trzeciorzędowej, mają cechy zbliżone do trzeciorzędowych serii fliszu podhalańskiego i fliszu serii magurskiej Karpat fliszowych.

Cały kompleks utworów budujących skałki i ich osłonę ma podobną, złożoną strukturę tektoniczną, ukształtowaną podczas orogenezy alpejskiej. Utwory te w trakcie fałdowań kredowych zostały uformowane w kilka jednostek typu płaszczyzin (rys. 203), a następnie w czasie ruchów trzeciorzędowych zdeformowane w strome fałdy i łuski, zgniecone i powyciskane w formie diapirów, a miejscami obniżone (rys. 204).



Rys. 203. Mapa tektoniczna pienińskiego pasa skałkowego (wg Birkenmajera K. [z:] Książkiewicz M. [40] – nieznacznie zmieniona): 1 – słodkowodne utwory mioceńskie, 2 – flisz podhalański, 3 – flisz serii magurskiej, 4 – jednostka haligowiecka, 5 – jednostka pienińska, 6 – jednostka braniska, 7 – jednostka niedzicka, 8 – jednostka czertezicka, 9 – jednostka czorsztynska, 10 – margle puchowskie, 11 – warstwy jarmuckie, 12 – intruzje andezytowe



Rys. 204. Przekrój geologiczny przez pieniński pas skałkowy w rejonie Czorsztyna (wg Birkenmajera K. [z:] Książkiewicz M. [41] – nieznacznie zmieniony): 1 – margle jednostki czorszyńskiej, 2 – wapienie krynowodne jednostki czorszyńskiej, 2' – radiolaryty jednostki pienińskiej, 3 – wapienie bulaste jednostki czorszyńskiej, 3' – wapienie z rogowcami jednostki pienińskiej, 4 – margle globotrunkowe, 5 – flisz, 6 – flisz jarucki, 7 – margle puchowskie

Wśród tych struktur występują liczne uskoki, okna i czapki tektoniczne oraz zlustrowania towarzyszące przesunięciom i złuskowaniom. Wewnętrzne uskoki dzielą pas skałkowy na wiele bloków. W poszczególnych blokach i innych strukturach warstwy zapadają przeważnie w kierunku południowym, przy kacie upadu w granicach  $45^{\circ}$ - $90^{\circ}$ . Uskoki zewnętrzne oddzielają masyw pasa skałkowego po stronie północnej od flisz płaszczowiny magurskiej, a od strony południowej od flisz podhalańskiego.

W zachodniej części regionu (okolice czarnego Dunajca) na sfałdowanych i obniżonych tektonicznie utworach skałek i ich osłony występują słodkowodne utwory mioceńskie (zlepieńce, żwiry, piaski i ily). Prócz tego na całym obszarze występują lokalnie utwory plioceńskie (żwiry, piaski i ily).

W strefie północnej granicy regionu, w okolicach Czorsztyna, Krościenka i Szczawnicy, występują różne formy żyłowe andezytów, związane z głębokimi strefami uskokowymi.

### 10.5.2.2. Pokrywa czwartorzędowa

Wykształcenie utworów czwartorzędowych na obszarze wypiętrzonych skałek i pozostały części regionu jest zróżnicowane. Na wypiętrzonych skałkach przeważnie brak jest utworów czwartorzędowych, a miejscami występuje cienka pokrywa zwietrzelinowych utworów rumoszowo-gliniastych.

Na pozostałym obszarze pokrywę czwartorzędową tworzą głównie plejstoceńskie osady fluwioglacialne i rzeczne oraz współczesne osady rzeczne.

Osady plejstoceńskie zgromadzone są w stożkach napływowych potoków wypływających z Tatr i Podhala. Utwory te tworzą obecnie trzy główne plejstoceńskie tarasy akumulacyjne tych potoków, odpowiadające poszczególnym zlodowaceniom:

- taras najstarszy o wysokości dochodzącej do 90 m ponad dzisiejsze koryto potoku,
- taras średni o wysokości do 40 m,
- taras najmłodszy o wysokości do 25 m.

Główny składnik tych osadów stanowią otoczaki i żwiry, przeważnie przykryte madami i gliniastymi utworami deluwialnymi i soliflukcyjnymi.

Holoceńskie osady rzeczne tworzą dwa tarasy akumulacyjne: zalewowy o wysokości dochodzącej do około 1,5 m ponad obecne koryta potoków i ponadzalewowe o wysokości 3-5 m ponad koryta potoków. Są one reprezentowane przez żwiry przykryte madami gliniastymi.

### **10.5.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE**

W regionie tym wydziela się dwa piętra wodonośne: piętro podłoża przedczwartorzędowego, związane z utworami jurajsko-kredowo-trzeciorzędowymi i piętro czwartorzędowe.

W piętrze podłoża przedczwartorzędowego występują wody szczelinowo-krasowe i szczelinowo-porowe. Te pierwsze związane są z kompleksami wapiennymi, drugie występują w pozostałych formacjach skalnych. Wody te tworzą jeden nieciągły poziom wodonośny. Składa się on z wielu zbiorników połączonych systemami spękań.

Wodonośność i przepuszczalność poszczególnych ośrodków wodonośnych są w ogólności niskie i zróżnicowane w zależności od ich wykształcenia litologicznego i zaangażowania tektonicznego.

Zwierciadło wody występuje przeważnie na głębokości od kilku metrów w obrębie osłony skałkowej do kilkudziesięciu metrów w obrębie wzgórz skałkowych. Wody te są drenowane przez koryta cieków powierzchniowych: miejscami bezpośrednio, miejscami pośrednio przez osady czwartorzędowe, wyścielające dna dolin potoków.

Piętro czwartorzędowe tworzą żwirowo-piaszczyste osady rzeczne tarasów holoceniskich oraz osady budujące plejstoceńskie tarasy i stożki napływowe. Zwykle wody te mają kontakt hydraliczny z wodami piętra przedczwartorzędowego, a wody niskich tarasów holoceniskich bezpośredni kontakt z wodami powierzchniowymi. Zwierciadło tych wód jest przeważnie swobodne i występuje na głębokości zwykle nie przekraczającej 5 m.

### **10.5.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

Przy obecnym stanie użytkowania i powszechnym zakresie zabudowy terenu w obrębie Pienin nie obserwuje się zbyt wielu trudnych problemów geologiczno-inżynierskich. Dla budownictwa drogowego i mieszkaniowego pewne problemy mogą się wiązać z osuwiskami. Dotyczy to w szczególności zboczy otaczających wzgórz skałkowych, w których utwory kredowo-trzeciorzędowe występują bezpośrednio na powierzchni terenu lub pod pokrywą utworów zboczowych.

Większe trudności i złożone problemy geologiczno-inżynierskie wystąpiły natomiast przy budowie zespołu zbiorników wodnych Czorsztyn-Niedzica i Sromowce. Ujawniły się wówczas duża złożoność i zróżnicowanie litologiczne i tektoniczne serii skalnych oraz skrasowanie kompleksów wapiennych. Występowało także intensywne wietrzenie skał (zwłaszcza łupków i margli) odsłanianych i odprężanych w wykopach budowlanych.

W tych warunkach istniało zagrożenie utraty stateczności podłoża zapory. Stanowiło ono główną przyczynę zmiany projektu zapory zbiornika Czorsztyn-Niedzica: z zapory betonowej typu ciężkiego na zaporę ziemną z centralnym rdzeniem uszczelniającym.

## **ZESPÓŁ V**

### **10.6. ZAPADLISKO PRZEDKARPACKIE**

#### **10.6.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY**

Zapadlisko Przedkarpackie, nazywane także Przedgórzem Karpat, jest rowem (zapadliskiem) przedgórskim, powstały na przedpolu nasuniętych z południa struktur fałdowych Karpat fliszowych i rozciąga się wzdłuż północnej granicy nasunięcia karpackiego. Od strony północnej Zapadlisko ograniczają kolejno (licząc od zachodu): Sudety z Przedgórzem, Nizina Śląska, Niecka Górnosłaska, Monoklina Krakowsko-Częstochowska, Niecka Miechowska, Góry Świętokrzyskie i Niecka Lubelska.

Według podziału podanego przez M. Klimaszewskiego i in. [23] w obrębie Zapadliska wydziela się dwie główne jednostki geomorfologiczne. Część zachodnią Zapadliska tworzy Kotlina Raciborsko-Oświęcimska, a część wschodnią Kotlina Sandomierska. Granicę pomiędzy tymi kotlinami stanowi w rejonie Krakowa tzw. Brama Krakowska.

W zachodniej części Kotliny Raciborsko-Oświęcimskiej i we wschodniej części Kotliny Sandomierskiej szerokość Zapadliska jest znaczna i przekracza 50 km. W części środkowej, w rejonie Bramy Krakowskiej zwęża się do kilku kilometrów.

Pod względem hipsometrycznym prawie cały obszar Zapadliska należy do nizin. Na przeważającej części tego obszaru powierzchnia terenu wznosi się na wysokość w granicach 200–300 m n. p. m. Dominują na nim formy równinne tworzące różnych rozmiarów płaty wysoczyzn porozdzielane płaskodennymi dolinami Wisły i jej większych dopływów. W niektórych miejscach wysoczyzny rozcięte są gęstą siecią płytowych dolin rzecznych na formy pagórkowate.

Duże obszary Zapadliska zajmują dna dolin rzecznych, głównie Wisły i jej większych dopływów. Największy obszar zajmuje rozległa dolina Wisły. Przebiega ona prawie na całym odcinku Zapadliska, w przybliżeniu przy północnej granicy tej jednostki. Szerokość jej dna w obrębie Kotliny Raciborsko – Oświęcimskiej dochodzi do około 8 km, a w obrębie Kotliny Sandomierskiej do około 12 km. Spośród prawobrzeżnych dopływów Wisły znaczącą rolę w geomorfologii Zapadliska odgrywają w szczególności doliny Białej, Soły, Skawy, Raby, Dunajca, Wiśluki oraz Sanu z Wiśłokiem i Tanwią, a z lewostronnych Pszczynka i Przemsza.

## 10.6.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

### 10.6.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe

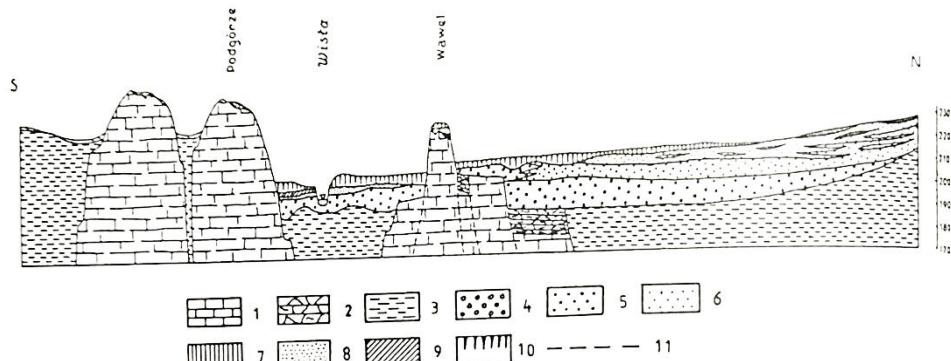
Na przeważającej części Zapadliska podłoże przedczwartorzędowe stanowią morskie osady mioceńskie. Jest to formacja złożona w głównej mierze z utworów ilastych, mułowcowych i piaszczystych, o dość zróżnicowanym stopniu zdiagenezowania. Lokalnie występują warstwy zlepieńców (lub żwirów).

Wśród tych osadów okruchowych występuje poziom osadów chemicznych. Prawie na całym obszarze Zapadliska są to wtrącenia gipsów. Większe ich skupienia, z którymi związane są złoża siarki, występują w rejonie Buska Zdroju i Tarnobrzega. W rejonie Bochni, Wieliczki i Żor występują złoża soli kamiennej, a w strefie północno-zachodniej granicy Kotliny Sandomierskiej warstwy wapieni.

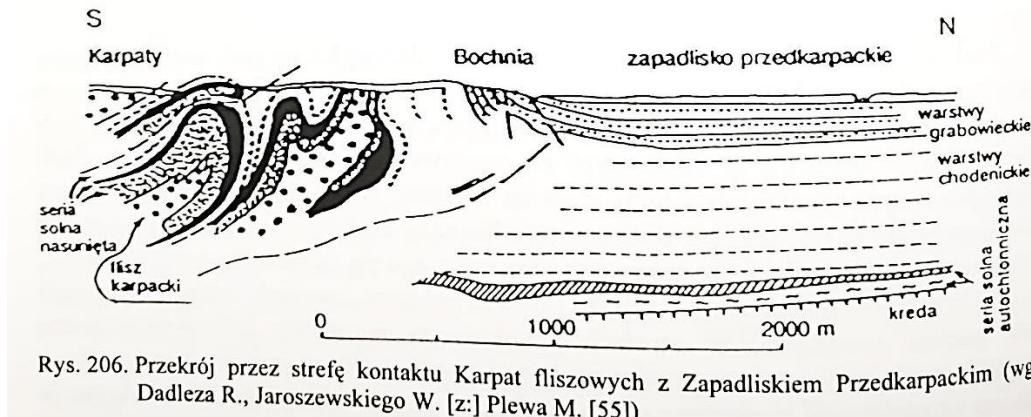
Podłoże miocenu w obrębie Zapadliska jest bardzo zróżnicowane pod względem litologii i genezy rzeźby powierzchni stropowej. Jest ono reprezentowane, w zależności od miejsca, przez różne formacje skalne: od prekambryjskich utworów krystalicznych po osadowe skały okresu kredowego.

Podstawową formę strukturalną podłoża miocenu stanowi przedgórski rów tektoniczny utworzony przez sukcesywne obniżanie się formacji budujących górskie i wyżynne regiony śródkowopolskie pod naporem nasuwającego się górotworu karpackiego.

W brzeżnych obszarach Zapadliska podłoże miocenu jest bądź wgniecone, bądź pocięte uskokami. W strefach uskokowych podłoże miocenu wykształcone jest w niektórych miejscach w postaci zrębów i rowów tektonicznych. Tego rodzaju formy są najliczniej rozwinięte w rejonie Bramy Krakowskiej (rys. 205).



Rys. 205. Przekrój przez zręby i rowy tektoniczne w rejonie Bramy Krakowskiej (wg Kmietowicz - Dratowej I. [z:] Materiały ... [47] – nieznacznie zmieniony): 1 – wapienie jurajskie, 2 – margle kredowe, 3 – ily mioceńskie, 4 – żwiry karpackie, 5 – żwiry wapienne stożka Prądnika, 6 – piaski plejstoceńskie, 7 – gliny deluwialne lessu, 8 – piaski holocene, 9 – gliny holocene, 10 – nasypy, 11 – uskoki



Rys. 206. Przekrój przez strefę kontaktu Karpat fliszowych z Zapadliskiem Przedkarpackim (wg Dadleza R., Jaroszewskiego W. [z:] Plewa M. [55])

Częste są również w północno-zachodniej części Zapadliska, na granicy z Wyżyną Śląską.

Wzdłuż południowej granicy Zapadliska utwory mioceńskie miejscami zanurzają się pod utwory fliszowe, miejscami są z nimi sfałdowane lub przylegają do czoła struktur fliszowych (rys. 206). Przy północnej granicy Zapadliska osady mioceńskie są ułożone prawie poziomo i bądź stopniowo wyklinowują się na starszym podłożu, bądź kontaktują się z nim wzdłuż powierzchni uskokowych.

Na tektoniczną rzeźbę powierzchni stropowej podłoża miocenu nałożyły się obniżenia erozyjne zarówno z czasu powstawania rowu tektonicznego, jak i po jego uformowaniu. Obniżenia te, wypełnione utworami czwartorzędowymi, tworzą obecnie liczny system dolin kopalnych. Największe i najgłębsze z nich występują w obrębie współczesnych dolin Wisły, Brynicy, Kłodnicy, Przemszy, Wiślki i Sanu oraz w obniżeniu podkarpackim i podrostoczańskim.

Miąższość osadów mioceńskich w obrębie Zapadliska jest zróżnicowana. Największą wartość osiąga w południowo-wschodniej części regionu, gdzie dochodzi do około 3000 m. W części zachodniej Zapadliska miąższość tych osadów nie przekracza kilkuset metrów. W rejonie Bramy Krakowskiej miąższość miocenu najczęściej nie przekracza kilkudziesięciu m. W obrębie zrębów tektonicznych seria osadów mioceńskich jest cienka lub brak jej zupełnie. Sytuacja taka występuje w szczególności na zrębach Bramy Krakowskiej i w strefie północnej granicy Kotliny Raciborsko-Oświęcimskiej.

#### 10.6.2.2. Pokrywa czwartorzędowa

Pokrywę czwartorzędową budują głównie trzy rodzaje utworów: rzeczne, rzecznolodowcowe i lodowcowe. Poza niewielkimi obszarami, gdzie zręby tektoniczne przedmioceńskiego podłoża wychodzą na powierzchnię terenu, utwory te tworzą ciągłą pokrywę na osadach mioceńskich. Uogólniony profil geologiczny dolnej i środkowej części pokrywy przedstawia się następująco.

Spągową część pokrywy tworzą zwykle żwiry. W niektórych miejscach, zwłaszcza w zachodniej części Zapadliska, na żwirach, a lokalnie bezpośrednio na podłożu mioceńskim, występują gliny morenowe. Prawie wszędzie na żwirach lub glinach morenowych występuje seria piasków.

Budowa stropowych partii pokrywy jest zróżnicowana i w dużej mierze związana z formą geomorfologiczną terenu. Na wysoczyznach są to przeważnie lessy lub gliny lessopodobne. Przeważnie też utwory te występują w stropie wysokich i średnich plejstoceńskich tarasów rzecznych. W dolinach rzecznych, na tarasach niskich serię piaszczysto żwirową przykrywają mady. Często są to lessopodobne gliny pochodzące z rozmycia lessów na przyległych wysoczyznach i wyższych tarasach.

W dolinach rzecznych osady czwartorzędowe tworzą system tarasów akumulacyjnych. Zwykle występują dwa tarasy plejstoceńskie i dwa tarasy holocene. Wysokość niższych tarasów plejstoceńskich mieści się najczęściej w przedziale 10-15 m ponad obecne koryta rzek, a tarasów wyższych 15-25 m. Niższe tarasy holocene mają przeważnie wysokość 1-3 m, a tarasy wyższe dochodzą do wysokości w granicach 5-10 m. W dolinach większych dopływów Wisły znaczne obszary tarasów są uformowane w obrębie osadów stożków napływowych tych dopływów.

Miąższość osadów czwartorzędowych w obrębie Zapadliska jest znaczna. Poza peryferycznymi strefami i zrębami tektonicznymi przeważnie przekracza ona kilkanaście m, a w rejonach dolin kopalnych dochodzi lokalnie nawet do około 100 m.

### **10.6.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE**

W obrębie Zapadliska najważniejsze znaczenie użytkowe mają wody podziemne piętra czwartorzędowego i mioceńskiego.

W piętrze czwartorzędowym, dominującym w zasobach wód podziemnych tego regionu, poziomy wodonośne tworzą żwirowo-piaszczyste osady zarówno w obrębie wysoczyzn, jak i w dolinach rzecznych.

Najzasobniejsze poziomy wodonośne związane są ze współczesnymi dolinami rzecznymi, a w szczególności Wisły, dolnymi odcinkami głównych dopływów Wisły: Soły, Skawy, Raby, Dunajca, Wisłoki, Sanu, Tanwi, Pszczynki, Gostyńki i Przemszy oraz dopływami Odry: Rudy, Bierawki i Kłodnicy. Miąższość utworów wodonośnych w tych strukturach wahana się w przedziale od kilku m do około 30 m.

Zasobne poziomy związane są również z dolinami kopalnymi. Miąższość warstw wodonośnych w tych poziomach dochodzi miejscami do około 40 m w Kotlinie Sandomierskiej i około 100 m w Kotlinie Raciborsko – Oświęcimskiej.

W piętrze czwartorzędowym na przeważającej części Zapadliska występuje jeden poziom wodonośny o swobodnym zwierciadle. Miejscami występują dwa, rzadziej trzy poziomy, przewarstwione utworami gliniastymi. Wody dolnych poziomów mają zwierciadło lekko napięte.

Głównym źródłem zasilania poziomów wodonośnych jest infiltracja opadów atmosferycznych. Wody te są drenowane przede wszystkim przez cieki powierzchniowe. W wielu miejscach łączą się one ze słodkimi wodami płytkich poziomów mioceńskich, a lokalnie, w obrębie zrębów tektonicznych, kontaktują się z wodami starszych formacji skalnych.

W piętrze mioceńskim utworami wodonośnymi są głównie piaski i słabo sementowane piaskowce występujące miejscami w stropie serii mioceńskiej oraz jako przewarstwienia wśród całej serii osadów ilasto – mulkowych.

Wody występujące w stropowej części serii mioceńskiej zwykle kontaktują się z wodami poziomów czwartorzędowych. Są to przeważnie wody słodkie, a miejscami - głównie w strefie południowej granicy Zapadliska - zasolone.

W głębszych przewarstwieniach wodonośnych występują przeważnie wody słone typu reliktywnego, niekiedy o bardzo wysokim stopniu zmineralizowania.

### **10.6.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

Ponadprzeciętne problemy geologiczno-inżynierskie pojawiają się w tym regionie lokalnie przy posadzaniu obiektów budowlanych zarówno w obrębie pokrywy czwartorzędowej, jak i w obrębie starszego podłoża.

W obrębie pokrywy czwartorzędowej nasilenie tego rodzaju problemów wiąże się głównie z częstym występowaniem mineralnych gruntów spoistych o wysokim stopniu plastyczności oraz gruntów organicznych (głównie namułów, a niekiedy torfów). Grunty organiczne przeważnie wypełniają liczne starorzecza w tarasach Wisły i jej dopływów.

Warunki posadowienia budowli na ilach mioceńskich komplikuje niekiedy podatność tych utworów do pęcznienia pod wpływem nawodnienia. Lokalnie może wystąpić obniżenie warunków stateczności podłoża mioceńskiego z powodu zaburzeń glacjektonicznych ilów.

Z wieloma problemami geologiczno-inżynierskimi można się spotkać w obszarach występowania powierzchniowych lub płytkich zrębów tektonicznych wapieni jurajskich (miejscami z nadkładem utworów kredowych), otoczonych ilami mioceńskimi lub pokrywą utworów czwartorzędowych.

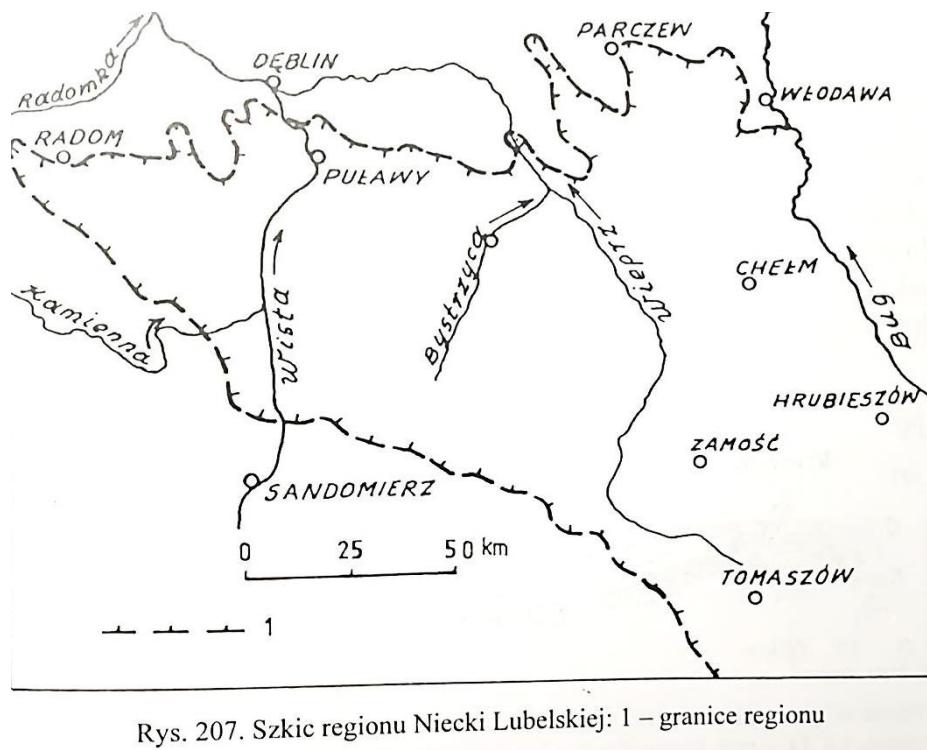
Dotyczy to w szczególności rejonów Bramy Krakowskiej i przy granicy Zapadliska z Wyżyną Śląską.

W strefach kontaktu zrębów z otaczającymi utworami należy się liczyć m. in. z warunkami wyjątkowo nierównomiernych osadów podłoża, możliwością przemieszczania się gruntów wzdłuż powierzchni uskoków. W obrębie zrębów natomiast niekorzystne właściwości geotechniczne podłoża mogą być związane ze skrasowaniem i spekaniami wapieni oraz z uskokami.

## **10.7. NIECKA LUBELSKA**

### 10.7.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY

Przyjęty w niniejszym podręczniku obszar Niecki Lubelskiej obejmuje tereny należące do Wyżyn Lubelsko-Wołyńskich, stanowiących wschodnią część pasa wyżyn środkowopolskich, zwanego też wałem metakarpackim. Granice regionu są w znacznym zakresie umowne. Pokrywają się one z ustalonym przez J. Malinowskiego [8] zasięgiem hydrogeologicznego regionu lubelsko-radomskiego (rys. 207).



Rys. 207. Szkic regionu Niecki Lubelskiej: 1 – granice regionu

Południowo-zachodnią granicę Niecki wyznacza początkowo krawędź tektoniczna o charakterze fleksur i uskoków, oddzielająca ten region od Zapadiska Przedkarpackiego. Dalszą część tej granicy wyznaczają wychodnie utworów kredowych na kontakcie z Górami Świętokrzyskimi.

Od strony północnej Niecka graniczy z Niżem Polskim. Granicę pomiędzy tymi jednostkami stanowi słabo zarysowane obniżenie denudacyjne, przebiegające od Radomia, przez Puławy, Lubartów i Parczew, do Włodawy. Wzdłuż tej linii wychodnie utworów kredowych graniczą z wychodniami osadów oligocenu. Granice wschodnia i południowo-wschodnia pokrywają się z granicą państwa, przy czym znaczna część granicy wschodniej przebiega wzdłuż doliny środkowego Bugu.

Pod względem formy geomorfologicznej Niecka jest równiną o słabo urzeźbionej, falistej powierzchni, opadającej nieregularnie i łagodnie w kierunku północno-wschodnim i północno-zachodnim. Równina porozcinana jest licznymi dolinami rzecznymi o głębokości dochodzącej do kilkudziesięciu m oraz wąwozami i jarami wyerodowanymi w pokrywie lessowej.

W najwyższej, południowo-wschodniej części równiny powierzchnia terenu wznosi się na wysokość około 390 m n. p. m., a w części najniższej, przy północnej granicy regionu, obniża się do około 200 m n. p. m.

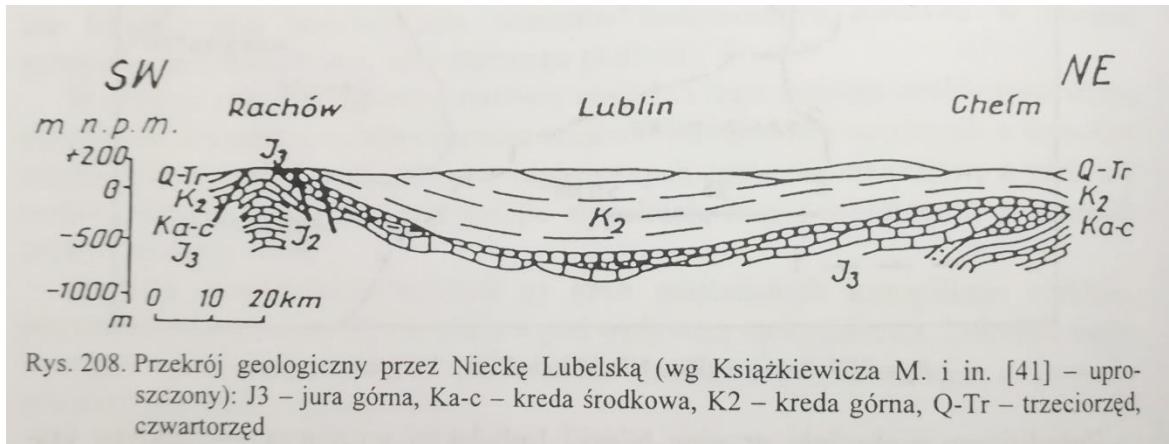
### 10.7.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

#### 10.7.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe

Na przeważającej części Niecki Lubelskiej bezpośrednie podłoże czwartorzędu stanowią utwory kredowe. W dolnej części są one wykształcone w postaci piasków i piaskowców. Wyżej występuje seria wapieni i margli z opokami i gezami.

Utwory kredowe wraz z podścielającymi je utworami jurajskimi tworzą strukturę synklinalną, nazywaną niecką lubelską (rys. 208). Jest to południowo-wschodnia część wydłużonej, wąskiej jednostki depresyjnej, powstałej w orogenezie alpejskiej, przebiegającej w kierunku NW-SE, nazywanej synkliną brzeżną lub niecką duńsko-mazowiecko-lubelską.

W północno-wschodniej i środkowej części Niecki warstwy utworów kredowych są słabo zdeformowane tektonicznie. Liczniejsze lecz niezbyt rozległe fały i fleksury oraz uskoki występują w południowo-zachodniej części regionu. Na całym jednak obszarze Niecki są one pocięte gęstą siecią spękań ciosowych, a w seriach wapiennych rozwinięty jest kras.



Utwory kredy podścielone są osadami środkowej i górnej jury. W dolnej części są to przeważnie piaskowce i mułowce, a w górnej serie wapieni.

W strefie południowo-zachodniej granicy Niecki na utworach kredowych występuje niezbyt gruba seria utworów mioceńskich. Są to wapenie, margle, słabo cementowane piaskowce, piaski i ilły. Podobnie wykształcone utwory trzeciorzędowe (mioceńskie i oligoceńskie) przykrywają podłoże kredowe w strefie północnej granicy Niecki.

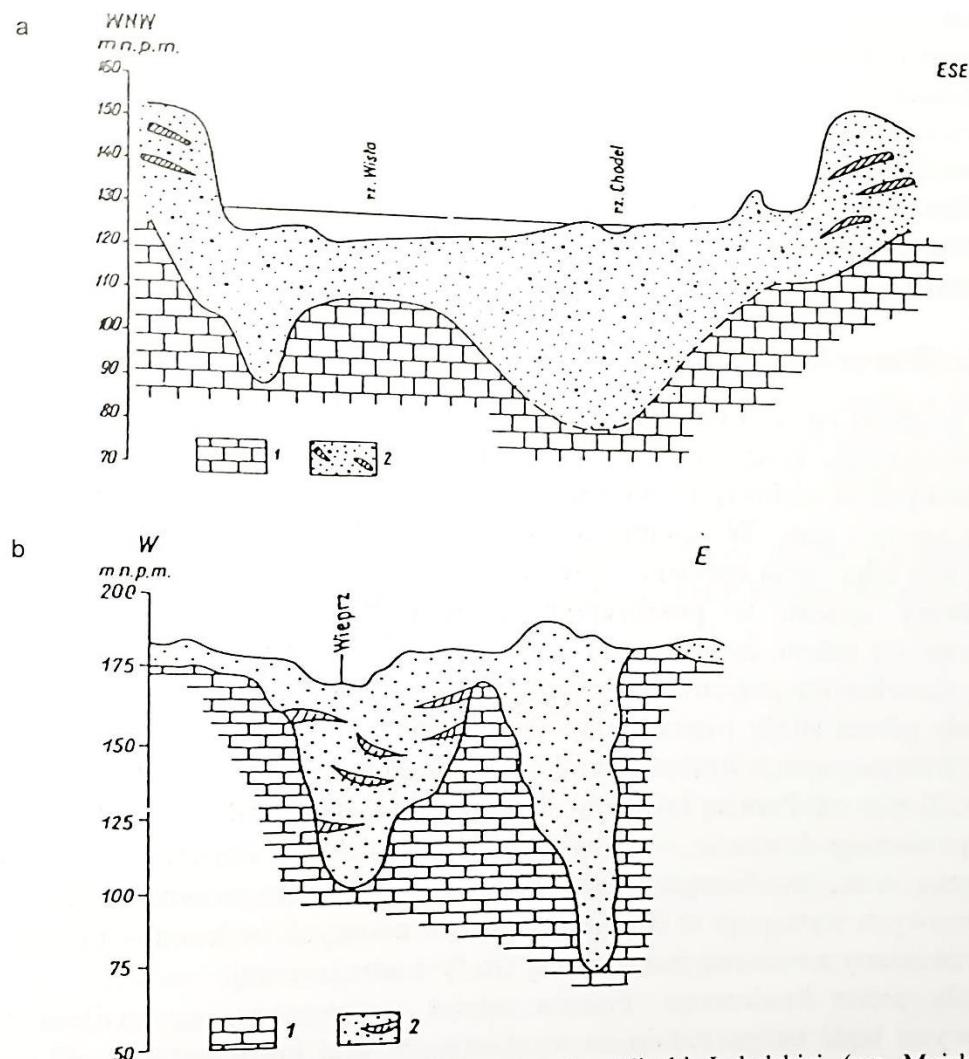
#### 10.7.2.2. Pokrywa czwartorzędowa

Na przeważającej części Niecki pokrywę czwartorzędową tworzą utwory rzeczne, rzecznolodowcowe i lodowcowe. Najlepiej rozwinięte są one we współczesnych dolinach rzecznych, w których wypełniają głęboko wcięte doliny kopalne i budują liczne tarasy.

Doliny kopalne, występujące prawie we wszystkich większych rzekach, osiągają głębokość dochodzącą zwykle do kilkudziesięciu m, a lokalnie przekraczającą 100 m. Są one wypełnione utworami piaszczysto-żwirowymi, lokalnie z przewarstwieniami gliniastymi (rys. 209).

Liczba i rozmiary tarasów akumulacyjnych w obrębie Niecki są dość zróżnicowane. W dolinach większych rzek występują zwykle dwa tarasy holoceńskie o wysokości 1,0-3,5 m ponad poziom współczesnych koryt oraz 3-4 tarasy plejstoceńskie, z których najwyższe dochodzą do około 20 m wysokości.

Głównym składnikiem rzecznych tarasów akumulacyjnych są również utwory piaszczyste i żwirowe. Na tarasach niskich są one zwykle przykryte madami, niekiedy glinami morenowymi. Na tarasach wyższych utwory piaszczysto-żwirowe są miejscami przewarstwione glinami i przykryte lessami, a lokalnie glinami morenowymi.



Rys. 209. Schematyczne przekroje przez doliny kopalne Niecki Lubelskiej (wg Mojskiego J. i Malinowskiego J. [z:] Budowa ... [8]): a) przez dolinę Wisły przy ujściu Chodła, b) przez dolinę Wieprza w rejonie Milejowa

W obszarach międzydolinnych utwory czwartorzędowe są w znacznej części reprezentowane przez osady plejstoceńskie. Tworzą one nieciągłe płaty o miąższości zwykle od kilku do kilkunastu m. Miejscami są to utwory piaszczyste, miejscami gliny. Przeważnie utwory te są przykryte grubą pokrywą lessów.

W wielu obszarach lessy występują bezpośrednio na utworach kredowych lub mioceńskich (w strefie południowo-zachodniej granicy regionu). Płaty pokryw lessowych występują w obrębie całej Niecki. Zajmują one około 30 % powierzchni tej jednostki, a ich miąższość dochodzi do kilkunastu m.

W licznych miejscach wysoczyzn występują wychodnie utworów kredowych. W obszarach tych pokrywę czwartorzędową tworzą gliniaste utwory zwietrzelinowe.

#### 10.7.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Ze względu na walory użytkowe największe znaczenie mają w tym regionie piętra wodonośne kredy, miocenu i czwartorzędu.

W piętrze kredowym utworami wodonośnymi są praktycznie wszystkie skały tej formacji: wapienie, kreda pisząca, margle, opoki i gezy. W akumulacji i przepływie wód w tych utworach pierwszorzędną rolę odgrywają spękania ciosowe i dyslokacje uskokowe.

Systemy spękań w poszczególnych skałach są połączone hydraulicznie. Przyjmuje się zatem, że kompleks utworów kredowych tworzy praktycznie jeden ciągły, szczelinowy poziom wodonośny, przeważnie o zwierciadle swobodnym.

Wody górnej strefy piętra kredowego są drenowane przez koryta rzeczne. Jest to strefa intensywnego krażenia wód słodkich, sięgająca miejscami do głębokości około 250 m p. p. t. Poniżej tej strefy, do głębokości około 500 m p. p. t., występuje strefa powolnego krażenia, również z wodami słodkimi. Poniżej występują wody zmineralizowane, nie biorące udziału w krażeniu.

Oprócz głównego poziomu wód szczelinowych występuje w stropie utworów kredowych podrzędny poziom wodonośny związany z warstwą rumoszową strefy wietrzeniowej.

Wody piętra kredowego biorące udział w krażeniu są zasilane wodami opadowymi bądź bezpośrednio na wychodniach skał kredowych, bądź pośrednio, z poziomów piętra mioceńskiego i czwartorzędowego.

Utwory wodonośne piętra trzeciorzędowego występują w strefie południowo-zachodniej granicy i w północnej części regionu. W strefie południowo-zachodniej są to wapenie, piaski, piaskowce i podrzędnie zlepieńce mioceńskie. W północnej części regionu poziom wodonośny tworzą margle piaszczyste i gezy. Wodonośność skał w obu poziomach wiąże się ze znaczną ich porowatością i spękaniami tektonicznymi.

Wody piętra trzeciorzędowego są wodami słodkimi. Są one zasilane wodami opadowymi i dopływem z poziomów czwartorzędowych, a poprzez spękania tektoniczne łączą się z wodami piętra kredowego.

W piętrze czwartorzędowym poziomy wodonośne tworzą utwory piaszczysto-żwirowe. Najzasobniejsze poziomy wodonośne występują w dolinach rzek, głównie Wisły, Bugu, Wieprza i większych ich dopływów. Dotyczy to zwłaszcza wodonośnych utworów piaszczysto-żwirowych wypełniających dna tych dolin i występujące w ich podłożu przegłębienia erozyjne i doliny kopalne.

Zasobne poziomy wodonośne tworzą też piaszczysto-żwirowe utwory budujące tarasy akumulacyjne, zarówno plejstoceńskie, jak i holocene. Mniej zasobne poziomy wodonośne tworzą plejstoceńskie utwory występujące na wysoczyznach międzydolinnych.

Na przeważającym obszarze Niecki w profilu pionowym pokrywy czwartorzędowej występuje jeden poziom wodonośny, zwykle o swobodnym zwierciadle wody. W niektórych miejscach utwory wodonośne są poprzedzielane utworami gliniastymi na dwa, rzadziej na kilka poziomów, z lekko napiętymi zwierciadłami wody.

Warunki zasilania i drenażu czwartorzędowych poziomów wodonośnych są w obrębie Niecki zróżnicowane. Poziomy wodonośne związane z dolinami rzecznymi są zasilane opadami atmosferycznymi oraz dopływem wód z poziomów kredowych, lokalnie trzeciorzędowych, a same są drenowane przez koryta tych rzek.

Na wysoczyznach są one zasilane głównie przez opady atmosferyczne, rzadziej wodami starszego podłoża. Drenowane są przez koryta rzeczne, a miejscami filtrują do poziomów starszego podłoża.

#### 10.7.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Najistotniejsze problemy geologiczno-inżynierskie w tym regionie związane są z lessami. W obszarach występowania grubych pokryw lessów, zwłaszcza lessów facji eolicznej, wiele utrudnień i szkód budowlanych wiąże się ze skłonnością tych gruntów do osiadania zapadowego. Znaczne szkody, szczególnie w gospodarce rolnej, wyrządza erozja deszczowa lessów.

Margle kredowe tego regionu cechuje duża podatność do rozlasowania i rozpadu. Z tego też powodu na stokach z wychodniami tych utworów występują gliniaste pokrywy zwietrzelin, wykazujące tendencję do zsuwów i spełzywań.

Znaczne spękania margli, opok i wapieni kredowych stwarzają korzystne warunki do zasilania piętra kredowego wodami opadowymi i z poziomów czwartorzędowych. Równocześnie jednak stwarzają one możliwości wnikania do głębszych poziomów wodonośnych zanieczyszczeń z ognisk powierzchniowych.

## ZESPÓŁ VI

### 10.8. GÓRY ŚWIĘTOKRZYSKIE

#### 10.8.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY

Region Górz Świętokrzyskich należy do wschodniej części pasma Wyżyn Śląsko-Małopolskich. Od strony północno-wschodniej graniczy on z Niecką Lubelską, a od strony południowo-zachodniej, w przybliżeniu wzdłuż linii Busko Zdrój – Małogoszcz – Przedbórz, z Niecką Miechowską. Po stronie południowej przylega do wschodniej części Zapadiska Przedkarpackiego (Kotliny Sandomierskiej). Granica północna jest morfologicznie słabo zarysowana. Wyżynny obszar Górz Świętokrzyskich przechodzi w tym kierunku łagodnie w równinę należącą do Niżu Polski.

Określony powyższymi granicami obszar Górz Świętokrzyskich odpowiada podziałowi regionalnemu Polski w ujęciu geologicznym i różni się od podziałów stosowanych w geomorfologii. Dla przykładu, M. Klimaszewski [23] określa ten region jako Wyżynę Kielecką, w której wydziela dwa podregiony: Góry Świętokrzyskie w południowej części regionu i Przedgórze Świętokrzyskie obejmujące północno-wschodnią część regionu.

Przeważająca część obszaru Górz Świętokrzyskich jest wyżyną. Do struktur górskich należy jedynie lysogórskie pasmo wzgórz, występujące w centralnej strefie południowej części regionu, z najwyższym wzniesieniem Łyścią (611 m n. p. m.).

Południowa część Górz Świętokrzyskich wykształcona jest w większości w postaci systemu równoległych pasm i grzbietów porozdzielanych szerokimi obniżeniami denudacyjnymi. Te struktury morfologiczne przebiegają w liniach SE-NW oraz ESE-WNW i odzwierciedlają bieg struktur fałdowych formacji paleozoicznych i mezozoicznych.

Różnice wysokości powierzchni terenu pomiędzy grzbietami i obniżeniami dochodzą miejscami do około 350 m. Układ grzbietów i pasm jest tarasowy. Najwyższe wznosi się grzbiet lysogórski. Po południowej i północnej stronie grzbiet ten otaczają kolejno coraz to niższe grzbiety i pasma.

Większość dolin rzecznych tej części regionu przebiega poprzecznie do wymienionych wyżej pasmowych struktur morfologicznych. Przeważnie też mają one charakter dolin przełomowych i często wykorzystują poprzeczne dyslokacje tektoniczne.

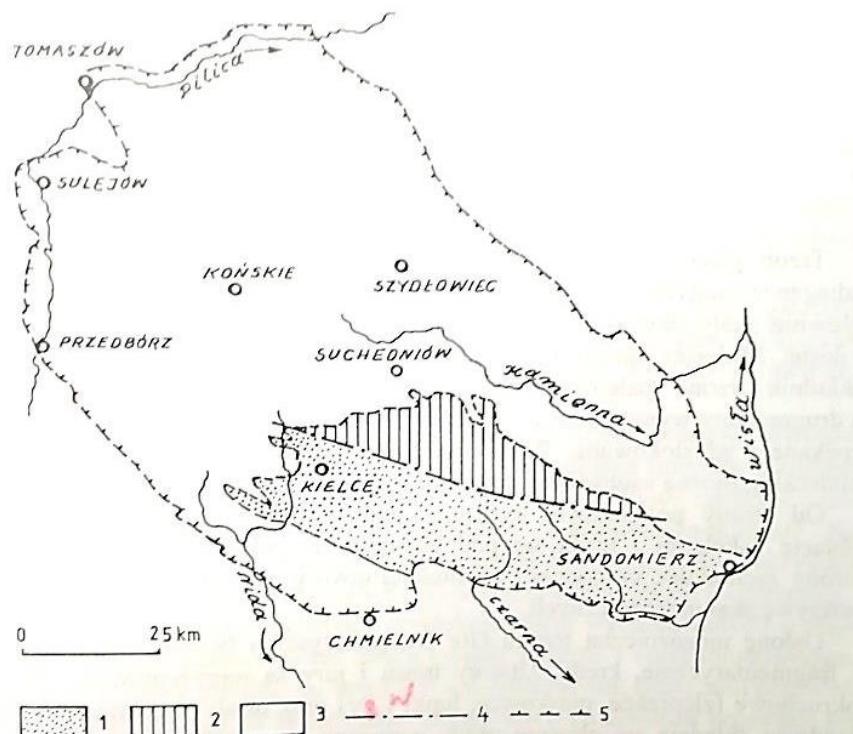
Północna część Górz Świętokrzyskich ma bardziej zróżnicowaną rzeźbę terenu. Występują tu powszechnie szerokie, płaskie lub kopulaste wzniesienia (wierzchowiny) poprzedzielane kotlinami denudacyjnymi. Liczne są progi i grzedy skalne erozyjne i uskokowe (typu kuesty), rozwinięte na wychodniach skał i rozdzielone dolinami. Miejscami występują szeregi stopni denudacyjnych.

Doliny większych rzek przebiegają w liniach WNW-ESE oraz NW-SE i mają powiązanie z biegiem struktur fałdowych w podłożu mezozoicznym. Doliny ich dopływów bocznych są często przełomowe.

#### 10.8.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

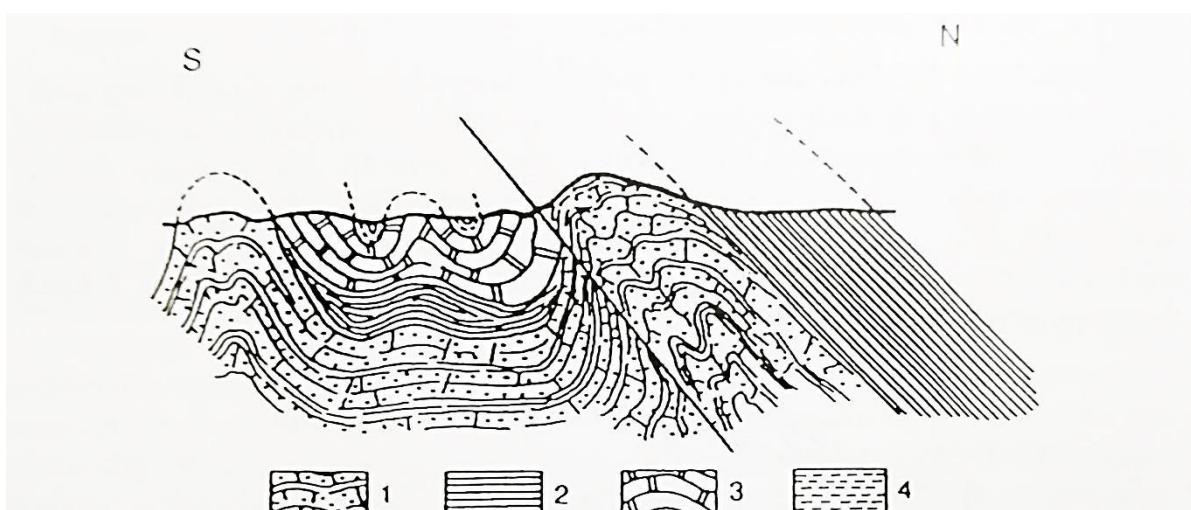
##### 10.8.2.1. Podłoże przedczwartorządowe

Przedczwartorządowe podłoże Górz Świętokrzyskich należy do zrębowej struktury świętokrzyskiej, zamkającej od strony południowo-wschodniej antyklinorum środkowopolskie, nazywane też wałem środkowopolskim. Jest to obszar złożony z systemu fałdów o powierzchni stropowej wypukłej ku górze, przebiegających w kierunku NW-SE. W podłożu regionu wyróżnia się dwie różne struktury stratygraficzno-tektoniczne: trzon paleozoiczny i osłonę mezozoiczną, lokalnie z płatami utworów trzeciorządowych (rys. 210).



Rys. 210. Szkic geologiczny Górz Świętokrzyskich (na podstawie Samsonowicza J. [61]): trzon paleozoiczny: 1 – strefa kielecka, 2 – strefa lysogórską, 3 – osłona mezozoiczna (trias i jura), 4 – dyslokacja świętokrzyska, 5 – granice regionu

Trzon paleozoiczny odsłania się pod pokrywą czwartorzędową w centralnej, południowej części regionu. Wydziela się w nim dwie strefy: południową kielecką i północną lysogórską. Strefy te oddziela dyslokacja świętokrzyska. W strefie kieleckiej występuje szereg nieregularnych fałdów uformowanych w dwóch paleozoicznych fazach górotwórczych (starszej kaleońskiej i młodszej waryscyjskiej). Struktury fałdowe budujące strefę lysogórską są bardziej regularne i powstały w fazie waryscyjskiej (rys. 211).



Rys. 211. Przekrój geologiczny przez trzon paleozoiczny Górz Świętokrzyskich (wg Passendorfera E. [z:] Plewa M. [55] – nieznacznie zmieniony): a) strefa kielecka, b) strefa lysogórską, 1 – kambr, 2 – sylur, 3 – dewon, 4 – karbon

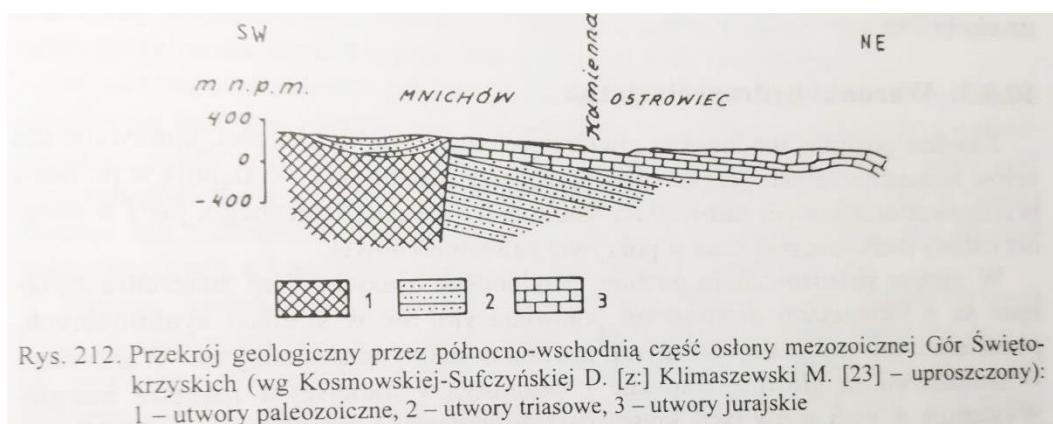
Trzon paleozoiczny jest zbudowany ze skał osadowych, przeważnie silnie zdiagenezowanych, a miejscami zmetamorfizowanych. W strefie łyśogórskiej są to głównie skały okruchowe: kwarcyty, piaskowce, szarogłazy, łupki kwarcytowe i ilaste. Mniejszy udział mają skały węglanowe. W strefie kieleckiej główny składnik trzonu paleozoicznego stanowią utwory wapienne i dolomityczne, a drugorzędny wymienione wyżej skały okruchowe. W obu strefach skały są silnie spękanie i zdyslokowane. W kompleksach węglanowych, szczególnie w strefie kieleckiej, rozwinięte są zjawiska krasowe.

Od strony południowej struktury fałdowe trzonu Górz Świętokrzyskich są obcięte uskokami i kryją się pod utworami Zapadliska Przedkarpackiego. Od strony zachodniej, północnej i wschodniej utwory paleozoiczne zanurzają się pod pokrywę skał mezozoicznych.

Osłonę mezozoiczną trzonu Górz Świętokrzyskich tworzą utwory triasu, jury i, fragmentarycznie, kredy. Utwory triasu i jury są reprezentowane przez skały okruchowe (zlepieńce, piaskowce, łupki i ily) oraz osady wapienne. Formację kredową tworzą głównie osady wapienne, margliste i krzemionkowe, podścielone piaskami z fosforytami.

Utwory osłony mezozoicznnej tworzą łagodne struktury fałdowe, poprzecinane licznymi uskokami na bloki, uformowane w alpejskiej fazie górotwórczej. W zachodniej części regionu warstwy zapadają generalnie w kierunku SW, a w części wschodniej w kierunku NE (rys. 212).

W strefie południowej granicy Górz Świętokrzyskich na utworach podłoża paleozoicznego i mezozoicznego występują utwory mioceńskie. Są one wykształcone w postaci piasków i ilów z wkładkami wapieni i margli.



### 10.8.2.2. Pokrywa czwartorzędowa

Pokrywę czwartorzędową Górz Świętokrzyskich tworzą plejstoceńskie osady glacjalne i rzeczne oraz holocene osady rzeczne i zboczowe. Największy udział w budowie pokrywy mają osady plejstoceńskie.

Na zboczach dolin rzecznych i wzgórz występują powszechnie gliniaste osady morenowe. Miejscami zalegają one na starszym podłożu, miejscami przewarstwiają się z gliniastymi utworami soliflukcyjnymi, rzadziej ze zwirami i piaskami glacjalnymi.

W strefie łyśogórskiej, u podnóża stoków, występują licznie pokrywy utworów gliniasto-blokowych, a w niektórych miejscach nagromadzenia rumoszu skalnego, tworzącego gołoborza. W miejscach stoków, gdzie nie ma pokrywy utworów polodowcowych, występują zwietrzeliny rumoszowe i rumoszowo-gliniaste. Na znacznych obszarach zboczy i wierzchowin wzgórz występują lessy. Pokrywają one bądź utwory glacjalne, bądź utwory starszego podłoża lub ich zwietrzeliny.

W dolinach rzecznych i obniżeniach morfologicznych wytwarzanych w starszym podłożu występują żwiry i piaski rzeczne i rzecznolodowcowe, zazębające się często z gliniastymi utworami soliflukcyjnymi, miejscami przewarstwione glinami rzecznymi. W wielu miejscach na serii tych utworów występują płaty ilów zastoiskowych, a na wyższych tarasach pokrywy lessowe.

Osady czwartorzędowe dolin rzecznych tworzą słabo rozwinięte tarasy akumulacyjne. Z okresu plejstoceńskiego występuje zasadniczo jeden system tarasów z ostatniego zlodowacenia o wysokości

przeważnie w granicach 10-12 m. Starsze, wyższe tarasy zachowane są tylko fragmentarycznie. Z okresu holocenickiego rozwinięte są głównie tarasy ponadzalewowe o wysokości dochodzącej do około 7 m.

### 10.8.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Zasobne poziomy wodonośne zawierające wody o dobrej jakości, ujmowane dla celów konsumpcyjnych i często nie wymagające uzdatniania, występują w podłożu przedczwartorzędowym zarówno na obszarze trzonu paleozoicznego, jak i w obrębie osłony mezozoicznej oraz w pokrywie czwartorzędowej.

W piętrze paleozoicznym poziomy wodonośne o użytkowym znaczeniu związane są z formacjami dewońskimi występującymi w strefach synklinalnych, podścielonymi staropaleozoicznymi utworami nieprzepuszczalnymi. Warstwami wodonośnymi są głównie wapienie i dolomity, w mniejszym zakresie margle. Występują w nich wody typu krasowo-szczelinowego i szczelinowego. Strefa nasycenia i intensywnego krążenia sięga miejscami do około 200 m p. p. t. [8].

Poziomy dewońskie zasilane są bezpośrednio opadami atmosferycznymi na wychodniach skrzydeł synklin oraz infiltracją wód z nadległych poziomów. Zwierciadło wody jest przeważnie swobodne. Miejscami występuje zwierciadło napięte o ciśnieniu piezometrycznym dochodzącym do kilkunastu metrów słupa wody.

W granicach występowania osłony mezozoicznej zasobne poziomy wodonośne występują w piętrze permiskim, triasowym i jurajskim.

Poziomy piętra permiskiego występują w warstwach piaskowców, zlepieńców, wapieni i margli. Są to głównie wody szczelinowe. Zasilanie poziomów odbywa się przez bezpośrednią infiltrację opadów na wychodniach warstw lub pośrednio przez nadkład czwartorzędowy. W wielu miejscach wody tych poziomów łączą się z wodami nadległych poziomów piętra triasowego.

W piętrze triasowym wydziela się trzy główne poziomy wodonośne:

- poziom dolnotriasowy związany z piaskowcami i zlepieńcami przewarstwującymi się z mułowcami i ilowcami, zawierający wody szczelinowo-porowe,
- poziom środkowotriasowy w warstwach wapieni i dolomitów z wodami szczelinowo-krasowymi,
- poziom górnottriasowy związany z wapieniami, marglami i piaskowcami stanowiącymi przewarstwienia w ilach i ilołupkach, zawierający wody szczelinowo-porowe.

Wody poziomów triasowych są zasilane opadami atmosferycznymi na wychodniach warstw wodonośnych i wodami z innych poziomów wodonośnych poprzez systemy spękań. Mają one przeważnie zwierciadło napięte.

W piętrze jurajskim występują również trzy poziomy wodonośne: dolno-, środkowo- i górnourajski. W aspekcie użytkowym największe znaczenia mają poziomy dolno- i górnourajski. Poziom dolnorajski tworzy seria warstw piaskowców przewarstwionych mułowcami i ilowcami, w której występują wody szczelinowo-porowe o zwierciadle zwykle napiętym. Poziom górnourajski, najzasobniejszy w osłonie mezozoicznej, tworzą kompleksy wapieni. Występują w nim wody szczelinowo-krasowe, przeważnie o zwierciadle swobodnym.

W zasilaniu poziomów jurajskich główny udział ma bezpośrednią infiltrację opadów na licznych, obszernych wychodniach warstw wodonośnych oraz pośrednią przez pokrywę osadów czwartorzędowych. Znikomą rolę odgrywa dopływ wód z innych poziomów wodonośnych.

W piętrze czwartorzędowym poziomy wodonośne tworzą rzeczne lub rzecznolodowcowe utwory żwirowo-piaszczyste występujące na dnie dolin rzecznych, a lokalnie na spłaszczeniach zboczy i wzgórzach.

Utwory wodonośne są przeważnie przykryte lessami, a na niskich tarasach holocenickich madami. Częste są przypadki, głównie poza dnami dolin rzecznych, że poziomy wodonośne tworzą odizolowane soczewki żwirowo-piaszczyste, występujące w obrębie glin morenowych. Zwierciadło wód jest miejscami swobodne, miejscami napięte. Poziomy wodonośne zasilane są głównie opadami atmosferycznymi infiltrującymi przez lessowe i gliniaste utwory nadkładu warstw (soczewek) wodonośnych.

#### **10.8.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

Złożona i zróżnicowana budowa geologiczna Górz Świętokrzyskich wywołuje różnorodność problemów geologiczno-inżynierskich w poszczególnych obszarach tego regionu.

W południowej i południowo-zachodniej części regionu szereg niekorzystnych zjawisk występuje w miejscach płytowego zalegania skrasowiałych wapieni i gipsów. Może tam dochodzić m. in. do zapadania podłoża gruntowego nad kawernami krasowymi i nierównomiernych osiądań w miejscach kawern wypełnionych wtórnym, słabo zdiagenezowanym materiałem. W głębokich wykopach budowlanych pewne problemy może stwarzać duży napływ wód podziemnych z systemu kawern krasowych.

W licznych obszarach regionu występują wychodnie skał ilastych: w części południowej ilów mioceńskich, na pozostałym obszarze ilów lub łupków ilastych starszych formacji. Wiele z tych utworów cechuje się dużą podatnością na rozpad, rozłasowanie i pęcznienie pod wpływem nawodnienia i związanym z tym obniżeniem wartości parametrów wytrzymałościowych. W takich miejscach mogą wystąpić niekorzystne dla zagospodarowania terenu zjawiska (np. utrata stateczności skarp wykopów budowlanych i naturalnych zboczy, podatność do wypierania gruntu spod fundamentów).

W południowo-wschodniej części regionu, gdzie występują grube pokrywy lessowe, powszechnie są zjawiska osiadania zapadowego oraz erozji zboczowej i wąwozowej.

### **ZESPÓŁ VII**

#### **10.9. NIECKA MIECHOWSKA**

##### **10.9.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY**

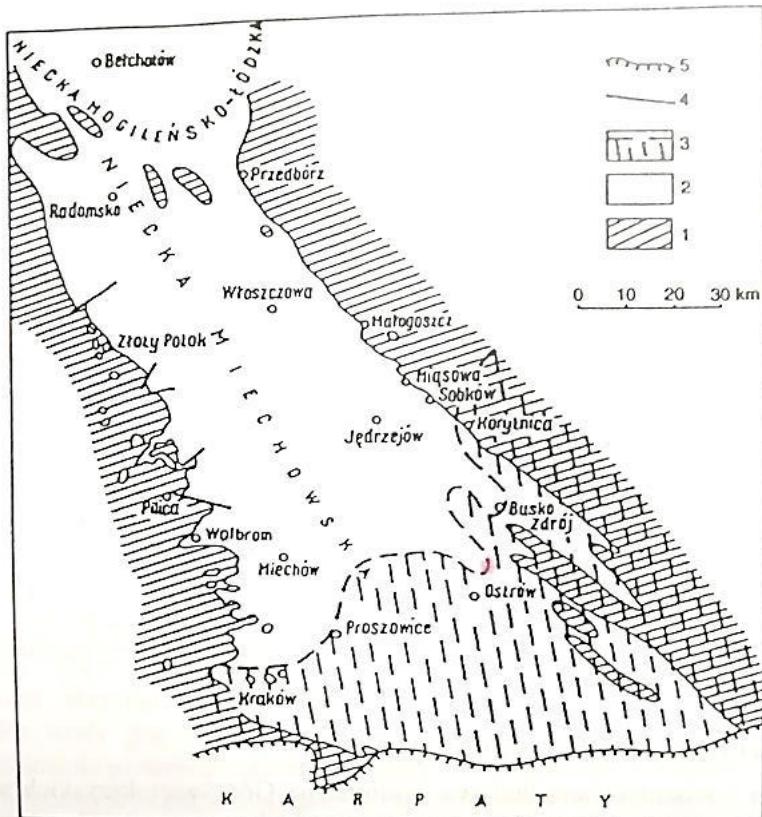
Niecka Miechowska stanowi środkową część obszaru Wyżyn Małopolskich. W jej skład wchodzą dwie duże jednostki geomorfologiczne: Wyżyna Miechowska zajmująca południowo-zachodnią część regionu i Niecka Nidziańska, obejmującą pozostałą część tego obszaru.

Południowo-zachodnią granicę regionu stanowi sklon Monokliny Krakowsko-Częstochowskiej, a północną Wzgórza Radomszczańskie, rozciągające się w przybliżeniu wzdłuż linii łączącej miejscowości Radomsko i Przedbórz. Po stronie północno-wschodniej Niecka przylega do Górz Świętokrzyskich, a po stronie południowej do Zapadliska Przedkarpackiego.

Tak określone granice Niecki nawiązują do budowy geologicznej regionu. Granica południowo-zachodnia, południowa i północno-wschodnia pokrywają się w przybliżeniu z zasięgiem przedczwartorzędowych wychodni utworów kredowych wypełniających strukturę synklinalną występującą pomiędzy Monokliną Krakowsko-Częstochowską a Górami świętokrzyskimi (rys. 213). Granicę północną wyznacza jurajski rygiel oddzielający ten region od Niecki Łódzkiej.

Północna część regionu jest szerokim obniżeniem o charakterze niziny i wznosi się na wysokość przeważnie w granicach 180 – 300 m n. p. m. Powierzchnia terenu w tej części wykazuje słabe urzeźbienie związane silnie z formami osadów polodowcowych (wysoczyzny morenowe, stożki sandrowe, często zwydmione). Bardziej zróżnicowaną morfologię, związaną z rzeźbą podłoża przedczwartorzędowego, ma południowa część regionu. Występują tu wysoczyzny, szerokie garby z lokalnymi kopiastymi lub spłaszczonymi wzgórzami i kotlinami. Rzędne powierzchni terenu mieszą się w granicach 250 – 450 m n. p. m. w części południowo-zachodniej i 180 – 300 m n. p. m. w części południowo-wschodniej.

Powierzchnia terenu jest porozcinana dolinami i płaskodennymi rynnami (padołami), zwykle powiązanymi ze strukturami tektonicznymi podłoża skalnego, o przebiegu w kierunkach od NW-SE do NWN-SES. W obszarach występowania grubych pokryw lessowych występuje sieć wąwozów i parowów z erozji deszczowej.



Rys. 213. Szkic obszaru Niecki Miechowskiej określonego zasięgiem utworów kredowych (na podstawie Cieślińskiego S. [z:] Stupnicka E. [63]): 1 – utwory jurajskie, 2 – utwory górnej kredy, 3 – utwory mioceńskie, 4 – ważniejsze dyslokacje, 5 – granica nasunięcia karpackiego

## 10.9.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

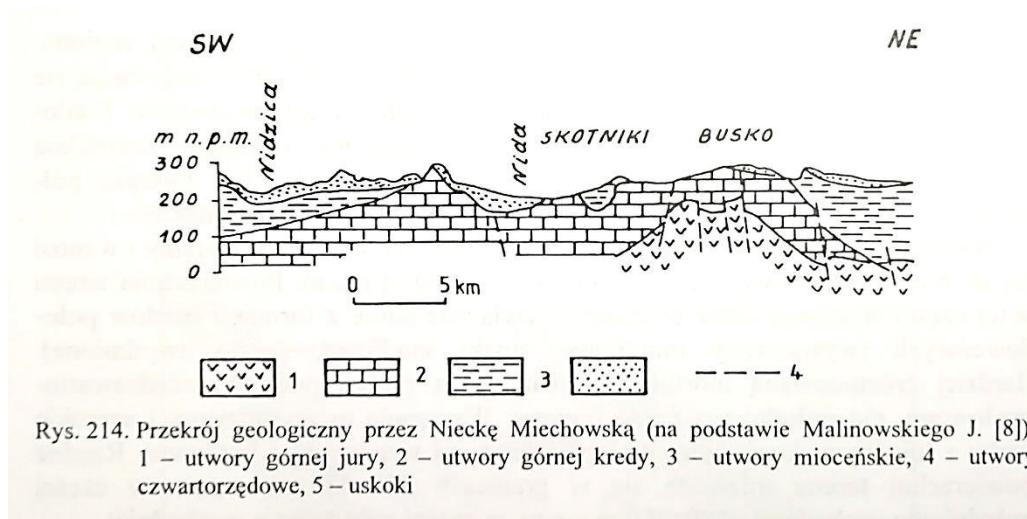
### 10.9.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe

Niecka Miechowska stanowi południową część rozległego, płytkego synklinorium, przedłużającego się w kierunku północno-zachodnim w Nieckę Łódzką, a następnie w Nieckę Szczecińską. Od strony południowej Niecka zanurza się pod Zapadlisko Przedkarpackie, a dalej pod masyw nasunięcia karpackiego.

Podłoże Niecki tworzą skały paleozoiczne, silnie spękanie, z licznymi dyslokacjami. Dolne partie Niecki budują słabo rozwinięte osady permu, triasu oraz dolnej i środkowej jury, a na nich spoczywa gruby kompleks (około 1000 m miąższości) górnourajskich skał węglanowych. Utwory jurajskie przykrywa seria skał kredowych: w spągu piasków, piaskowców glaukonitowych, a na nich margli, wapieni i gez. Miąższość tej serii wynosi 800 – 1000 m. Na znacznej części regionu utwory kredowe odsłaniają się na powierzchni terenu. W północno-zachodniej części regionu ich wychodnie zajmują nawet do około 75 % powierzchni terenu.

W południowej części niecki, obniżonej w mioceńskiej fazie orogenezy alpejskiej, na utworach kredowych osadziła się seria utworów mioceńskich. Są to wapenie, gipsy i anhydryty przykryte iłami krakowieckimi. Utwory te odsłaniają się w licznych miejscach na powierzchni terenu. W obszarach zbudowanych z gipsów i anhydrytów rozwinięły się zjawiska krasowe.

Uformowane ze skał mezozoicznych synklinorium Niecki Miechowskiej ma budowę asymetryczną. Skrzydło południowo-zachodnie, w strefie granicy z Jurą Krakowsko-Częstochowską, jest łagodniej nachylone niż skrzydło północno-wschodnie, przylegające do Górz Świętokrzyskich. W centralnej, osiowej i w północno-zachodniej części Niecki skały mezozoiczne są łagodnie sfałdowane. Silniejsze sfałdowania i zdyslokowania występują w strefie kontaktu z Górami Świętokrzyskimi (rys. 214).



### 10.9.2.2. Pokrywa czwartorzędowa

Na znacznej części obszaru, na wychodniach utworów kredowych (a w części południowej, fragmentarnie, również utworów mioceńskich) występuje cienka pokrywa gliniastych utworów zwierzelinowych.

Duży udział w budowie pokrywy czwartorzędowej mają osady polodowcowe. Większość z nich występuje w dolinach rzecznych i innych obniżeniach morfologicznych. W wielu miejscach w spągu tych utworów występują ilościskowe.

Na dnie dolin większych rzek (zwłaszcza Nidy, Pilicy i Warty) występują grube pokrywy plejstoceńskich żwirow i piasków rzecznolodowcowych i rzecznych. Tworzą one tarasy ponadzalewowe, a często również podłożę niskich tarasów holocenowych. Miąższość tych osadów przeważnie nie przekracza kilkunastu metrów, a tylko lokalnie dochodzi do 30-40 m. Miejscami utwory żwirowo-piaszczyste podzielone są lub przedzielone glinami morenowymi.

Poza dnami dolin rzecznych i wzgórzami licznie występują inne osady polodowcowe: gliny morenowe, piaski i żwiry wodnolodowcowe, a miejscami głazy lodowcowe, residua glin morenowych i piaski eoliczne. Na wzgórzach zachowały się lokalnie płaty glin morenowych.

Znaczącą rolę w budowie pokrywy czwartorzędowej odgrywają lessy. Skupiają się one głównie w południowej i południowo-zachodniej części regionu. Tworzą tam ciągle pokrywy lub duże odizolowane płaty, zajmujące miejscami do około 80 % powierzchni terenu.

W dolinach rzecznych lessy budują górne partie tarasów ponadzalewowych. Poza dnami dolin rzecznych lessy przykrywają bądź starsze osady polodowcowe, bądź podłożę kredowe lub mioceńskie. Miąższość pokrywy lessowej dochodzi do około 20 m.

W dolinach większych rzek występują rozległe holocene akumulacyjne tarasy zalewowe. Są one zbudowane z piasków i żwirow przykrytych madami. Szczególnie dobrze rozwinięte są one w dolinie Nidy.

### 10.9.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W obrębie Niecki Miechowskiej najzasobniejsze w użytkowe wody podziemne jest piętro kredowe. Wydziela się w nim dwa główne poziomy wodonośne.

Poziom dolny związany jest z piaskami i słabo cementowanymi piaskowcami. Występują w nim wody szczelinowo-porowe pod znacznym ciśnieniem, miejscami typu artezyjskiego. Poziom gorny tworzy seria margli i wapieni marglistych. Występują w nim wody szczelinowe o zwierciadle zwykle swobodnym, a miejscami lekko napiętym.

Główne źródło zasilania poziomów kredowych stanowi bezpośrednia lub pośrednia (przez pokrywę czwartorzędową) infiltracja opadów atmosferycznych. W strefach granicznych Niecki (południowo-zachodniej, północnej i północno-wschodniej) poziomy te mogą być częściowo zasilane dopływem bocznym z poziomów jurajskich.

W strefie południowej granicy Niecki wody piętra kredowego kontaktują się z mineralnymi wodami piętra mioceńskiego Zapadliska Przedkarpackiego. Z tego też względu strefa wód słodkich w tym rejonie jest płytka i nie przekracza kilkudziesięciu metrów poniżej powierzchni terenu.

W piętrze czwartorzędowym poziomy wodonośne tworzą żwiry i piaski lodowcowe, rzecznolodowcowe i rzeczne. Występują w nich wody o zwierciadle przeważnie swobodnym lub nieznacznie napiętym. Znaczenie użytkowe mają w szczególności poziomy występujące na dnie dolin rzecznych. Mniejszą rolę odgrywają poziomy występujące poza dolinami rzecznymi. Poziomy te są zasilane głównie przez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych. W zasilaniu poziomów występujących w dolinach rzecznych lub zagłębiach morfologicznych i przylegających do wzgórz zbudowanych z utworów kredowych bierze też udział dopływ boczny z piętra kredowego.

#### **10.9.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

Większość znaczących problemów geologiczno-inżynierskich grupuje się w strefach granicznych Niecki.

W strefie południowo-zachodniej i północno-wschodniej granicy Niecki są to problemy związane z płytym występowaniem próżni krasowych w wapieniach i gipsach (m. in. zapadanie podłoża fundamentów nad kawernami, większe osiadanie podłoża w miejscach kawern wypełnionych wtórnym gruntem nieskalistym niż w sąsiednich nieskrasowiały masywach skalnych).

W południowej części Niecki niekorzystne warunki geologiczno-inżynierskie dla posadowienia budowli i robót ziemnych mogą się wiązać z podatnymi na nawodnienie (rozłasowanie, pęcznienie) ilami mioceńskimi. Podobne warunki mogą też wystąpić w innych rejonach Niecki, na wychodniach intensywnie wietrzejących margli kredowych.

W południowej i południowo-zachodniej części regionu, w obszarach występowania lessów, występują zjawiska osiadania zapadowego oraz erozji zboczowej i wąwozowej.

### **ZESPÓŁ VIII**

## **10.10. MONOKLINA KRAKOWSKO-CZĘSTOCHOWSKA**

#### **10.10.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY**

Monoklina Krakowsko-Częstochowska, nazywana też Monokliną Krakowsko-Wieluńską, zaliczana jest pod względem geomorfologicznym do zachodniej części Wyżyn Śląsko-Małopolskich. Obejmuje ona południową część Wyżyny Śląskiej oraz Wyżynę Krakowsko-Częstochowską.

Od strony południowej Monoklina opada stopniami tektonicznymi do Zapadliska Przedkarpackiego (Bramy Krakowskiej) w części wschodniej oraz do Niecki Górnosłąskiej i Kotliny Raciborskiej w części zachodniej. Granicę północno-wschodnią wyznacza próg denudacyjny oddzielający tę jednostkę od Niecki Miechowskiej. Północną granicę tworzy denudacyjny próg związany z dyslokacją Wielunia. Od strony południowo-zachodniej Monoklina przylega do Niziny Śląskiej, wykształcone w obrębie Pogórza Sudeckiego.

Według kryterium hipsometrycznego przeważającą część Monokliny tworzą formy wyżynne o wysokości powierzchni terenu w granicach 300-460 m n. p. m. Mniejszą część stanowią tereny nizinne o powierzchni wznoszącej się na wysokość 200-300 m n. p. m.

Charakterystyczną cechą morfologiczną Monokliny jest rzeźba krawędziowa. Tworzą ją progi strukturalno-erozyjne i garby o przebiegu NW-SE, wykształcone na wychodniach skał (triasowych i jurajskich) odpornych na procesy denudacyjne. Pomiędzy progami występują niewielkie kotły i

rynnny denudacyjne. Wysokość progów i garbów ponad otaczające obniżenia dochodzi do kilkudziesięciu metrów.

Progi i garby pocięte są siecią przełomowych dolin rzecznych (konsekwentnych i obsekwentnych) o przebiegu w kierunku SW-NE, przeważnie wykorzystujących poprzeczne dyslokacje tektoniczne.

Na obszarach równinnych licznie występują ostańce i odizolowane wzgórze (pagóry) zbudowane z twardych skał. W obszarach krasowych, w wielu miejscach występują na powierzchni terenu lejkowate zagłębia związane z próżniami krasowymi, wypełnionymi na wychodniach wtórnym materiałem, zwykle zwietrzelinowym lub polodowcowym.

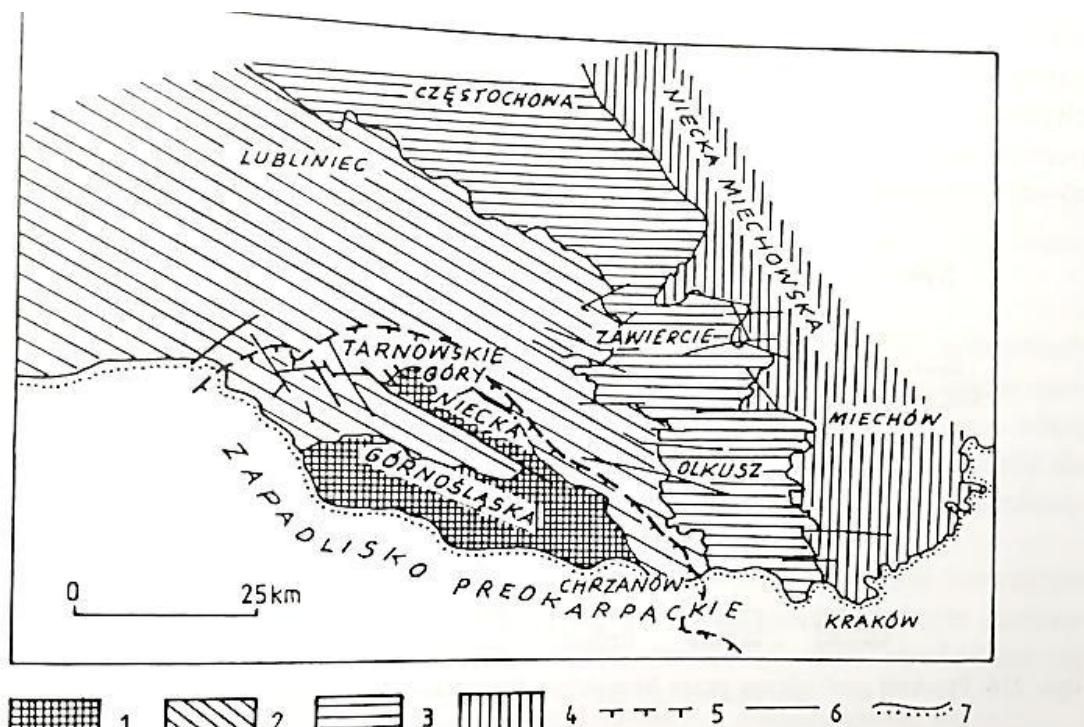
## 10.10.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

### 10.10.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe

Monoklina Krakowsko-Częstochowska leży w południowo-wschodniej strefie rozległej niecki szcześcioko – łódzko – nidziańskiej (miechowskiej) i stanowi jej południowo-zachodnie skrzydło. Zachodnią częścią tej struktury, stanowiącą kontynuację Monokliny Krakowsko-Częstochowskiej w kierunku północno-zachodnim jest Monoklina Przedsudecka. Monoklina jest uformowana ze skał mezozoicznych i spoczywa na sfałdowanych i częściowo zmetamorfizowanych skałach krakowskiej struktury paleozoicznej.

Przedczwartorzędowe podłoże Monokliny Krakowsko-Częstochowskiej tworzą głównie utwory mezozoiczne (triasu i jury) i częściowo kredy, a lokalnie utwory paleozoiczne i mioceńskie (rys. 215).

Utwory podłoża paleozoicznego odsłaniają się na powierzchni terenu lub pod pokrywą czwartorzędową jedynie w niewielu miejscach, w rejonie Zawiercia, Siewierza i Krzeszowic. Występują tam wychodnie wapieni dewońskich i dolnokarbońskich.



Rys. 215. Szkic geologiczny Monokliny Krakowsko-Częstochowskiej i przyległych regionów (na podstawie Bukowego S. [9] – nieznacznie zmieniony): 1 – utwory karbońskie, 2 – utwory permie i triasowe, 3 – utwory jurajskie, 4 – utwory kredowe, 5 – granica Niecki Górnosłąskiej, 6 – uskok, 7 – granica utworów mioceńskich Zapadiska Przedkarpackiego

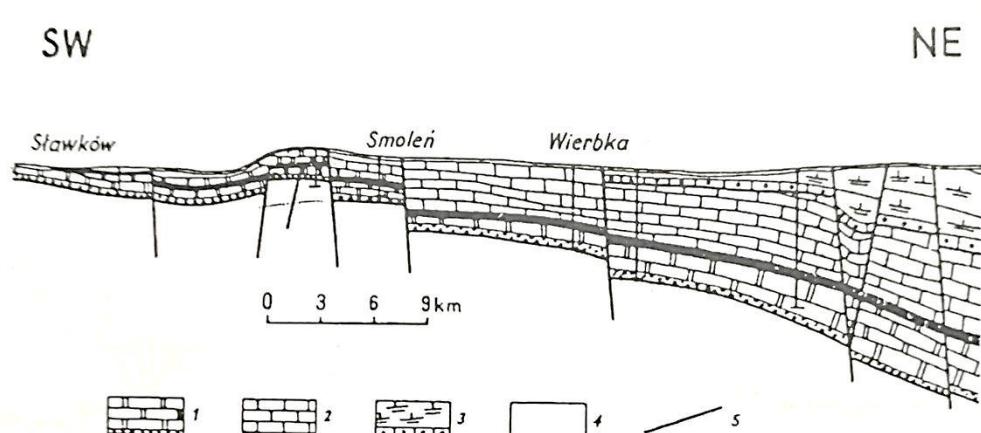
Dolne partie utworów triasowych tworzą ily, piaski, żwiry i piaskowce, miejscami z wkładkami gipsów. Powyżej nich występuje seria skał węglanowych. Są to wapienie, wapienie dolomityczne i margliste, dolomity margliste i kruszconośne, lokalnie z wkładkami anhydrytu. Wśród tych utworów występują przewarstwienia ilów, ilowców, mułowców i zlepieńców. Stropową część triasu reprezentują szare i pstre ilowce, piaskowce i zlepieńce z wkładkami wapieni.

Dolina i środkowa jura jest reprezentowana przez ilastą serię rudonośną (ily, łupki i mułowce z syderytami), piaskowce i zlepieńce, miejscami z wkładkami wapieni. Utwory górnej jury wykształcone są w postaci serii węglanowej: twarde wapienie skaliste i płytowe, często z krzemieniami oraz wapienie okruchowe i oolitowe. Wśród wapieni występują miejscami wkładki margli i łupków marglistych.

Utwory kredy występują fragmentarycznie w strefie południowo-wschodniej i północno-zachodniej granicy regionu. Są to głównie wapienie i margle, miejscami podścielone piaskami.

W strefie kontaktu Monokliny z Zapadliskiem Przedkarpackim, a także w strefie północno-wschodniej granicy regionu na utworach mezozoicznych występują ilasto-piaszczyste osady formacji mioceńskiej.

W środkowej i północnej części regionu utwory triasowo-jurajskie tworzą niezbyt skomplikowaną, monoklinalną strukturę tektoniczną o rozciągłości w kierunku NW-SE. Warstwy zapadają prawie monoklinalnie w kierunku NE, przeważnie pod kątem kilku stopni. Tylko w obszarach lokalnych deformacji tektonicznych nachylenie warstw jest większe, przekraczające niekiedy  $30^{\circ}$ . Struktura monoklinalna poprzecinana jest licznymi uskokami, w większości o przebiegu zbliżonym do równoleżnikowego (rys. 216).

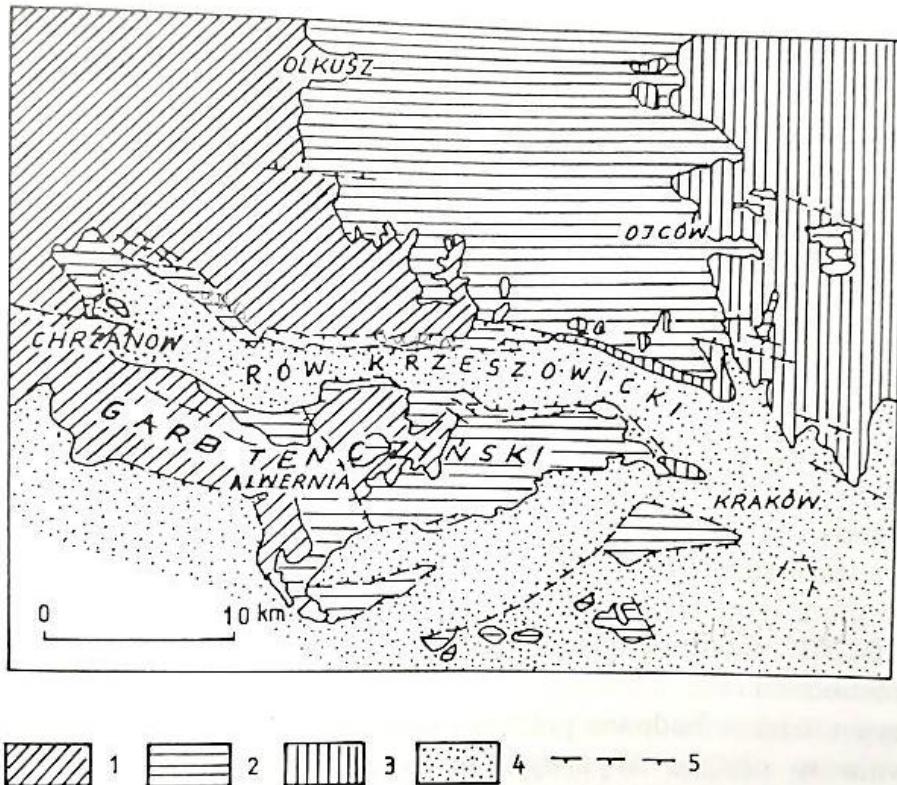


Rys. 216. Przekrój geologiczny przez Monoklinę Krakowsko-Częstochowską (wg Bukowego S. [9]):  
1 – utwory triasowe, 2 – utwory jurajskie, 3 – utwory kredowe, 4 – utwory czwartorzędowe, 5 – uskoki

Bardziej złożoną tektonikę ma południowa część Monokliny. W czasie tworzenia się zapadliska Przedkarpackiego monoklinalna struktura została pocięta serią uskoków na złożone, często wielostopniowe formy zrębów i rowów tektonicznych. Większość zrębów i rowów należy do Bramy Krakowskiej Zapadliska Przedkarpackiego. W granicach Monokliny znajdują się dwie duże formy: Rów Krzeszowicki i Garb Tenczyński (rys. 217).

W Rowie Krzeszowickim, rozciągającym się od Krakowa do Trzebini, na utworach jurajskich występują wapienie i margle kredowe, a na nich seria ilastych osadów mioceńskich. Garb Tenczyński jest zrębem tektonicznym zbudowanym z utworów triasu i jury. Z deformacjami tektonicznymi orogenezy hercyńskiej, które doprowadziły do powstania tych dwóch jednostek, związane są występujące w tej części Monokliny skały intruzywne i wulkaniczne: diabazy, melafiry i porfiry kwarcowe.

W wapieniach triasowych i jurajskich Monokliny występują silnie rozwinięte zjawiska krasowe. Wapienie te, a zwłaszcza twarde jurajskie wapienie skaliste i płytowe, odgrywają też dużą rolę w rzeźbie terenu. Z nich zbudowane są pojedyncze skałki (ostańce), pagóry i liczne progi denudacyjne.



Rys. 217. Szkic geologiczny południowej części Monokliny Krakowsko-Częstochowskiej (na podstawie Gradzińskiego R. [z:] Stupnicka E. [63]): 1 – utwory młodszego paleozoiku i triasu, 2 – utwory jurajskie, 3 – utwory kredowe, 4 – utwory mioceńskie, 5 – uskoki

#### 10.10.2.2. Pokrywa czwartorzędowa

Znaczną część obszaru Monokliny zajmują wychodnie podłoża przedczwartorzędowego. Występują one przeważnie na progach strukturalno-erozyjnych, garbach, pagórkach i niektórych płaskowyżach. W miejscowościach tych pokrywa czwartorzędowa nie występuje lub tworzy ją cienka warstwa gлиnistych lub rumoszowo-gлиnistych utworów zwietrzelinowych.

We wschodniej strefie Monokliny (rejon od Krakowa, przez Skałę do Wolbromia) wychodnie skał podłoża zajmują około 10-20 % powierzchni terenu. W części zachodniej regionu obszar wychodni zwiększa się i dochodzi miejscami (rejony Zawiercia, Ogrodzieńca) do około 70 % powierzchni terenu.

Poza obszarami wychodni podłoża skalistego pokrywę czwartorzędową tworzą głównie utwory plejstoceńskie. Z okresu starszych glacjalów pochodzą piaszczysto-żwirowe utwory rzeczne i rzecznolodowcowe. Pokrywają one znaczne obszary dolin rzecznych, obniżeń denudacyjnych i tektonicznych (m. in. rów krzeszowicki). W dolinach rzecznych budują one ponadzalewowe tarasy akumulacyjne lub tworzą nadkład cokołów skalnych na tarasach erozyjno-akumulacyjnych. W kilku dolinach kopalnych (m. in. Dramy, Białej i Czarnej Przemszy, Prosny i górnej Warty) miąższość tych osadów dochodzi do 40-70 m.

Liczne są obszary pokryte piaskami sandrowymi. Jednym z nich jest tzw. Pustynia Błędowska, która stanowi czynny obszar deflacyjny, pozbawiony trwałej szaty roślinnej. W zachodniej części regionu często występują ily i muły zastoiskowe, przeważnie podścielające utwory piaszczysto-żwirowe. Rzadziej występują gliny morenowe. Obszary pokryte utworami starszych glacjalów zajmują od 10-20 % powierzchni terenu we wschodniej części regionu, do 30-40 % w części zachodniej.

Znaczący udział w budowie pokrywy czwartorzędowej mają lessy. Występują one głównie w obrębie Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, gdzie tworzą rozległe płaty o miąższości dochodzącej do kilkunastu metrów. We wschodniej części Wyżyny pokrywają one nawet do około 70 %

powierzchni. Na pozostały części Wyżyny powierzchnia obszarów pokrytych lessem zmniejsza się i w części północno-zachodniej spada do 5-10 %.

Pokrywy lessowe występują miejscami bezpośrednio na podłożu skalistym (lub na jego zwierzelinie), miejscami przykrywają starsze osady plejstoceńskie.

Utwory holocenckie występują najliczniej w dolinach rzecznych, gdzie tworzą tarasy zalewowe zbudowane ze żwirów, piasków i mułów, zwykle przykrytych madami. W zagłębiach morfologicznych i w dolnych partiach zboczy, w szczególności pokrytych lessami, występują często grube pokrywy gliniastych utworów deluwialnych.

### 10.10.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W obrębie Monokliny Krakowsko-Częstochowskiej użytkowe poziomy wodonośne występują we wszystkich formacjach skalnych: od paleozoiku do czwartorzędu.

W piętrze paleozoicznym poziomy wodonośne występują w utworach węglanowych dewonu (wody szczelinowo-krasowe) oraz w piaskowcach i zlepieńcach karbonu i permu (wody szczelinowo-porowe). Są to stosunkowo mało zasobne poziomy. Zawierają wody zwykłe jedynie w płytkej strefie, w rejonie wychodni tych utworów. W głębszych i oddalonych od wychodni partiach utworów wodonośnych występują wody mineralne.

W piętrze triasowym zasobne poziomy wodonośne występują w utworach dolnego i środkowego triasu. Dolnotriasyne poziomy wodonośne tworzą piaski, piaskowce i zlepieńce z wodami porowymi i porowo-szczelinowymi oraz wapienie i dolomity z wodami szczelinowo-krasowymi.

Poziomy wodonośne środkowego triasu tworzą wapienie i dolomity z wodami szczelinowo-krasowymi. W utworach górnego triasu występują lokalnie podrzędne, mało zasobne poziomy wodonośne w warstwach wapieni i piaskowców, stanowiących wkładki w serii ilastej.

Triasowe poziomy wodonośne są intensywnie zasilane przez infiltrację opadów atmosferycznych na wychodniach utworów wodonośnych na powierzchni terenu i pośrednio, przez pokrywę czwartorzędową. W północnej i północno-wschodniej części regionu występuje zasilanie wodami z poziomów jurajskich, z którymi poziomy triasowe mają kontakt hydrauliczny przez nieciągłości tektoniczne lub sedimentacyjne. Lokalnie i w mniejszym zakresie występuje zasilanie wodami z piętra paleozoicznego.

Wody poziomów triasowych mają zwierciadło przeważnie napięte, a jedynie miejscami swobodne (przeważnie w rejonie wychodni utworów wodonośnych). Pierwotne, naturalne stany zwierciadła są w znacznym zakresie obniżone i pozostają pod wpływem drenującego działania kopalń rud cynku i ołowiu w rejonie Olkusza i Trzebini.

W południowo-zachodniej części regionu wody piętra triasowego są drenowane przez cieki powierzchniowe i wypływają na powierzchnię terenu w postaci licznych, małych i średnich źródeł.

Najzasobniejsze w wody podziemne jest w tym regionie piętro jurajskie. Wydziela się w nim trzy poziomy wodonośne: dolno-, środkowo- i górnourajski.

Poziom dolnorurajski występuje w warstwach piasków, żwirów oraz piaskowców i zawiera wody porowe, przeważnie pod ciśnieniem. Poziom środkowojurajski tworzą piaski i piaskowce, lokalnie wapienie piaszczyste. Występują w nim wody porowe i porowo-szczelinowe. W strefach wychodni warstw wodonośnych mają one zwierciadło swobodne, a poza wychodniami ciśnieniowe, często o charakterze artezyjskim.

Poziom górnourajski tworzy kompleks skał węglanowych, podścielonych serią ilów rudonośnych. Występują w nim wody szczelinowo-krasowe o zwierciadle swobodnym lub nieznacznie napiętym.

Poziomy jurajskie są zasilane głównie przez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych na wychodniach warstw wodonośnych oraz przez infiltrację wód z pokrywy czwartorzędowej. W niektórych obszarach występuje zasilanie infiltracją wód z cieków powierzchniowych.

Wody piętra jurajskiego, a w szczególności poziomu górnourajskiego, są drenowane przez koryta rzeczne i liczne źródła występujące w dolinach rzecznych. Niektóre źródła występujące w strefach uskokowych mają charakter wywierzysk.

W utworach kredowych występujących w rowie krzeszowickim, a także w strefie północno-wschodniej i południowo-wschodniej granicy regionu, wody podziemne nie tworzą zasobnych

zbiorników. Bez większego znaczenia użytkowego są również wody występujące w tych obszarach w utworach mioceńskich.

W piętrze czwartorzędowym zasobne poziomy wodonośne występują w utworach piaszczysto-żwirowych wypełniających współczesne i kopalne doliny rzeczne. W Utworach tych występuje zwykle jeden poziom wodonośny z wodami o zwierciadle swobodnym. Na niektórych odcinkach większych rzek występują dwa poziomy rozdzielone utworami słabo przepuszczalnymi. W takich przypadkach poziomy dolne mają zwierciadło napięte. Mniejszą zasobność i gorsze warunki hydrogeologiczne mają poziomy wodonośne występujące w utworach piaszczystych poza dolinami rzek.

Czwartorzędowe poziomy wodonośne są zasilane głównie bezpośrednio przez opady atmosferyczne. Są one drenowane generalnie przez koryta rzeczne. W wielu miejscowościach wody z tych poziomów infiltrują do podłoża czwartorzędu i zasilają poziomy wodonośne starszych formacji skalnych. Szczególnie intensywnie zachodzi to zjawisko na wychodniach skrasowiałycych, węglanowych serii wodonośnych jury i triasu.

#### **10.10.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

Najważniejsze problemy geologiczno-inżynierskie w tym regionie związane są z występowaniem krasu i pokryw lessowych.

W obszarach krasowych, podobnie jak w innych regionach, należy się liczyć z możliwością wystąpienia m. in. następujących niekorzystnych zjawisk:

- zawałów w stropowych partiach skał próżni krasowych obciążonych obiektem budowlanym,
- nierównomiernych osiądań fundamentów budowli posadowionych w części na masywie wapiennym, a w części na gruntach nieskalistych, otaczających cokół skalny lub wypełniających lej krasowy,
- niekiedy dużych dopływów wód krasowych do głębokich wykopów lub podziemnych wyrobisk.

W rejonach występowania grubych pokryw lessowych powszechnie są zjawiska osiadania zapadowego oraz erozji zboczowej i wąwozowej.

### **10.11. NIECKA GÓRNOŚLĄSKA**

#### **10.11.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY**

Niecka Górnogóralska, jako struktura geologiczna, rozprzestrzenia się na obszarze dwóch jednostek geomorfologicznych: południowej części Wyżyny Śląskiej i Kotliny Raciborsko-Oświęcimskiej Zapadliska Przedkarpackiego. Ma ona kształt zbliżony do trójkąta, którego podstawę wyznacza brzeg Karpat fliszowych, a wierzchołek położony jest w rejonie Tarnowskich Górz.

Od północno-wschodniej strony Niecka graniczy z Monokliną Krakowsko-Częstochowską, a od strony północno-zachodniej z Niziną Śląską.

Przeważająca część Niecki jest obszarem nizinnym o wysokości w granicach 200 – 300 m n. p. m. Wysokość nielicznych, lokalnych wzniesień należących do form wyżynnych nie przekracza 350 m n. p. m.

Rzeźba i geomorfologiczne struktury Niecki na obszarze Wyżyny Śląskiej i Zapadliska Przedkarpackiego są zróżnicowane.

Północna część obszaru należącego do Wyżyny Śląskiej stanowi płaskowyż z licznymi, niewysokimi garbami i pagórami, przedzielonymi płytymi rynnami i kotlinami. Niektóre z tych form są pochodzenia denudacyjnego, inne rozwinięły się na zrąbach i rowach tektonicznych.

Południową część obszaru Wyżyny Śląskiej tworzą zręby tektoniczne (m. in. Imielina, Lędzin i Libiąża), przedzielone rowem tektonicznym Chrzanowa. Obszar ten jest od strony północnej obniżony tektonicznie o kilkadziesiąt metrów od pozostałych terenów Wyżyny Śląskiej, zaliczonych w tym opracowaniu do Monokliny Krakowsko-Częstochowskiej. Podobnie od południowej strony obszar

Wyżyny Śląskiej jest oddzielony od obszaru należącego do Zapadliska Przedkarpackiego kilkudziesięciometrowym progiem tektonicznym.

Na obszarze Kotliny Raciborsko-Oświęcimskiej w rzeźbie terenu dominują formy równinne. Są to głównie różnych rozmiarów wysoczyzny i formy pagórkowate, rozdzielone płaskodennymi dolinami rzecznymi, charakterystyczne dla całego obszaru zachodniej części Zapadliska Przedkarpackiego.

## **10.11.2. BUDOWA GEOLOGICZNA**

### **10.11.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe**

Niecka Górnosłaska stanowi wschodnią część paleozoicznej struktury śląsko-morawskiej, zawartej pomiędzy Karpatami, masywem czeskim, blokiem dolnośląskim i paleozoicznym podłożem Monokliny Krakowsko-Częstochowskiej. Jest to nieckowe obniżenie o charakterze zapadliska, wypełnione utworami karbońskimi (rys. 218).

Podłoże utworów karbońskich tworzą osady dewońskie. Osady te, reprezentowane przez wapienie i dolomity, odsłaniają się w strefie północno-wschodniej granicy Niecki (rejony Krzeszowic, Olkusza, Siewierza i Zawiercia).

Utwory karbonu dolnego wykształcone są w postaci łupków i piaskowców, lokalnie ciemnych wapieni. Karbon górny reprezentowany jest przez serię produktywnych skał okruchowych o miąższości kilku tysięcy metrów. Są to łupki, mułowce, piaskowce i zlepieńce z pokładami węgla kamiennego.

W okresie hercyńskich ruchów górotwórczych karbońskie utwory Niecki Górnosłaskiej zostały sfałdowane i zdyslokowane. Przebieg tych struktur deformacyjnych jest zbliżony do NW-SE. Najsilniejsze pofałdowanie występuje w brzeżnej, północnej i północno-zachodniej części Niecki. W środkowej części regionu warstwy tworzą prawie płaską nieckę. W czasie orogenezy alpejskiej utwory Niecki zostały pocięte uskokami i uformowane w liczne zrębę i rowy tektoniczne.

We wschodniej części Niecki, w strefie granicznej, na utworach karbońskich leżą niezgodnie utwory permiske: ily, piaskowce i zlepieńce o czerwonym zabarwieniu. Znaczne obszary zajmują utwory triasowe. Występują one bezpośrednio na utworach karbońskich lub permiskich w północnej i południowo-wschodniej części Niecki. Są tu reprezentowane wszystkie ogniva triasu:

- ily, piaskowce, wapienie i dolomity dolnego triasu,
- wapienie i dolomity kruszconośne środkowego triasu,
- pstre ily z wkładkami piaskowców, zlepieńców i wapieni górnego triasu.

We wschodniej części Niecki występują na niewielkich obszarach osady jurajskie: głównie wapienie, a podzielone piaskowce i ily.

W południowej i zachodniej części Niecki utwory karbońskie przykryte są osadami mioceńskimi; miejscami o miąższości kilkuset metrów. Jest to seria utworów ilastych z przewarstwieniami piasków, miejscami piaskowców, margli i wapieni. W wielu miejscach występują gipsy, a w rejonie Żor sól kamienna. W północno-zachodniej części regionu na utworach mioceńskich występują miejscami piaski i żwiry plioceńskie.

### **10.11.2.2. Pokrywa czwartorzędowa**

Na niewielkich obszarach zrębów, garbów i pagórów, występujących w części należącej do Wyżyny Śląskiej, skały podłoża przedczwartorzędowego występują na powierzchni terenu lub są przykryte cienką pokrywą utworów zwietrzelinowych. Na pozostałej, przeważającej części regionu starsze podłoże skalne przykrywają utwory plejstoceńskie i, w mniejszym zakresie, holocene.

W granicach Wyżyny Śląskiej utwory te najlepiej są wykształcone na dnie dolin rzecznich. Są one reprezentowane przez piaski i żwiry rzeczne i rzecznolodowcowe, ilaste utwory zastoiskowe i gliny morenowe. Tworzą one tam systemy tarasów akumulacyjnych: ponadzalewowych plejstoceńskich i zalewowych holoceneńskich. W dolinach kopalnych niektórych rzek (m. in. Chechła, Przemszy i Rawy) miąższość tych utworów dochodzi do 50 m.

Utwory rzecznolodowcowe (w tym często piaski sandrowe), zastoiskowe i morenowe pokrywają też obszary płaskowyżowe, rynny i kotliny. Również na większości pagórów występują płaty glin morenowych i piasków rzecznolodowcowych.

Na obszarze Kotliny Raciborsko-Oświęcimskiej na podłożu mioceńskim, a lokalnie na utworach karbońskich lub triasowych, występuje ciągła pokrywa utworów czwartorzędowych: rzecznych, rzecznolodowcowych i lodowcowych.

W dolnych partiach pokrywy występują przeważnie żwiry, a na nich piaski. W niektórych miejscach seria żwirowo-piaszczysta jest podścielona, przewarstwiona lub przykryta glinami morenowymi.

Górne partie pokrywy zbudowane są prawie na całym obszarze z utworów pylastycznych i gliniastych. W wielu miejscach na płaskowyżach i wyższych tarasach rzecznych, szczególnie w zachodniej części terenu, są to lessy. Na tarasach niskich są to gliniaste mady, a na zboczach dolin i wysoczyznach występują gliny pylaste, często lessopodobne, pochodzenia deluwialnego.

Na dnie dolin rzecznych osady pokrywy czwartorzędowej tworzą w tym rejonie system rozległych tarasów akumulacyjnych. Przeważnie są to dwa ponadzalewowe tarasy plejstoceńskie i zalewowy taras holoceneński.

### 10.11.3. Warunki hydrogeologiczne

Warunki hydrogeologiczne w Niecce Górnogalicyjskiej są dość złożone, tak z uwagi na budowę geologiczną, jak i ze względu na eksploatację górniczą.

W piętrze karbońskim główne poziomy wodonośne występują w zespołach utworów piaskowcowo-zlepieńcowych karbonu produktywnego, rozdzielonych warstwami nieprzepuszczalnych ilowców. Występują w nich wody szczelinowo-porowe o zwierciadle napiętym. Poszczególne poziomy przeważnie mają z sobą połączenia hydrauliczne. Występują one w obszarach eksploatacji górniczej oraz w strefach licznych dyslokacji tektonicznych i wyklinowań sedymentacyjnych serii karbońskich.

Zasilanie poziomów karbońskich odbywa się przez opady atmosferyczne na wychodniach warstw wodonośnych oraz przez dopływ wód podziemnych z nadległych poziomów wodonośnych, głównie czwartorzędowych i triasowych. Wody piętra karbońskiego są silnie drenowane w rejonach eksploatacji węgla kamiennego. Depresja zwierciadła wody dochodzi tam lokalnie do około 400 m.

W obszarach zasilania wody piętra karbońskiego są słodkie do głębokości zwykle 200-300 m. Na większej głębokości i w obszarach, gdzie karbon przykrywają osady mioceńskie, wody są zmineralizowane, przy czym stopień zmineralizowania wzrasta z głębokością.

W piętrze triasowym poziomy wodonośne tworzą utwory węglanowe (wapienie i dolomity) dolnego i środkowego triasu. Występują w nich wody szczelinowo-krasowe o zwierciadle na ogólnym napiętym, zasilane głównie infiltracją opadów atmosferycznych (na wychodniach) i infiltracją wód z poziomów czwartorzędowych. Wody te są silnie drenowane w rejonach eksploatacji rud cynkowo-ołowiowych.

Podrzędne poziomy wodonośne występują w wapieniach jurajskich, we wschodniej części Niecki.

W piętrze trzeciorzędowym wodonośne poziomy wód słodkich występują głównie w północno-zachodniej części regionu. Warstwy wodonośne tworzą piaszczyste przewarstwienia w stropowej części serii mioceńskiej oraz piaski i żwiry plioceńskie. Są to wody porowe o zwierciadle zwykle napiętym, zasilane głównie dopływem z poziomów czwartorzędowych.

Wodonośne poziomy użytkowe piętra czwartorzędowego występują w całym regionie. Największe znaczenie mają one w południowo-zachodniej części Niecki. Utworami wodonośnymi są piaski i żwiry rzeczne, rzecznolodowcowe i piaski międzymorenowe. Najzasobniejsze poziomy tworzą te utwory w obecnych i kopalnych dolinach większych rzek, a szczególnie Bierawki, Brynicy, Kłodnicy, Przemszy i Rudy. Występuje w nich od jednego do trzech poziomów. W poziomach wód gruntowych występują wody o zwierciadle przeważnie swobodnym; w poziomach dolnych zwierciadło wody jest zwykle napięte.

Poziomy czwartorzędowe są zasilane praktycznie wyłącznie przez infiltrację opadów atmosferycznych. Naturalny drenaż powodują koryta rzeczne i infiltracja do poziomów wodonośnych starszych formacji skalnych. Znaczny udział w drenażu tych wód mają kopalnie węgla i rud cynkowo-ołowiowych oraz piaskownie.

### 10.11.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Główne problemy geologiczno-inżynierskie Niecki Górnoułańskiej wiążą się z eksploatacją węgla kamiennego. Zawały i osiadania stropu wyrobisk górniczych powodują deformacje powierzchni terenu (tworzą się m. in. **niecki osiadania**) oraz zmiany w strukturze i parametrach wytrzymałościowych gruntów w strefie przypowierzchniowej.

Wynikiem tych zjawisk są powszechne w tym regionie, zwłaszcza na obszarze Wyżyny Śląskiej, uszkodzenia obiektów budowlanych, często o charakterze katastrofальnym. W obrębie obniżeń powierzchni terenu powstają często zbiorniki wodne zmieniające pierwotny układ stosunków wodnych na powierzchni i w podłożu gruntowym.

Odwodnienia kopalniane powodują znaczne zmiany w warunkach hydrogeologicznych. Dotyczą one przede wszystkim obniżenia zwierciadła wody zarówno w poziomach wodonośnych formacji eksploatowanej, jak i w poziomach nadległych. Niekiedy dochodzi do lokalnych zmian jakości wód podziemnych, np. przez wzrost infiltracji wód powierzchniowych w rejonach drenażu kopalnianego lub utleniania siarczków metali w odwodnionym górotworze.

W południowej i zachodniej części regionu mogą wystąpić, podobne do opisanych w poprzednich rozdziałach, problemy związane z płytka występowaniem ilów miocenskich i pokrywami lessów.

## 10.12. NIZINA ŚLĄSKA

### 10.12.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY

Nizina Śląska jest rozległym, wydłużonym obniżeniem typu kotlino-wyżynnego, rozciągającym się wzdłuż linii NW-SE, pomiędzy Sudetami i Wyżynami Śląsko-Małopolskimi.

Południowo-zachodnią granicę Niziny wyznaczają krawędzie i zbocza Sudetów, a granicę północną morenowe Wzgórza Trzebnickie, przebiegające w strefie linii Żagań-Głogów. Od strony północno-wschodniej Nizinę ograniczają krawędziowe formy Wyżyny Śląsko-Krakowskiej, a w części południowo-wschodniej Niecka Górnoułańska. Na południu Nizina przylega do Kotliny Raciborsko-Oświęcimskiej, stanowiącej zachodnią część Zapadliska Przedkarpackiego.

W rzeźbie powierzchni terenu Niziny dominują obszary wysoczyzn, porozdzielanych płaskodennymi dolinami współczesnych rzek i pradolin oraz kotlinami. Lokalnie występują pagórkowate formy stożków napływowych i moren.

Znaczny obszar zajmuje szeroka dolina Odry, przebiegająca na przeważającej części w strefie dłuższej osi Niziny.

Rzędne powierzchni terenu mieszczą się w przedziale 90-300 m n. p. m., przy czym lokalne deniwelacje na ogół nie przekraczają kilkudziesięciu metrów.

### 10.12.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

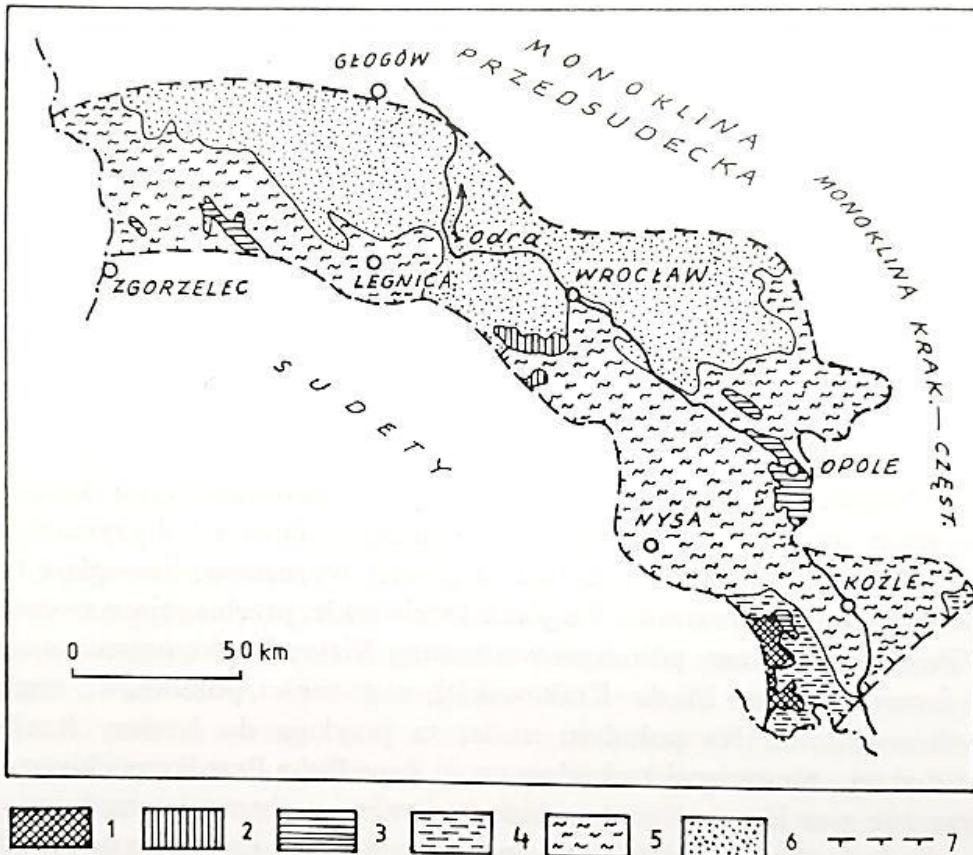
#### 10.12.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe

Starsze podłoże Niziny Śląskiej obejmuje tereny należące do dwóch dużych jednostek geologicznych: Przedgóra Sudeckiego i Monokliny Przedsudeckiej.

Do Przedgóra Sudeckiego należą południowo-zachodnie i zachodnie części Niziny. Jest to obniżenie tektoniczne o charakterze zapadliskowym, uformowane w orogenezie alpejskiej, określone też jako zapadlisko trzeciorządowe górnej Odry. Zapadlisko ograniczają dwa uskoki: od południowego zachodu sudecki uskok brzeżny, a od północnego wschodu uskok Odry.

Północno-wschodnia strefa Niziny (położona po północno-wschodniej stronie uskoku Odry) należy do Monokliny Przedsudeckiej, a w części południowej do Monokliny Krakowsko-Częstochowskiej.

Na przeważającej części Niziny bezpośrednie podłoże czwartorzędu stanowią morskie osady trzeciorządowe, głównie mioceńskie, a lokalnie również plioceńskie (rys. 219). W południowo-wschodniej części Niziny są to morskie osady mioceńskie wykształcone, podobnie jak w Zapadlisku Przedkarpackim, w postaci ilów, piasków, słabo cementowanych piaskowców, lokalnie wapieni i gipsów.



Rys. 219. Szkic geologiczny Niziny Śląskiej (na podstawie Atlasu [2]): 1 – utwory karbońskie, 2 – utwory triasowe, 3 – utwory kredowe, 4 – mioceńskie osady morskie, 5 – mioceńskie osady lądowe, 6 – utwory plioceńskie, 7 – granice regionu

W północno-zachodniej części regionu miocen jest reprezentowany przeważnie przez osady akumulacji lądowej i jeziornej. Są to piaski i ilę z wkładkami węgla brunatnego. Na nich spoczywają ilę, piaski, miejscami żwiry plioceńskie.

W granicach Przedgórza Sudeckiego pod utworami trzeciorzędowymi występują głównie osady karbońskie, należące do paleozoicznej struktury śląsko-morawskiej. Jest to seria złożona ze sfałdowanych warstw łupków, mułowców, piaskowców i zlepieńców. W rejonie Głubczyc występuje płat utworów kredowych. Są to piaski, piaskowce, margle, wapienie margliste i ilę margliste. Utwory karbońskie i kredowe występują bezpośrednio pod czwartorzędem tylko fragmentarycznie, w południowo-zachodniej części Niziny.

W obrębie Monokliny Przedsudeckiej pod osadami trzeciorzędowymi występują utwory triasowe, a w rejonie Opola i Brzegu utwory kredowe. Trias jest reprezentowany w dolnych partiach przez ilę, piaski, żwiry i piaskowce, a wyżej przez serie wapieni, dolomitów i margli z przewarstwieniami ilowców, mułowców i zlepieńców. Stropowe partie tworzą pstre ilowce, piaskowce i zlepieńce z wkładkami wapieni. Kreda jest wykształcona w partiach spągowych przez piaski i piaskowce. Nad nimi występują margle i wapienie margliste, a w stropowych partiach ilę margliste i piaski.

W wielu miejscach w podłożu przedczwartorzędowym występują skały wulkaniczne (bazalty), związane genetycznie z trzeciorzędowymi deformacjami tektonicznymi. Należą do nich m. in. bazalty budujące Górę Św. Anny.

#### 10.12.2.2.

#### Pokrywa czwartorzędowa

Nizina Śląska prawie na całym obszarze zawiera ciągłą pokrywę utworów czwartorzędowych, głównie plejstoceńskich. Miąższość pokrywy dochodzi miejscami w dolinach rzecznych do ponad stu metrów.

Najliczniej reprezentowane są utwory morenowe. Występują one zarówno na wysoczyznach, jak i w dolinach rzecznych i kotlinach. W obrębie moren lub w ich spągu występują przewarstwienia piasków i żwirów rzecznolodowcowych lub utworów zastoiskowych.

Na dnie dolin rzecznych, a także w dolinach kopalnych (m. in. Odry, Rudy i Widawki) występują piaszczysto-żwirowe osady rzeczne i rzecznolodowcowe, w niektórych przypadkach przedzielone glinami morenowymi. Utwory te tworzą tarasy akumulacyjne i akumulacyjno-erozyjne: 1-2 tarasy plejstoceńskie o wysokości 5-15 m i niskie tarasy holocene, pokryte madami.

Przy granicy z Sudetami, zwłaszcza w północno-zachodniej części regionu, występują piaszczysto-żwirowe stożki napływowe cieków sudeckich. W wielu obszarach Niziny występują piaszczyste pola sandrowe, przeważnie przykrywające utwory moreny dennej.

W wielu miejscach pokrywy występują wydmy piaszczyste, zwykle utrwalone szatą leśną, rozwinięte na piaskach morenowych i piaszczystych tarasach rzecznych. Występują one licznie na Równinie Oleśnickiej, Równinie Opolskiej oraz na Płaskowyżu Głubczyckim. Wysokość wydm dochodzi miejscami do kilkunastu metrów.

W północno-wschodniej i południowej części Niziny na starszych utworach plejstoceńskich budujących tarasy i wysoczyzny występują pokrywy lessowe.

#### **10.12.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE**

Na Nizinie Śląskiej szersze użytkowe znaczenie mają poziomy wodonośne występujące w piętrach mezozoicznych i kenozoicznych.

W piętrze triasowym, rozprzestrzenionym w obrębie Monokliny Przedsudeckiej, występują dwa główne poziomy wodonośne. Poziom dolny związany jest z piaskami, żwirami i piaskowcami dolnego triasu. Występują w nim wody porowe o zwierciadle artezyjskim. Poziom górny tworzą wapienie i dolomity środkowego triasu. Zawierają wody szczelinowo-krasowe o zwierciadle artezyjskim. Poziomy triasowe są zasilane głównie przez dopływ wód podziemnych z piętra kredowego lub trzeciorzędowego.

W piętrze kredowym (występującym w rejonach Brzegu, Głubczyc i Opola) poziomy wodonośne tworzą piaski i słabo cementowane piaskowce, zawierające wody porowe i porowo-szczelinowe oraz wapienie i margle z wodami szczelinowymi. Zasilanie piętra kredowego następuje częściowo przez infiltrację opadów na nielicznych wychodniach utworów wodonośnych, a głównie przez dopływ wód z poziomów trzeciorzędowych i czwartorzędowych. Zwierciadło tych wód jest przeważnie napięte, a tylko lokalnie, w rejonie wychodni, swobodne.

W piętrze trzeciorzędowym wodonośne poziomy użytkowe występują w utworach mioceńskich i lokalnie w utworach plioceńskich. W utworach mioceńskich warstwy wodonośne tworzą przede wszystkim piaski, stanowiące przewarstwienia serii ilastej.

Szczególnie zasobne poziomy wód zwykłych występują w piaskach lądowej facji mioceńskiej, w północno-zachodniej części regionu. W morskiej facji mioceńskiej zwykłe wody występują głównie w stropowych partiach serii ilastej. W niektórych rejonach górny poziom wodonośny piętra trzeciorzędowego tworzą plioceńskie piaski i żwiry, zwykłe leżące na osadach mioceńskich.

Trzeciorzędowe poziomy wodonośne zasilane są lokalnie przez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych, natomiast głównie wodami infiltrującymi z poziomów czwartorzędowych. Miejscami w zasilaniu biorą udział wody dopływające z piętra kredowego lub triasowego. W rejonie wychodni utworów wodonośnych występuje zwierciadło swobodne; poza wychodniami, zwłaszcza w dolnych poziomach, wody są pod ciśnieniem.

W skali całego regionu największe znaczenie użytkowe ma piętro czwartorzędowe. Poziomy wodonośne tworzą piaski i żwiry pochodzenia rzecznego i polodowcowego, wypełniające współczesne doliny rzeczne, doliny kopalne oraz budujące pokrywy fluwioglacialne i przewarstwienia międzymorenowe. Dwie ostatnie struktury wodonośne występują najczęściej w północno-wschodniej części regionu.

Najzasobniejsze zbiorniki wód podziemnych tworzą utwory piaszczysto-żwirowe w dolinach kopalnych, m. in. Białej Głuchołaskiej, Bobru, Bystrzycy, Kwisy, Nysy Kłodzkiej, Odry, Piławy i Szprotawy. Szczególnie dużą zasobnością cechuje się kopalna dolina Odry, stanowiąca część pradoliny Wrocławsko-bremeńskiej, gdzie miąższość osadów wodonośnych przekracza miejscami 50 m.

W dolinach kopalnych występują zwykle dwa lub trzy poziomy wodonośne. W dolnych poziomach wody mają zwierciadło zwykle napięte, a w górnych swobodne. We współczesnych dolinach i pozostałych strukturach wodonośnych występuje najczęściej jeden poziom wód o zwierciadle najczęściej swobodnym, a w przewarstwieniach morenowych zwykle napiętym.

Większość czwartorzędowych poziomów wodonośnych jest zasilana przez infiltrację opadów atmosferycznych. W dolinach kopalnych w zasilaniu tych poziomów, zwłaszcza głębszych, znaczną rolę odgrywa dopływ wód z poziomów starszych formacji geologicznych.

#### **10.12.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

Największe problemy geologiczno-inżynierskie związane są ze statecznością skarp głębokich wykopów budowlanych i kopalń odkrywkowych węgla brunatnego w obrębie ilów trzeciorzędowych. W mniejszym zakresie dotyczy to również wykopów w obrębie plejstoceńskich ilów zastoiskowych.

Obniżenie parametrów wytrzymałościowych tych gruntów wiąże się w głównej mierze z ich podatnością na pęcznienie i uplastycznenie po nawodnieniu. Równie ważną przyczyną w tym względzie są zaburzenia glacitektoniczne.

Na obszarach występowania lessów i gruntów lessopodobnych częstym zjawiskiem są osiadania zapadowe i erozja powierzchniowa.

### **ZESPÓŁ IX**

#### **10.13. SUDETY I PRZEDGÓRZE SUDECKIE**

##### **10.13.1. RYS GEOMORFOLOGICZNY**

Region sudecki, położony w południowo-zachodniej części Polski, pomiędzy dolinami Nysy Łużyckie i Odry, cechuje się wyjątkowo dużą różnorodnością form morfologicznych. Ze względu na zasadnicze różnice w ukształtowaniu terenu wyróżnia się w nim dwie główne jednostki: Sudety z Pogórzem Sudeckim i Przedgórze Sudeckie.

Sudety z Pogórzem Sudeckim zajmują południowo-zachodnią część regionu. Stanowią jednostkę górską wydzwigniętą w stosunku do Przedgórza Sudeckiego wzdłuż uskoku tektonicznego (brzeżnego), przebiegającego od Bolesławca w północno-zachodniej części regionu, przez Złotoryję, do Złotego Stoku w części południowo-wschodniej części. Na kontakcie z Przedgórzem Sudeckim zakończone są progiem o wysokości względnej od około 150 m w części północno-zachodniej do około 600 m w części południowo-wschodniej. W tej strefie porozcinane są licznymi, głębokimi wąwozami i dolinami przełomowymi rzek wypływanymi zewnętrznych części górotworu.

Masyw górski Sudetów i Pogórza Sudeckiego tworzą wyniesienia zrębowe, osiągające w kulminacjach wysokość w granicach 800 – 1600 m n. p. m., porozdzielane kotlinami, obniżeniami i dolinami rzecznymi. Niektóre obniżenia i doliny rzeczne są wynikiem procesów denudacyjnych. Większość jednak kotlin i obniżeń ma charakter zapadisk i niecek tektonicznych.

W obrębie Sudetów wyniesienia zrębowe mają przeważnie wyrównane wierzchowiny. Zrębowe jednostki geomorfologiczne Pogórza Sudeckiego, przylegające do północnej i południowo-wschodniej strefy Sudetów, są niższe od sudeckich. Z ich wyrównanych powierzchni wyrastają grzbiety i stożki skał wulkanicznych.

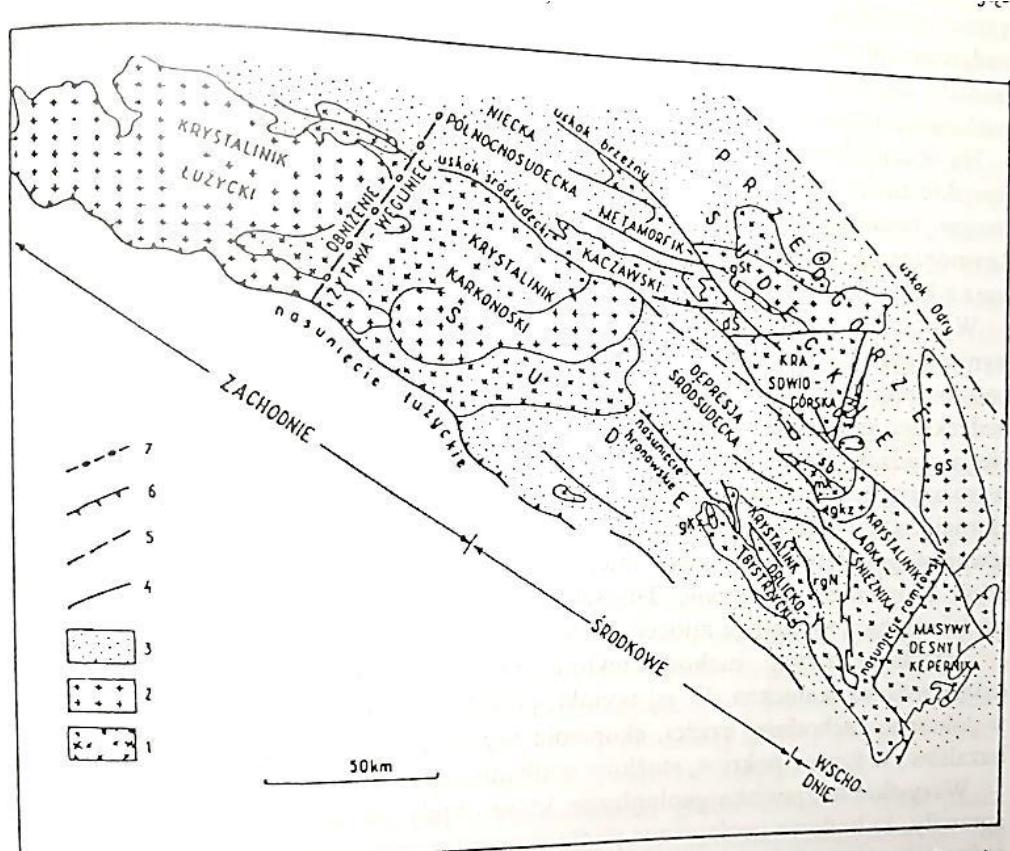
W obrębie Przedgórza Sudeckiego południową część obszaru stanowi wyżyna, przechodząca w części północnej w nizinę o wysokości w granicach 200 – 300 m n. p. m. Powierzchnia terenu stanowi generalnie równinę z lokalnymi wyspowymi wzgórzami skał intruzywnych i wulkanicznych.

### 10.13.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

#### 10.13.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe

Różnorodność form geomorfologicznych regionu Sudetów i Przedgórza jest w głównej mierze związana ze złożonością budowy geologicznej tego obszaru. Masyw skalny tego regionu jest rozległym blokiem, oddzielonym od innych struktur geologicznych trzema dużymi dyslokacjami: po stronie południowo-zachodniej od masywu czeskiego, na południowym wschodzie od struktury śląsko-morawskiej, a na północnym wschodzie, uskokiem środkowej Odry, od monokliny przedsudeckiej. Po stronie Północno-zachodniej masyw sudecki przechodzi poza granicami Polski w masyw lużycki.

Zawarty w tych granicach masyw przecina sieć dyslokacji wewnętrznych, które dzielą go na szereg mniejszych jednostek strukturalnych. Największa z tych dyslokacji – uskok brzeżny – oddziela obszar Sudetów i Pogórza Sudeckiego od Przedgórza Sudeckiego. Obszar Sudetów i Pogórza Sudeckiego stanowi, w ogólnym ujęciu, wyniesioną strukturę blokowo-fałdową. Cokół tej struktury tworzą krystaliczne utwory prekambryjskie i staropaleozoiczne. W jego obrębie występują dwie duże struktury depresyjne: północnosudecka i śródsudecka. Tworzą one niecki uformowane z utworów paleozoiczno-mezozoicznych, rozdzielające wypiętrzone cokoły krystaliczne (rys. 220).



Rys. 220. Szkic głównych jednostek geologicznych Sudetów i Przedgórza Sudeckiego (wg Stupnickiej E. [63]): 1 – skały metamorficzne, 2 – skały magmowe, 3 – skały osadowe różnego wieku (karbon – trzeciorzęd), 4 – uskoki lub strefy dyslokacji, 5 – uskoki przypuszczalne, 6 – nasunięcia, 7 – oś obniżenia trzeciorzędowego

szkic głównych jednostek

Obecna złożona i zróżnicowana budowa geologiczna poszczególnych jednostek strukturalnych Sudetów i Przedgórza Sudeckiego jest wynikiem kilku cykli zjawisk sedimentacyjnych, tektonicznych i erozyjnych, którym podlegał ten region we wszystkich erach. Przebieg tych zjawisk przedstawia się w uproszczeniu następująco.

Procesy diastroficzne i magmowe, które wystąpiły w orogenezie kaledońskiej, spowodowały zdyslokowanie i zmetamorfizowanie prekambryjskich i staropaleozoicznych skał osadowych i krystalicznych oraz powstanie w ich obrębie (lub na powierzchni) skał magmowych.

Struktury kaledońskie zostały na znacznych obszarach przykryte osadami młodszego paleozoiku: głównie karbonu (skały okruchowe, lokalnie z pokładami węgla kamiennego) i permu (skały okruchowe, miejscami wapień i dolomity).

W czasie orogenezy waryscyjskiej struktury kaledońskie oraz przykrywające je osady młodszego paleozoiku zostały sfałdowane, miejscami porozdzielane intruzjami magmowymi i lokalnie zmetamorfizowane. Na tym podłożu osadziły się w wielu rejonach utwory triasu i kredy. W triasie były to głównie piaskowce, mułowce, ily i wapień, a w kredzie wapień, piaskowce, piaski i ily.

Na obecny kształt struktur geologicznych regionu miały największy wpływ alpejskie ruchy tektoniczne. W wyniku licznych dyslokacji uskokowych cały ten masyw został podzielony na mniejsze zręby, zapadiska i rowy tektoniczne. Równocześnie wzdłuż uskoku brzeżnego nastąpiło wydźwignięcie bloku Sudetów wraz z Pogórzem Sudeckim ponad blok Przedgórza Sudeckiego.

W okresie trzeciorzęдовym procesy denudacyjne doprowadziły w niektórych wyniesionych zrębach tektonicznych do usunięcia części pokryw osadowych i odsłonięcia starszych formacji skalnych. Równocześnie na obszarze Przedgórza Sudeckiego oraz w kotlinach i rowach tektonicznych Sudetów i Pogórza Sudeckiego osadzały się w oligocenie, miocenie i pliocenie luźne skały okruchowe.

Na przeważającej części regionu były to przeważnie osady akumulacji rzecznej i jeziornej: żwiry, piaski, ily (m. in. tzw. ily poznańskie) i gliny kaolinowe. Wśród tych utworów występują w wielu miejscach pokłady węgla brunatnego, z największym skupieniem w rejonie Turoszowa. Lokalnie, szczególnie w południowej części regionu, występuje mioceńska seria osadów ilasto-piaszczystych.

Trzeciorzędom ruchom tektonicznym towarzyszyła w tym regionie działalność wulkaniczna. W jej wyniku powstały w wielu miejscach, szczególnie w północno-zachodniej części regionu, skupienia wylewnych skał magmowych (głównie bazaltów) w formie pokryw, stożków wulkanicznych i różnego rodzaju żył.

Wszystkie te zjawiska geologiczne, które objęły Sudety i Przedgórze Sudeckie sprawiły, że budowa geologiczna podłożu przedczwartorzędnego poszczególnych jednostek geomorfologicznych regionu jest bardzo zróżnicowana.

Niektóre jednostki zbudowane są w całości z utworów krystalicznych (magmowych i metamorficznych). Należą do nich m. in. Góry Bialskie, Góry Izerskie, Góry Kaczawskie, Góry Sowie, Góry Złote, Karkonosze, Kotlina Jeleniogórska i Masyw Śnieżnika.

W innych jednostkach na podłożu krystalicznym występują skały osadowe paleozoiczne lub (i) mezozoiczne. Do tego typu zaliczają się m. in. Góry Bardzkie, Góry Bystrzyckie, Góry Orlickie, Góry Stołowe, Kotlina Kamiennogórska i Kotlina Kłodzka. W niektórych jednostkach w budowie pokrywy osadowej biorą też udział osady trzeciorzędowe (Kotlina Dzierżoniowska, Kotlina Turoszowska, Obniżenie Dusznickie).

W niektórych jednostkach ponad powierzchnią uformowaną ze skał osadowych wznoszą się wypreparowane intruzje żyłowe skał magmowych lub stożki wulkaniczne (Góry Kamienne, Góry Wałbrzyskie, Pogórze Izerskie, Pogórze Kaczawskie).

### **10.13.2.2. Pokrywa czwartorzędowa**

Na stromych stokach, zwłaszcza w górnym partiach niektórych wzgórzów górskich, odsłaniają się skały starszego podłożu lub występuje tylko cienka, zwykle nieciągła pokrywa rumoszu zwietrzelinowego.

Na przeważającej części stoków i wierzchowinach wzgórz starsze podłożo przykrywają plejstoceńskie i współczesne osady. W wielu miejscach występują płaty glin morenowych i żwirowo-piaszczyste osady wodnolodowcowe oraz piaszczysto-gliniaste i żwirowe utwory tarasów i stożków kemowych.

Najliczniej są reprezentowane utwory zboczowe. Są to gliniaste i gruzowe pokrywy zwietrzelin (o miąższości dochodzącej miejscami do kilku metrów), piaszczysto-żwirowe stożki usypiskowe, gółoborza i rumowiska skalne. W obniżeniach morfologicznych i w dolnych partiach stoków występują grube pokrywy deluwialne i soliflukcyjne. Często zachodzą one na tarasy rzeczne. Na zboczach Karkonoszy licznie występują utwory bocznych i czołowych moren lokalnego lodowca górskiego.

W kotlinach i obniżeniach Sudetów i Pogórza oraz na równinach Przedgórza Sudeckiego występuje ciągła pokrywa osadów czwartorzędowych. Tworzą ją w różnych formach geometrycznych i układach przestrzennych żwiry i piaski wodnolodowcowe, ilły i muły zastoiskowe i gliniaste utwory morenowe, a na przedpolu Sudetów deluwialne pokrywy gliniasto-pylaste.

Znaczny udział w budowie pokrywy czwartorzędowej mają utwory wypełniające doliny kopalne powstałe w okresie najstarszego zlodowacenia. Występują one w wielu kotlinach (m. in. Jeleniogórskiej i Kłodzkiej) i w dolinach współczesnych rzek (m. in. Bobru, Kwisy, Nysy Kłodzkiej i Olzy). Niektóre z nich sięgają do głębokości kilkudziesięciu metrów poniżej dzisiejszych den.

Doliny kopalne wypełniają żwiry, często bardzo gruboziarniste, i piaski rzeczne i rzecznolodowcowe, miejscami przykryte utworami zastoiskowymi lub glinami morenowymi. U podnóża stoków utwory te zazębają się z pokrywami zwietrzelinowymi.

W obecnych dolinach rzecznych utwory czwartorzędowe tworzą dobrze rozwinięte tarasy akumulacyjne. Zwykle występują trzy ponadzalewowe tarasy plejstoceńskie i zalewowy taras holocenecki. Wysokość tarasów plejstoceńskich mieści się najczęściej w przedziale 3-6 m, 8-10 m i 15-35 m, a tarasów holoceneńskich 1-2 m.

Tarasły są zbudowane głównie ze żwirów i piasków. Osady te na wysokich tarasach plejstoceńskich są często przykryte ilami zastoiskowymi i glinami morenowymi. Miejscami utwory zastoiskowe występują w spągu serii żwirowo-piaszczystej. Na najniższych tarasach plejstoceńskich i na tarasach holoceneńskich utwory żwirowo-piaszczyste przykryte są współczesnymi madami.

Znaczne obszary w tym regionie zajmują lessy. Występują one w stropowej części pokrywy czwartorzędowej. W obrębie Sudetów znaczniejsze płaty lessów występują tylko w Kotlinie Kłodzkiej i u podnóża wschodnich stoków Górz Kamiennych. W obrębie Przedgórza Sudeckiego lessy występują w postaci rozległych pokryw na całym terenie, przy czym największą miąższość, dochodzącą do kilkunastu metrów, osiągają w południowo-wschodniej części tej jednostki.

### 10.13.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Podobnie jak budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne poszczególnych rejonów obszaru Sudetów, Pogórza i Przedgórza Sudeckiego są bardzo zróżnicowane. Wodonośne poziomy występują we wszystkich formacjach: od krystalicznego podłoża do pokrywy czwartorzędowej.

W utworach podłoża krystalicznego występują użytkowe poziomy wodonośne zawierające wody szczelinowe, a lokalnie, w rejonie występowania zmetamorfizowanych skał węglanowych, szczelinowo-krasowe (m. in. w Górzach Kaczawskich, Masywie Śnieżnika i Górzach Złotych).

Zasobność i warunki krążenia wód w tych poziomach są uzależnione od stopnia zaangażowania tektonicznego, a lokalnie od stanu skrasowania utworów i warunków zasilania. Najkorzystniejsze warunki w tym względzie występują w spękanych zrębowych masywach obszaru sudeckiego, gdzie krystaliczne podłoże przykryte jest tylko pokrywą zwietrzelinową lub przepuszczalnymi osadami rzecznymi lub polodowcowymi.

Wody podłoża krystalicznego są w strefie intensywnego krążenia przeważnie wodami słodkimi, zwykle o bardzo niskiej mineralizacji. W strefach głębokiego krążenia występują miejscami wody termalne.

W piętrze paleozoicznym wodonośne poziomy występują w utworach karbońskich i permskich. W utworach karbońskich wodonośne poziomy użytkowe występują głównie w obszarze depresji śródgórskiej. Warstwami wodonośnymi są kompleksy piaskowców, zlepieńców i mułowców. Występują w nich wody szczelinowe, przeważnie o zwierciadle swobodnym. W strefie intensywnego krążenia wód infiltracyjnych są to wody słodkie. Głębiej występują wody mineralne. W rejonach eksploatacji węgla kamiennego poziomy karbońskie są silnie drenowane przez kopalnie.

W formacji permskiej dolne poziomy wodonośne związane są z piaskowcami i zlepieńcami, zawierającymi wody typu szczelinowego. W obszarze sudeckim poziomy permskie występują w rejonach dwóch głównych depresji, a na obszarze Przedgórza Sudeckiego w obrębie całej jednostki.

Poziomy te są zasilane częściowo infiltracją opadów atmosferycznych na wychodniach warstw wodonośnych oraz dopływem wód z innych horyzontów wodonośnych. Na obszarze sudeckim poziomy permskie zwykle łączą się systemami spękań z poziomami karbońskimi. W rejonach wychodni są to wody słodkie o zwierciadle swobodnym. W głębszych partiach, poza rejonami wychodni, wody te mają zwierciadło przeważnie napięte i są zwykle wodami mineralnymi. W rejonie eksploatacji rud miedzi poziomy permskie są drenowane przez kopalnie.

W piętrze triasowym poziomy wodonośne występują w obu depresjach sudeckich. Dolne poziomy wodonośne tworzą warstwy piaskowców. Występują w nich wody szczelinowe o zwierciadle napiętym. Poziomy górne tworzą utwory węglanowe. Zawierają one wody szczelinowe i szczelinowo-krasowe o zwierciadle napiętym. Poziomy te występują zasadniczo tylko w rejonie depresji północnosudeckiej.

Poziomy triasowe zasilane są infiltracją opadów atmosferycznych lokalnie na wychodniach warstw wodonośnych. Główny udział w zasilaniu ma jednak dopływ wód z poziomów permskich i kredowych, z którymi poziomy te mają silne więzi hydrauliczne.

Wodonośne poziomy piętra kredowego występują w obu strukturach depresyjnych Sudetów i w tych obszarach mają szczególnie duże znaczenie użytkowe. Utworami wodonośnymi są głównie piaskowce, a szczególnie piaskowce ciosowe. W profilu tych utworów występuje miejscami kilka poziomów wodonośnych. Występują w nich wody porowo-szczelinowe i szczelinowe.

Znaczący udział w zasilaniu poziomów kredowych ma infiltracja opadów atmosferycznych na wychodniach warstw wodonośnych. Największy obszar zajmują wychodnie w Górzach Stołowych. Prócz tego w zasilaniu bierze udział dopływ wód podziemnych z innych pięter wodonośnych. W poziomach górnych zwierciadło wody jest przeważnie swobodne, zwłaszcza w rejonie wychodni utworów wodonośnych. Dolne poziomy mają zwierciadło napięte.

Piętro trzeciorzędowe reprezentują poziomy wodonośne występujące w depresjach sudeckich i na całym obszarze Przedgórza Sudeckiego. Utworami wodonośnymi są piaski, a lokalnie żwiry. Stanowią one przewarstwienia (najczęściej w formie rozległych soczewek) wśród mioceńskiej, a lokalnie plioceńskiej jeziornej serii ilastej, a w południowej części Przedgórza wśród morskich, ilastych osadów mioceńskich.

Utwory te tworzą wiele nieciągłych poziomów, połączonych ze sobą sedymentacyjnymi lub erozyjnymi oknami hydrogeologicznymi. Poziomy wodonośne z wodami krążącymi są zasilane przeważnie wodami opadowymi infiltrującymi przez nadkład czwartorzędowy lub wodami napływającymi z piętra czwartorzędowego. Płytkie poziomy mają często zwierciadło swobodne, a głębsze zwykle napięte. W strefie intensywnego krążenia są to na ogół wody słodkie. Wody o powolnym krążeniu są bardzo często silnie zmineralizowane.

W piętrze czwartorzędowym główne poziomy wodonośne związane są ze żwirami i piaskami tworzącymi kilka struktur geologicznych. Najzasobniejsze poziomy tworzą te utwory w licznych, głęboko wcęptych w starsze podłożę dolinach kopalnych. Równie zasobne niekiedy poziomy występują w utworach wypełniających współczesne doliny rzeczne.

W kotlinach, obniżeniach i na płaskowyżach Sudetów oraz na wysoczyznach Przedgórza zasobne poziomy wodonośne występują w piaskach i żwirach tworzących formy pokrywowe i międzymorenowe. W obszarach zrębowych występują w wielu miejscach stałe lub okresowe poziomy wodonośne w rumoszowych pokrywach zwietrzelinowych, rozwiniętych na twardych skałach podłoża.

Czwartorzędowe poziomy wodonośne są w większości zasilane przez infiltrację opadów atmosferycznych i mają przeważnie zwierciadło swobodne. Wyjątek stanowią poziomy w dolinach kopalnych, w których główną rolę w zasilaniu odgrywają wody napływające ze starszych formacji skalnych, a zwierciadło jest zwykle napięte.

#### 10.13.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Złożona i zróżnicowana budowa geologiczna i morfologiczna regionu sudeckiego sprawia, że w jego obrębie trudno jest wydzielić problemy, które mogłyby być uznane za charakterystyczne dla całego obszaru lub przeważającej jego części. W zależności od lokalnych warunków geomorfologicznych geologiczno-inżynierskie problemy mogą się wiązać z:

- licznymi strefami dyslokacji tektonicznych i związanym z tym silnym spękaniem skał,
- obrywami i usypiskami w rejonach górskich,
- osiadaniem zapadowym i erozją powierzchniową w obszarach występowania lessów,
- szkodami górnictwem w rejonie dolnośląskiego zagłębia węglowego,
- osuwiskami na niektórych stokach z gliniastymi pokrywami zwietrzelinowymi.

## 10.14. NIŻ POLSKI

### 10.14. 1. RYS GEOMORFOLOGICZNY

Region Niżu Polskiego obejmuje tereny stanowiące około 70 % obszaru Polski, położone na północ od pasa gór i wyżyn środkowopolskich. Zalicza się do niego również obszar Niziny Śląskiej, wcinającej się klinem pomiędzy Przedgórze Sudeckie i Wyżyny Śląsko- Małopolskie, wydzielonej w niniejszym opracowaniu umownie jako odrębny region.

Pod względem hipsometrycznym cały obszar Niżu Polskiego jest formą niziną. Na obecne ukształtowanie powierzchni terenu decydujący wpływ miały procesy erozyjno-akumulacyjne, głównie pleistoceńskie i – w mniejszym zakresie – holocene. W południowej części Niżu, która była w zasięgu jedynie najstarszego zlodowacenia, na ukształtowanie terenu pewien wpływ miała też konfiguracja podłoża przedczwartorzędowego.

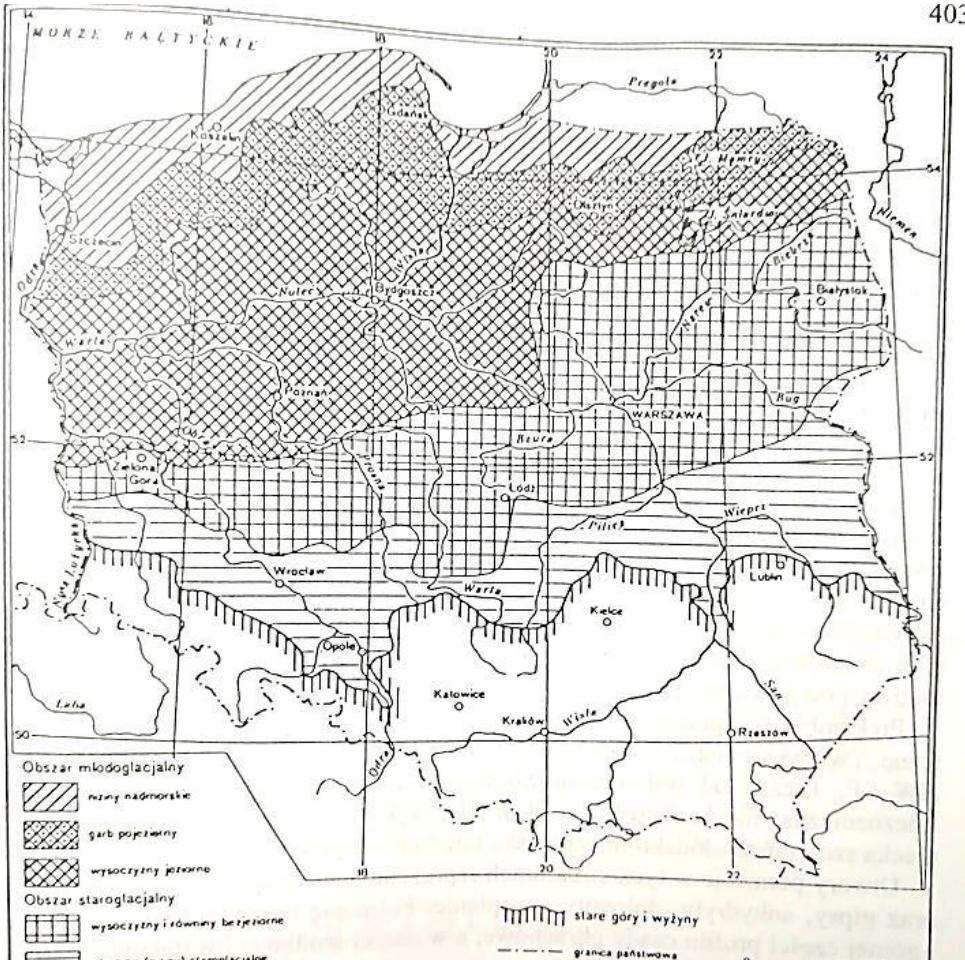
W rzeźbie obszaru Niżu zasadniczą rolę odgrywają następujące formy morfologiczne: garby i wysoczyzny morenowe, wydmy, głęboko wcięte, wąskie doliny przełomowe, rozległe kotły dolinne z tarasami, pradoliny, równiny sandrowe, zamknięte, suche obniżenia wytopiskowe, jeziora polodowcowe.

Od rozmiarów, rozmieszczenia i współwystępowania tych form zależy morfologia poszczególnych rejonów Niżu. Występują w jego obrębie zarówno bardzo rozległe obszary monotonnych równin, jak i tereny o gęstym rozkładzie różnorodnych form morfologicznych. W wielu miejscach względne różnice wysokości sąsiadujących ze sobą wzniesień i obniżeń przekraczają 100 m.

W rozmieszczeniu poszczególnych form morfologicznych w obrębie Niżu ujawnia się zakres i przebieg geologicznych, hydrologicznych i klimatycznych zjawisk pleistoceńskich, a także częściowo holocenejskich.

Morfologia i geneza czwartorzędowych form terenu stanowią podstawowe kryterium podziału Niżu Polskiego na jednostki geomorfologiczne. W generalnym podziale tego obszaru wydzielają się strefy o przebiegu zbliżonym do równoleżnikowego, charakteryzujące się swoistymi cechami morfogenetycznymi.

Przykładowo, R. Galon [23] podaje podział Niżu na pięć stref (rys. 221). W obszarze młodoglacjalnym (obszar objęty ostatnim zlodowaceniem) są to: a) niziny nadmorskie (pobrzeża), b) garb pojezierny i c) wysoczyzny jeziorne. W obszarze staroglacjalnym (objętym środkowopolskim zlodowaceniem) wydzielają się: a) wysoczyzny i równiny bezjeziorne oraz b) równiny staroglacjalne. W obrębie tych stref wydzielają się szereg regionów i mniejszych jednostek geomorfologicznych. Ich szczegółową charakterystykę zawiera bogata literatura z tego zakresu.



Rys. 221. Główne strefy morfogenetyczne Niżu Polskiego (wg Galona R. [23])

## 10.14.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

### 10.14.2.1. Podłoże przedczwartorzędowe

Najstarsze, głębokie podłożo Niżu Polskiego tworzy kilka jednostek tektonicznych. W części północno-wschodniej jest to krystaliczna prekambryjska platforma wschodnioeuropejska, a w części południowo-zachodniej struktury fałdowe zachodnioeuropejskiej platformy paleozoicznej. Te dwie jednostki rozdziela strefa głębokich rozłamów tektonicznych, tzw. strefa Gutercha. Powierzchnia stropowa tych jednostek występuje na Niżu na głębokości od kilkuset do kilku tysięcy metrów pod powierzchnią terenu.

Prekambryjsko-paleozoiczne podłożo przykrywają utwory permsko-mezozoiczne. Tworzą one na tym obszarze kilka struktur tektonicznych o przebiegu w linii NW-SE. Licząc od północno-wschodniej części kraju są to: płyta permsko-mezozoiczna, niecka brzeżna, wał środkowo-polski ze strukturą świętokrzyską, niecka szczecińsko-łódzko-miechowska i monokлина przedsudecka.

Utwory permskie w tych strukturach reprezentowane są przez skały okruchowe oraz gipsy, anhydryty, dolomity i wapienie. Formację triasową tworzą w dolnej i górnej części profilu osady okruchowe, a w części środkowej wapienie, dolomity oraz wkładki gipsów i anhydrytów.

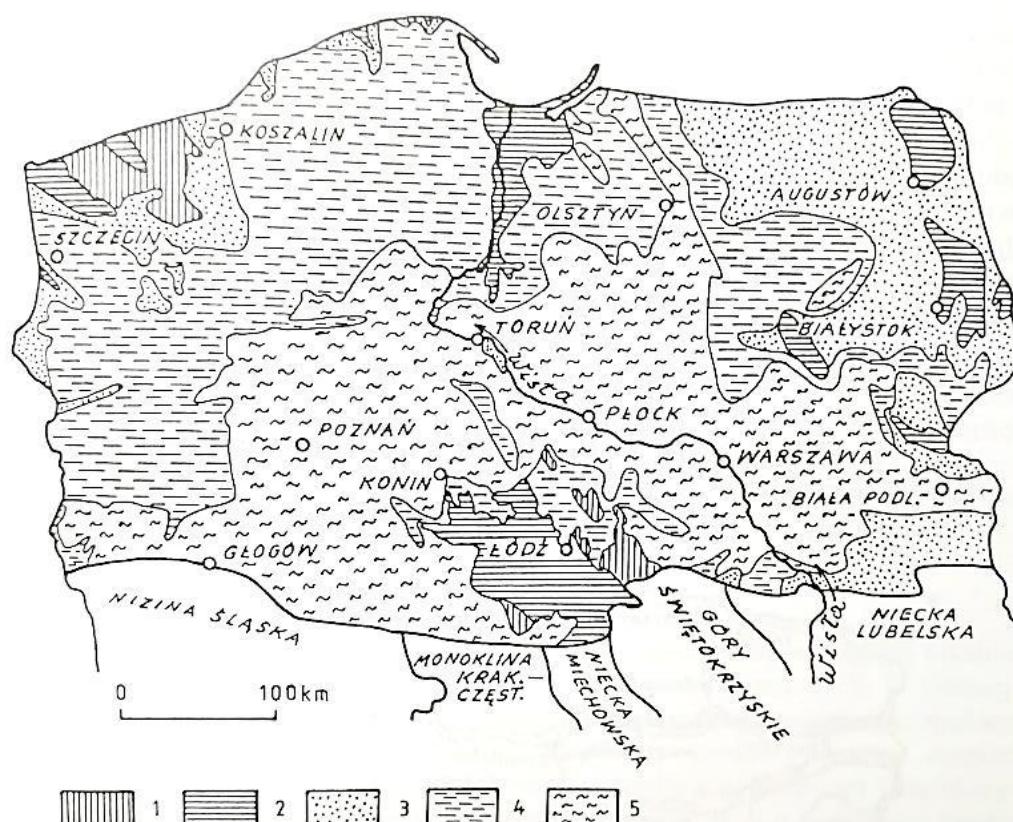
W dolnej jurze występują utwory piaszczysto-ilaste, lokalnie z wkładkami węgla brunatnego, a w górnej dominują wapienie, miejscami przewarstwione lub zastępowane facjalnie mułowcami i łupkami. Kredę dolną reprezentują piaski, piaskowce i mułowce, z rudami żelaza i fosforytami. W górnej kredzie dominujące składniki stanowią opoki i kreda pisząca, a oprócz nich występują wapienie, margele, sporadycznie łupki i mułowce.

Utwory mezozoiczne – głównie kredowe i częściowo jurajskie – występują bezpośrednio pod pokrywą czwartorzędową w kilku miejscach. Są to rejony przyległe do Zatoki Pomorskiej i Zatoki Gdańskiej, obszar Pojezierza Suwalskiego, Niecki Łódzkiej, środkowy odcinek doliny Bugu oraz kilka mniejszych izolowanych wychodni, rozmieszczonych wzdłuż wału środkowo-polskiego.

Z wyjątkiem wymienionych wyżej miejsc, na całym obszarze Niżu bezpośrednie podłoże pokrywy czwartorzędowej stanowią osady trzeciorzędowe (rys. 222). Jest to seria złożona głównie z nies cementowanych osadów morskich i jeziornych, lokalnie przewarstwiających się lub zastępujących facjalnie.

Z okresu paleogenu (oligocenu, eocenu, a lokalnie paleocenu) występują tu głównie osady morskie. Są to przede wszystkim piaski glaukonitowe (zwane powszechnie piaskami oligoceńskimi), miejscami z wkładkami drobnych żwirów i konkrecjami fosforytów. Neogen (miocen i pliocen) reprezentują przeważnie utwory akumulacji jeziornej: piaski, muły i ily z pokładami węgla brunatnego. Miejscami występują piaskowce krzemionkowe.

Jako bezpośrednie podłoże utworów czwartorzędowych największe obszary na Niżu zajmują utwory pliocenowe, głównie pstre ily, tzw. ily poznańskie. Drugą pozycję w tym względzie zajmują ily i piaski z węglem brunatnym z mioceńskiej facji lądowej. Znacznie mniejsze obszary zajmują utwory formacji oligoceńskiej.



Rys. 222. Szkic geologiczny podłożu utworów czwartorzędowych na Niżu Polskim (wg Atlasu [2]):  
1 – utwory jurajskie, 2 – utwory kredowe; utwory trzeciorzędowe: 3 – oligoceńskie,  
4 – mioceńskie, 5 – pliocenische

### 10.14.2.2. Pokrywa czwartorzędowa

W budowie pokrywy czwartorzędowej Niżu główny udział mają utwory plejstoceńskie. Tworzą one ciągły kompleks osadów o miąższości od kilku lub kilkunastu metrów w strefie południowej granicy regionu do ponad 200 m w północno-wschodniej części regionu.

Są to różnego rodzaju gliny morenowe, bruk morenowy, żwiry i piaski wodnolodowcowe stożków i równin sandrowych, ily muły i piaski zastoiskowe oraz żwiry i piaski rzeczne. Wśród nich występują

licznie organiczne osady jeziorne i bagienne: torfy i gytie. Miejscami spotyka się porwaki skał trzeciorzędowych, kredowych, rzadziej jurajskich. W strefie południowej granicy regionu występują fragmentarycznie lessy.

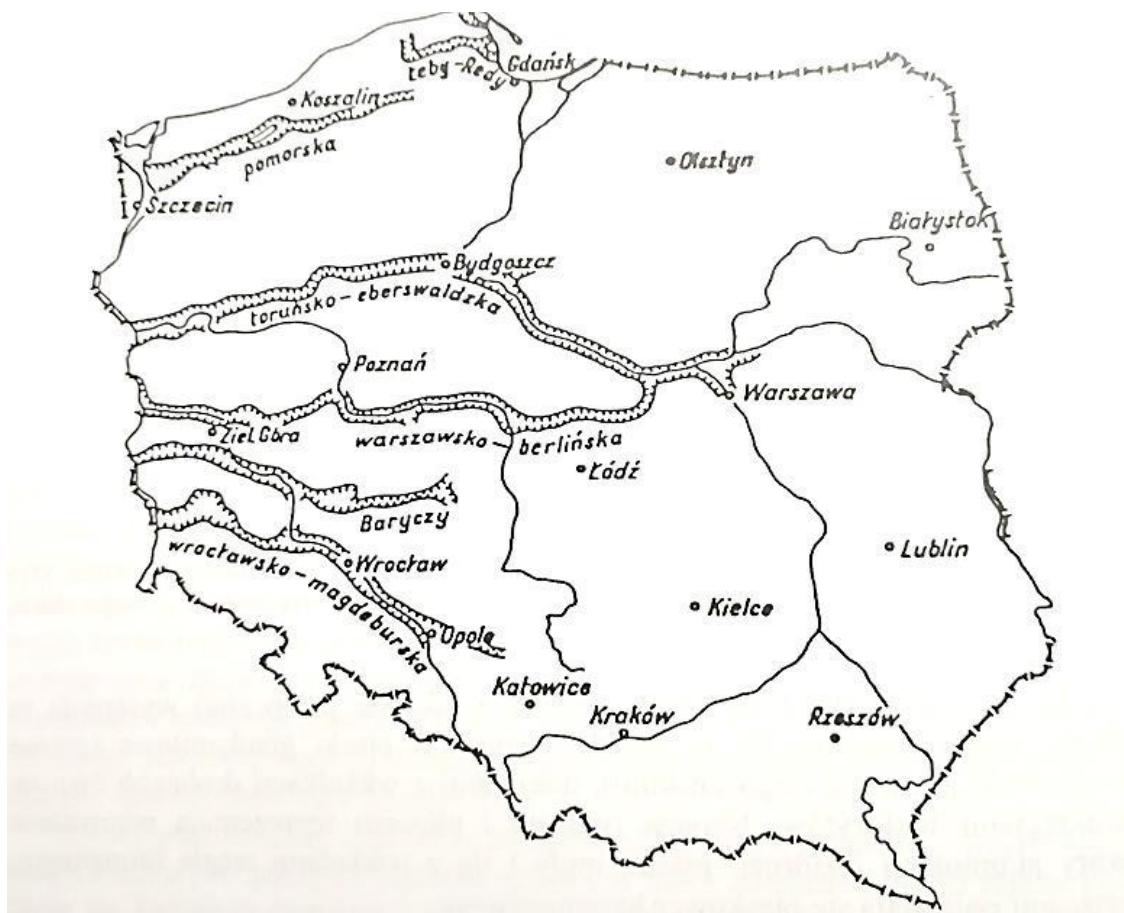
Utwory te powstały w wielu powtarzających się i zróżnicowanych przestrzennie cyklach sedimentacyjno-erozyjnych. Z tego też względu cechuje je duże zróżnicowanie litologiczne, wzajemne przewarstwianie się i duża zmienność w rozprzestrzenieniu poziomym.

Przy tym generalnie dużym zróżnicowaniu utworów plejstoceńskich na całym obszarze Niżu występują jednak znaczne obszary o bardziej jednorodnym litologicznie i genetycznie typie utworów. Do takich obszarów, najliczniej rozwiniętych, należą pradoliny i współczesne doliny rzeczne, w bardzo wielu przypadkach powiązane z pradolinami. W przeważającej części są one wypełnione piaszczysto-żwirowymi osadami, stanowiącymi główny składnik tarasów plejstoceńskich. Według R. Galona [23] stanowią one około 30% obszaru Niżu. Do większych pradolin należą: wrocławsko-magdeburska, warszawsko-berlińska, toruńsko-eberswaldzka i pomorska (rys. 223).

Znaczne rozprzestrzenienie, szczególnie w północnej części Niżu, mają piaszczyste równiny sandrowe. Licznie też występują piaszczysto-żwirowe lub gliniaste wały lub wysoczyzny morenowe.

Utwory holocenejskie są reprezentowane głównie przez osady rzeczne, deluwia i grunty organiczne. Osady rzeczne budują niskie tarasy akumulacyjne. Są to przede wszystkim piaski i żwiry pochodzące z rozmycia utworów plejstoceńskich, przykryte madami. Mady holocenejskie występują też na niskich tarasach plejstoceńskich.

U podnóża zboczy i wzgórz licznie występują gliniaste deluwia, a w zagłębieniach terenu (starorzeczach, niszach wytopiskowych itp.) gytie i torfy.



Rys. 223. Główne pradoliny plejstoceńskie na Niżu Polskim (wg Pazdry Z. i Kozerskiego B. [54])

### **10.14.3. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE**

W podłożu mezozoicznym użytkowe poziomy wodonośne występują lokalnie w utworach jurajskich i, w szerszym zakresie, w utworach kredowych.

W formacji jurajskiej wodonośne są spękane piaskowce dolnej i środkowej jury oraz spękane i skrasowiałe wapienie górnourajskie. Użytkowe poziomy występują w obszarze płytkiego zalegania tych utworów w strefie antyklinorium świętokrzysko-kujawsko-pomorskiego. Są one zasilane dopływem wód z poziomów kredowych, trzeciorzędowych i czwartorzędowych.

W piętrze kredowym wodonośne poziomy wód użytkowych występują prawie na całym obszarze Nizin. Wyjątek stanowi osiowa strefa antyklinorium pomorsko-świętokrzyskiego, gdzie bezpośrednio pod trzeciorzędem występuje jura. W zależności od warunków geologicznych w poszczególnych częściach regionu występuje jeden lub dwa poziomy wodonośne, związane z utworami dolnej i górnej kredy.

Poziomy dolne tworzą piaski glaukonitowe lub piaskowce z wodami porowo-szczelinowymi. Poziomy górne, z wodami szczelinowymi, tworzą wapienie, margele, kredę i opoki. Zwierciadło wody w obu poziomach jest przeważnie napięte. W przeważającej części regionu kredowe poziomy wodonośne zasilane są wodami infiltrującymi z piętra trzeciorzędowego. W kilku obszarach, gdzie nadkład kredy stanowi pokrywa czwartorzędową, w zasilaniu tych poziomów biorą udział wody piętra czwartorzędowego.

W piętrze trzeciorzędowym główne poziomy wodonośne występują w utworach piaszczystych oligocenu i miocenu. Lokalnie użytkowy poziom wodonośny tworzą piaski pliocenu. Główne poziomy wodonośne występują na całym obszarze występowania formacji trzeciorzędowej. Przeważnie występują oba poziomy. Są jednak rejony, gdzie występuje tylko jeden z tych poziomów. Ponadto występuje lokalna zmienność pod względem zasobności poziomów. W generalnym ujęciu oba poziomy są najzasobniejsze w rejonach kujawsko-mazowieckim i wielkopolskim.

W poziomach trzeciorzędowych przeważają wody słodkie. Wody mineralne występują w strefach kontaktu tych poziomów z mineralnymi wodami piętra jurajskiego i kredowego oraz w głębszych partiach trzeciorzędu, gdzie zachodzi powolna cyrkulacja wody. W wielu miejscowościach woda poziomu mioceńskiego zawierają zanieczyszczenia związane z występującym w tej formacji węglem brunatnym.

Poziomy trzeciorzędowe mają między sobą, w wielu miejscowościach, połączenia hydrauliczne. Tworzą je nieciągłości sedymentacyjne, a w licznych przypadkach głęboko wcięte doliny kopalne, wypełnione utworami przepuszczalnymi. Zwierciadło wód jest przeważnie napięte. Głównym źródłem zasilania jest napływ wód z nadległych poziomów czwartorzędowych.

Największe znaczenie użytkowe mają na Nizinie czwartorzędowe poziomy wodonośne. Tworzą je piaski i żwiry budujące różne struktury akumulacji plejstoceńskiej i rzeczne tarasy holocenejskie.

Do najzasobniejszych i najbardziej rozprzestrzenionych należą poziomy występujące w rozległych współczesnych dolinach rzecznych, kotlinach i pradolinach. W tych ostatnich utwory wodonośne sięgają niekiedy do głębokości około 200 m p. p. t. Zasobne poziomy tworzą też piaski budujące równiny sandrowe. Powszechnie są poziomy związane z piaskami i żwirami podścielającymi, przewarstwiającymi lub przykrywającymi gliny morenowe na wysoczyznach i równinach morenowych.

Złożoność budowy i rozmieszczenia utworów wodonośnych powoduje duże zróżnicowanie warunków hydrogeologicznych piętra czwartorzędowego. Dotyczy to m. in. zróżnicowania poziomów wodonośnych pod względem miąższości, rozprzestrzenienia i głębokości występowania. Ponadto zmenna jest lokalnie liczba poziomów wodonośnych w profilu pionowym: od jednego do kilku.

W przypowierzchniowych poziomach wodonośnych występuje zwykle swobodne zwierciadło wody. W poziomach głębszych przeważają wody o zwierciadle napiętym. Głównym źródłem zasilania są wody opadowe infiltrujące bezpośrednio i pośrednio przez grunty pokrywowe lub nadległe poziomy wodonośne. Głębsze poziomy wodonośne w wielu miejscowościach kontaktują się z wodami piętra trzeciorzędowego i kredowego, rzadziej jurajskiego.

### **10.14.4. PROBLEMY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

Na przeważającej części Niżu warunki geologiczno-inżynierskie są wprawdzie lokalnie bardzo zróżnicowane lecz nie różnią się od warunków spotykanych w obrębie czwartorzędowych osadów innych regionów: proste w różnych pokrywach piaszczysto-żwirowych i niekiedy bardzo złożone w pokrywach gruntów spoistych (iłach zastoiskowych, glinach zwałowych, madach). Również i problemy geologiczno-inżynierskie pojawiające się w tych obszarach nie odbiegają od powszechnie spotykanych.

Większe problemy mogą wystąpić lokalnie w terenach powierzchniowego lub płytkego występowania ilów plioceńskich i mioceńskich. Ich skłonność do pęcznienia oraz zdeformowanie glacitektoniczne są często przyczyną utraty stateczności skarp w wykopach budowlanych i wyrobiskach odkrywkowych kopalń węgla brunatnego. Podobne problemy mogą też wystąpić lokalnie w obrębie grubych serii ilów zastoiskowych.