



**KATEDRA HYDROGEOLOGII I GEOLOGII INŻYNIERKIEJ**

**WYKŁAD**

# **GEOODYNAMIKA**

**DR INŻ. ALEKSANDRA BORECKA**



# Geodynamika

jest działem geologii inżynierskiej, który zajmuje się badaniem procesów i zjawisk geologicznych (naturalnych) i inżyniersko-geologicznych (powstałych wskutek działalności człowieka), ich zmiennością w czasie, strefowością występowania i charakterystyką, a szczególnie badaniem ich wpływu na obiekty działalności ludzkiej i na środowisko inżyniersko-geologiczne wraz z opracowaniem sposobów walki z procesami nie sprzyjającymi.



**W strefie skorupy ziemskiej zachodzą różnego rodzaju procesy:**

powierzchniowe ruchy masowe

wietrzenie

procesy krasowe

sufozja

erozja

abrazja

procesy sejsmiczne



Spadające odłamki skalne. Ostrzega o możliwości spadania na drogę lub zalegania na niej odłamków skalnych o znacznej wielkości.



Nierówna droga. Ostrzega o poprzecznej nierówności jezdni





# POWIERZCHNIOWE RUCHY MASOWE

Nachylenie powierzchni terenu:

## **NATURALNE czyli ZBOCZA**

ukształtowana w wyniku procesów naturalnych nachylona  
powierzchnia terenu

## **SZTUCZNE, ANTROPOGENICZNE czyli SKARPY**

wykonana przez człowieka forma uskoku naziomu, może  
być pionowa lub nachylona pod kątem jako skarpa  
wykopu lub skarpa nasypu

# POWIERZCHNIOWE RUCHY MASOWE

Stopień aktywności (wg Varnesa):

## **AKTYWNE**

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

### **AKTYWNE CIĄGLE (Instrukcja, PAN)**

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

### **AKTYWNE OKRESOWO (Instrukcja, PAN)**

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

## **NIEAKTYWNE**

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



# **POWIERZCHNIOWE RUCHY MASOWE**

Podział wg ruchu zbocza (wg Varnesa):

## **AKTUALNE, ŚWIEŻE**

gdy zachodzi ono w ciągu ostatnich dekad



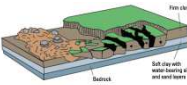
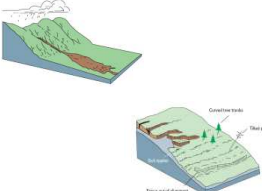
## **STARE, DAWNE**

to takie których nie można datować, gdyż nie ma historycznych zapisów, informujących o tym zjawisku

## **RELIKTOWE**

których ruch zachodził we wcześniejszych epokach geologicznych

# WYBRANE KLASYFIKACJE POWIERZCHNIOWYCH RUCHÓW MASOWYCH Varnes (1978)

Rodzaj ruchu	Schemat	Rodzaj materiału		
		Podłoże skalne	Grunty gruboziarniste	Grunty drobnoziarniste
<b>OBRYWY</b>		OBRYW SKALNY	OBRYW ZWIETRZELINY	OBRYW GRUNTU
<b>OBWAŁY</b>		OBWAŁ SKALNY	OBWAŁ ZWIETRZELINY	OBWAŁ GRUNTU
<b>ZSUWY (poślizgi) ROTACYJNE</b>		ZSUW (OSUWANIE SIĘ) BRYŁY SKALNEJ	ZSUW (OSUWANIE SIĘ) ZWIETRZELINY	ZSUW (OSUWANIE SIĘ) GRUNTU
<b>ZSUWY (poślizgi) TRANSLACYJNE</b>				
<b>ROZSPY BOCZNE</b>		ROZPAD MASYWU SKALNEGO	ROZPAD ZWIETRZELINY	ROZPAD GRUNTU
<b>SPŁYWY</b>		(głębokie pełzanie)	SPŁYW ZWIETRZELINY (pełzanie zwieterzliny)	SPŁYW GRUNTU (pełzanie gruntu)
<b>ZŁOŻONE</b>	Kombinacja dwóch lub więcej typów ruchów masowych			



# WYBRANE KLASYFIKACJE POWIERZCHNIOWYCH RUCHÓW MASOWYCH

## I. A.Kleczkowski (1955)

<b>SPŁYWY</b>	szybkie	płynięcie właściwe, strumieniowe potoki skalne
	wolne	spełzywanie, spełz, złazisko
	osypywanie się	
<b>ZSUWY</b> (osuwiska w węższym znaczeniu)	strukturalne	a) zsuwy strukturalne wzdłuż powierzchni uwarstwienia b) zsuwy strukturalne wzdłuż granicy zwietrzelina-skała c) zsuwy strukturalne wzdłuż szczelin
	ze ścinania	a) zsuwy ze ścinania w materiale jednolitym nie- warstwowanym (pojedyncze, złożone-terasowe) b) zsuwy ze ścinania w materiale warstwowanym
<b>OBRYWY</b>		a) obrywy skalne b) obrywy materiału luźnego

# WYBRANE KLASYFIKACJE POWIERZCHNIOWYCH RUCHÓW MASOWYCH

O.Zaruba, V.Mecl (1969)

## RUCHY WARSTWY POWIERZCHNIOWEJ

- ✓ pełzanie rumowiska związane z zagięciem warstw podłoża,
- ✓ płytkie osuwiska powierzchniowe,
- ✓ spływu gruntu;

## OSUWISKA W SKAŁACH DROBNOKLASTYCZNYCH

- ✓ osuwiska wzdłuż walcowej powierzchni poślizgu,
- ✓ osuwiska wzdłuż uprzywilejowanej powierzchni poślizgu,
- ✓ ruchy zbocza spowodowane wyciśnięciem miękkiej skały;

## OSUWISKA W SKAŁACH ZWIETRZAŁYCH

- ✓ osuwiska wzdłuż powierzchni uprzywilejowanych,
- ✓ długotrwałe osuwiska stoków górskich (osuwiska grawitacyjne),
- ✓ obrywy skalne;

## SPECJALNE RODZAJE RUCHÓW ZBOCZY

- ✓ soliflukcyjne,
- ✓ osuwiska we wrażliwych iłach,
- ✓ osuwiska podwodne.

# WYBRANE KLASYFIKACJE POWIERZCHNIOWYCH RUCHÓW MASOWYCH

## Międzynarodowy Komitet Geologii Inżynierskiej – ramowa klasyfikacja osuwisk:

### **WYCIEKI**

polegające na transporcie gruntu przez wodę i związanym z tym osuwaniu się terenu;

### **SPŁYWY (SPEŁZYWANIA)**

bardzo powolne przemieszczanie się zwietrzliny skalnej po zboczu w tempie nieprzekraczającym na ogół kilku centymetrów na dobę;

### **ZSUWY**

mające charakter wyraźnego i dosyć szybkiego poślizgu wyżej leżących mas z boczna po nieruchomym podłożu. Występuje wyraźna granica pomiędzy masami, które uległy ruchowi, a masami nieruchomymi, mająca postać krzywoliniowej lub płaskiej powierzchni poślizgu;

### **OBRYWY**

mające przebieg gwałtowny, lawinowy, objawiają się odrywaniem pojedynczych bloków lub dużych partii skalnych.

# WYBRANE KLASYFIKACJE POWIERZCHNIOWYCH RUCHÓW MASOWYCH

**OSUWISKA** - ruchy masy gruntu w dół zbocza wzdłuż krzywoliniowej powierzchni poślizgu

- ✓ **osuwiska asekwentne**  
tworzą się w jednorodnych gruntach, nie uwarstwionych, powierzchnia poślizgu w przybliżeniu ma kształt kołowo-walcowy,
- ✓ **osuwiska insekwentne**  
których powierzchnia poślizgu przecina wielowarstwowy maszyn stoku w poprzek warstw różnych gruntów; w czasie obliczeń stateczności przyjmujemy, że powierzchnia poślizgu ma kształt kołowo-walcowy.

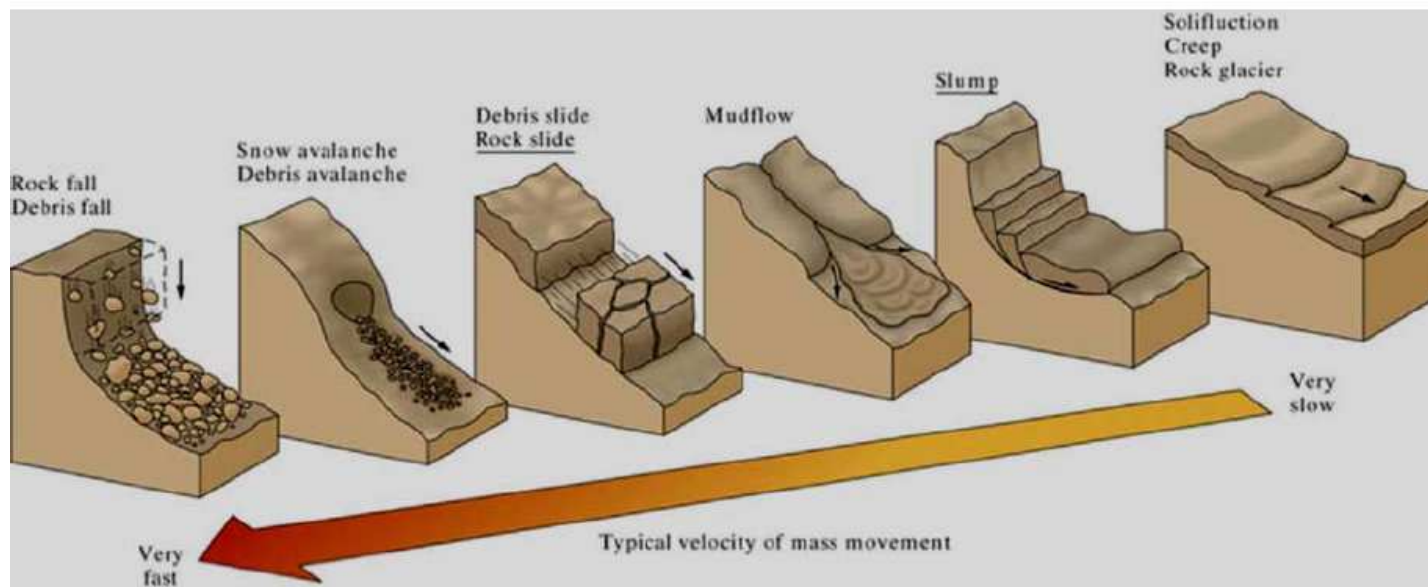
**ZSUW** - obsunięcie się górnej powierzchni warstwy gruntu po powierzchni poślizgu zbliżonej kształtem do płaszczyzny

- ✓ **zsuwy gruntów niespoistych,**
- ✓ **osuwiska konsekwentne** - których powierzchnia poślizgu są zgodne z jakąś powierzchnią naturalną istniejącą w budowie geologicznej zbocza np. z płaszczyzną warstwowania,

**SPEŁZYWANIE** - wolne przemieszczanie się masy gruntowej bez wytworzenia wyraźnej powierzchni poślizgu np. spływy na wiosnę

**OBRYW** - oderwanie lub runięcie w dół z dużą szybkością masy skalnych lub gruntowych


**SPŁYW** - szybkie przemieszczanie się masy gruntowej bez wytworzenia wyraźnej powierzchni poślizgu przy współdziałaniu wody np. spływy na wiosnę



**Prędkość** poszczególnych rodzajów ruchu zmienia się w bardzo szerokim zakresie. Ruch może być tak powolny, że prawie niezauważalny - jest to zwykle pełznięcie - ale może też osiągać bardzo duże prędkości rzędu kilku km/godz. w przypadku sływów gruzowych, a nawet wyższe przy spadku swobodnym (obrywy).

#### **Wyróżniamy ruchy:**

- ekstremalnie powolny,  $< 6\text{mm/rok}$
- bardzo powolne,  $> 6\text{mm/rok}$
- powolne,  $> 1,5\text{m/rok}$
- średnie,  $> 1,5\text{m/miesiąc}$
- szybki,  $> 1,5\text{m/dzień}$
- bardzo szybki,  $> 3\text{m/min}$
- ekstremalnie szybkie,  $3\text{m/s}$



Strukturę geologiczną ośrodka tworzącego zbocze determinuje zespół cech, od których uzależniona jest stateczność danego zbocza i możliwość powstania osuwiska. Ten zespół to czynniki bierne.

### **CZYNNIKI BIERNE (PASYWNE)**

To te cechy (właściwości) zbocza, które istnieją obiektywnie i są niezmiennie w krótkim i średnim horyzoncie czasowym (np. elementy budowy geologicznej, geometria zbocza, itp.)

Nawet przy odpowiedniej konfiguracji czynników biernych najczęściej nie do chodzi do utraty stateczności. Musi zaistnieć dodatkowy bodziec w postaci czynników aktywnych

### **CZYNNIKI AKTYWNE**

Są to zjawiska i procesy, oddziałujące na zbocze z zewnątrz, o zmiennej intensywności i sile działania (np. opad atmosferyczne, obciążenia wywołane działalnością człowieka)

# PRZYCZYNY POWSTAWANIA OSUWISK:

## PRZYCZYNY GEOLOGICZNE:

- ✓ Słaby i wrażliwy materiał
- ✓ Zwietrzały materiał
- ✓ Rozdrobniony, spękany materiał
- ✓ Zróżnicowanie w przepuszczalności (np. sufozja,...) i sztywności materiału
- ✓ Przeciwna orientacja nieciągłości (warstwowanie, uskoki, łupliwość, niezgodne ułożenie warstw, itp)
- ✓ Trzęsienia ziemi
- ✓ Wybuchy wulkanów

## PRZYCZYNY MORFOLOGICZNE:

- ✓ Wypiętrzenia tektoniczne lub wulkaniczne
- ✓ Rzeczne, morskie lub glacialne erozje stopy zboczy albo bocznych krawędzi brzegów
- ✓ Podziemna erozja – rozpuszczanie, płyniecie sufozja
- ✓ Usuwanie roślinności (wypalanie, wysuszenie)
- ✓ Odtajanie (soliflukcja)
- ✓ Przemarzanie i odmarzanie zwietrzliny, gruntu
- ✓ Pęcznienie i kurczenie zwietrzliny, gruntu
- ✓ Obciążanie skarp

## CZYNNIK LUDZKI:

- ✓ Podcinanie skarp i zboczy
- ✓ Obciążanie skarp – nasypy, budowle inżynierskie
- ✓ Obniżanie poziomu wód lub zbiorników
- ✓ Wycinanie, wypalanie roślinności
- ✓ Nawadnianie
- ✓ Górnictwo (obniżanie wód, wybuchy , wydobywanie, zawały, tąpnięcia
- ✓ Sztuczne wstrząsy, drgania (pociągi, kopalnie)
- ✓ Pęknięcia rur kanalizacji wodnej
- ✓ Niewłaściwe projektowanie skarp

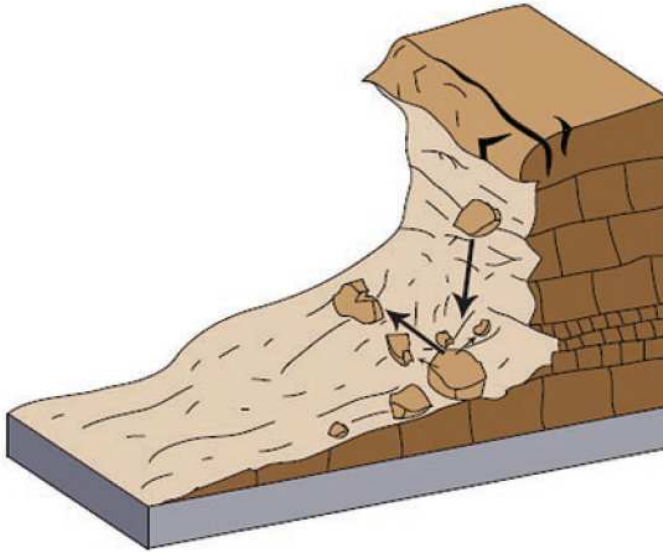


## **UPROSZCZONA OCENA ZAGROŻENIA OSUWISKOWEGO (wg kąta nachylenia zbocza)**

- $\alpha < 3 \%$     zbocza bardzo stabilne**
- $3 \% \leq \alpha \leq 8 \%$     zbocza stabilne**
- $8 \% < \alpha \leq 15 \%$     zbocza średnio stabilne**
- $\alpha > 15 \%$     zbocza mało stabilne**



## OBRYWY (FALLS)



Obrywanie jest wynikiem nagłego oderwania się materiału geologicznego, takiego jak skały, głązy, gruntów, które przemieszczają się ze stromych zboczy i klifów wzdłuż powstałych powierzchni nieciągłości. Ma to miejsce wzdłuż powierzchni spękań, przełomów, połączeń między warstwami. Zjawisko to przebiega z bardzo gwałtownie z dużą prędkością. Materiał głównie swobodnie opada, podskakuje (kozłuje) i toczy się.

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



**DUŻE ZAGROŻENIE DLA ŻYCIA LUDZKIEGO**

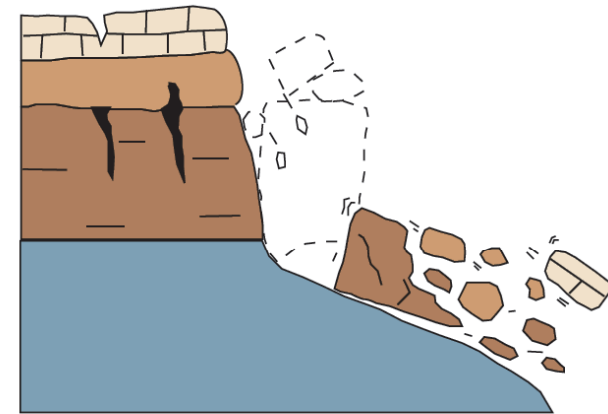
## OBWAŁY (TOPPLES)

Obrywanie polega na oddzieleniu i oderwaniu mas materiału geologicznego, takiego jak skały, głazy, gruntów, poniżej punktu środka ciężkości przemieszczonych mas.

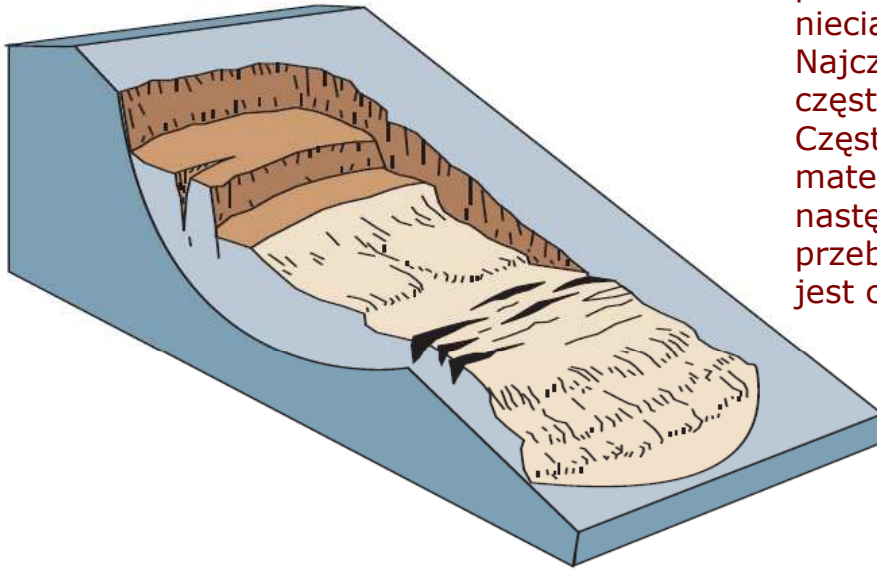
Ma to miejsce wzdłuż powierzchni spękań, przełomów.

Zjawisko to przebiega bardzo zróżnicowanie, niekiedy wolno, niekiedy uzyskuje ekstremalne prędkości.

Materiał gromadzony u podnóża skarpy, a efekty ruchu mas (skały, zwietrzliny, grunty) nie jest tak „widowiskowy” jak w przypadku obrywów.



## ZSUW ROTACYJNY (ROTATIONAL LANDSLIDE)



Przemieszczenie się materiału odbywa się wzdłuż powierzchni krzywoliniowej, rotacja wzdłuż powierzchni nieciągłości.

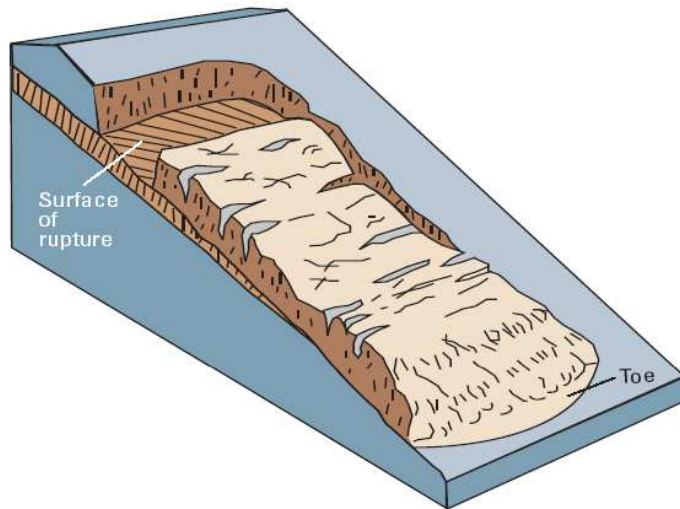
Najczęściej występuje w obrębie ośrodka jednorodnego, często widoczne spękania.

Często spotykane są sukcesywne przemieszczenia materiału wówczas obserwujemy kilka zsuwów – następujące jeden po drugim, a powierzchnie poślizgu przebiegają zwykle równoległe – zjawisko takie nazywane jest często z angielskiego slump (zapadnięcie się)

Zjawisko to przebiega w bardzo zróżnicowaną prędkością od bardzo powolnego (0.3m/5lat), przez średni (1.5m/miesiac) do szybki ruch.

Przyczyną najczęściej długotrwałe i intensywne opady, szybkie topnienia śniegu mogą prowadzić do nasycenie gruntu i wzrostu poziomu wody gruntowej oraz ciśnienia porowego. Wpływ erozji, trzęsień ziemi, podcięć naturalnych czy sztucznych.

## ZSUW TRANSLACYJNY (TRANSLATIONAL LANDSLIDE)



Przemieszczenie się materiału odbywa się wzdłuż prawie płaskiej powierzchni poślizgu. Występuje w obrębie ośrodka od luźnych gruntów, nieskonsolidowanych gruntów spoistych do skał uwarstwionych płytowo oraz wersji mieszanych. Najczęściej występujące zjawisko w skali ogólnosiwiatowej. Obejmujące powierzchnie od bardzo niewielkich po kilometrowej szerokości.

Zjawisko to przebiega w bardzo zróżnicowaną prędkością sposób od bardzo powolnego (0.3m/5lat), przez średni prędkość (1.5m/miesiac) do szybki ruch. Przyczyną najczęściej długotrwałe i intensywne opady, szybkie topnienia śniegu mogą prowadzić do nasycenie gruntu i wzrostu poziomu wody gruntowej oraz ciśnienia porowego. Wpływ erozji, trzęsień ziemi, podcięć naturalnych czy sztucznych.

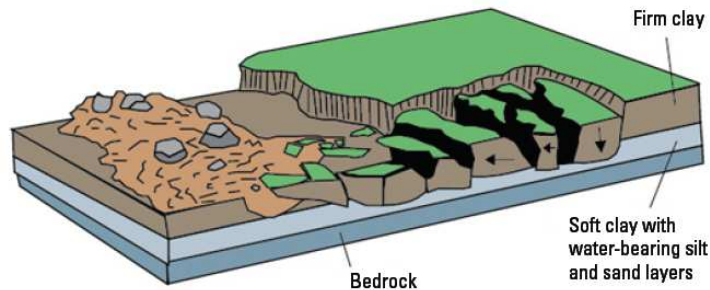


## ROZPAD BOCZNY (LATERAL SPREAD)

jest związane z podziałem masywu skalnego , gruntowego wzdłuż szczelin i stopniowym przemieszczaniem jego fragmentów na boki wskutek ruchów poziomych po podłożu zbudowanym ze słabego i miękkiego materiału (plastycznego), jak też ruchów pionowych, będących lokalnie efektem wyciskania podatnego

Zjawisko przebiegające ze średnią prędkością. Wzrost szybkości widoczny najczęściej wówczas gdy przyczyną są trzęsienia ziemi.

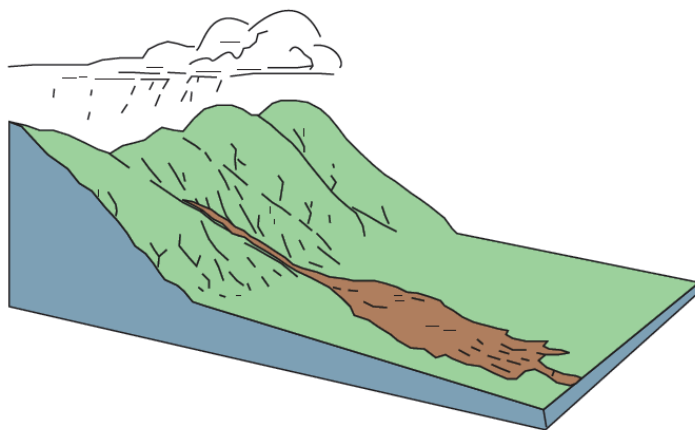
Przyczyną najczęściej mogą być: przechodzenie w stan ciekły gruntów (tikсотроpia) w wyniku np. trzęsień ziemi, dociążanie naturalne lub antropogeniczne, długotrwałe i intensywne opady, szybkie topnienia śniegu mogą prowadzić do nasycenie gruntu i wzrostu poziomu wody gruntowej oraz ciśnienia porowego. Deformacje plastyczne



## SPŁWY (FLOWS)

Zachodzą na zboczach po obfitych i długotrwałych opadach. Przemieszczający się materiał „płyne” ze stosunkowo dużą prędkością po podłożu. Zjawisko zachodzi najczęściej w obrębie luźnych grunt, skał, zwierzelin przesyconych wodą często nazywane „osuwiskiem -spływem błotnym” Ruch o słabo widocznych granicach. Powierzchnia poślizgu zwykle nie jest widoczna.

Zjawisko przebiega bardzo gwałtownie od szybkiego do ekstremalnie szybkiego nawet do 56 km/godzinę. Jest to znacznej mierze uzależnione od konsystencji materiału i kąta nachylenia zboczy.



**DUŻE ZAGROŻENIE DLA ŻYCIA LUDZKIEGO**



Spływ gruntowy -

Spływ zwietrzelinowy -

Lawina zwietrzelinowa – prędkość bardzo szybka lub ekstremalnie szybka

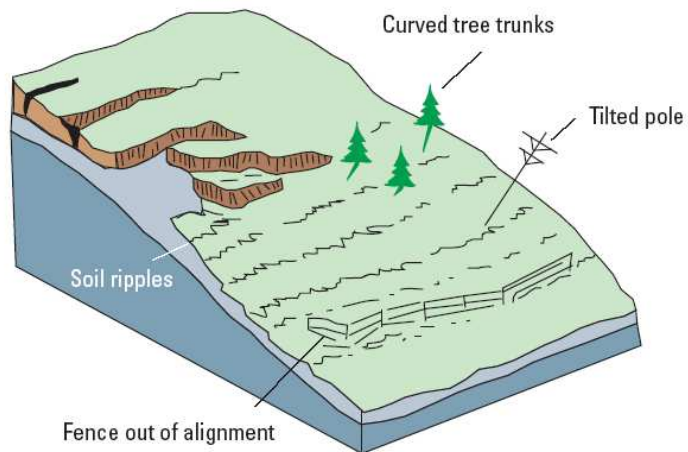
Spływ błotne -

**Soliflukcja** - jeden z procesów morfologicznych modelujących stoki w obszarach o klimacie zimnym, w warunkach peryglacjalnych (obszary polarne, wysokie góry). Polega na wolnym (do kilku cm na rok) pełzaniu wierzchniej warstwy gruntu. Soliflukcja sprzyja sezonowe rozmarzanie powierzchniowej warstwy zwietrzliny, która silnie nasączona wodą "ślizga się" po głębszej warstwie nadal zamrożonej. Ważną rolę odgrywa też działalność lodu włóknistego, sprzyjającego przemieszczaniu okruchów zwietrzliny w dół stoku oraz częste zmiany temperatury, powodujące wielokrotnie naprzemienne odmarzanie i zamarzanie gruntu.

Pełzanie – j.n.

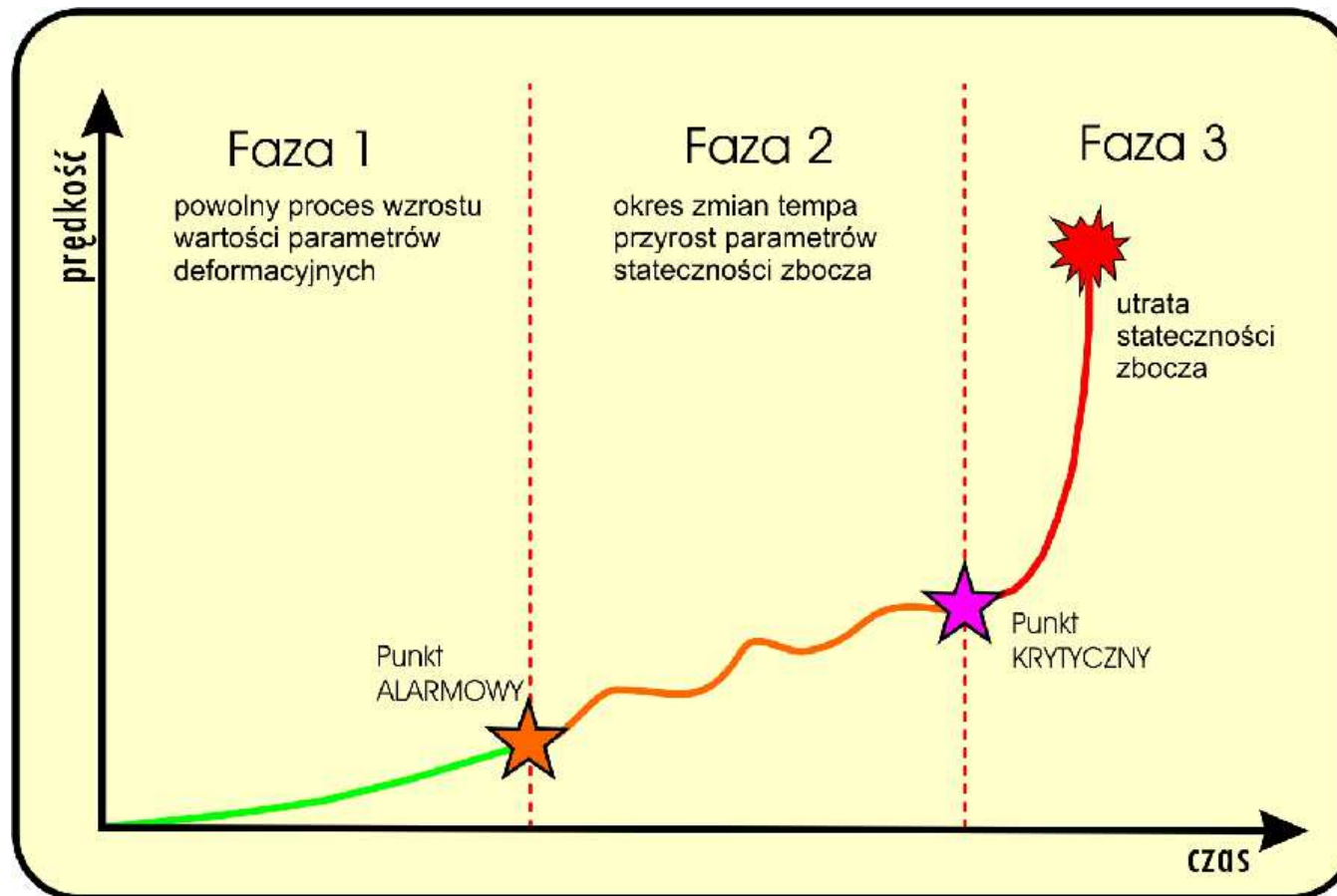
## PEŁZANIE (CREEP)

Pełzanie jest to ruch ekstremalnie powolny, którego bardzo często nie sposób dostrzec, jeśli nie prowadzi się pomiarów przemieszczeń przez długi okres. Mają one charakter ruchu lepkiego płynu i obejmują grunty drobnoziarniste (np. łąy, gliny zwarte, ...). Prędkość wynosi około 10mm/rok lub mniej, zaś prędkość chwilowa jest zależna od wilgotności materiału.





## FAZY ROZWOJU RUCHÓW MASOWYCH



<b>OKRES PRZYGOTOWANIA DO RUCHU (Faza 1)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ wietrzenie,</li> <li>✓ naruszenie struktury wewnętrznej,</li> <li>✓ zmiana właściwości fizycznych,</li> <li>✓ zmiana warunków hydrogeologicznych</li> </ul>
<b>STADIUM POCZĄTKOWE (Faza 1,2)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ lokalne przekraczanie wytrzymałości na ścinanie i powstawanie lokalnych ścięć,</li> <li>✓ miejscowe niewielkie wzajemne przemieszczenia, które nie powodują jeszcze naruszenia stateczności całej masy gruntu,</li> <li>✓ na powierzchni pojawiają się pęknięcia, które stopniowo poszerzają się tworząc szczeliny – zarys niszy osuwiskowej</li> <li>✓ czas trwania – kilka dni, tygodni a nawet lat</li> </ul>
<b>STADIUM GŁÓWNE (Faza 3)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ powstanie ciągłej powierzchni ścięcia,</li> <li>✓ jednoczesne przemieszczanie masy gruntu jako całości,</li> <li>✓ charakter przemieszczenia jednokrotny, wielokrotny, ciągły o stałej lub zmiennej prędkości,</li> <li>✓ w górnej części zbocza – powstanie niszy osuwiskowej i bezodpływowych zagłębień,</li> <li>✓ w środkowej – spękania, szczeliny, sfałdowania i wybrzuszenia, kolejne nisze i bezodpływowe zagłębienia,</li> <li>✓ u podstawy zbocza – czoło w postaci wypiętrzonego zwału</li> <li>✓ czas trwania – zazwyczaj krótko (minuty, godziny, rzadziej dni)</li> </ul>
<b>STADIUM KOŃCOWE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ prędkość osuniętych mas gwałtownie maleje,</li> <li>✓ ruch stopniowo zamiera,</li> <li>✓ niewielkie ruchy zmierzają do ustalenia stanu równowagi</li> <li>✓ ostateczne uformowanie się morfologii osuwiska</li> <li>✓ czas trwania – trwa przez różny okres czasu</li> <li>✓ niekiedy mogą występować wtórne ruchy</li> </ul>

**Jęzoro osuwiskowy** – część osuwiska o pofałdowanej powierzchni z bruzdami i grzbietami wygiętymi w kierunku ruchu, która powstała przez akumulację materiału poniżej obszaru oderwania i nasunięcie się na niezaburzoną powierzchnię terenu

**Koluwium** – utwory przemieszczone w dół

**Szczelina osuwiskowa** – rozwarta nieciągłość w materiale zbocza

**Czoło osuwiska** – najbardziej zewnętrzna część osuwiska – jęzoro osuwiskowego, kończąca się wyraźnym progiem nad obszarem nie objętym procesem

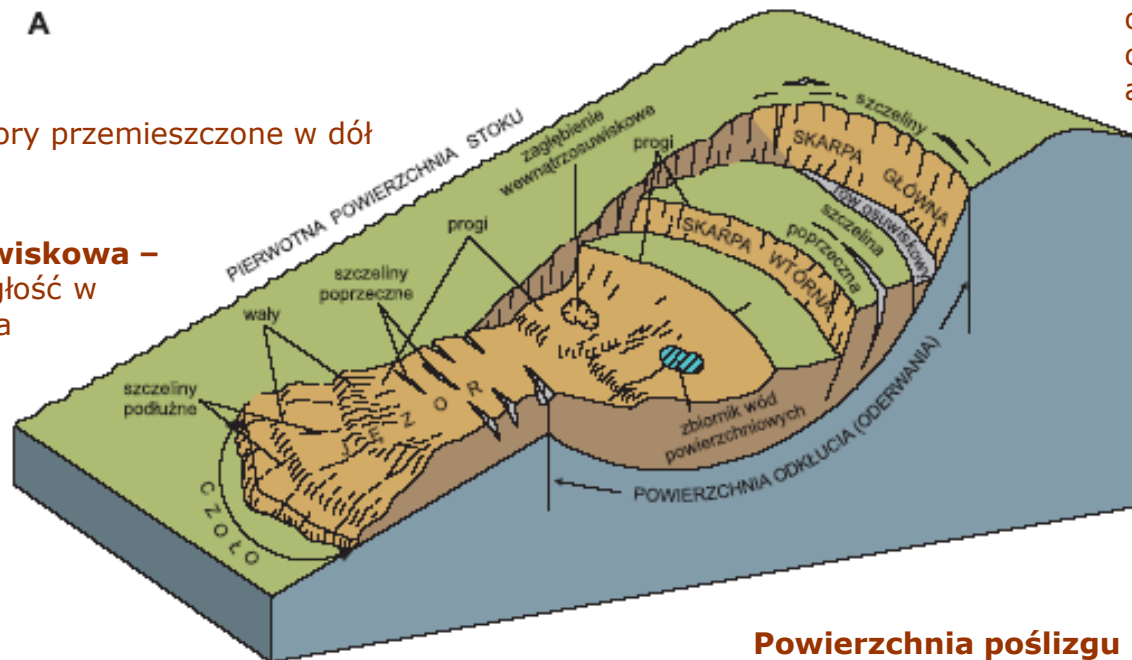
**Skarpy osuwiska** – stromy fragment skarpy powstały w wyniku przemieszczenia się materiału, będący odsłonięciem powierzchni odkucia

**Nisza osuwiskowa (skarpa główna)** – nieckowate zagłębienie na zboczu (stoku) powstałe w wyniku oderwania i osunięcia masy (górną część osuwiska)

**Rów osuwiskowy** – wydłużone obniżenie w obrębie osuwiska, ograniczone zwykle asymetrycznymi skarpami

**Progi** – wypukła forma terenu w obrębie osuwiska

**Powierzchnia poślizgu (odkucia, oderwania)** – powierzchnia odkucia lub strefa, wzdłuż której zachodzi przemieszczenie utworów



$S_o$  – powierzchnia osuwiska

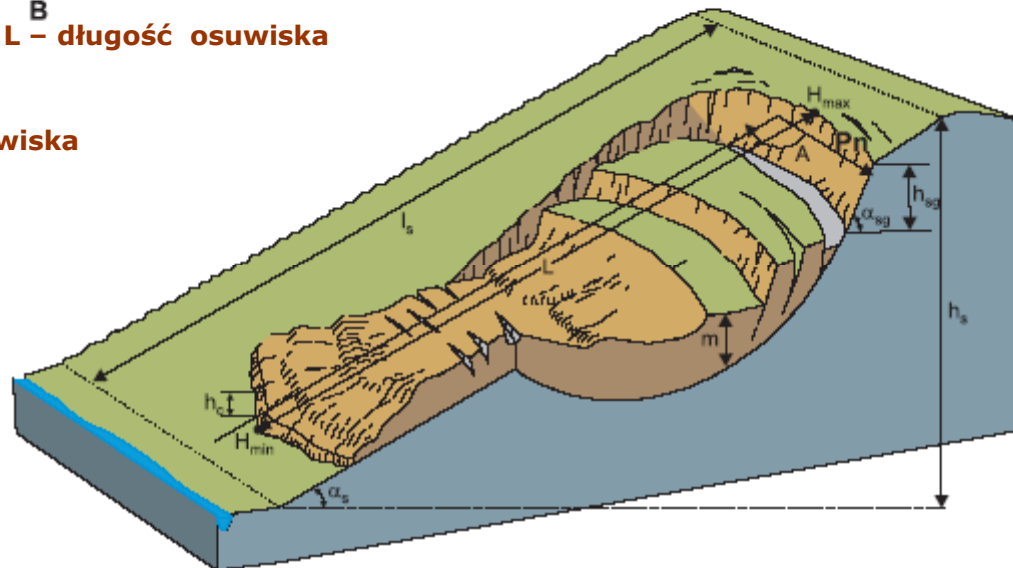
$H_{max}$  – wysokość bezwzględna ( m npm) najwyżej położonego punktu w obrębie osuwiska

A – dominujący azymut kierunku uchu osuwiska

B  
L – długość osuwiska

W – szerokość osuwiska

$h_c$  – wysokość czoła osuwiska



$H_{min}$  – wysokość bezwzględna ( m npm) najniżej położonego punktu w obrębie osuwiska

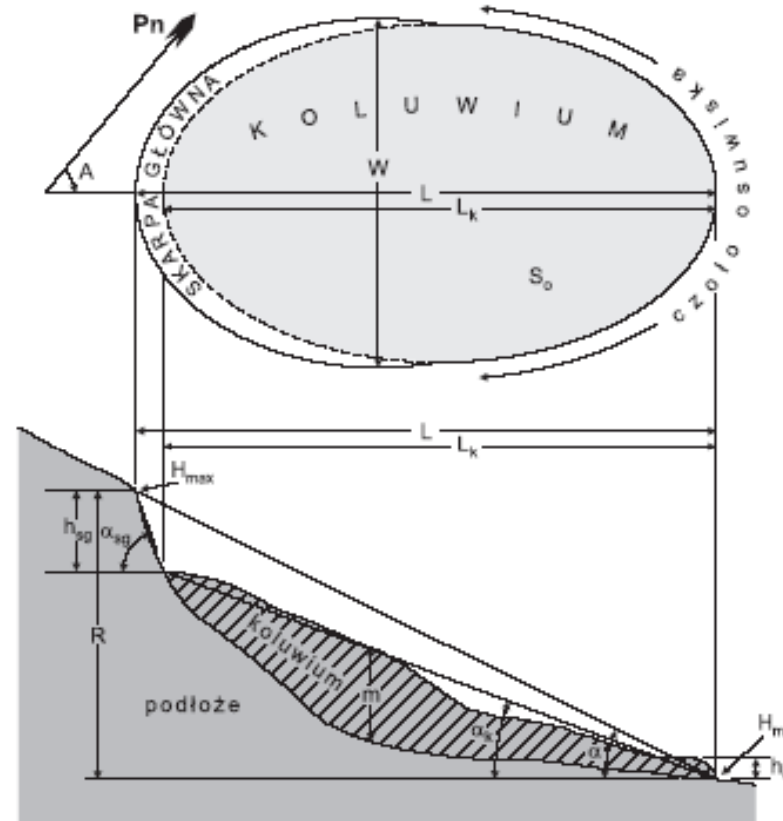
$\alpha, \alpha_s$  – kąta nachylenia stoku

m – miąższość koluwium

**A** – dominujący azymut kierunku uchu osuwiska

**W** – szerokość osuwiska

**C**



**L** – długość osuwiska

**L<sub>k</sub>** – długość koluwium

**H<sub>max</sub>** – wysokość bezwzględna ( m npm) najwyżej położonego punktu w obrębie osuwiska

**h<sub>sg</sub>** – wysokość skarpy górnej

**α<sub>sg</sub>** – kąta nachylenia skarpy górnej

**H<sub>min</sub>** – wysokość bezwzględna ( m npm) najniżej położonego punktu w obrębie osuwiska

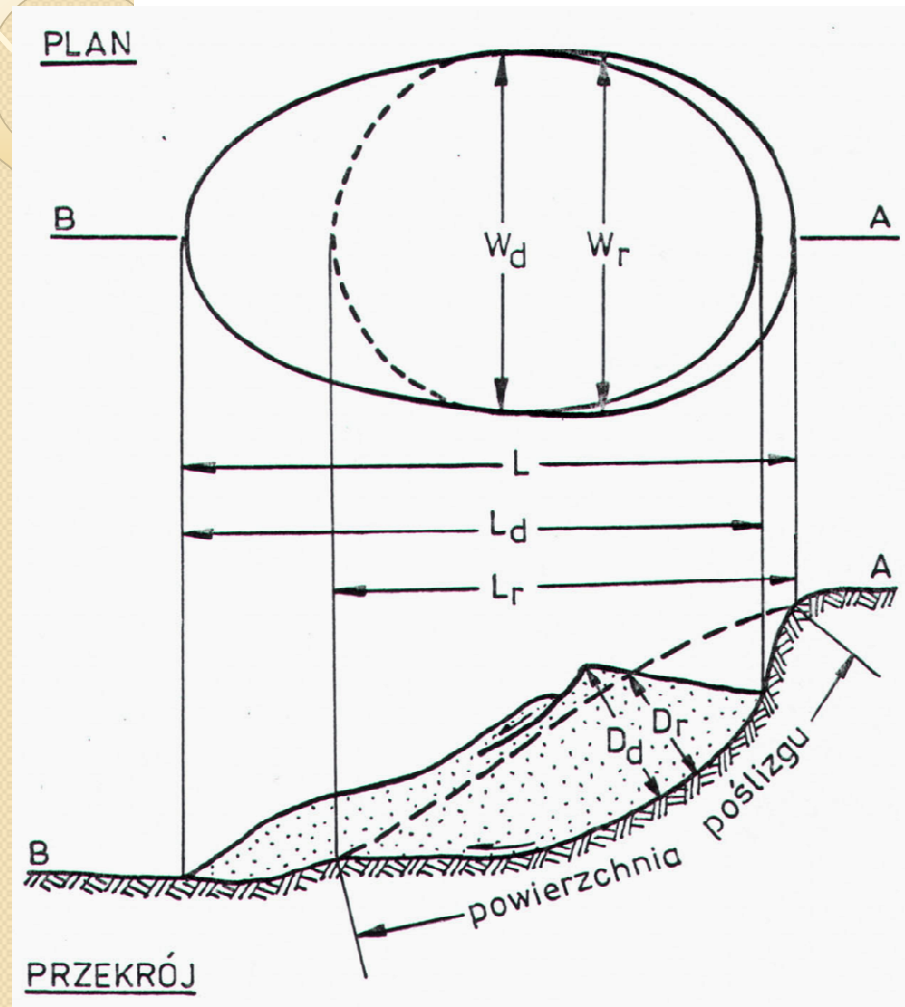
**h<sub>c</sub>** – wysokość czoła osuwiska

**m** – miąższość koluwium

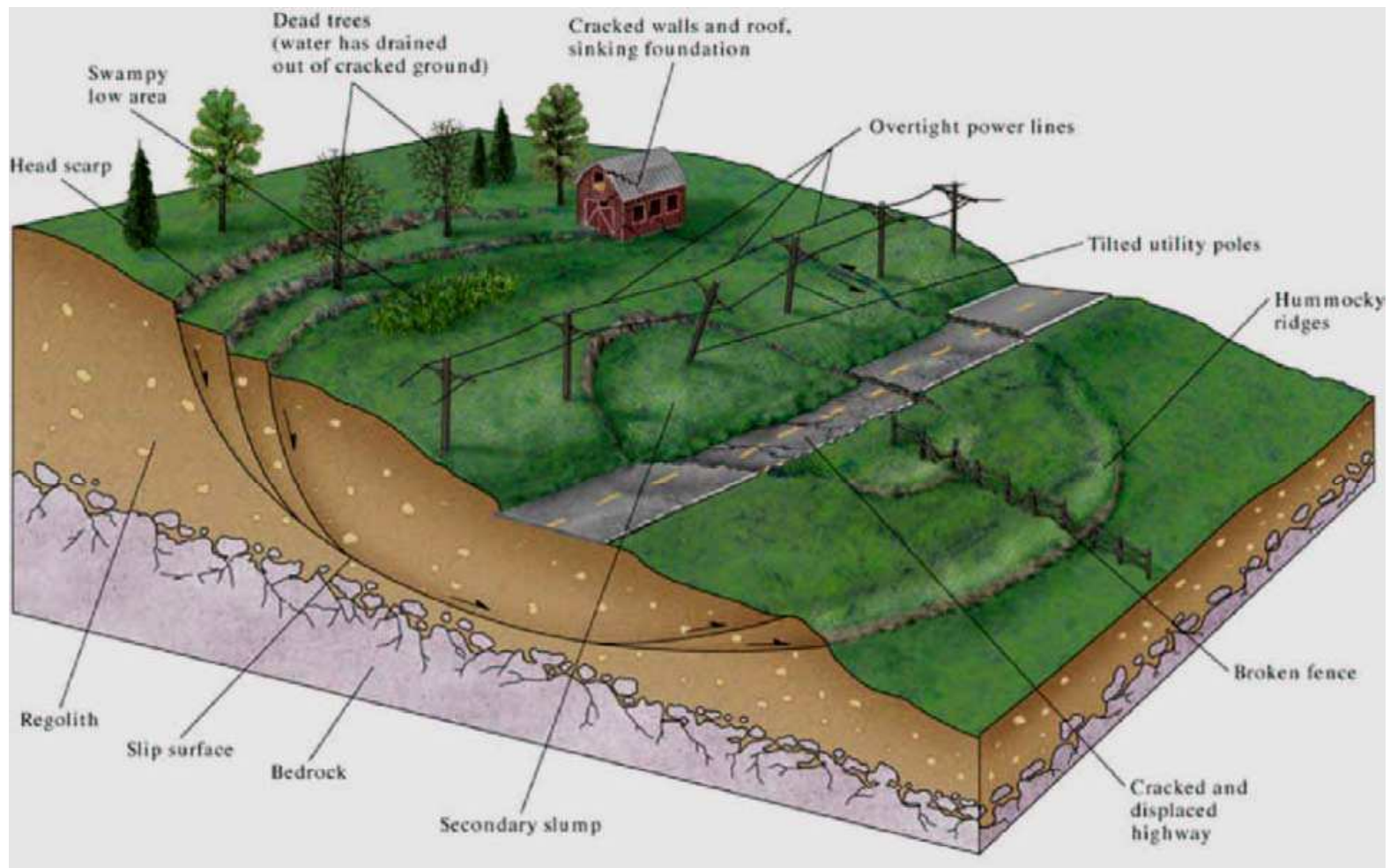
**α, α<sub>s</sub>** – kąta nachylenia stoku

**α<sub>k</sub>** – kąta nachylenia koluwium

# PRZEKRÓJ PRZEZ OSUWISKO



- ✓  $L$  - całkowita długość osuwiska
- ✓  $L_r$  - długość powierzchni poślizgu
- ✓  $L_d$  - długość przemieszczonych mas
- ✓  $W_r$  - szerokość powierzchni poślizgu
- ✓  $W_d$  - szerokość przemieszczonych mas
- ✓  $D_r$  - głębokość powierzchni poślizgu
- ✓  $D_d$  - głębokość przemieszczonych mas



# OBSZARY AKTYWNOŚCI OSUWISK W POLSKICH

## WYBRZEŻE KLIFOWE BAŁTYKU

osuwiska i obrywy powstają na wysokim i stromym zboczu niszczone 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 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

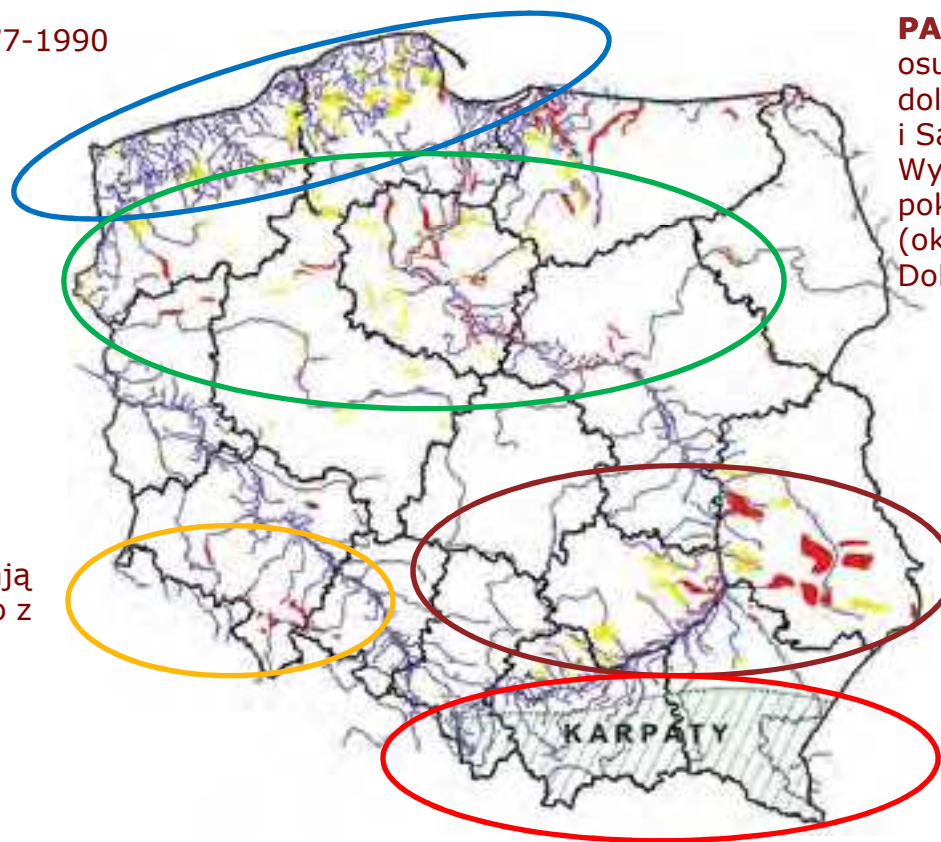
osuwiska powstają przede wszystkim na zboczach dużych dolin rzecznych: Wisły, Warty, Narwi, Bugu, Noteci, Skrwy i innych większych dopływów Wisły. Najbardziej zagrożone odcinki w dolinie Wisły to skarpy wiślane: w Warszawie, na odcinkach Wyszogród-Płock, Dobrzyń-Włocławek, Toruń-Bydgoszcz.

## PAS WYŻYN POLSKI ŚRODKOWEJ

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

## KARPATY

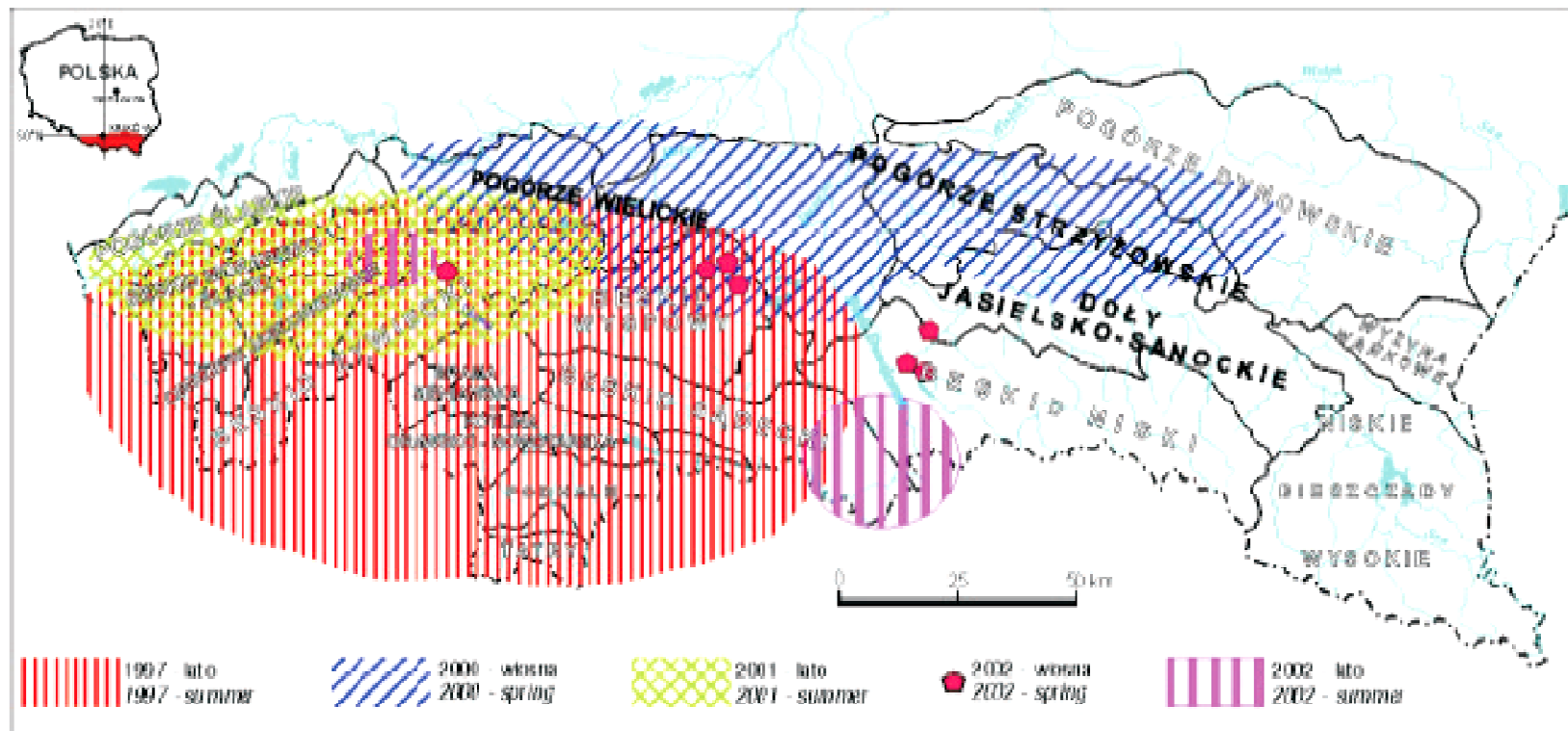
osuwiska występują powszechnie, a ich liczba oszacowana na podstawie dotychczasowych prac w projekcie System Ostry Przeciwośuwiskowej SOPO, może wynosić nawet 50 000-60 000. Na 1 km<sup>2</sup> powierzchni Karpat przypadają średnio 2-3 osuwiska, a na obszarach niektórych gmin karpackich aż 6-8 osuwisk/1km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



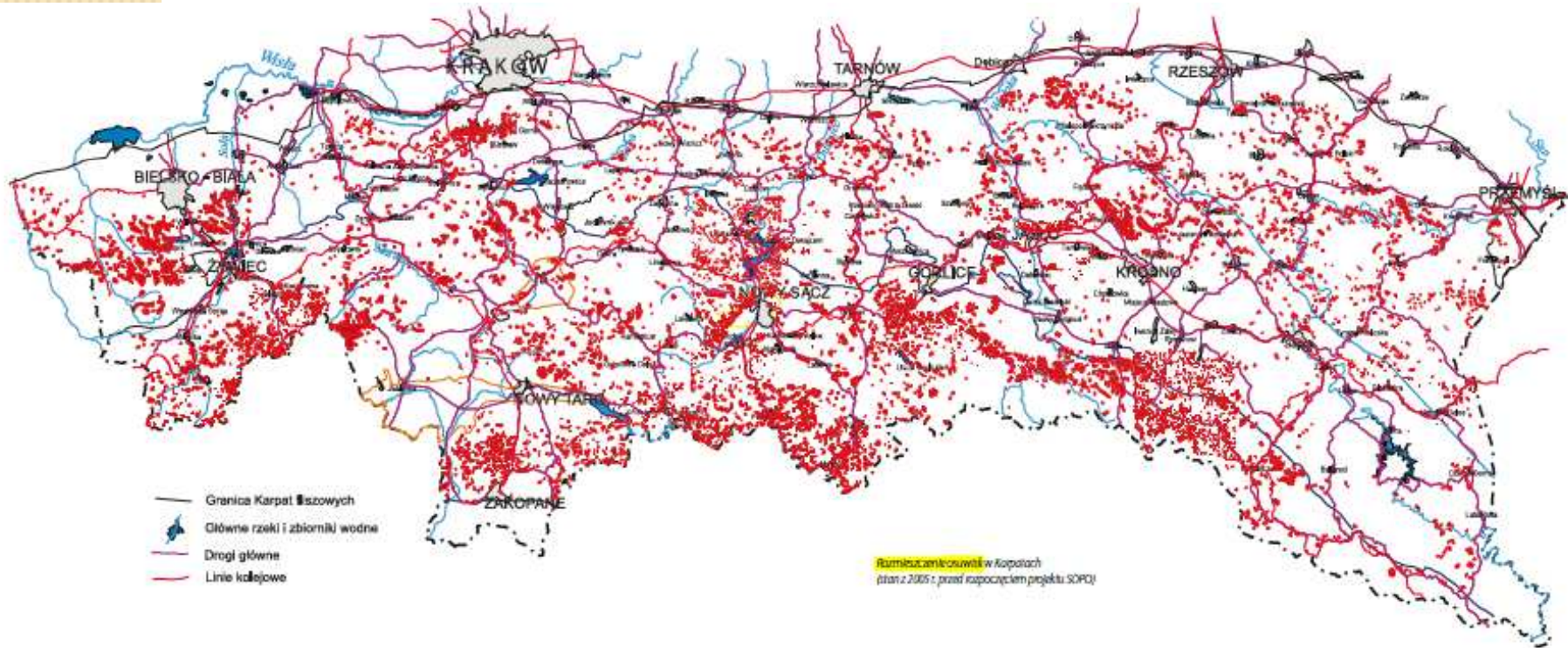
źródło: strona internetowa PIG Oddział Karpacki – Folder – Uwaga zagrożenia osuwiskiem



## Obszary aktywności osuwisk w polskich Karpatach fliszowych, w latach 1997-2002.



**Ponad 95%** osuwisk występujących na obszarze Polski znajduje się na terenie polskich Karpat fliszowych. Na obszarach niektórych gmin karpackich **około 30–40%** powierzchni zajętej jest przez osuwiska.



źródło: strona internetowa PIG Oddział Karpacki – Folder – Uwaga zagrożenia osuwiskiem



**Osuwisko na stokach G. Pierchałówki w Lachowicach – widok na niszę i jęzor osuwiska. Osuwisko spowodowało zniszczenie 12 zabudowań mieszkalnych. Na stoku obok 38 dalszych budynków położonych jest w strefie dużego zagrożenia**

## **OSUWISKO W LACHOWICACH**



**Budynek mieszkalny zniszczony przez osuwisko w Lachowicach. Budynek ten zjechał wraz z kolumnami osuwiskowymi około 20 m w dół stoku**

## MUSZYNA



**Stożek spływu gruzowego powstały w wyniku katastrofalnych opadów i powodzi w lipcu 2002 r. w Muszynie**



**Zniszczenia powstałe w obrębie zboczy doliny Muszynki (lipiec 2002)**



**Nisza osuwiska podcinającego fundamenty zabudowań mieszkalnych w Muszynie na zboczach opadających w stronę doliny Popradu (lipiec 2002)**



**Niszczanie przez osuwisko drogi powiatowej Szymbork-Szalowa**



**Niszczony dom mieszkalny w osiedlu Obłazy, gmina Chelmiec; lipiec 2001r.**



**Nisza osuwiska na stoku Falkowej w Nowym Sączu; 7.07.2001r.**



## WYBRZEŻE BAŁTYKU

Oddzielający się blok obrywowy, klif 118,25 km



# SANDOMIERZ



## ZBĘDOWICE koło KAZIMIERZA DOLNEGO



# KRASNYSTAW





**PGE KWB TURÓW S.A.**

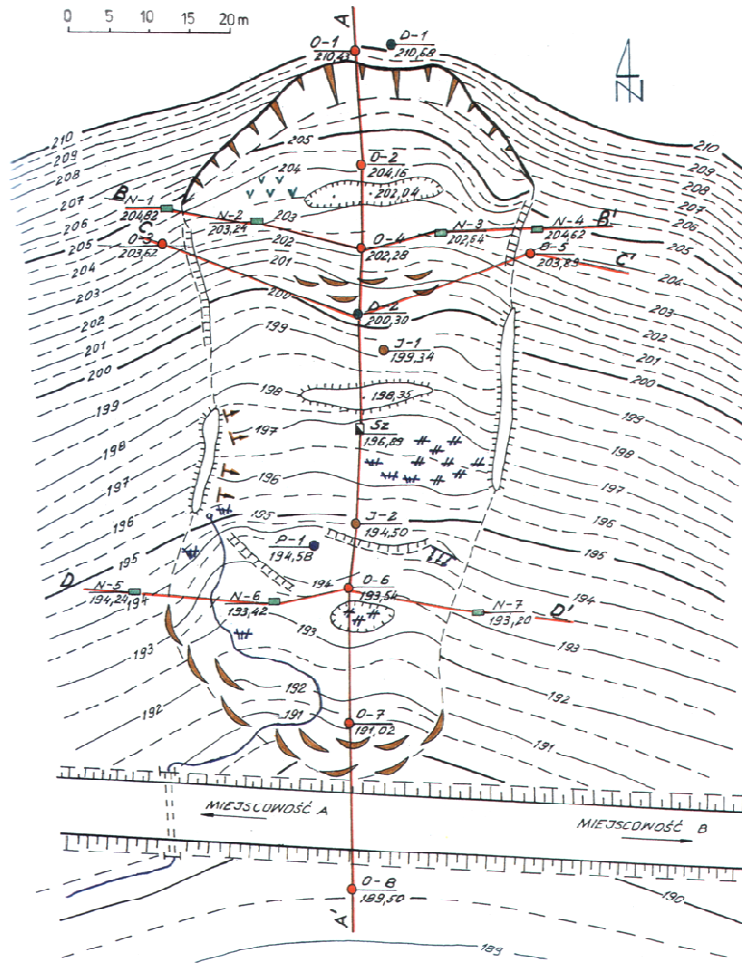


# **GRUPY INFORMACJI W KARCIE DOKUMENTACYJNEJ OSUWISKA**

(Rozp. MŚ z dnia 20 czerwca 2007 w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi)

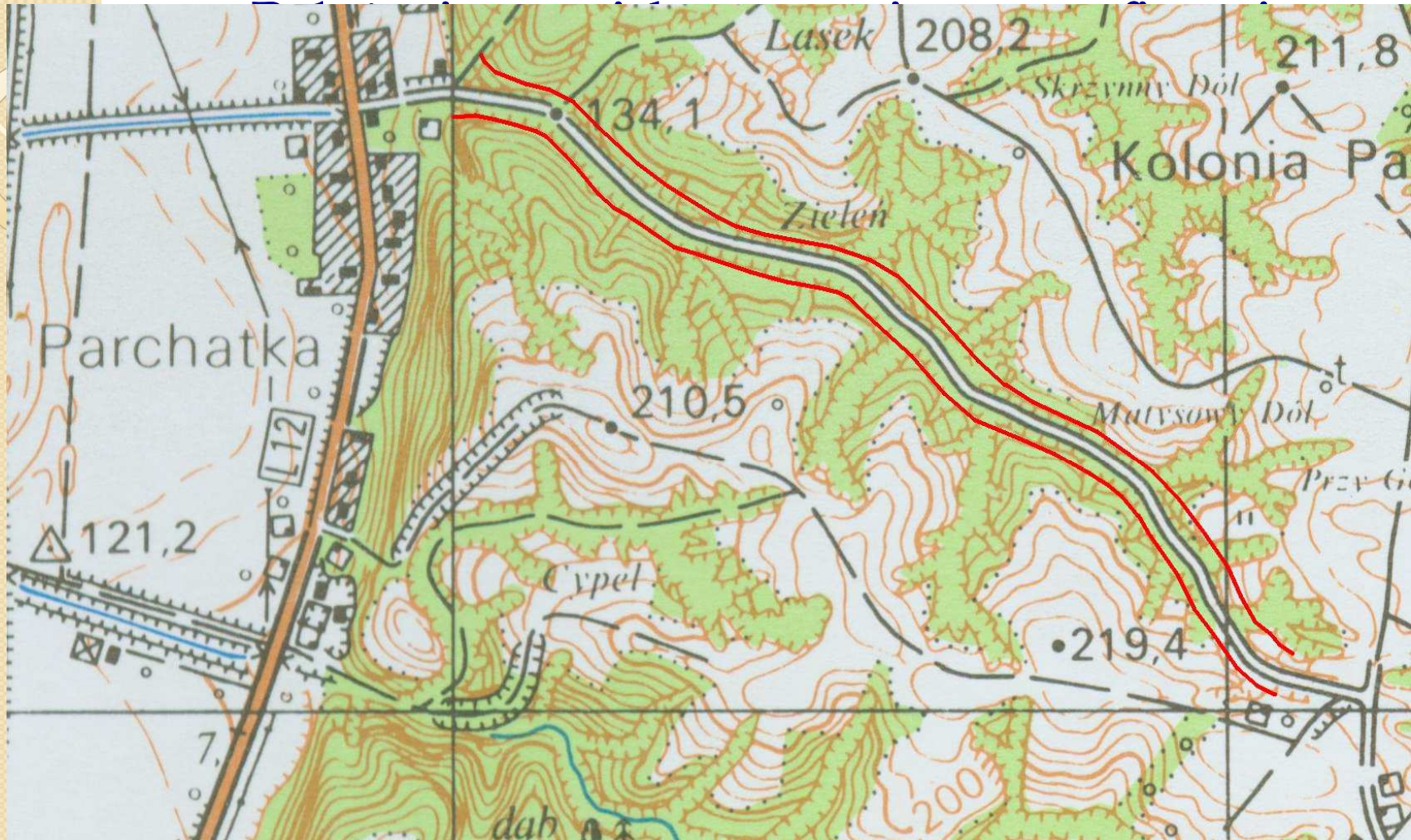
- **Lokalizacje osuwiska**
- **Charakterystyka osuwiska**
- **Parametry morfologiczne osuwiska**
- **Podłoże osuwiska**
- **Materiał koluwalny**
- **Przejawy wód powierzchniowych i gruntowych w obrębie**
- **Wiek i geneza osuwiska**
- **Użytkowanie terenu w obrębie osuwiska**
- **Powstałe szkody i zagrożenia**
- **Rodzaje i zakres wykonywanych prac zabezpieczających**
- **Monitoring**
- **Wskazania zabezpieczające**
- **Informacje o stanie badań osuwiska**
- **Uwagi**

# Przykładowy plan osuwiska



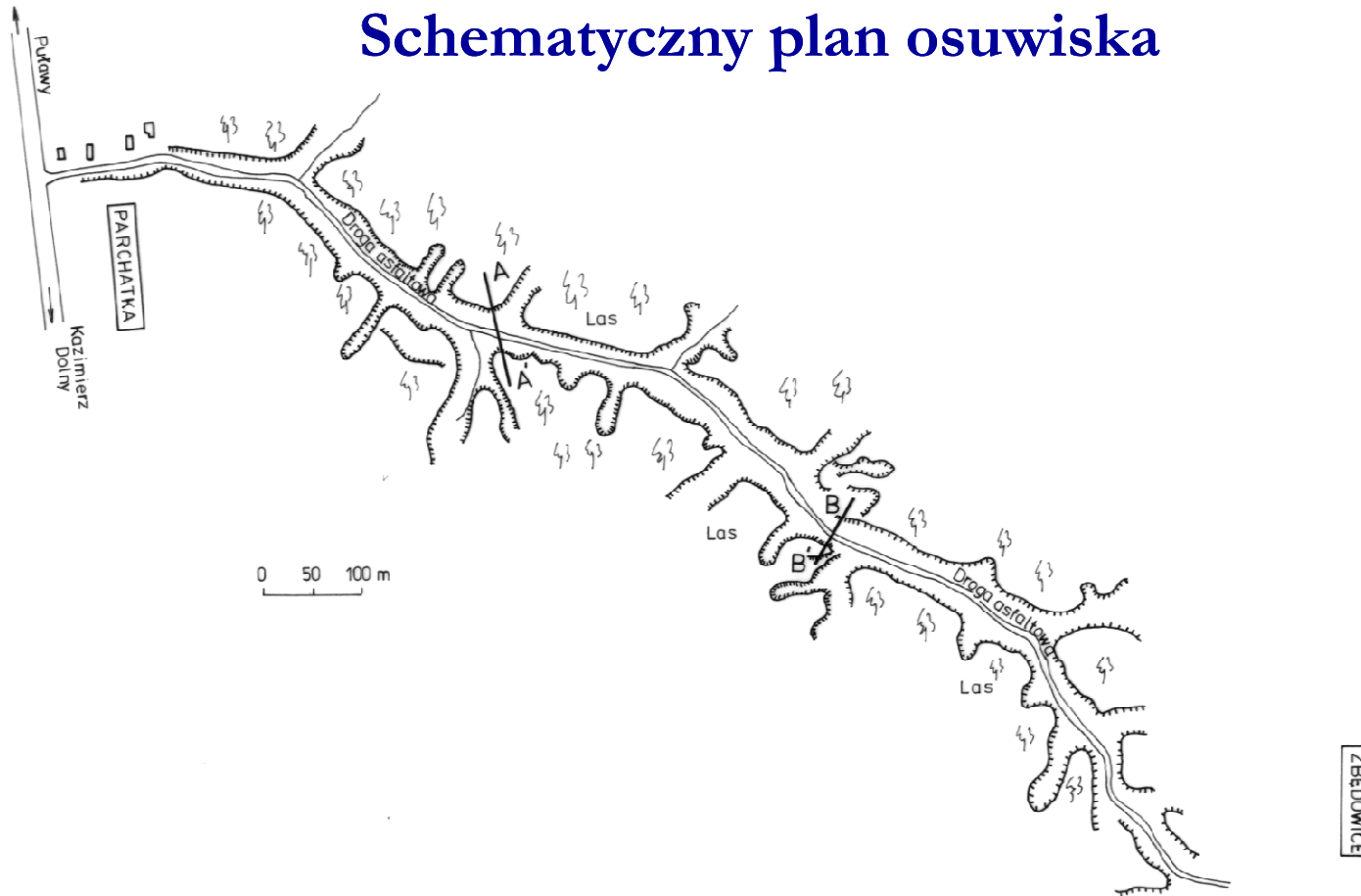
OZNACZENIA ZNAKÓW UŻYTYCH NA MAPIE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIEJ

- |  |   |  |   |
|--|---|--|---|
|  | obszar oderwania (nisza osuwiska)           |  | miejsce i nr otworu badawczego<br>rzędna terenu [m] npm |
|  | progi                                       |  | miejsce i nr otw. inklinometrycznego                    |
|  | wąły  |  | miejsce i nr otw. deformacyjnego                        |
|  | zagłębienia                                 |  | miejsce i nr otw. piezometrycznego                      |
|  | spiętrzenia                                 |  | miejsce i nr reperu<br>mikrometrycznego                 |
|  | szczeliny spękań                            |  | miejsce i nr szybika (wykopu)<br>badawczego             |
|  | stagnowania wody                            |  |   |
|  | podmokłości                                 |  |   |
|  | zabagnienia, torfowiska                     |  |   |
|  | przejawy roślinności hydrofilnej            |  |   |
|  | wysięki, wycieki wody                       |  |   |
|  | źródła                                      |  |   |
|  | cieki powierzchniowe                        |  |   |
|  | linia przekroju geologiczno- inżynierskiego |  |   |

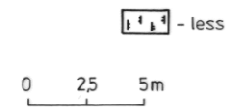
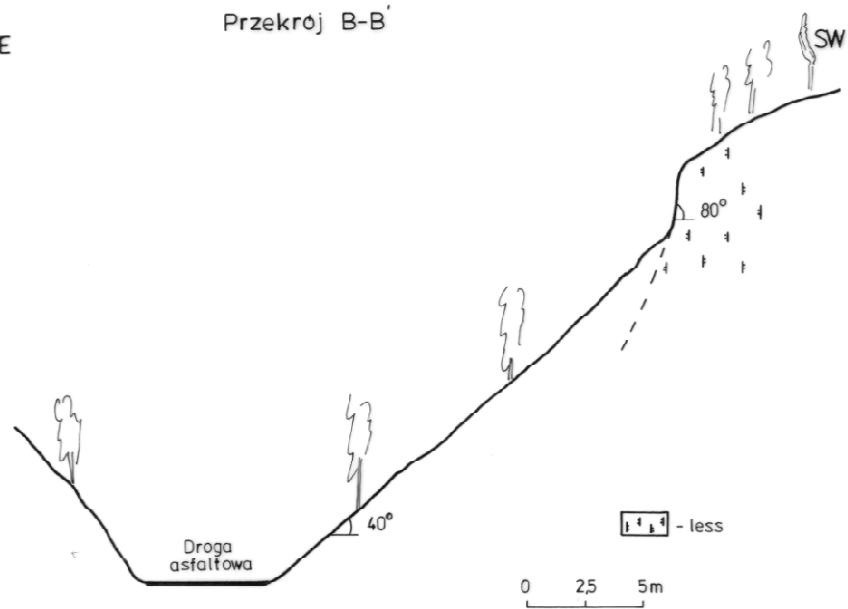
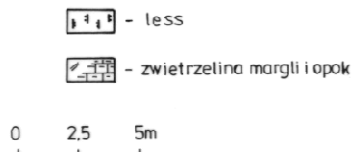
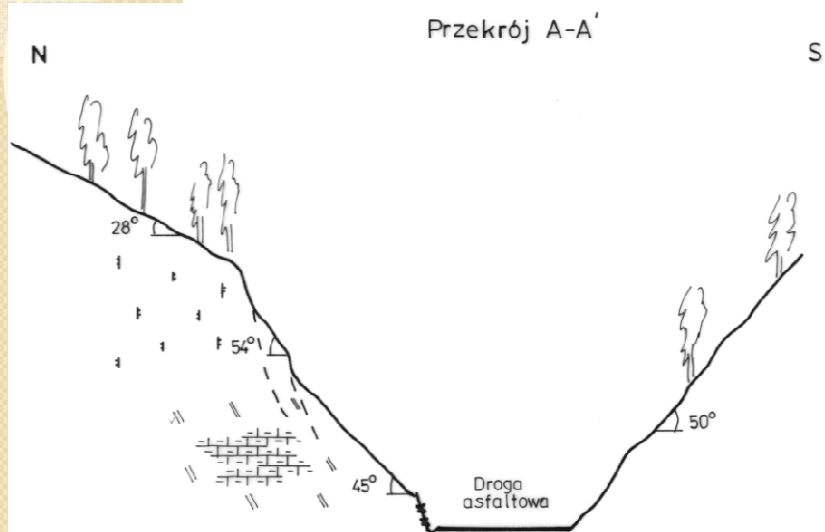




# Schematyczny plan osuwiska

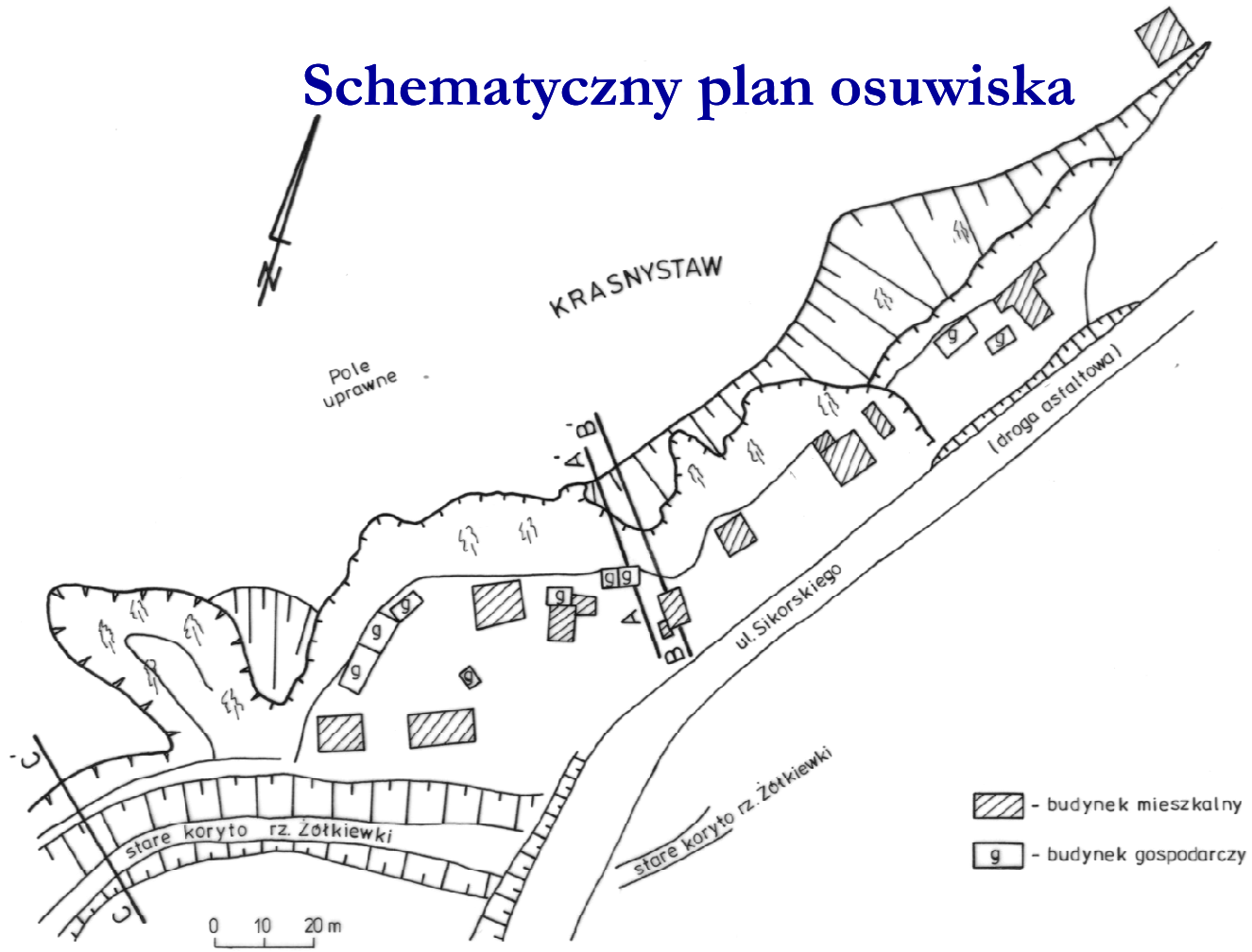


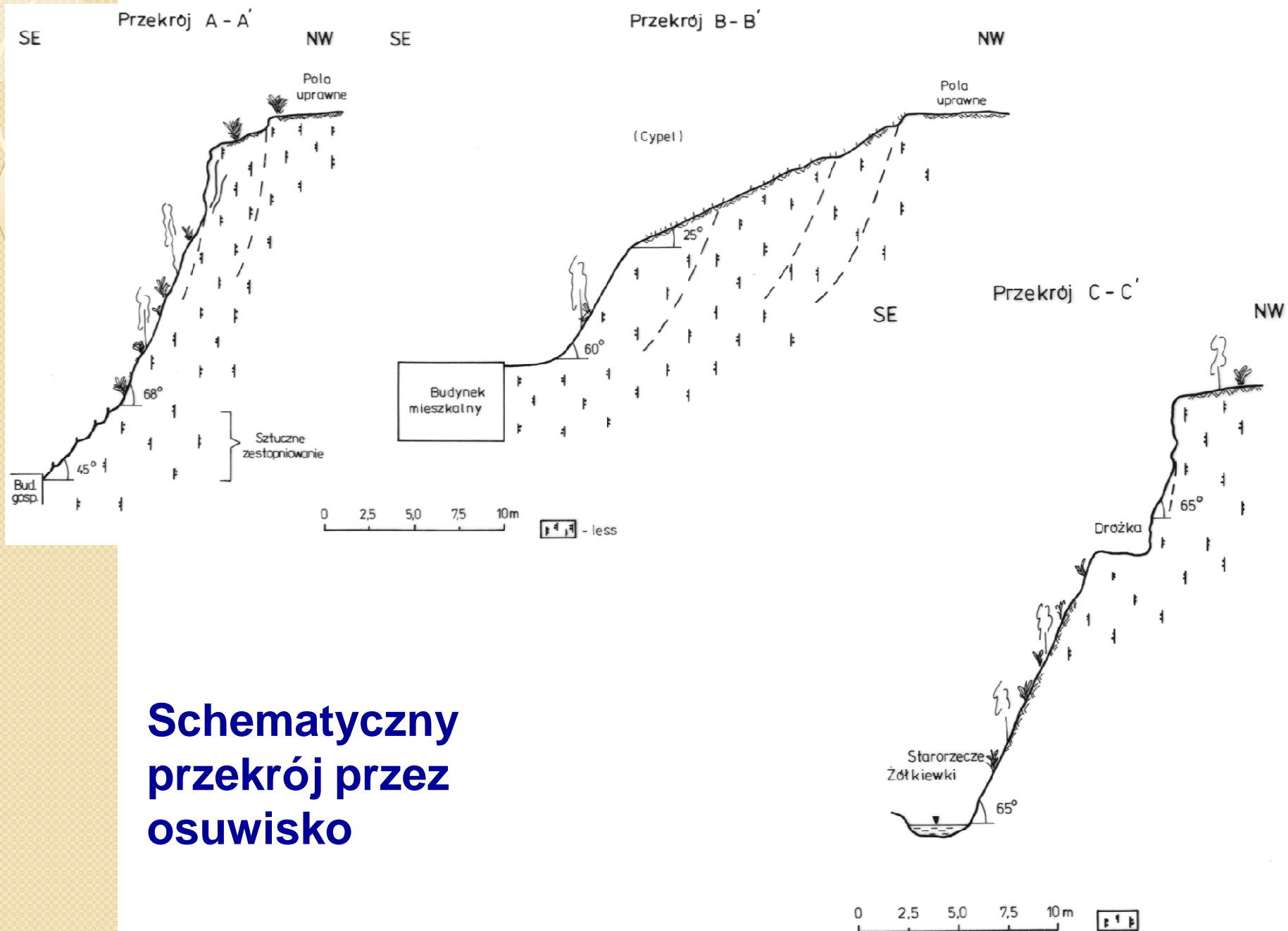
# Schematyczny przekrój przez osuwisko



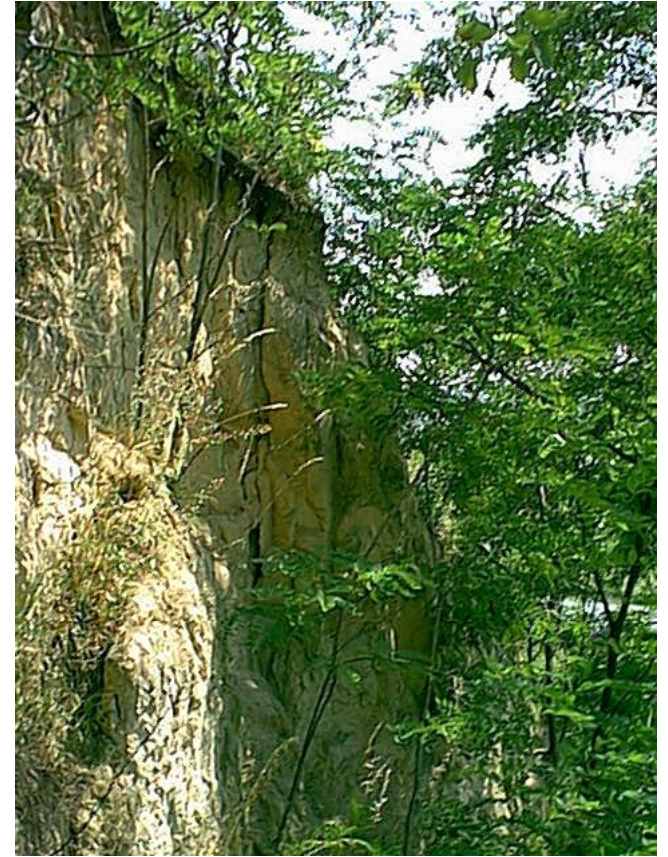


# Schematyczny plan osuwiska





## Schematyczny przekrój przez osuwisko



# **ŚRODKI PRZECIWDZIAŁAJĄCE UTRACIE STATECZNOŚCI**

## **ŚRODKI BIERNE:**

- **zakaz niszczenia istniejącej pokrywy roślinnej ,**
- **zakaz podcinania skłonnych do przemieszczeń zboczy i wykonywanie na nich wykopów, wkopów,..**
- **zakaz wykonywania na zboczach i nad nimi wszelkiego rodzaju nasypów,**
- **zakaz budowy obiektów budowlanych na odcinkach zagrożonych zachwianiem równowagi sił na zboczu**
- **zakaz stosowania środków wybuchowych i prowadzenia robót górniczych**
- **ograniczenie prędkości przejazdu pociągów oraz ciężkich samochodów na zboczu,**
- **zakaz kierowania zna zbocza spływu wód burzowych, z topnienia śniegu i ścieków**

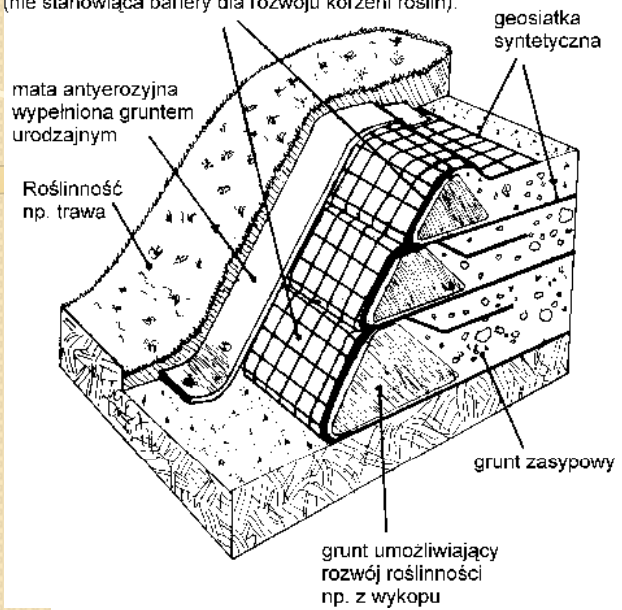
# ŚRODKI PRZECIWDZIAŁAJĄCE UTRACIE STATECZNOŚCI

## ŚRODKI CZYNNNE:

- niedopuszczenie do spływu po zboczu wód opadowych i innych z wysoczyzny przez wykonanie powyżej górnej brewki systemu kanałów zbierających i odprowadzających tę wodę,
- w przypadku dopływu wód podziemnych do zbocza wykonanie podziemnego drenażu zbocza poprzez zrobienie :sztolni, studni pionowych, filtrów wbijających
- usunięcie mas gruntowych z górnej części zbocza i zwałowanie tych mas u stóp zbocza,
- całkowite usunięcie gruntu tworzącego możliwy do przemieszczenia klin ,
- budowa murów oporowych, koniecznie z odpowiednim odwodnieniem przylegającego do nich gruntów zbocza, kosze gabionowe,
- sztuczna stabilizacja zbocza - metoda cementacji ( w mpl) ,
- palowanie zbocza - grunty o odpowiedniej konsystencji muszą budować zbcze (zw,pzw,tpl)
- wymiana gruntów
- zbrojenie gruntów
- w przypadku obrywania się, spadania z góry i staczania się po zboczu większych fragmentów skalnych, ..., po wyznaczeniu zasięgu rozrzutu wykonujemy: kotwienie górnej części obrywiskowego zbocza, wykonanie półtunelu w zboczu, lokalizacja obiektu w odległości większej niż maksymalny zasięg rozrzutu spadających głazów, zatrzymanie głazów przez nasypy i mury i przez sieć zamocowanych w skale bloków, siatki, zadaszenia, ...
- ....



Opcjonalnie – warstwa separacyjna na przykład:  
biowłóknina lub lekka geowłóknina syntetyczna  
(nie stanowiąca bariery dla rozwoju korzeni roślin).



# PROCESY OSUWISKOWE

## Rozpoznawanie zagrożeń i inwentaryzacja

- teren zagrożony
- teren zniszczony, uszkodzony ( osuwisko )

Prawdopodobieństwo powstania osuwiska ( landslides hazard )

$pf = P [ SF \leq 1 ]$  – obliczeniowa analiza stateczności

zagrożenie małe  $pf \leq 30 \%$       średnie  $30 \% < pf \leq 60 \%$       duże  $pf > 60$   
%

zagrożenie małe  $SF > 1,7 ( 1,5 )$       średnie  $1,2 \leq SF \leq 1,7 ( 1,5 )$       duże  $SF < 1,20$

**Ryzyko osuwiskowe ( landslides risk ) = ( pf ) x koszt likwidacji skutków osuwiska**



## **MONITOROWANIE ZAGROŻEŃ OSUWISKOWYCH ZBOCZY**

1. Powierzchniowe pomiary przemieszczeń zbroczy
2. Wgłębne pomiary przemieszczeń zbroczy
3. Pomiary parametrów i zjawisk pośrednich oraz towarzyszących

## Ad. 1

metody klasycznej geodezji

fototeodolit

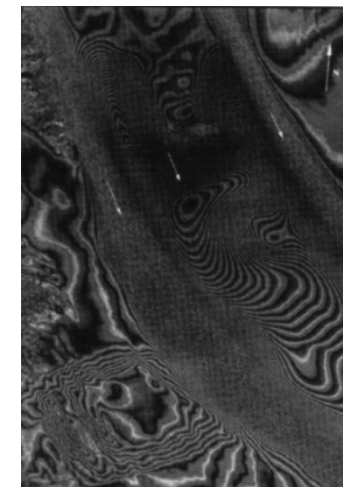


metoda fotogrametrii naziemnej i lotniczej

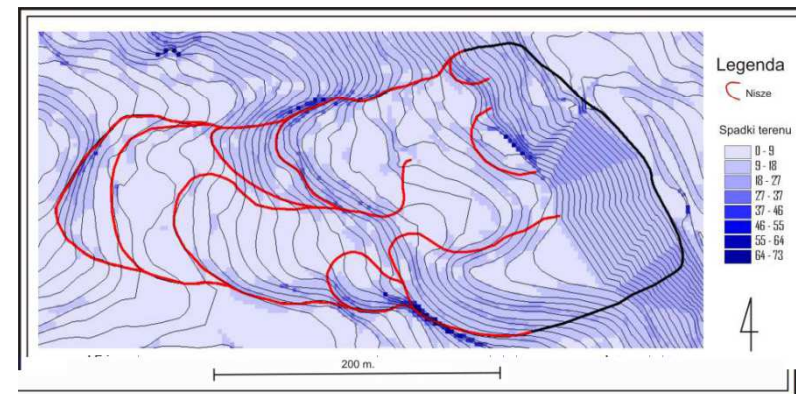
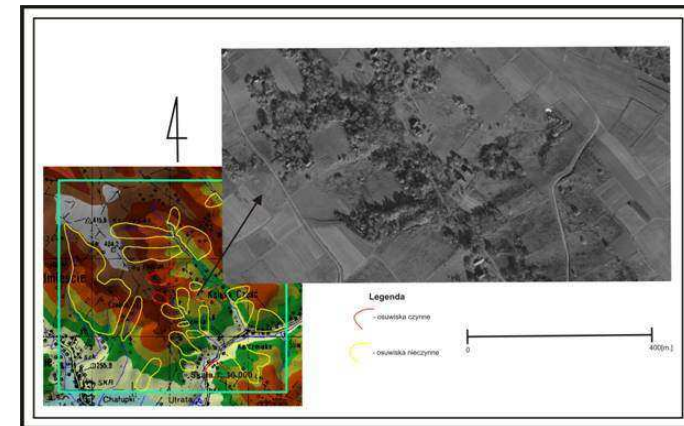
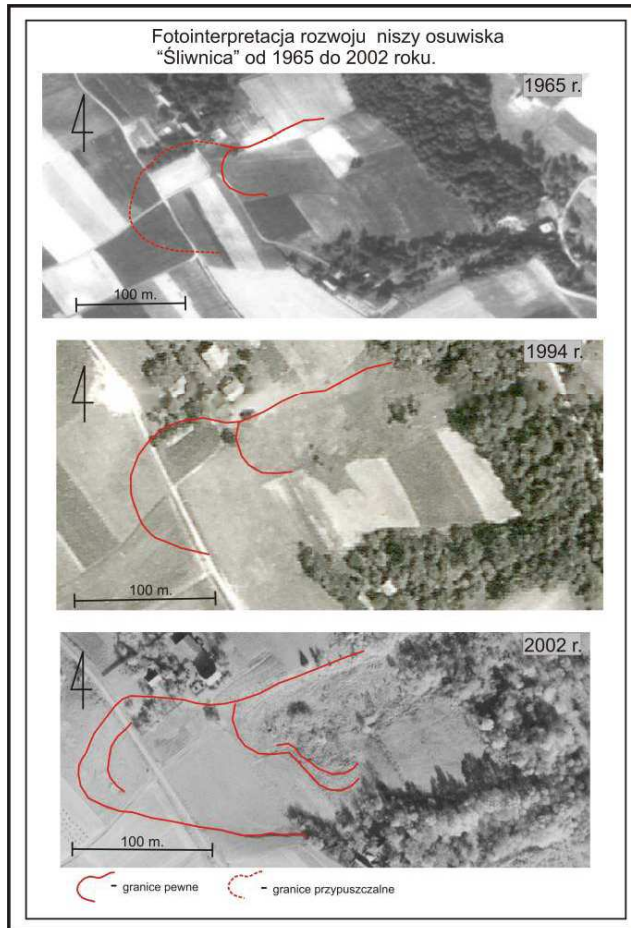


metoda GPS

metoda interferometrii radarowej ( SAR )



# FOTOGRAMETRII



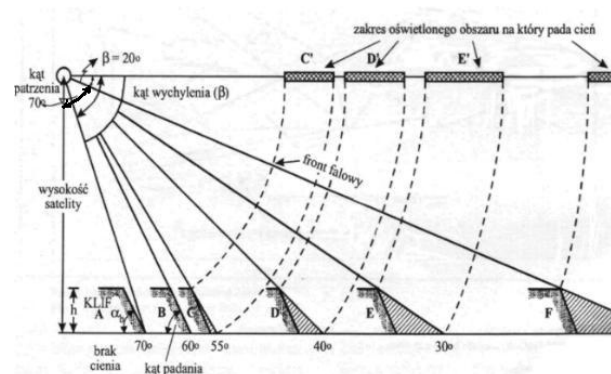
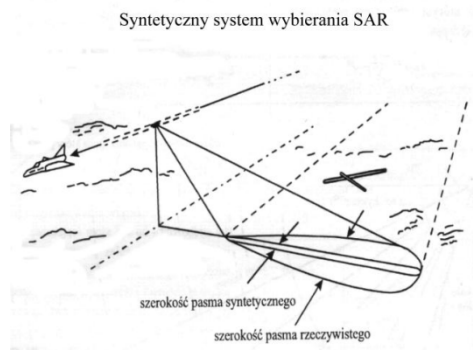
Rozwój osuwiska "Śliwnica". Wyróżniono sześć etapów powstawania osuwiska.

ZASTOSOWANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH, FOTOGRAMETRII, MODELU CYFROWEGO TERENU ORAZ POMIARÓW GPS DO OKRESLENIA DYNAMIKI OSUWISKA „SLIWNICA” (POGÓRZE DYNOWSKIE)

**Mirosław Kaminski**

Panstwowy Instytut Geologiczny, Zakład Kartografii Geologicznej

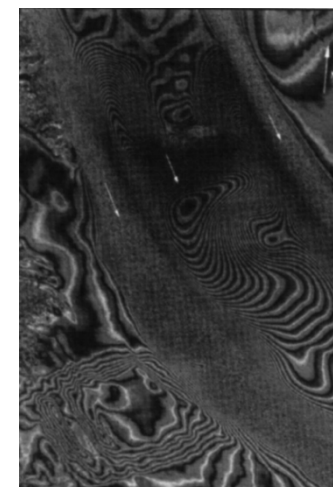
# INTERFEROMETRIA RADAROWA



Z obrazów radarowych można wydobyć informacje o bardzo niewielkich pionowych ruchach obszarów przedstawionych na tych obrazach. Takie informacje można otrzymać z obrazów interferometrycznych. Obrazy takie powstają przez sumowanie wyników rejestracji radarowych, przeprowadzonych z tego samego miejsca w różnym czasie.

Położenie prążków na obrazie interferometrycznym i jego intensywność mogą być przekształcane na wielkość przesunięć, a nawet na prędkość ruchu powierzchni odbijającej.

Takie informacje są szczególnie użyteczne w rejonach, gdzie występują trzęsienia ziemi, erupcje wulkaniczne, jak również ruchy lodowców, przesunięcia dużych wydm, itp.

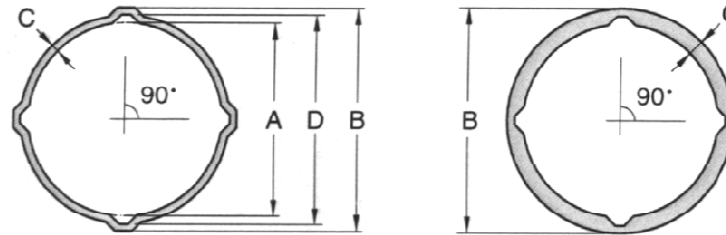




**Ad. 2**

**pomiary inklinometryczne**

**deflektometry, ekstensometry, rejestratory ścięcia, itp**



Inklinometr jest urządzeniem służącym do pomiaru wychyleń kątowych, co przy znanej długości sondy można łatwo przeliczyć na względne przemieszczenia poziome w gruncie lub w konstrukcjach betonowych. Pomiar wykonywany jest w kolumnie specjalnych rur wykonanych z aluminium lub tworzywa ABS. Rury posiadają rowki rozmieszczone co  $90^{\circ}$  służące do prowadzenia sondy.





## EKSTENSOMETR





Ad.3

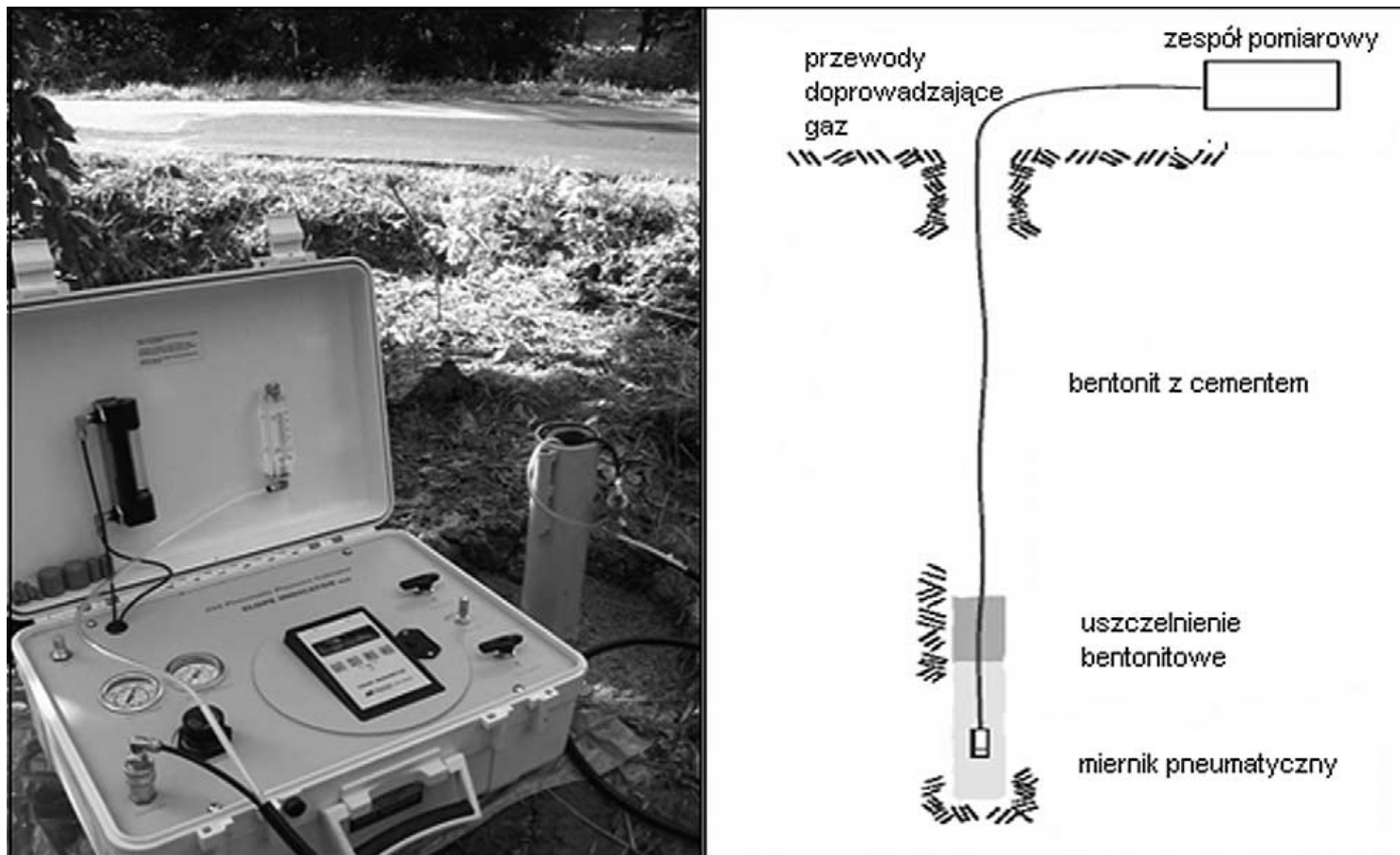
pomiary ciśnienia porowego wody

pomiary piezometryczne zwierciadła wody

pomiary naprężeń w zboczu

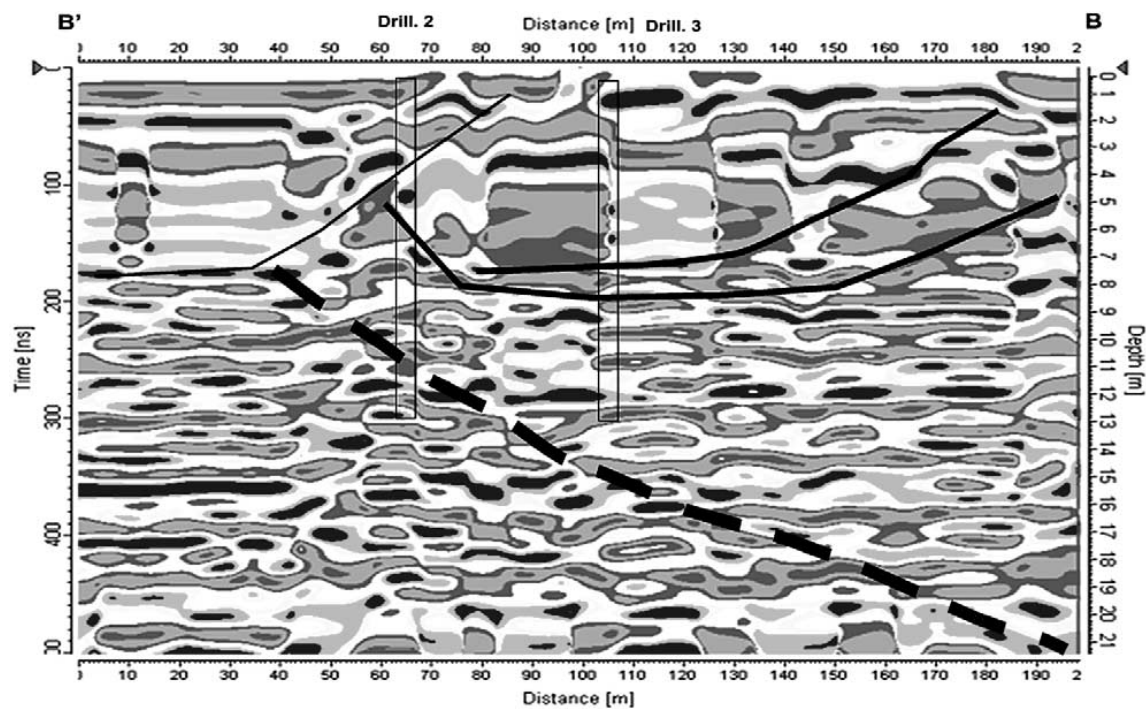
badania geofizyczne ( met. elektrooporowe,  
met. georadarowa, emisja sejsmoakustyczna i  
elektromagnetyczna, itp

## PNEUMATYCZNY MIERNIK DO POMIARU CIŚNIENIA POROWEGO WODY W GRUNCIE I SCHEMAT INSTALACJI



Zbigniew Bednarczyk, *Badania geologiczno-inżynierskie karpackich osuwisk fliszowych w rejonie Gorlic (Beskid Niski)*, *Geologos 11, Puszczykowo, 2007*

## METODA GEORADAROWA



Zbigniew Bednarczyk, **Badania geologiczno-inżynierskie karpackich osuwisk fliszowych w rejonie Gorlic (Beskid Niski)**, *Geologos 11, Puszczykowo, 2007*

## **USTALANIE WIEKU OSUWISK**

Człowiek, dokumentacje archiwalne, księgi parafialne, literatura, ...

Dendromorfologiczne datowanie procesów geodynamicznych –  
drzewa o pniach zdeformowanych (drzewa iglaste)

Datowanie radiowęglowe drewna występującego wśród osadów  
wypełniających zagłębienia niszowe

Lichenometria – czas ekspozycji poosuwiskowych form skalnych  
(plechowce)

## WODA W GRUNCIE

Temperatura gruntów uzależniona jest od zmian temperatury powietrza

W gruncie wyróżnia się trzy strefy wahań temperatury:

- **DOBOWE** ( o max. głębokości 1,5m)
- **ROCZNE** (max. głębokość 7-10m)
- **DŁUGOOKRESOWE** (mierzone okresami geologicznymi)

W zależności od sezonowych wahań temperatury wyróżnia się:



+

**1 – OBSZAR GRUNTU GDZIE TEMPERATURA JEST ZAWSZE POWYZEJ 0°C**



+ -

+

**2 – OBSZAR O ZMIENNYCH TEMPERATURACH**  
(Polska znajduje się w takim obszarze)



+ -

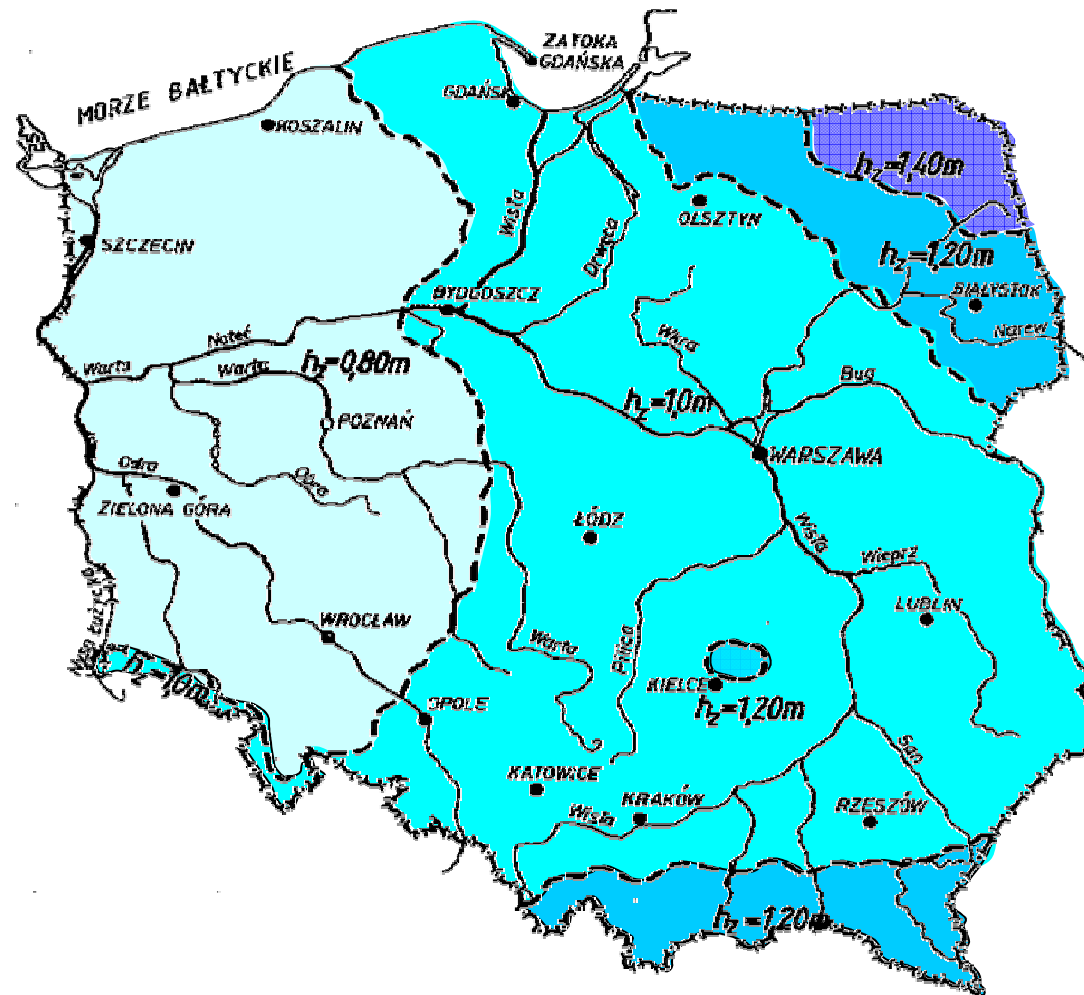
-

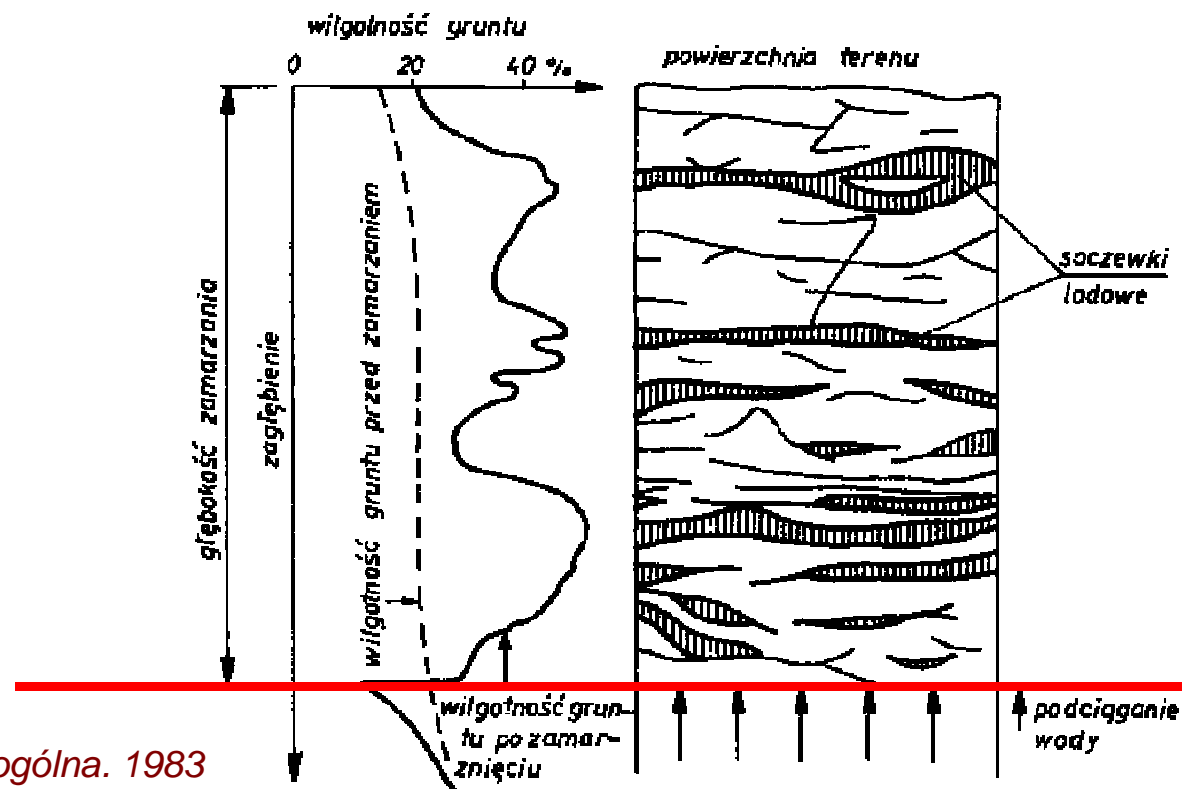
+

**3 – OBSZAR O ZMIENNYCH TEMPERATURACH**  
(Obszary o gruntach wiecznie zmarzłych)  
**STAN STAŁY**

Gruntem zmarzłym nazywamy grunt występujący w temperaturze poniżej 0°C, w którym przynajmniej część wody znajduje się w stanie stałym

# GŁĘBOKOŚĆ PRZEMARZANIA GRUNTÓW wg PN-B-03020:1981



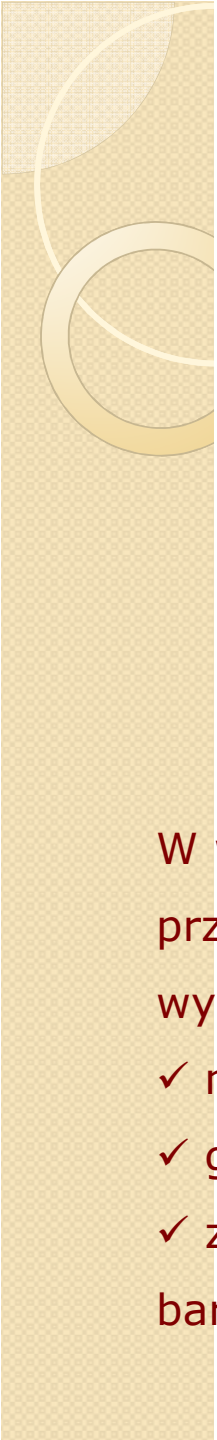


Pazdro. Hydrogeologia ogólna. 1983

Po dłuższym trwaniu ujemnej temperatury powietrza granica przemarzania przesuwa się w dół. Ponad granicą przemarzania gruntu od powierzchni terenu tworzą się soczewki lodowe, które powiększają się wskutek podciągania wody od dołu. Nowe soczewki lodowe w sposób naturalny zwiększają wilgotność zamrożonego gruntu. Bezpośrednio poniżej granicy przemarzania obserwuje się zmniejszenie wilgotności gruntu w porównaniu z wilgotnością gruntu przed przemarzaniem

Szymański. Mechanika gruntów, Wyd. SGGW, 2007

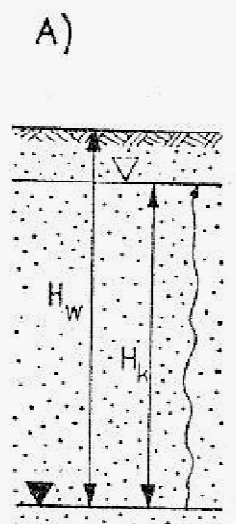




Należy to tłumaczyć tym, że soczewki lodowe przyciągają molekuly wodne od dołu ze swojego najbliższego otoczenia. Przyciąganie molekuł wodnych przez kryształy lodu następuje wskutek istnienia na ich powierzchni sił adsorpcji. Molekuly wody, przyciągnięte do powierzchni soczewki lodowej, uzupełniają siatkę krystaliczną lodu, po czym same przyciągają nowe molekuly wody z porów gruntu, co powoduje wzrost soczewek lodowych, a więc i wzrost objętości gruntu. Ten wzrost objętości uzewnętrznia się powstawaniem tzw. **wysadzin**, gdzie występują grunty szczególnie wrażliwe na przemarzanie (Wiłun 1982).

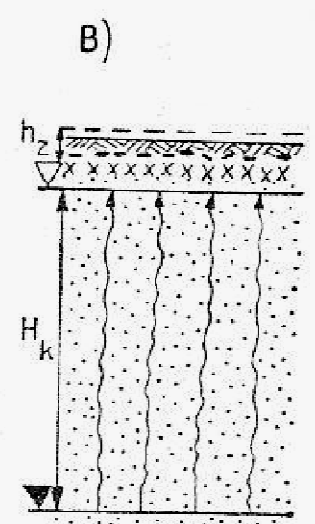
W wyniku tego zamarzania lód może wywołać ciśnienie ok.  $50 \div 200$  kPa przy temperaturze  $T = - 22$  °C. Badania i obserwacje wykazują, że wysadziny mogą występować tylko wtedy, gdy (Wiłun 1982):

- ✓ mróz działa wystarczająco długo - ujemna temperatura powietrza,
- ✓ grunt podłoża jest wysadzinowy,
- ✓ zwierciadło wody gruntowej zalega dość płytko, grunt podłoża jest bardzo wilgotny.



$$t_p \geq 0; t_g > 0$$

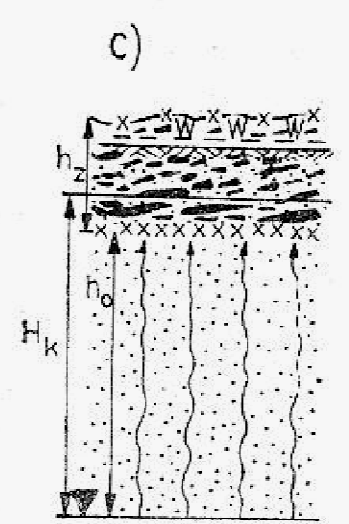
$$H_w > H_k; h_z = 0$$



$$t_p < 0; t_g < 0$$

$$H_w > H_k; h_z < H_w - H_k$$

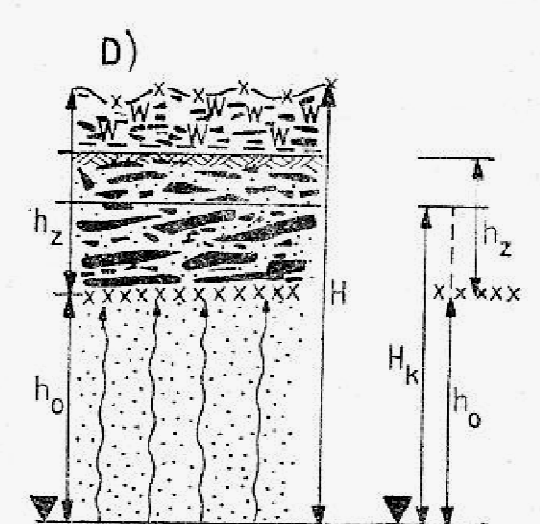
$$h_o > H_k$$



$$t_p < 0; t_g < 0$$

$$H_w > H_k; h_z \geq H_w - H_k$$

$$h_o < H_k$$



$$t_p < 0; t_g < 0$$

$$H_w > H_k; h_z > H_w - H_k$$

$$h_o < H_k$$

$$i = \frac{H_k - h_o}{h_o}$$



## **GLĘBOKOŚĆ I PRĘDKOŚĆ PRZEMARZANIA ZALEŻĄ OD:**

- ✓ temperatury powietrza
- ✓ czasu trwania
- ✓ osłony terenu
- ✓ struktury i tekstury gruntu
- ✓ składu granulometrycznego gruntu

**Głębokości przemarzania** można policzyć ze wzoru na  $h_z$  (Jeske i inni, 1966):

$$h_z = \sqrt{\frac{2\lambda}{Q\gamma_w} \cdot (T_z - T_p)t}$$

gdzie:

$\lambda$  – współczynnik przewodnictwa cieplnego,

$Q$  – ciepło krzepnięcia wody,

$\gamma_w$  – ciężar objętościowy wody zawartej w gruncie odniesiony do jednostki objętości gruntu,

$T_z$  – temperatura zamarzania,

$T_p$  – temperatura na powierzchni gruntu,

$t$  – czas.

W byłym Związku Radzieckim wyznaczono głębokość przemarzania glin i iłó w wg wzoru empirycznego (Wiłun, 1983)

$$h_z = 23 \sqrt{w_m} + 2$$

gdzie:

$h_z$  – głębokość przemarzania [cm],

$w_m$  – suma ujemnych średnich temperatur miesięcznych wg wieloletnich obserwacji ( $w_m$  od wzoru przyjmuje się ze znakiem plus), °C.

Wzór powyższy stosuje się również dla piasków i gruntów mało spoistych, dla których  $h_z$  należy zwiększyć o 22%, a dla żwirów o 30%.



Spośród wielu kryteriów najbardziej znane są (Pisarczyk, 1999):

1. Kryterium Casagrandego opracowane w 1934 r., według którego zalicza się do **wysadzinowych grunty bardzo różnoziarniste ( $U > 15$ )**, które zawierają **więcej niż 3 %** cząstek **mniejszych od 0,02 mm** oraz **grunty równoziarniste ( $U < 5$ )** zawierające **ponad 10 %** cząstek **mniejszych od 0,02 mm**,

2. Kryterium Beskowa (1935) wg którego uwzględnia się wpływ **geologicznego pochodzenia gruntu**, **wielkość średnicy  $d_{50}$** , **procentową zawartość ziarn o średnicy mniejszej od 0,062 mm i 0,125 mm** oraz **kapilarność bierną przy wilgotności równej granicy płynności**,

3. Kryterium Wiłuna (1958) wg którego uwzględnia się uziarnienie gruntu i kapilarność bierną gruntu  $H_{kb}$ :

## **Grupa A - grunty niewysadzinowe**

- ✓  $H_{kb} < 1,0$  m,
- ✓ bezpieczne w każdych warunkach wodno-gruntowych i klimatycznych;
- ✓ zawartość cząstek o średnicy mniejszej niż 0,05 mm wynosi poniżej 20%,
- ✓ mniej niż 3% zawartość cząstek o średnicy poniżej 0,02 mm
- ✓ Czyste żwiry, pospółki i piaski (grube).

## **Grupa B - grunty mało wysadzinowe**

- ✓  $H_{kb} < 1,3$  m,
- ✓ grunty zawierające 20÷30% cząstek mniejszych od 0,05 mm oraz 3÷10% cząstek mniejszych od 0,02 mm.
- ✓ Piaski (bardzo drobne), piaski pylaste i próchniczne.

## **Grupa C - grunty wysadzinowe**

- ✓  $H_{kb} > 1,3$  m,
- ✓ grunty zawierające powyżej 30% cząstek mniejszych niż 0,05 mm i więcej niż 10% cząstek mniejszych od 0,02 mm.
- ✓ Wszystkie grunty spoiste i namuły organiczne



## **ZJAWISKA TOWARZYSZĄCE PROCESOWI PRZEMARZANIA GRUNTÓW**

### **DODATNIE**

#### **LÓD CEMENTUJE CZĄSTKI GRUNTOWE**

- Właściwości są zbliżone do ciała stałego  
(wzrost np.  $\tau_f$ ,  $M_0$ ,  $M$ )
- Grunty stają się nieprzepuszczalne

### **UJEMNE**

#### **TWORZENIE SIĘ WYSADZIN**

Wzrost objętości  $\sim 9\%$





## **PRZY BUDOWIE NOWYCH DRÓG MOŻNA ZAPOBIEC TWORZENIU SIĘ WYSADZIN I PRZEŁOMÓ PRZEZ:**

- ✓ odpowiednie podwyższenie nasypu ponad zwierciadło wody gruntowej,
- ✓ obniżenie poziomu wód gruntowych lub odcięcie ich bocznego dopływu za pomocą drenażu podłużnego
- ✓ dobre odwodnienie powierzchniowe
- ✓ zastosowanie podbudowy z gruntu stabilizowanego np. cementem lub innym stabilizatorem
- ✓ zastosowanie pod nawierzchnią podsypki piaskowej o odpowiedniej grubości (zmiana gruntu wysadzinowego na niewysadzinowy)

## ZABEPIECZENIE BUDWLI I INNYCH OBIEKTÓW INŻYNIERSKICH POSADAWIANYCH NA GRUNTACH WYSADZINOWYCH:

- ✓ Posadowienie fundamentów budowli poniżej granicy przemarzania,
- ✓ Wymiana gruntu wysadzinowego i zastosowanie poduszki z dobrze ubitego czystego żwiru lub piasku (na niewysadzinowy) - do granicy przemarzania
- ✓ Stosowanie izolacji termicznych pod komorami w chłodniach, zaleca się pod podłogą pozostawić wolną przestrzeń
- ✓ Podgrzewanie gruntu pod komorami chłodni wodą obiegową lub prądem elektrycznym
- ✓ Stosowanie zasypki za murami oporowymi, przyczółkami mostów i jazów z dobrze przepuszczalnych gruntów niewysadzinowych
- ✓ W przypadku płytko posadowionych fundamentów w okresach mrozów należy stosować „ocieplanie” gruntu przy pomocy mat (np. słomianych) lub obsypywać gruntem

## DEFORMACJE FILTRACYJNE

Pod pojęciem **deformacji filtracyjnych** należy rozumieć procesy deformacyjne spowodowane mechanicznym oddziaływaniem przepływającej wody gruntowej. Głównym czynnikiem tych deformacji jest zatem ciśnienie hydrodynamiczne, czyli ciśnienie, jakie wywiera filtrująca woda na ziarna i cząstki szkieletu gruntowego. Ciśnienie to pokonując opór tarcia wody o grunt przenosi się z wody na szkielet gruntowy.

Rodzaj, wielkość i dynamika tych deformacji zależy z jednej strony od **wielkości i kierunku działającego ciśnienia**, a z drugiej strony od **budowy masywu gruntowego** oraz **rodzaju gruntu i jego własności strukturalno-teksturalnych**.

Do najważniejszych deformacji filtracyjnych należy zaliczyć: **sufozję, upłynnienie, wyparcie gruntu oraz przebicie hydrauliczne**.

## SUFOZJA

**Sufozja** to proces polegające na wynoszeniu (przemieszczenie ich lub wyniesione poza obręb gruntu) pod wpływem przepływającej (filtrującej) wody drobniejszych cząstek lub ziaren szkieletu mineralnego gruntu. W rezultacie sufozji dochodzi do powiększenia przestrzeni porowych, wzrasta współczynnik filtracji.

Materiał zostaje przemieszczony w inne miejsce lub wyniesiony poza obręb gruntu.

Zjawisko to prowadzi często do powstawanie kawern lub kanałów w obrębie gruntu i przybiera cechy tzw. przebicia hydraulicznego.

Może się ona odbywać na drodze mechanicznego lub chemicznego oddziaływania wody podziemnej.

- **Sufozja mechaniczna** – przemieszczenie drobniejszych cząstek i ziaren odbywa się mechanicznie bez rozpuszczającego, chemicznego oddziaływania wody podziemnej

- **Sufozja chemiczna** – następuje przez rozpuszczenie przez przepływającą wodę podziemną rozpuszczalnych cząstek i ziaren występujących między nierozpuszczalnymi w wodzie większymi ziarnami

## SUFOZJA

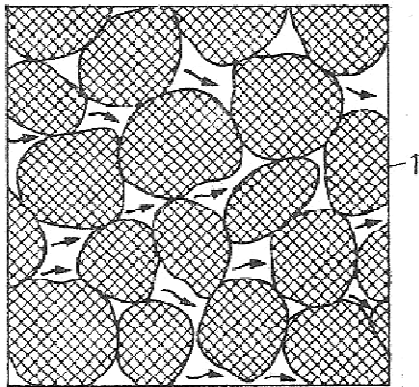
- **Sufozja chemiczno-mechaniczna** – kiedy woda podziemna oddziałuje zarówno chemicznie jak i mechanicznie

Aby proces sufozji mógł zaistnieć muszą być spełnione dwa zasadnicze warunki

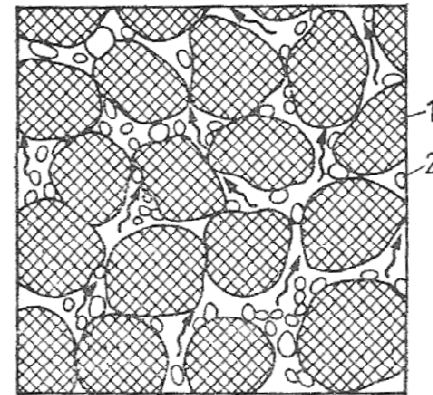
1. Występowanie gruntu podatnego na sufozję – gruntu sufozyjnego (np. lessy), tzn. gruntu o określonym składzie granulometrycznym i wielkości porów, a w przypadku sufozji chemicznej – grunt zawierającego w swoim składzie mineralnym również składniki rozpuszczalne w wodzie (sole, gips, kalcyt, ..)
2. Istnienie odpowiednio dużego ciśnienia hydrodynamicznego (spływowego) przepływającej przez grunt wody, a więc jej odpowiednio duże prędkości, uwarunkowane odpowiednim spadkiem hydraulicznym.

## SUFOZJA

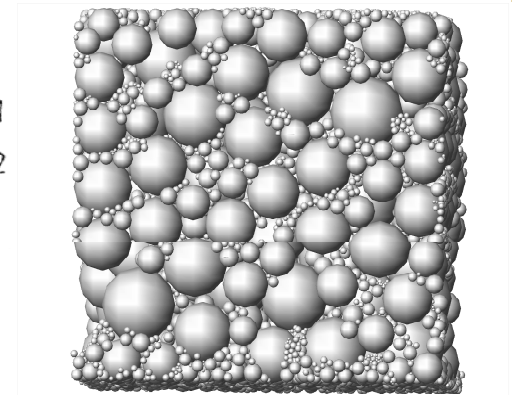
Grunt równoziarnisty nie może być gruntem sufozyjnym o ile elementy jego szkieletu są nierozpuszczalne w wodzie.



Grunt sypki, równoziarnisty, niesufozyjny



Grunt różnoziarnisty, który może być sufozyjny



Conditions for Suffosive Erosion Phenomena in Soils  
– Concept and Approach – Semar, Binner, Homberg, Kalbe, Mehlhorn,  
...

**Gruntami sufozyjnymi** są tylko grunty **nierównoziarniste**, bowiem w nich drobniejsze ziarna i cząstki mogą się przemieszczać w przestrzeni porowej między ziarnami większymi. .

Spośród różnych kryteriów dotyczących wielkości ziaren, najczęściej podaje się dwa:

**Wg Boczka** nastąpi sufozja mechaniczna w piaskach jeżeli

$$d_1/d_2 > 20$$

Jeżeli średnica ziaren większych  $d_1$  do powstającego między nimi wymiaru przekroju porów  $d_0$  wynosi

$$d_1/d_0 = 2,5$$

A optymalne warunki przemieszczania ziaren i cząstek o średnicy mniejszej  $d_2$  w przewodzie o przekroju  $d_0$  określa nierówność

$$d_0/d_2 > 8$$



$$(d_1/d_0) \cdot (d_0/d_2) > 2,5 \cdot 8$$

$$d_1/d_2 > 20$$

**Wg Istomina** o sufozności gruntu decyduje wskaźnik różnoziarnistości gruntu

$$U = d_{60}/d_{10}$$

$d_{60}$ ,  $d_{10}$  – średnica ziaren, których wraz z mniejszymi jest 60 % (10 %) w składzie próby,

Mechaniczna sufozja nie może zaistnieć gdy

$$U \leq 10$$

Może dojść do sufozji mechanicznej lub do upłynnienia gruntu gdy

$$10,0 < U < 20,0$$

Sufozja mechaniczna może zaistnieć gdy

$$U \geq 20,0$$




### ***Wg Patraszewa***

Mechaniczna sufozja może nastąpić wówczas gdy minimalna średnica cząstek wypełnienia  $d_{min}$  jest nie większa niż średnica porów konstrukcji szkieletowej  $d_{pk}$

$$***d_{min} \leq d_{pk}***$$

Dokładniej gdy max średnica kanałów filtracyjnych w gruncie  $d_{omax}$

$$***d_{min} < 0,77d_{omax}***$$



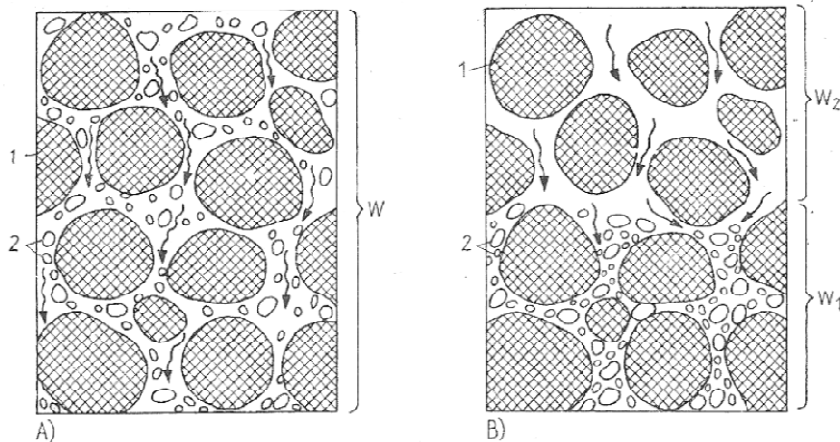
Jeśli ziarna konstrukcji szkieletowej **stykają się** ze sobą to wynoszenie cząstek i ziaren wypełnienia w określonym stadium rozwoju sufozji powoduje **zwiększenie porowatości gruntu, bez zmian jego objętości.**

Jeśli zaś ziarna konstrukcji szkieletowej **nie stykają się** ze sobą bezpośrednio, a między nimi występują cząstki i ziarna wypełnienia, które mogą być wypłukane przez przepływającą wodę podziemną **to można zaobserwować zarówno zmiany porowatości jak i objętości całej warstwy gruntowej (zapadanie się gruntu).**

Przemieszczanie się cząstek lub mniejszych ziaren może **zachodzić wewnątrz jednej warstwy gruntu** jak również **z jednej warstwy gruntu do drugiej** poprzez powierzchnię kontaktu dwóch warstw.

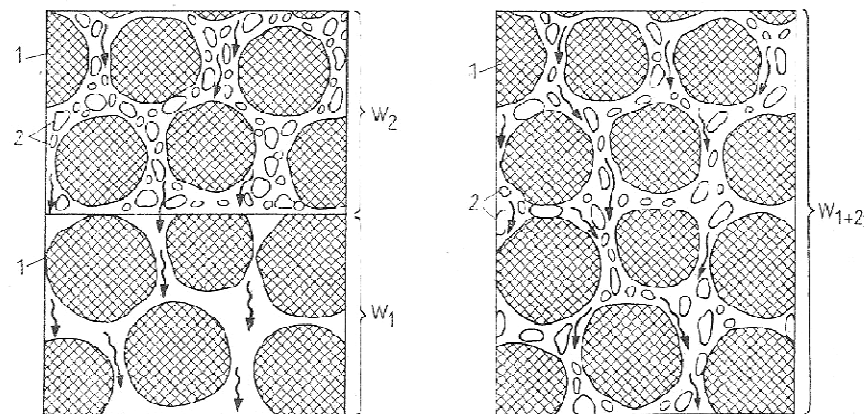
Ponieważ w obu przypadkach różny jest charakter sufozji i jej skutki wyróżnia się:

1. **Sufozję wewnątrzwarstwową** która zachodzi wewnątrz warstwy gruntu podatnego na sufozję
2. **Sufozję kontaktową (międzywarstwową)** podczas której cząstki lub ziarna przechodzą z jednej warstwy gruntu do drugiej




## SUFOZJA WEWNĄTRZWARSTWOWA

Sufozjne warstwowanie wtórne  
(rozwarstwienie pierwotnie jednorodnej warstwy)



## SUFOZJA KONTAKTOWA

Sufozjne zatarcie granicy między dwiema warstwami

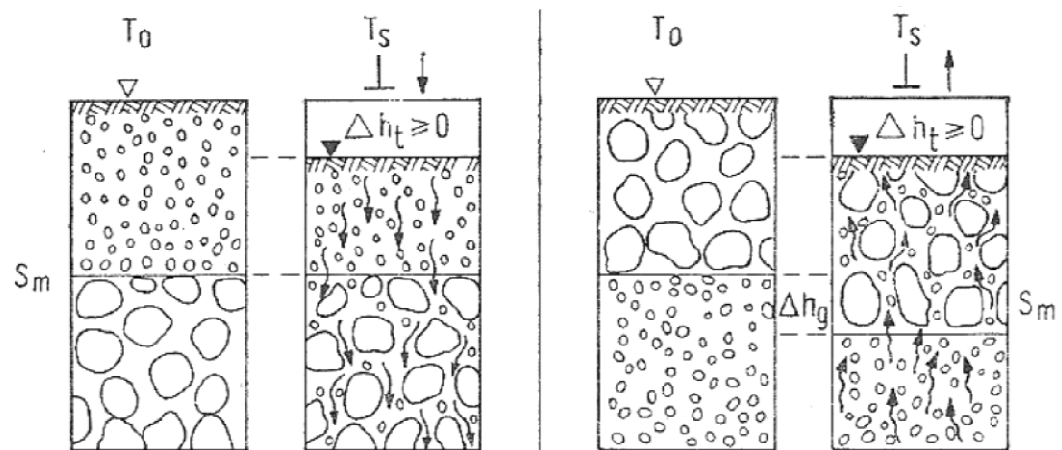


Sufozja wewnątrzwarstwowa może prowadzić do **zjawiska kolmatacji**. Jest to zjawisko przeciwnym sufozji polega na osadzaniu się w porach gruntu cząstek lub ziaren na skutek zmniejszenia się spadku hydraulicznego lub związanej z nim prędkości przepływu wody podziemnej w gruncie.

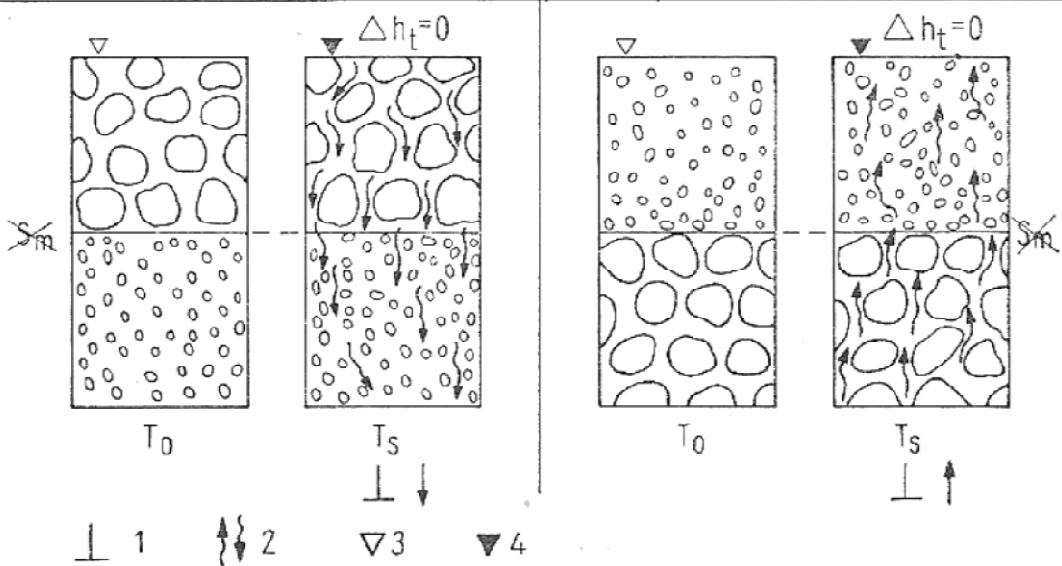
**Kolmatacja** – osadzanie się w przestrzeni porowej ośrodka porowatego drobnych cząstek stałych unoszonych przez przepływający płyn. Kolmatacja związana jest z blokowaniem przewężeń kanałów porowych przez cząstki stałe adwekcyjnie unoszone przez poruszający się płyn. Przykładem procesu kolmatacji jest stopniowe zatykanie się filtrów porowatych (np. sączki, samochodowy filtr powietrza) przez drobne cząstki stałe zawarte w filtrowanym płynie (Wikipedia)


**Sufozja kontaktowa** prowadzić może w zależności od istniejących warunków w podłożu bądź do zatarcia pierwotnej ostrej granicy między warstwami lub do jej wyraźniejszego podkreślenia – dochodzi do kształtowania struktury i tekstury gruntu.

**Sufozja zachodzi**



**Sufozja nie zachodzi**

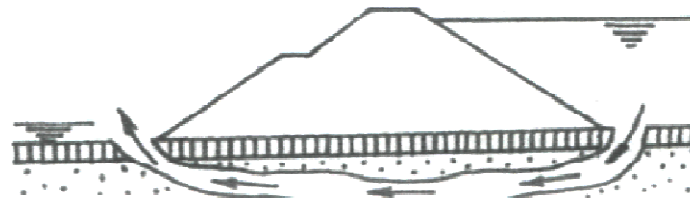
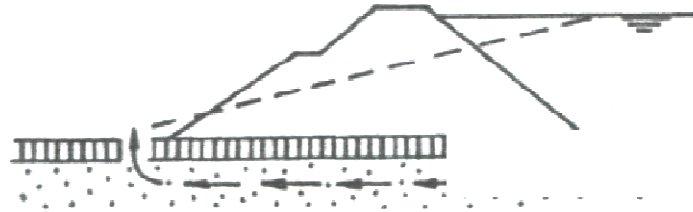




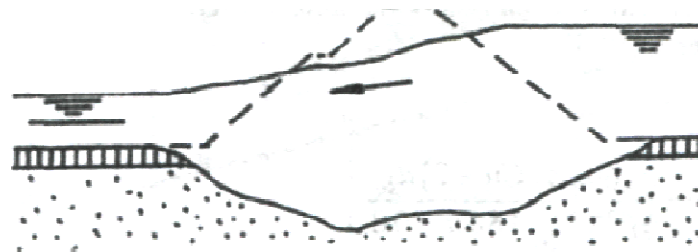
***Sufozja miejscowa*** zachodzi tylko pod powierzchnią badanej próbki gruntu i zanika z czasem na skutek wytwarzania się pod tą powierzchnia filtru odwrotnego. ***Sufozja miejscowa*** nie powoduje zniszczenia próbki gruntu, zmienia jednak jego właściwości filtracyjne i może spowodować jedynie niewielkie osiadanie gruntu.


***Sufozja ogólna*** rozwija się w całej objętości gruntu progresywnie, tzn. z upływem czasu zwiększa się jej strefa oddziaływania i intensywność. Jest ona szczególnie niebezpieczna dla obiektów budowlanych.

Woda o większej prędkości może poruszać coraz większe ziarna gruntu i powodować dalszy rozwój procesu sufozji aż do utworzenia się kawern lub kanałów w gruncie. Zjawisko przybiera wtedy cechy przebicia hydraulicznego.



tunnel





Wartość spadku hydraulicznego, przy którym następuje wynoszenie z gruntu mniejszych cząstek i ziaren nosi **nazwę spadku sufozyjnie krytycznego**. Wartość tego spadku nie jest wartością stałą, lecz zależną między innymi od rodzaju gruntu, jego składu ziarnowego, a szczególnie wskaźnika nierównomierności uziarnienia, porowatości oraz współczynników hydraulicznego oporu ziaren i porów. W zależności od wymienionych czynników wartość spadku sufozyjnie krytycznego może zawierać się w dość szerokich granicach, od nawet  $< 0,3$  do  $> 5$ .








*Zdjęcie wykonane przez Panią Eunice Olson, 5 czerwiec 1976.*



**GROTY MECHOWSKI - WIKIPEDIA**



<http://www.floodprobe.eu/news.asp?id=49>



Sufozja przyczynia się do zmian wewnątrz podłoża gruntowego, polegających w głównej mierze na zmianie parametrów tj. **porowatość czy stopień zagęszczenia** ale również na zmianie **składu granulometrycznego gruntów**.

*Przepływająca w podłożu gruntowym masa wody wywiera na elementy szkieletu gruntowego ciśnienie nazywane ciśnieniem spływowym. Ponieważ ciśnienie spływowe jest siłą masową, dlatego może oddziaływać mechanicznie na poszczególne elementy szkieletu gruntowego. W zależności od struktury i składu granulometrycznego gruntu oraz od prędkości filtrującej wody gruntowej, wymywane są ziarna od najdrobniejszych począwszy. To prowadzi do zwiększenia się porowatości gruntu i zmniejszenia stopnia zagęszczenia, a w konsekwencji do osiadania gruntu oraz do spękań i szczelin sięgających do powierzchni gruntu.*

Filipowicz. B. i Sobolewski. J. „Zjawisko Sufozji: trudne do przewidzenia czy błąd człowieka” - XVII Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo - Techniczna , Bielsko-Biała, 2005r.

Aby przeciwdziałać sufozji można:

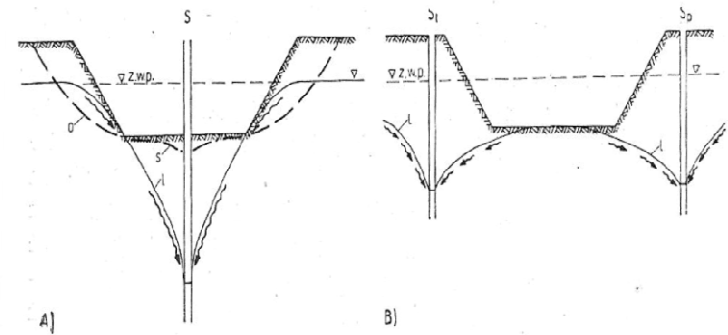
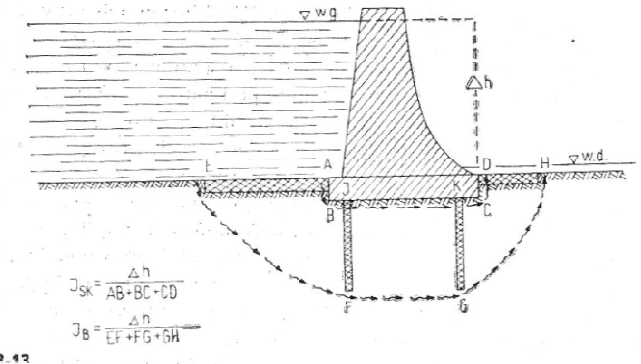
- zmiana lokalizacji obiektu


- zmniejszyć prędkość przepływu wody w gruncie poniżej prędkości krytycznej np. przez wydłużenie drogi przepływu

- wykonanie filtrów zwrotnych lub odpowiedniego przypowierzchniowego drenażu

- przeprowadzić sztuczną kolmatację gruntu (np. przez zagęszczenie, cementację, zastosowanie odpowiednich polimerów)

- odpowiedniego w danych warunkach osuszenia gruntów i nie dopuszczenia do późniejszego dopływu wód podziemnych z prędkościami zbliżonymi lub większymi od krytycznych





**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.

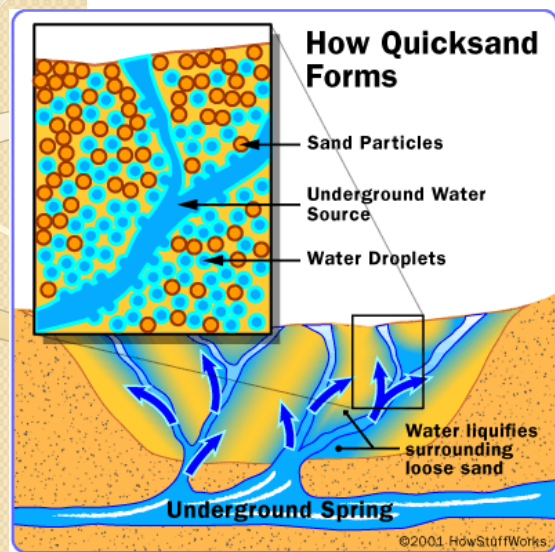
Zjawisko to spowodowana jest wystąpieniem krytycznego spadku hydraulicznego i nie występowaniem naprężeń efektywnych w gruncie.

W praktyce określa się piaskami kurzawkowymi, piaski drobnoziarniste i pylaste, chociaż mogą one w warunkach swojego występowania nie być w stanie upłynnienia. Nie dotyczy to jednak piasków gruboziarnistych i żwirów, chociaż i one mogą być również upłynnione.

*„kurzawka nie występuje – kurzawkę się wywołuje” zasada odnosi się do stereotypu zjawiska kurzawki (z wykładów szkolenia na SGGW w 2006 r.) prof. Wiłun mawiał: „Żeby powstała kurzawka musi być: woda, grunt i zły inżynier”. (źródło: Wykłady z SGGW)*

Wyróżnia się najczęściej kurzawki:

- właściwe, pylaste, które nie mają tendencji do oddawania wody,
- piaszczyste, w których przy zmniejszaniu się prędkości przepływu wody następuje oddzielenie ziaren od wody i stopniowe ich osadzanie.



<http://www.inspirationline.com/Brainteaser/quicksand.htm>

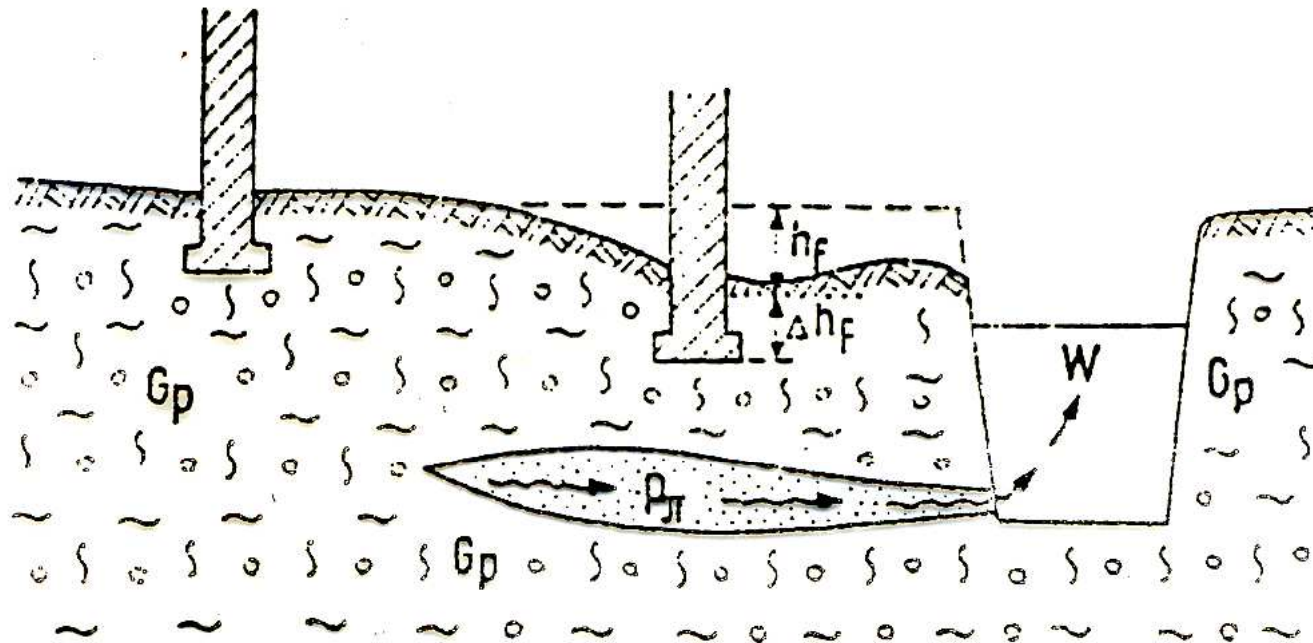
Kurzawka występuje m.in. na terenie Warszawy. Stanowiło to duży problem przy budowie wysokich budynków oraz metra.



**"Kurzawka" na Orliku**

7 października, 2010 - 09:02 — [aleksandrak@rc.fm](mailto:aleksandrak@rc.fm)

## KURZAWKOWE UPŁYNNIENIE SOCZEWY PIASKU

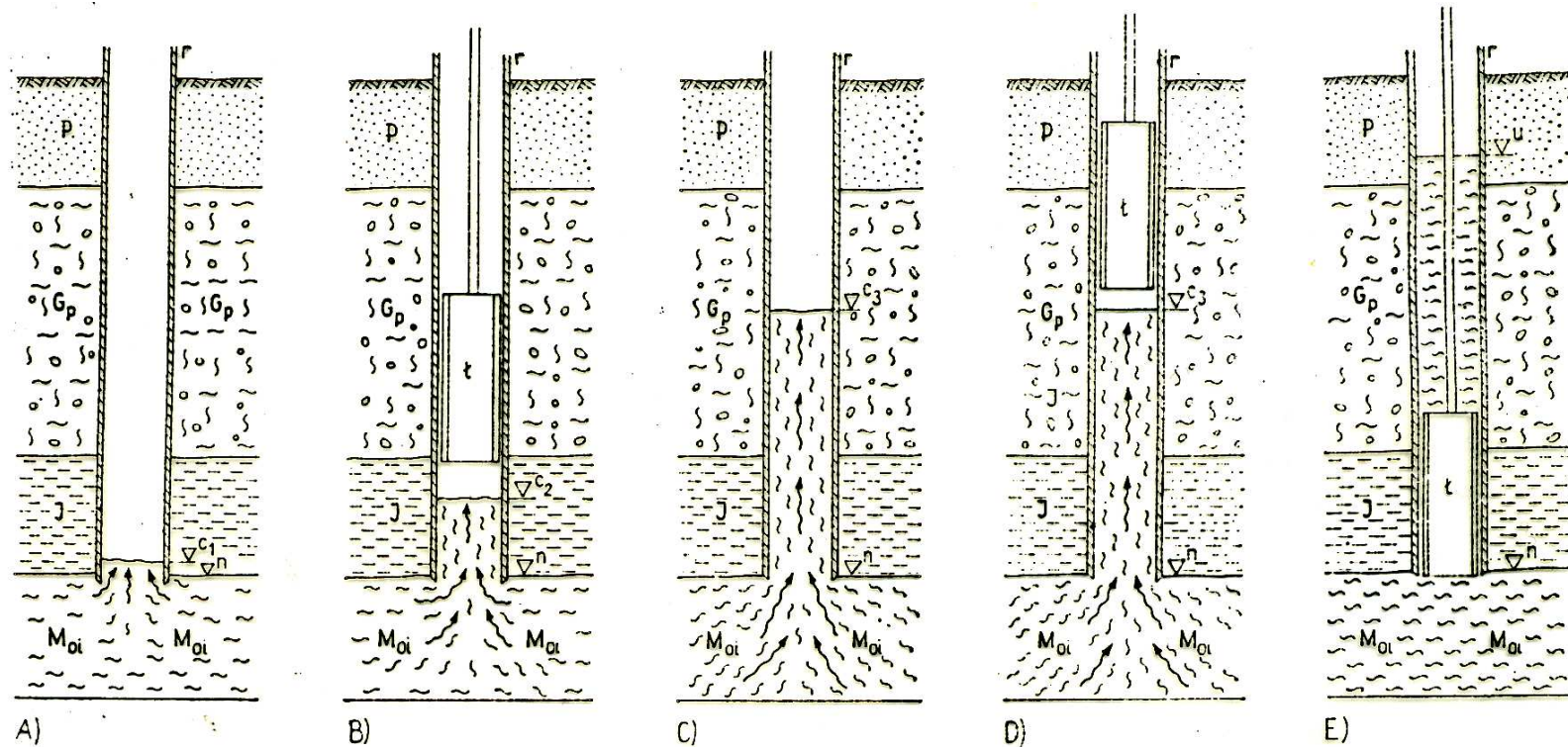


$P_{\pi}$  - drobnoziarnisty piasek pylasty (pod ciśnieniem),  $G_p$  - glina piaszczysta, W - wykop,  
 $h_f$  - pierwotna głębokość posadowienia  
 $\Delta h_f$  - obniżenie się stopy fundamentowej w wyniku wypłynięcia kurzawki do wykopu


Należy pamiętać, że **ten sam grunt może w jednych warunkach zachowywać** się jak **ciało stałe** o stałej strukturze i teksturze i nie zmieniać swojego kształtu, a innym razem zachowywać się jak **ciecz** (np. upłynnienie po nadciężeniu) .



## ZACHOWANIE SIĘ KURZAWKI W OTWORZE WIERTNICZYM (LUB W SZYBIE)



A) – stan po dowieczeniu do stropu kurzawki, B) – przyspieszenie upłynnienia w wyniku ssania przy podnoszeniu szlamówki, C) – podnoszenie się kurzawki po wyjęciu szlamówki, D) – wybieranie korka przy ponownym zapuszczaniu szlamówki, E) – zestawienie się kurzawki nad łyżką po pozostawieniu jej w otworze – możliwość unieruchomienia przewodu wiertniczego



Zjawisko kurzawki zawsze jest spowodowane nierównowagą sił wewnętrznych występujących w gruntach niespoistych. Gdy ciśnienie splywu jest większe niż ciężar gruntu; cząsteczki gruntu są „porywane” ze swoich miejsc w szkielecie gruntowym.

W wielu wypadkach zjawisko to prowadzi do bardzo dużych strat materialnych – zalewane otwory wiertnicze, szyby, sztolnie, wykopy, tunele, wyrobiska eksploatacyjne, itp. W znacznej mierze ograniczają się wyłącznie do strat materialnych, ale niekiedy również przyczyniają się do zagrożenia dla życia ludzkiego

Kurzawkę zwalcza się przez:

- zmiana lokalizacji obiektu
- zamrażając grunt lub drenując
- obniżenie zwierciadła wody
- osuszanie gruntu
- ścianki szczelinowe
- zeskalenie gruntu (np. sylikatyzacja – sole krzemionkowe, zaczyny cementowo-popiołowe, szkło wodne, chlorek wapnia, metoda spiekania)

