



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

# **Mechanika gruntów 8**

## **Procesy osuwiskowe i metody ich zwalczania**

**Marek Cała, Jerzy Flisiak, Michał Kowalski**

**Nazwa wydziału: Górnictwa i Geoinżynierii**  
**Nazwa katedry: Geomechaniki, Budownictwa  
i Geotechniki**

## Podstawowe definicje

Samoczynne ruchy mas gruntu na zboczach i skarpach, zwane powszechnie **osuwiskami**, uważa się w geologii dynamicznej za jeden z istotnych procesów geologicznych. Występują one najczęściej na zboczach dolin rzecznych, wybrzeżach morskich i zboczach górskich. Osuwiska skarp mogą towarzyszyć wykonywaniu głębszych wykopów, przekopów i wysokich nasypów.

Utrata stateczności skarp i zboczy, będąca przyczyną osuwania się mas ziemnych, następuje w wyniku **przekroczenia wytrzymałości gruntu na ścinanie** wzdłuż dowolnej (ale ciągłej) powierzchni zwanej powierzchnią poślizgu.

## Przyczyny osuwisk

Jedną z charakterystycznych cech osuwania się zboczy i skarp jest to, że zasadniczymi siłami, które je wywołują są:

- **siły grawitacyjne** pochodzące od ciężaru gruntu i ewentualnej zabudowy,
- **siły hydrodynamiczne** wywołane przepływem wody przez grunt.

## Przyczyny osuwisk

- **upad warstw gruntów** lub kierunek spękań skał jest zgodny z kierunkiem nachylenia zbocza naturalnego lub sztucznego (wykop),
- podmycie lub podkopanie zbocza,
- obciążenie zbocza lub terenu nad nim przez budowle i składy materiałów,
- wypełnienie wodą szczelin lub spękań ponad zboczem,
- wypór wody i ciśnienie sphywowe w masie gruntowej zbocza powstające na skutek nagłego obniżenia poziomu wody powierzchniowej (np. zapory i obwałowania ziemne),
- napór wody od dołu na górne warstwy mało przepuszczalne powodujące zmniejszenie sił oporu na ścinanie,
- **nasiąknięcie gruntu** na skutek opadów deszczu lub tajania śniegu, co powoduje zmniejszenie wytrzymałości na ścinanie gruntu,



**AGH**

## **Przyczyny osuwisk**

- **wietrzenie i rozluźnienie skał i gruntów, a więc niszczenie ich struktury,**
- **pofałdowanie terenu przez lodowce lub ruchy tektoniczne,**
- **istnienie wygładzonych powierzchni poślizgu na terenach starych osuwisk (np. w iłach i iłołupkach),**
- **wstrząsy wywołane np. lawiną, wybuchami, trzęsieniem ziemi, ruchem drogowym,**
- **sufozja, tzn. wymywanie z masy gruntu drobniejszych ziarn lub cząstek przez infiltrującą wodę powodujące powstawanie kawern, a następnie ruchy mas skalnych lub gruntowych,**

## Przyczyny osuwisk

- **przemarzanie i odmarzanie gruntu powodujące zmianę jego struktury i wytrzymałości na ścinanie,**
- **wypieranie gruntu (np. po odsłonięciu w wykopie gruntów plastycznych może nastąpić ich wciśnięcie przez nacisk nadkładu poza wykopem i spowodować osuwisko skarpy),**
- **niewłaściwe zaprojektowanie nadkładu, nachylenia skarp wykopu lub nasypu.**

**Oczywiście, równocześnie może występować więcej niż jedna przyczyna.**

## Rodzaje osuwisk

**Na zboczach i skarpach występować mogą następujące rodzaje ruchu (przemieszczeń)mas gruntu:**

- **spełzywanie,**
- **spływy,**
- **obrywy,**
- **zsuwy,**
- **osuwiska.**

**Potocznie wszystkie one określa się mianem osuwisk, co jest dużym uproszczeniem jeżeli wziąć pod uwagę różne przyczyny ich powstawania, charakter przebiegu oraz skutki i możliwy zakres występowania.**

## Rodzaje osuwisk

**Spęływaniem** nazywa się bardzo powolny ruch mas gruntowych bez wyraźnej powierzchni poślizgu. Często nie występują wyraźne formy morfologiczne. Spęływanie występuje zazwyczaj na zboczach i skarpach o łagodnym nachyleniu.

**Spływy** to szybkie i krótkotrwałe, zazwyczaj płytkie, przemieszczenia gruntów spoistych lub sypkich ze zbocza. Występują one na skutek przesylenia gruntu wodą z wyraźną jej akumulacją u podnóża zbocza lub skarpy.

**Obrywy** to gwałtowne przemieszczanie okruchów i głazów gruntu powstające wskutek erozji. Występują one na stromych odsłonięciach skalnych.



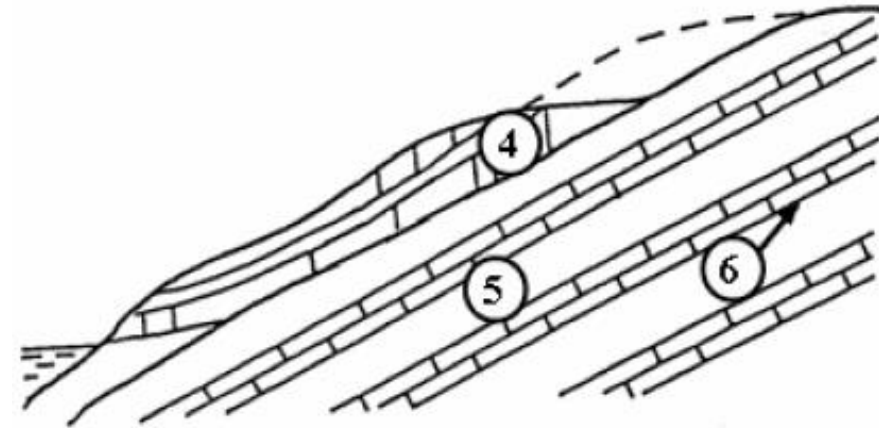
## Rodzaje osuwisk

**Osuwiskiem** nazywamy przemieszczenia mas gruntowych wzdłuż powierzchni poślizgu. Głębokość oraz prędkość przemieszczania gruntu może być bardzo zróżnicowana. Cechą charakterystyczną osuwisk jest tworzenie form morfologicznych. Osuwiska można podzielić na następujące cztery typy: konsekwentne (zsuwy), insekwentne, asekwentne i sufozyjne.

## Osuwiska konsekwentne

**Osuwiska konsekwentne** powstają ze ścięcia górotworu wzdłuż powierzchni biegnącej zgodnie z powierzchnią:

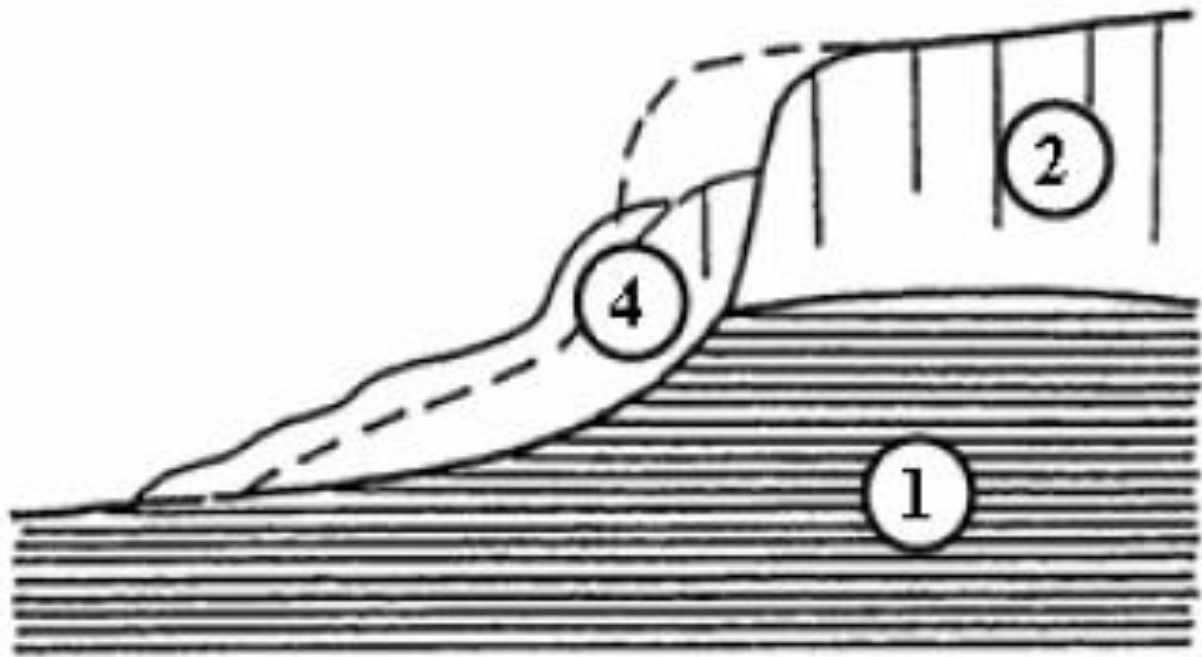
- warstwowania, i wówczas nazywamy je konsekwentno-strukturalnymi,
- spękań i szczelin (osuwiska konsekwentno-szczelinowe),
- oddzielającą strefę zwietrzliny od podłoża (konsekwentno-zwietrzelinowe),
- starych osuwisk.



**Osuwiska konsekwentne** są najczęściej spotykane w rejonach górskich o budowie fliszowej; są bardzo charakterystyczne dla fliszu karpackiego. Występują także w rejonach górskich o rozwiniętym profilu zwietrzelinowym oraz w utworach zaburzonych glacitektonicznie.

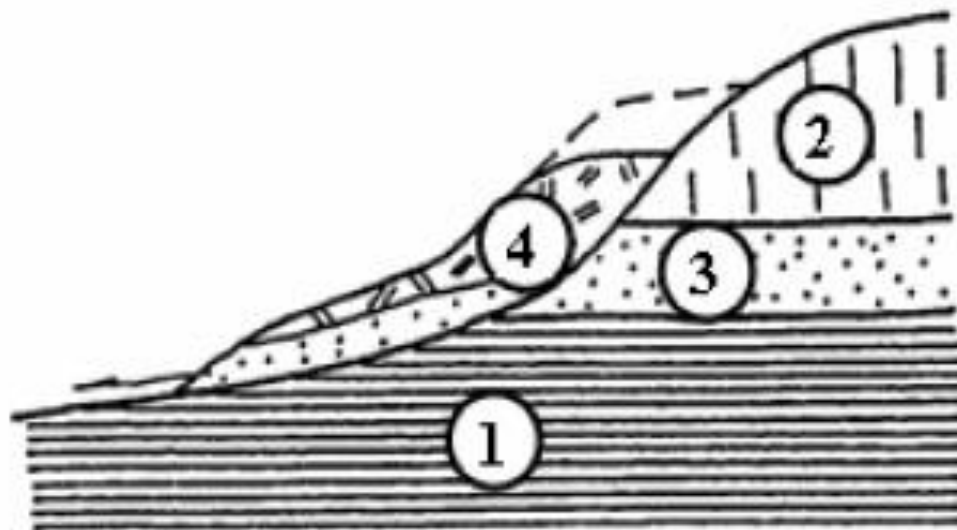
## Osuwiska insekwentne

**Osuwiska insekwentne** mają miejsce wówczas, gdy płaszczyzna poślizgu rozwinęła się prostopadle lub ukośnie do istniejących powierzchni strukturalnych wśród utworów warstwowych. Powierzchnia poślizgu tych osuwisk ma zazwyczaj bardzo złożony kształt.



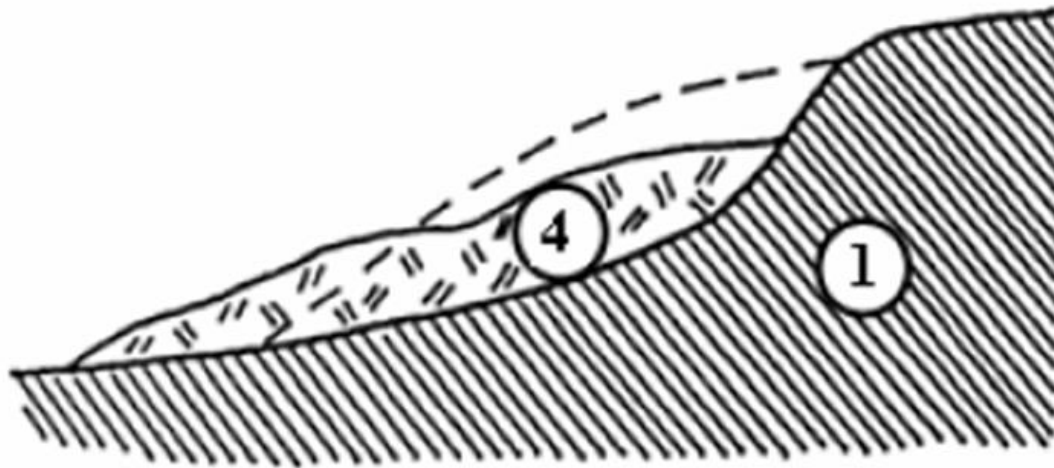
## Osuwiska asekwentne

Jeżeli powierzchnia poślizgu przebiega w gruncie jednorodnym i niewarstwowym to takie osuwiska nazywamy **asekwentnymi**. Występują one najczęściej w niezaburzonych łałach i glinach.



## Osuwiska sufozyczne

Osuwiska **sufozyczne** występują wskutek wypłukiwania cząstek gruntu przez wypływające u podstawy stoku lub skarpy wody gruntowe. Powstają głównie w gruntach mało spoistych takich jak piaski pylaste i pyły piaszczyste.



## Klasyfikacja osuwisk

Ze względu na **aktywność**:

- aktywne (kolejne przemieszczenia gruntu są rejestrowane w skali jednego roku),
- mało aktywne (uaktywniają się co kilka lat),
- nieaktywne (formy zmarłe lub ustabilizowane sztucznie).

Ze względu na **wielkość osuwiska** dzieli się na:

- duże (powierzchnia powyżej 3000 m<sup>2</sup>),
- średnie (powierzchnia 1000÷3000 m<sup>2</sup>),
- małe (powierzchnia mniejsza od 1000 m<sup>2</sup>).

## Osuwiska komunikacyjne

### **Przyczyny osuwisk komunikacyjnych:**

- **zbyt strome pochylenie skarp,**
- **zbyt duże podcięcie zboczy,**
- **zastosowanie niewłaściwych materiałów (gruntów) do budowy nasypów,**
- **niewłaściwe (zbyt małe) zagęszczenie nasypów,**
- **nieodpowiednia technologia wykonywania robót, niewłaściwe odwodnienie.**

### **Charakterystyczne uszkodzenia:**

- **łukowate pęknięcia nawierzchni drogowej i poboczy,**
- **lokalne uskoki w nawierzchni i na poboczach,**
- **przemieszczenia poziome osi drogi lub toru kolejowego,**
- **lokalna zmiana niwelety (drogowej lub kolejowej).**

## Ocena zagrożenia osuwiskami

**W zależności od wartości współczynnika  $F$  wystąpienie osuwiska można uznać za:**

- **bardzo mało prawdopodobne –  $F > 1.5$ ,**
- **mało prawdopodobne –  $1.3 < F \leq 1.5$ ,**
- **prawdopodobne –  $1.0 < F \leq 1.3$ ,**
- **bardzo prawdopodobne –  $F < 1.0$ .**





**AGH**

## **Największe katastrofy wywołane osuwiskami**

<b>Kansu (China)</b>	<b>1920</b>	<b>Loess flow</b>	<b>200,000 killed</b>
<b>Gros Ventre (Wyoming)</b>	<b>1925</b>	<b>Rockslide</b>	<b>~40 killed</b>
<b>Madison (Montana)</b>	<b>1959</b>	<b>Rockslide</b>	<b>&gt;100 killed</b>
<b>Vaiont (Italy)</b>	<b>1963</b>	<b>Rockslide</b>	<b>2,600 killed</b>
<b>Aberfan (Wales)</b>	<b>1966</b>	<b>Debris-slide</b>	<b>144 killed</b>
<b>Huascarán (Peru)</b>	<b>1970</b>	<b>Complex</b>	<b>25,000 killed</b>
<b>Nevado del Ruiz (Colombia)</b>	<b>1985</b>	<b>Debris flow</b>	<b>23,000 killed</b>
<b>Casitas (Nicaragua)</b>	<b>1998</b>	<b>Debris flow</b>	<b>+2,000 killed</b>
<b>Venezuela</b>	<b>1999</b>	<b>Complex</b>	<b>+20,000 killed</b>
<b>Swiss/Italian Alps</b>	<b>2000</b>	<b>Debris flow</b>	<b>38 killed</b>

## **Katastrofa grobli w Iwinach**

**Grobla została przerwana 13 grudnia 1967 r. w nocy około godziny 3:00. W zbiorniku znajdowało się wówczas około 11500 tys. m<sup>3</sup> wody i osadów poflotacyjnych.**

**Grobla była wznoszona w trzech etapach:**

- **I etap (1953-1960): rzędna korony 232 m n.p.m., pojemność 6300 tys. m<sup>3</sup>.**
- **II etap (1960-1961): rzędna korony 236 m n.p.m., pojemność 11300 tys. m<sup>3</sup>.**
- **III etap (1967): rzędna korony 239.2 m n.p.m., pojemność 16400 tys. m<sup>3</sup>.**

**Awaria nastąpiła podczas trwania robót wykończeniowych. Poziom wody w zbiorniku wynosił 235.75 m n.p.m. W wyniku przewalania grobli powstała wyrwa, której szerokość na poziomie korony wynosiła 134 m natomiast w dolnej części 68 m. Wyrwa sięgała w podłoże grobli do rzędnej 216 m n.p.m.**

## **Katastrofa grobli w Iwinach**

**Przyczyny katastrofy (na podstawie opracowania B.Rosińskiego):**

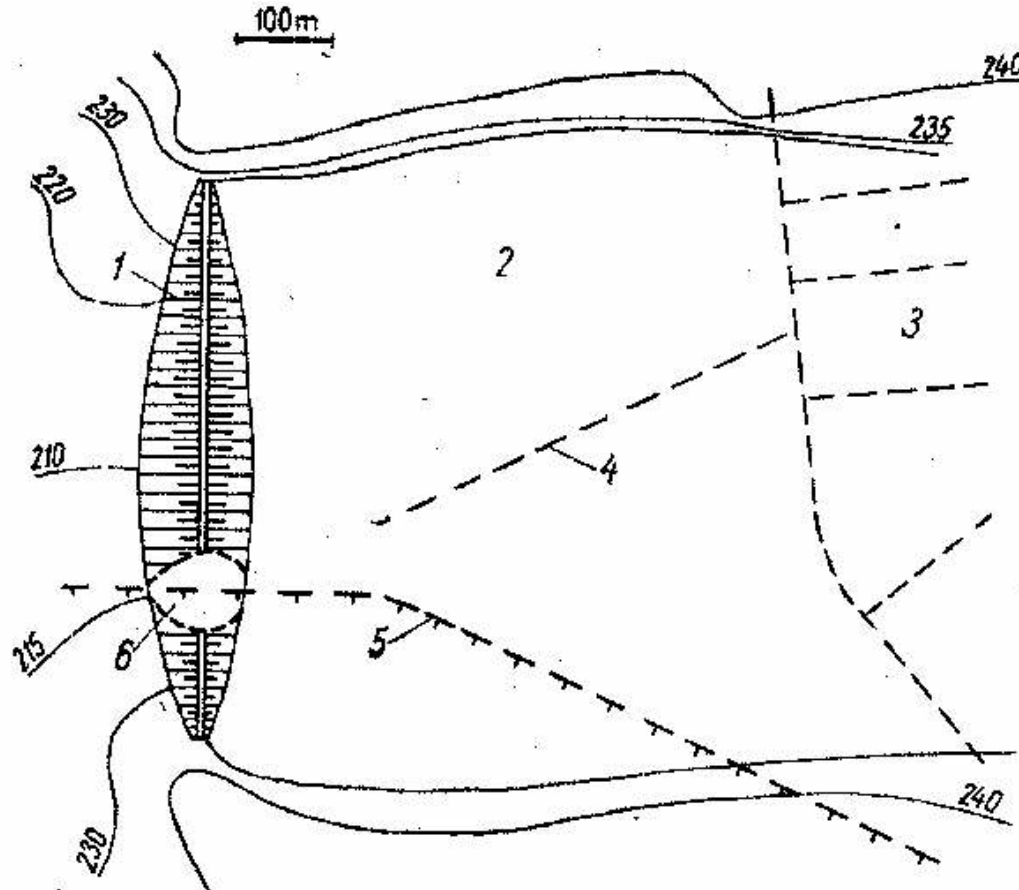
- **Współczynnik pewności dla wykonanego przekroju grobli był niezadowalający dla budowli pietrających zaliczanych do I klasy.**
- **Główną przyczyną katastrofy było niedostateczne rozpoznanie geologiczne podłoża w 1951 r., które praktycznie ograniczało się do zbadania czwartorzędu i nie sięgało do starszego podłoża. W konsekwencji zupełnie nieprawidłowo wyznaczono oś grobli nad uskokiem prostopadłym do osi grobli.**

**W wyniku katastrofy zginęło 18 osób, a miejscowość Iwiny została zalana błotną mieszaniną wody i osadów poflotacyjnych.**



AGH

# Katastrofa grobli w Iwinach





**AGH**

## **Katastrofa grobli w Iwinach**





**AGH**

## **Katastrofa grobli w Iwinach**





**AGH**

## **Katastrofa grobli w Iwinach**







**AGH**

## Malpasset - Francja - 1959 r.



	<b>Rok budowy</b>	1954
	<b>Rok katastrofy</b>	1959
	<b>Typ zapory</b>	betonowa łukowa
	<b>Podłoże</b>	skała
	<b>Wysokość zapory H [ m ]</b>	66
	<b>Długość zapory L [ m ]</b>	222
	<b>Objętość zapory V [tys.m<sup>3</sup>]</b>	48
	<b>Pojemność zbiornika [mln.m<sup>3</sup>]</b>	47
<b>Katas trofa</b>	<b>wiek zapory w chwili katastrofy</b>	podczas pierwszego napełniania
	<b>rodzaj</b>	katastrofa związana z podłożem
	<b>przyczyna główna</b>	wytrzymałość na ścinanie
	<b>przyczyna dodatkowa</b>	wyciek z systemu drenażu
	<b>Skutki</b>	ok. 500 ofiar
	<b>Podjęte działania</b>	rezygnacja z zapory





**AGH**

# **Malpasset - Francja - 1959 r.**



## Malpasset - Francja - 1959 r.

- **Jak się okazało główną przyczyną było niewystarczające rozpoznanie geologiczne podłoża.**
- **Lewy przyczółek zapory stanowiły łupki, które były ułożone prawie pionowo i stycznie do łuku zapory.**
- **W trakcie badań podłoża nie rozpoznano uskoku w pobliżu lewego przyczółka zapory biegnącego prostopadle do warstw łupków. Wskutek napełniania zbiornika i wzrostu obciążenia w rejonie lewego przyczółka, zostały one wypchnięte w kierunku stanowiska dolnego. Powstał moment skręcający łuk zapory co w efekcie doprowadziło do jego przełamania.**
- **Do katastrofy przyczyniły się także bardzo intensywne opady, które spowodowały gwałtowny wzrost poziomu wody w zbiorniku (pierwsze piętrzenie - w ciągu doby przyrost o 4 metry).**



AGH

## Teton - USA - 1976 r.



<b>Rok budowy</b>	1976	
<b>Rok katastrofy</b>	1976	
<b>Typ zapory</b>	ziemna / narzutowa	
<b>Podłoże</b>	skała / grunt	
<b>Wysokość zapory H [ m ]</b>	93	
<b>Długość zapory L [ m ]</b>	900	
<b>Objętość zapory V [tys.m<sup>3</sup>]</b>	7646	
<b>Pojemność zbiornika [mln.m<sup>3</sup>]</b>	-	
<b>Katastrofa</b>	<b>wiek zapory w chwili katastrofy</b>	podczas pierwszego napełnienia
	<b>rodzaj</b>	katastrofa związana z podłożem, i zachowaniem się korpusu zapory
	<b>przyczyna główna</b>	erozja wewnętrzna (sufozja) i przebicie hydrauliczne
	<b>przyczyna dodatkowa</b>	-
<b>Skutki</b>	-	
<b>Podjęte działania</b>	rezygnacja z zapory	





AGH

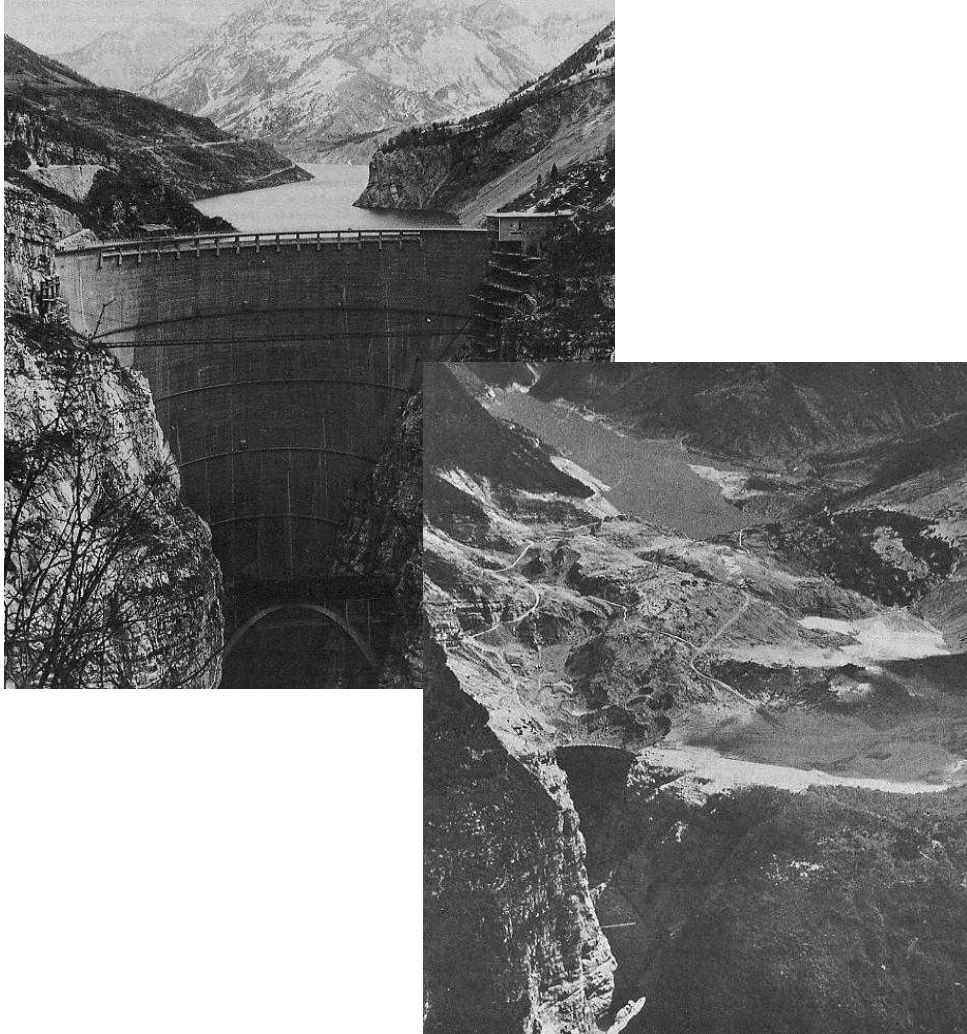
## Teton - USA - 1976 r.





**AGH**

## **Vaiont dam disaster 1963**



- **Dam constructed 1957-60**
- **276 m high. World's 2nd highest dam**
- **Slope started to creep as lake filled**
- **Accelerated to 80 cm/day**
- **9.10.63 275 millions tons of rock slid into lake**
- **25 millions m<sup>3</sup> of water displaced over dam**
- **Three towns destroyed**
- **2000+ killed**





AGH

## Vaiont dam disaster 1963





**AGH**

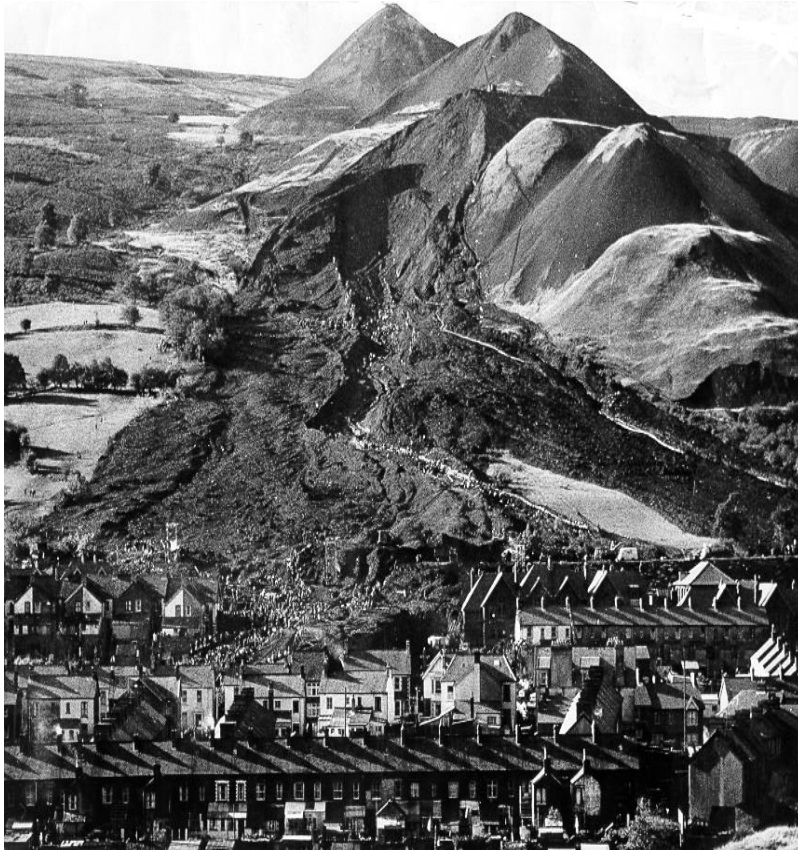
## **Vaiont dam disaster 1963**





**AGH**

## **Aberfan debris flow (South Wales) 1966**



- **Occurred at overloaded & unmonitored coal tip**
- **Early morning on 21.10.66 upper part of tip subsided by up to 6m**
- **9.15am ~150,000 m<sup>3</sup> of debris broke away**
- **Flow of super-saturated rock waste moved downslope as high velocity viscous surges**
- **Cottages & school buried up to 10m deep**
- **144 killed (116 children)**



## **Przeciwdziałanie procesom osuwiskowym**

**Powszechnie uważa się, że projektowane rozwiązanie powinno eliminować przyczyny wywołujące zagrożenie powstania osuwiska. Trzeba przy tym zwrócić uwagę, że stabilizacja osuwiska jest zazwyczaj kosztownym przedsięwzięciem. Przy osuwiskach rozległych i głębokich korzystniejszym rozwiązaniem może okazać się zmiana trasy drogi.**

**Często (ale nie zawsze) przyczyną powstania osuwiska jest działanie wody. Stąd też we wszystkich rozwiązaniach odwodnienie zbocza, a ogólnie rzecz ujmując, uporządkowanie stosunków wodnych na terenie potencjalnego osuwiska oraz do niego przyległym jest koniecznie potrzebne. Na ogół zabieg ten nie jest samodzielnie wystarczający.**

## **Przeciwdziałanie procesom osuwiskowym**

**Przeciwdziałanie procesom osuwiskowym obejmuje:**

- 1. Działania bezpośrednie, podejmowane natychmiast po stwierdzeniu wystąpienia procesu osuwiskowego,**
- 2. Zabezpieczenia doraźne (tymczasowe),**
- 3. Zabezpieczenia ostateczne.**

**Działania bezpośrednie:**

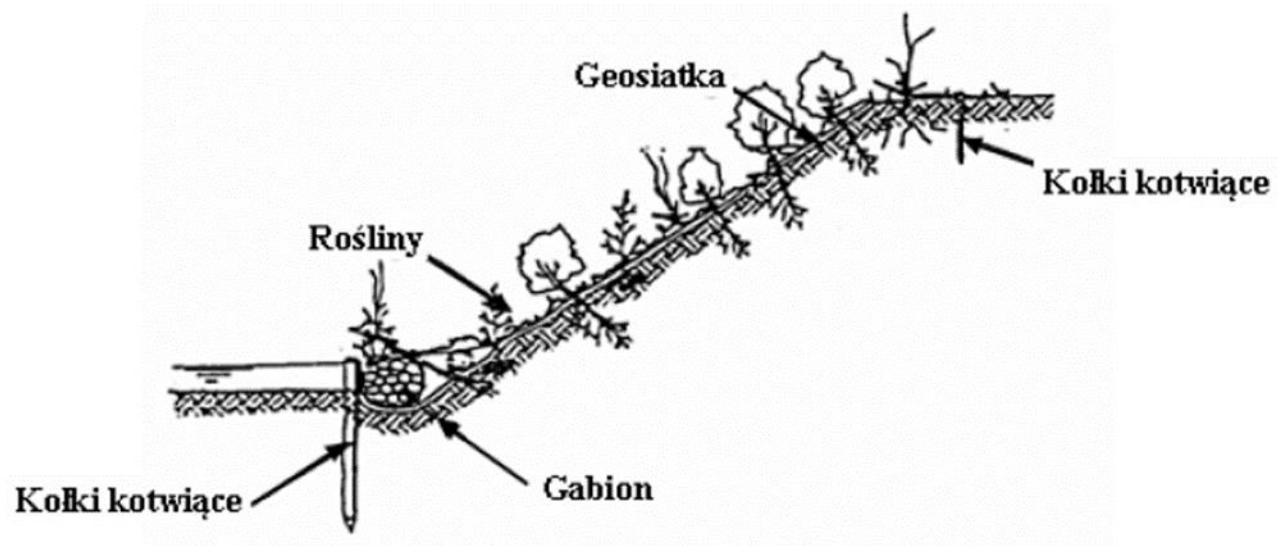
**Bezpośrednio po wystąpieniu osuwiska konieczne jest podjęcie niezwłocznych działań, których celem jest minimalizacja zniszczeń i zagrożeń. W zakres tych działań wchodzi między innymi:**

- oznakowanie osuwiska,**
- ograniczenie ruchu i prędkości pojazdów,**
- odprowadzenie wód poza obszar objęty osuwiskiem,**
- wypełnienie szczelin materiałem nieprzepuszczalnym,**
- usunięcie gruntu nasuniętego na jezdnię lub torowisko.**

## Zabezpieczenia doraźne

Jako zabezpieczenie doraźne mogą być stosowane:

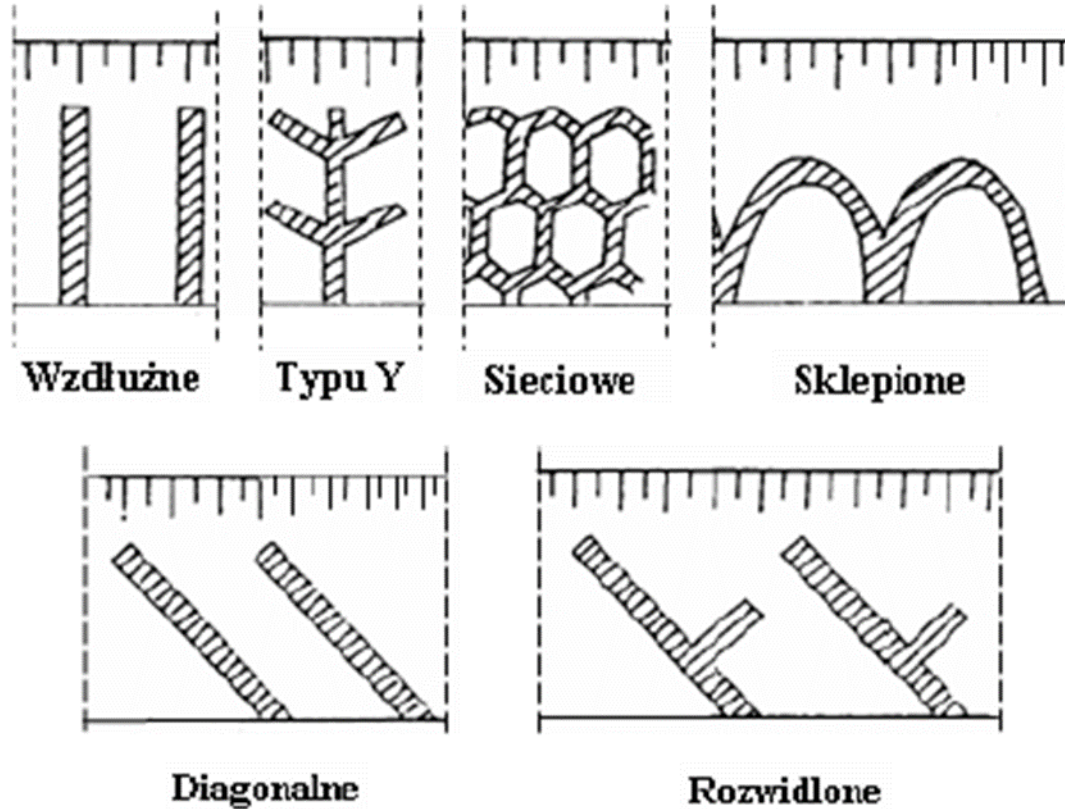
- przypory,
- gabiony,
- gwoździowanie,
- geosiatki i kołki kotwiące.





AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

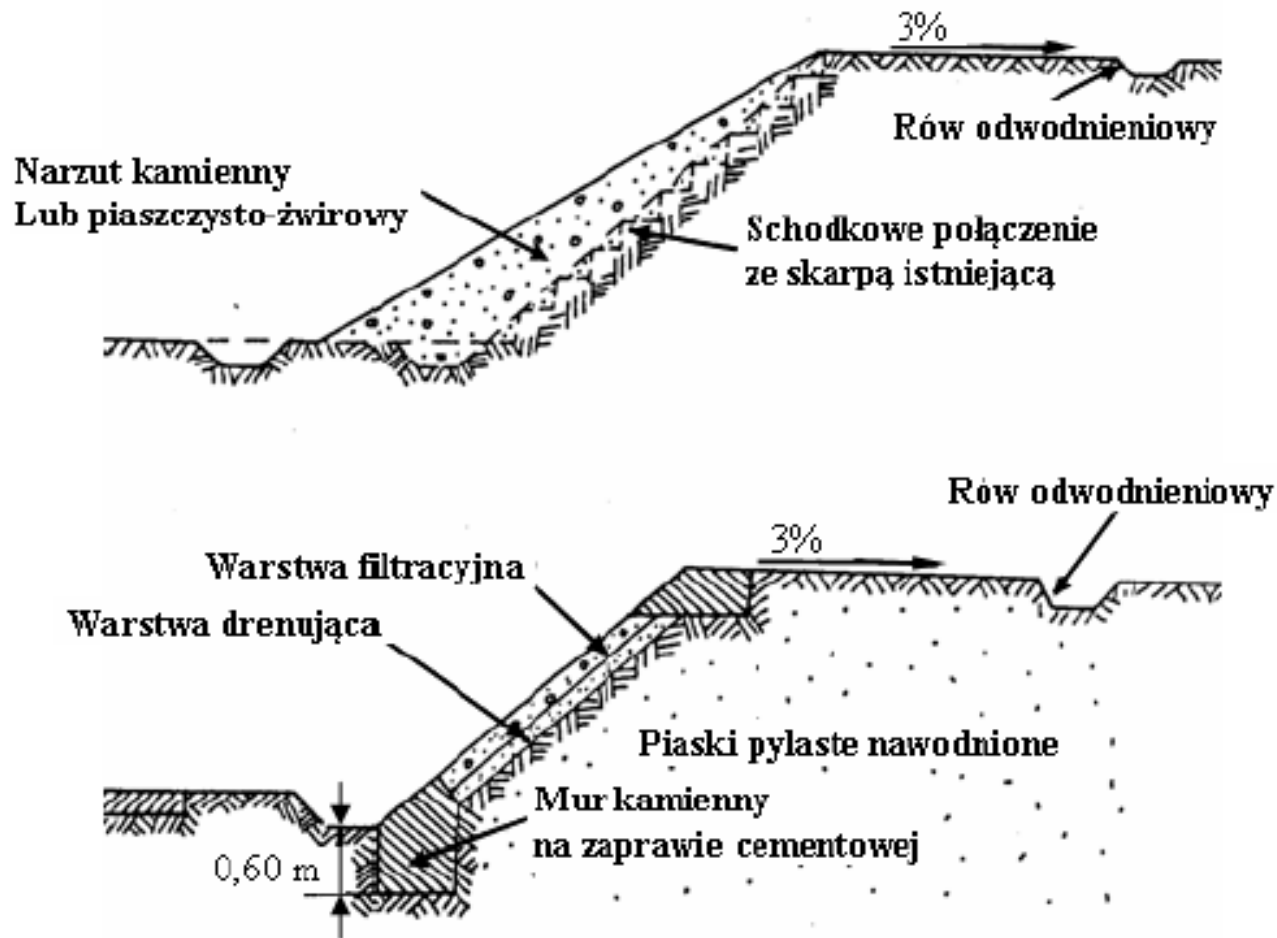


**Różne kształty ostróg drenujących**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

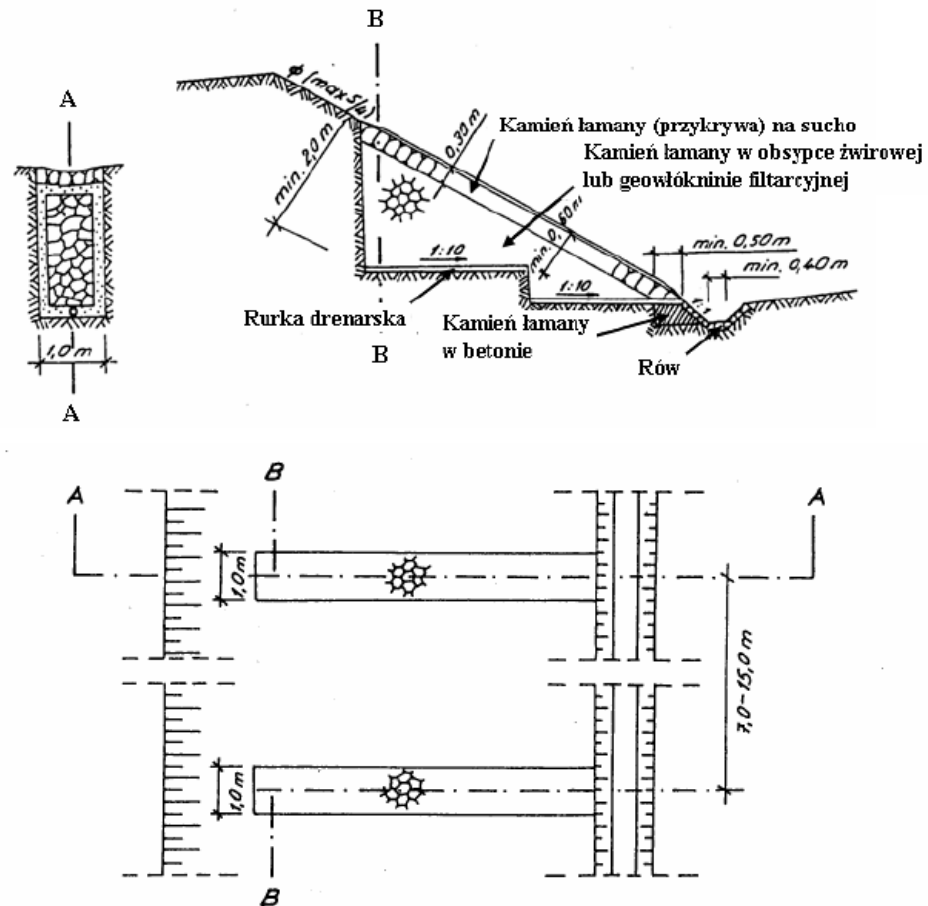


**Przykład przypór dociążających**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

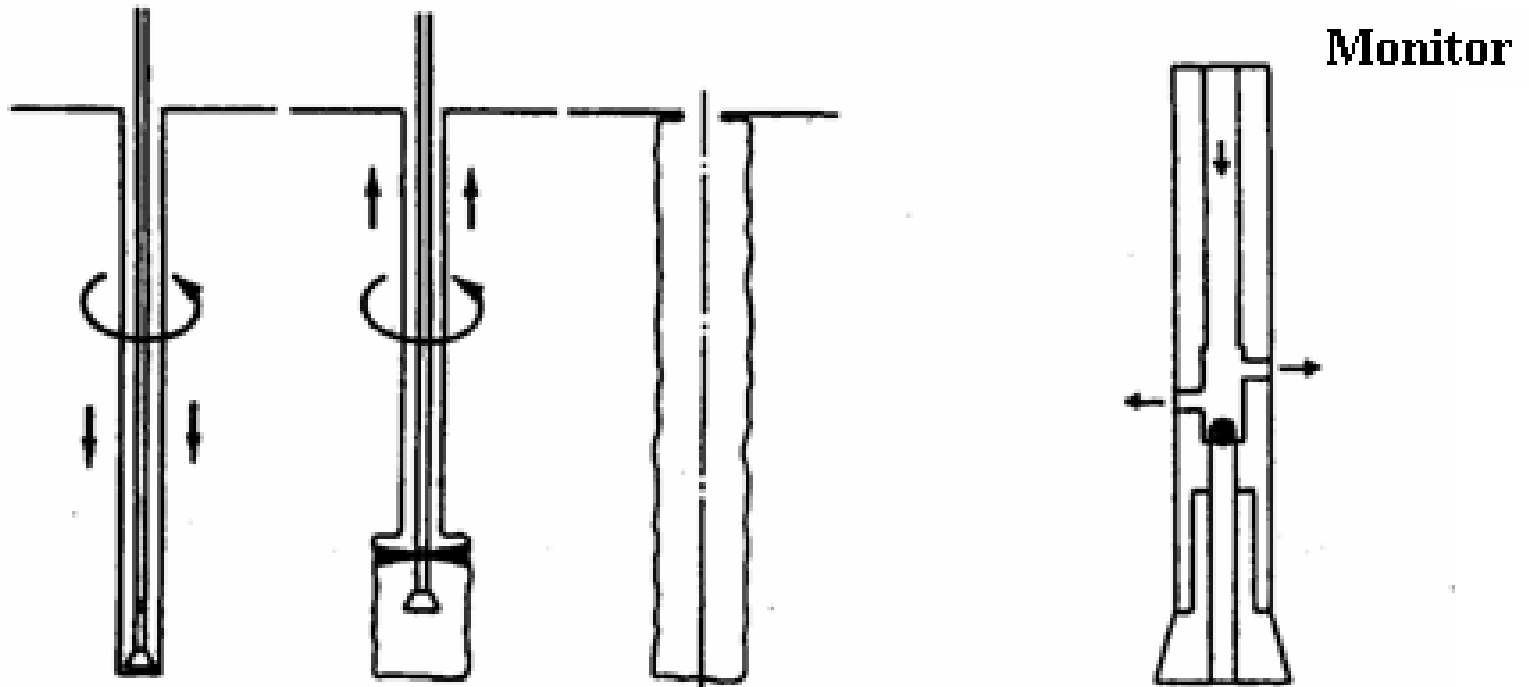


Przykład konstrukcji przykory filtracyjnej



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

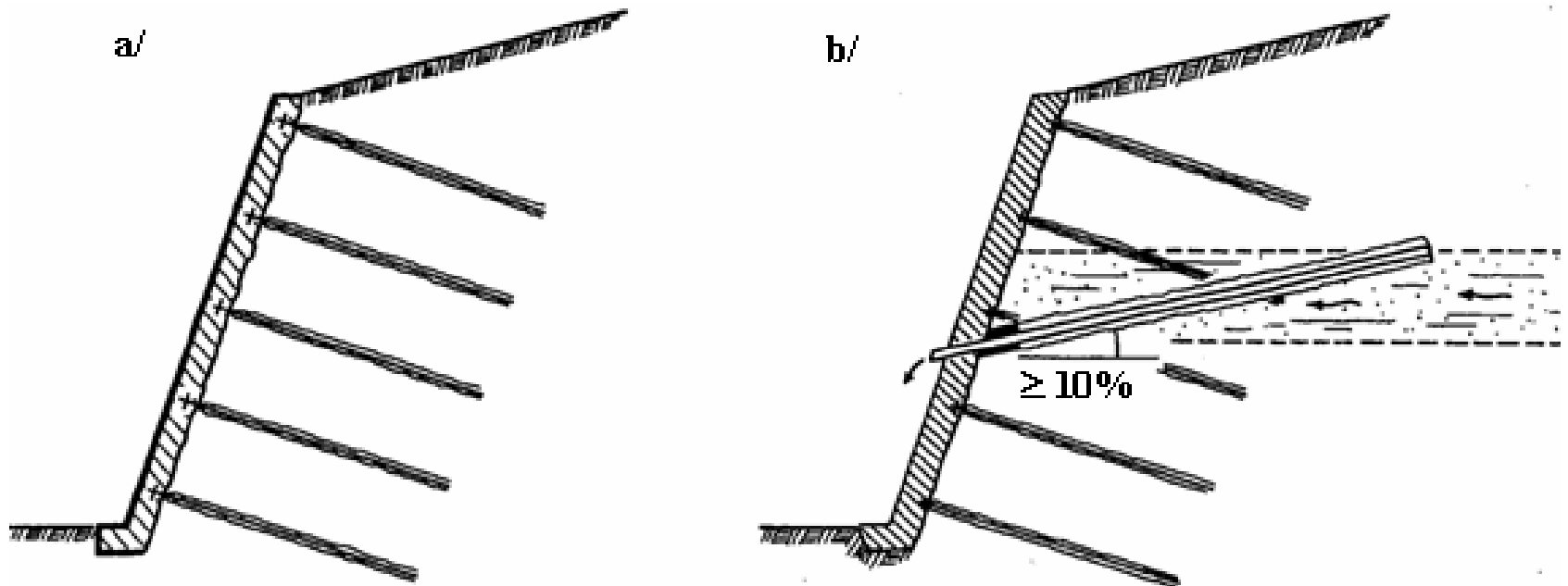


**Iniekcja strumieniowa (ang. jet grouting)**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk



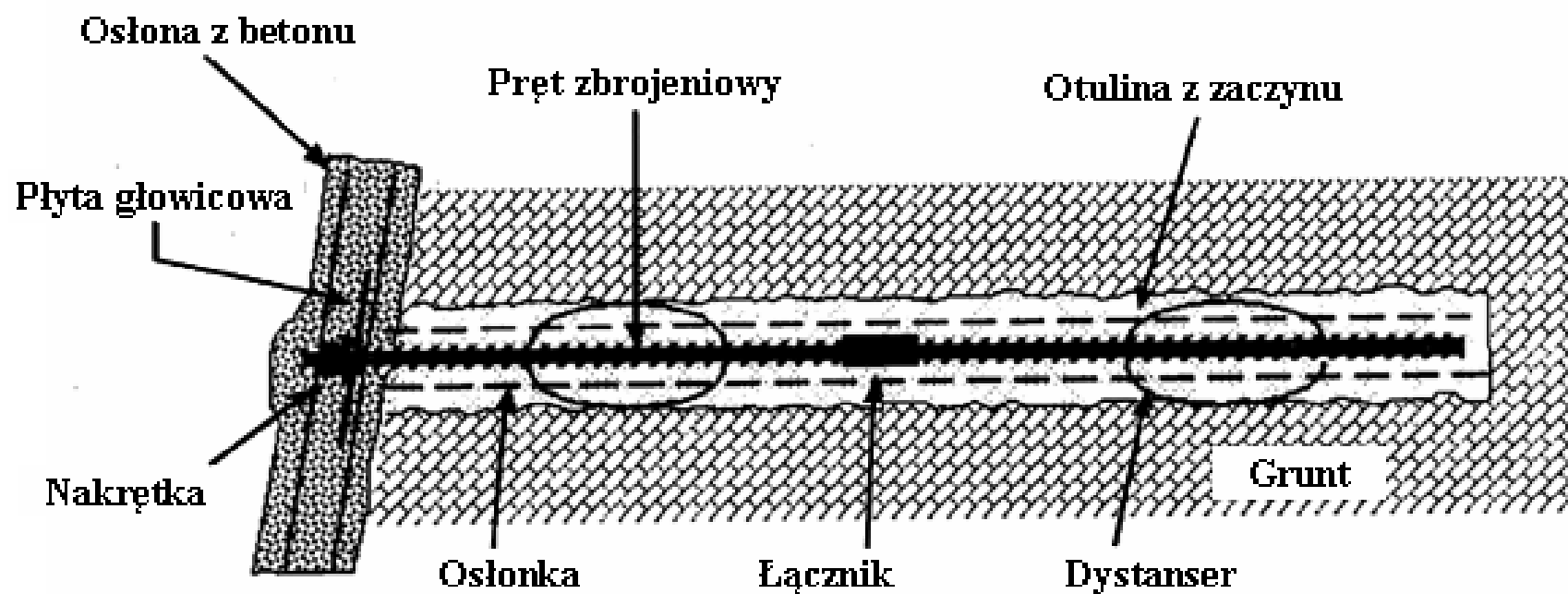
**Konstrukcja ścian z gruntu zbrojonego gwoździemi:  
a - ściana z osłoną betonową, b - ściana z odwodnieniem  
drenem skarpowym**





AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

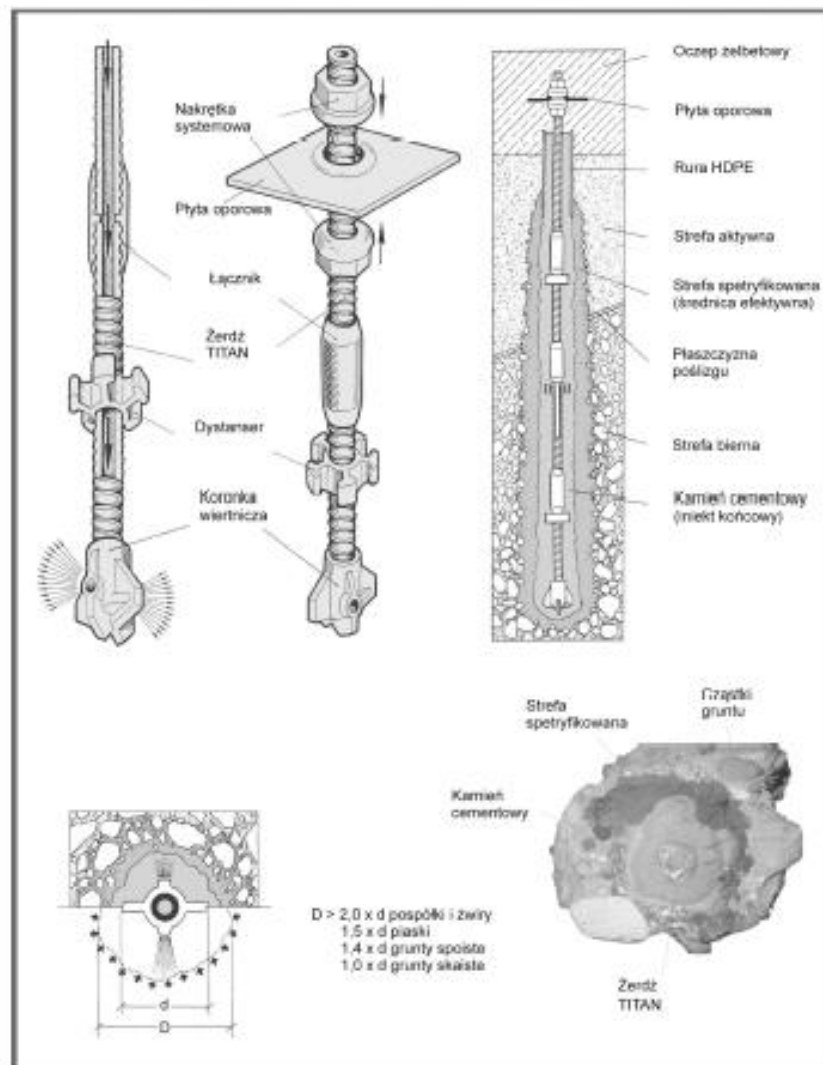


**Konstrukcja gwoźdźca z pręta stalowego**



AGH

# Schemat mikropala/gwoźdźcia TITAN





AGH

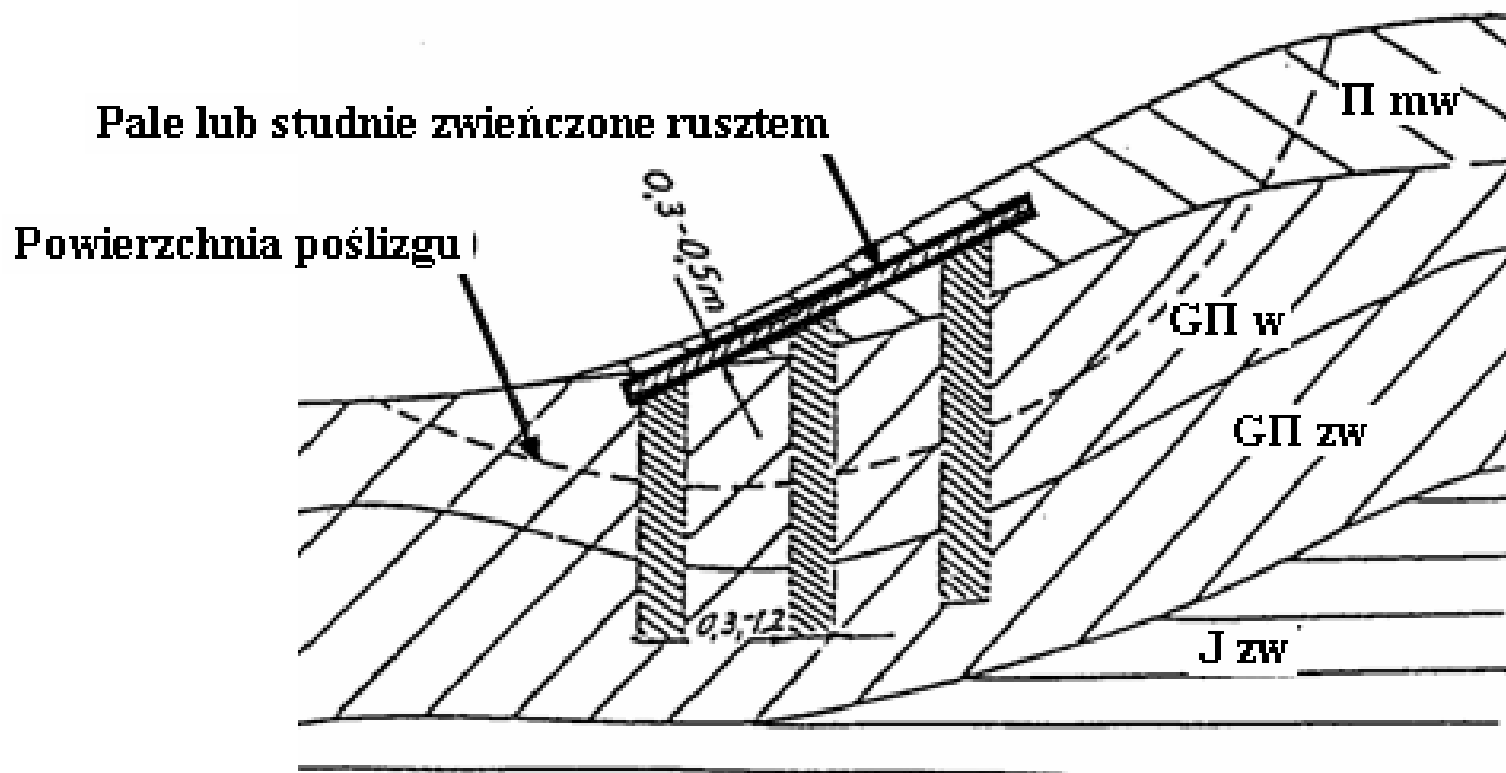
## Zabezpieczenia osuwisk





AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

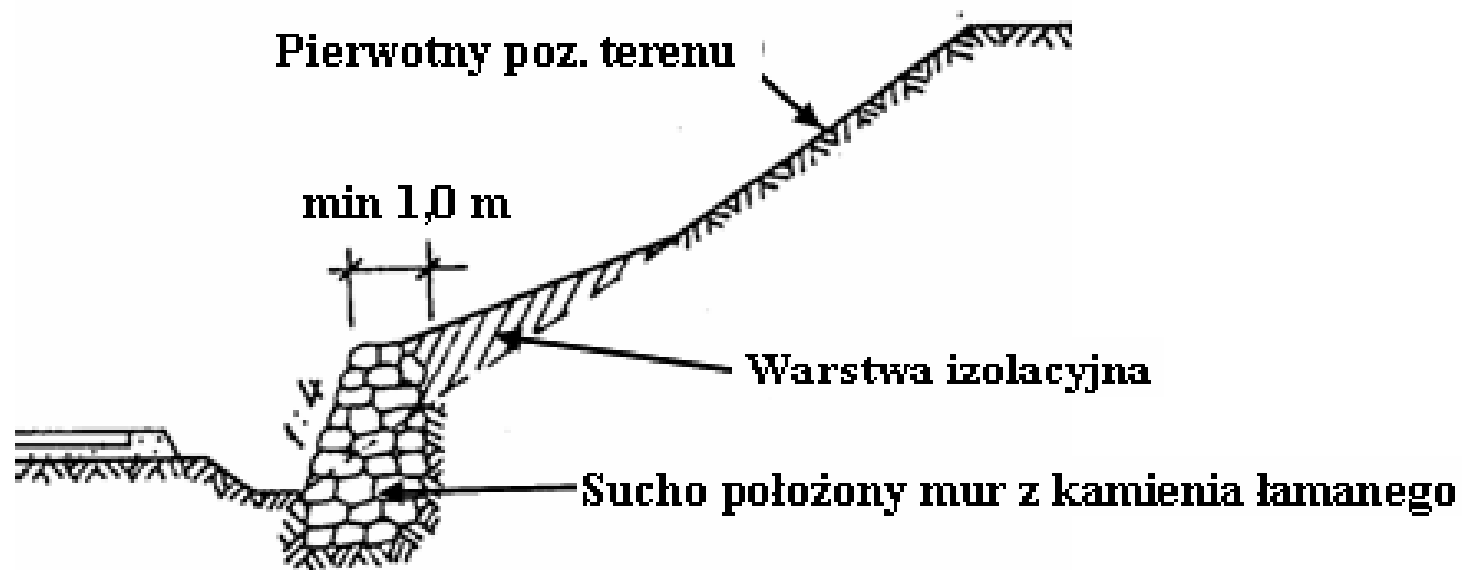


**Stabilizacja osuwiska za pomocą pali zwienczonych rusztem  
żelbetowym**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

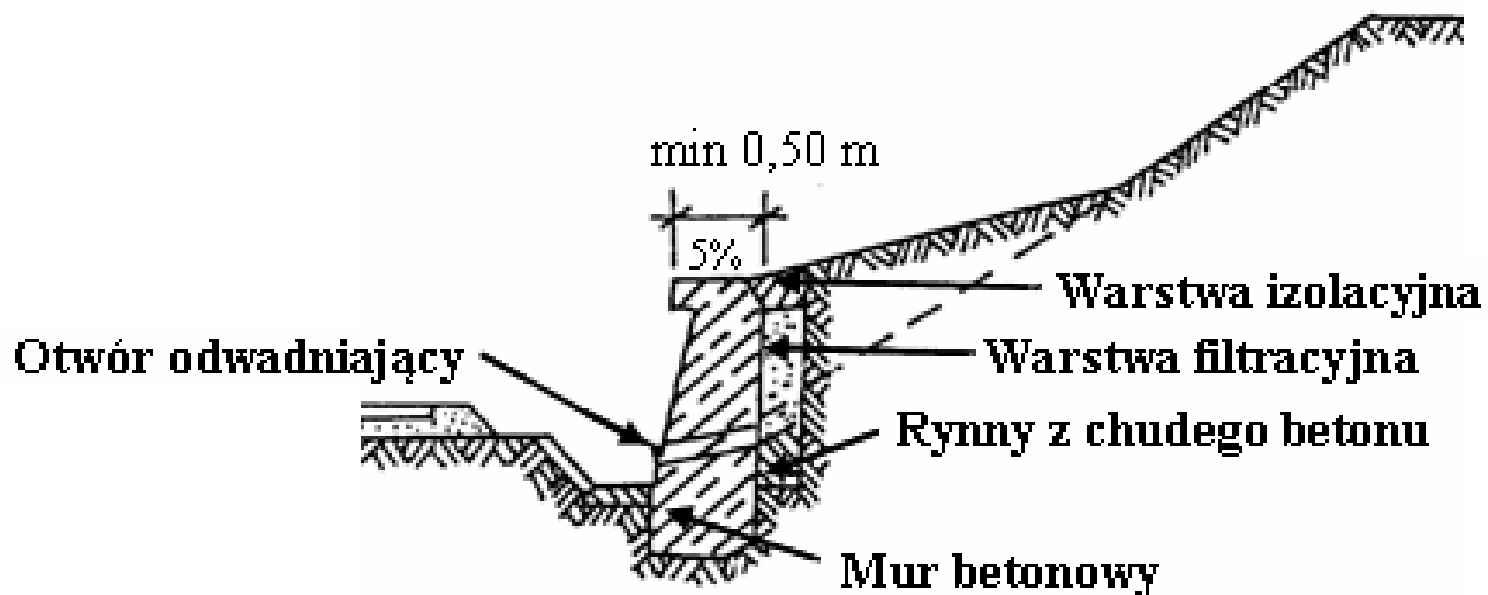


**Mur kamienny układany na sucho lub na zaprawie**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

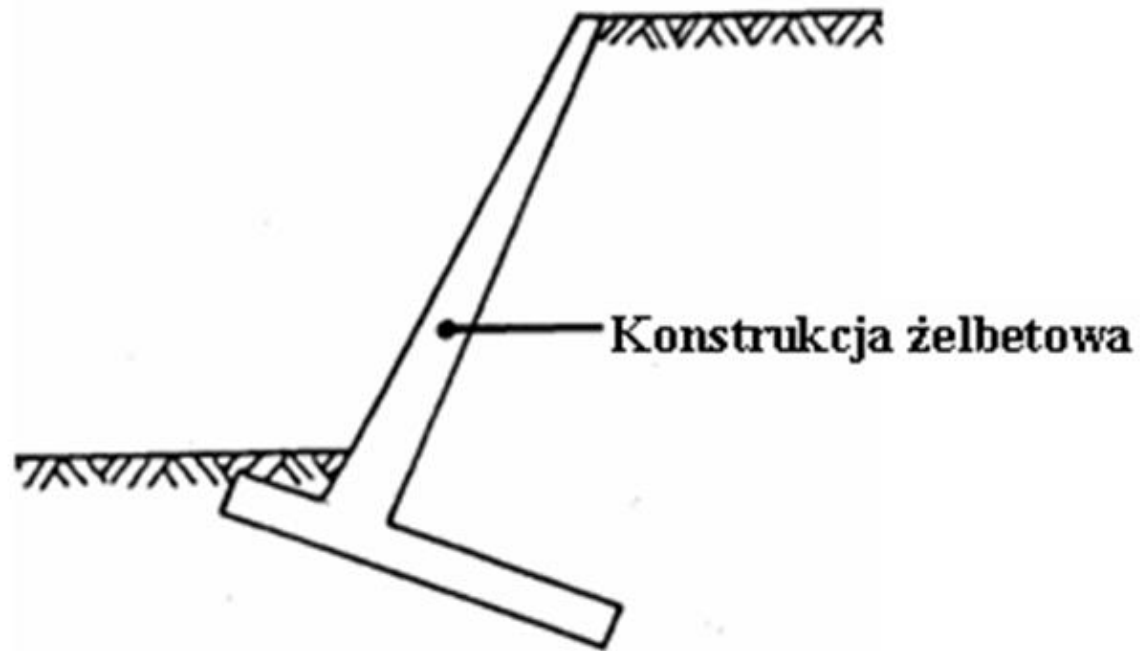


**Mur betonowy (żelbetowy)**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

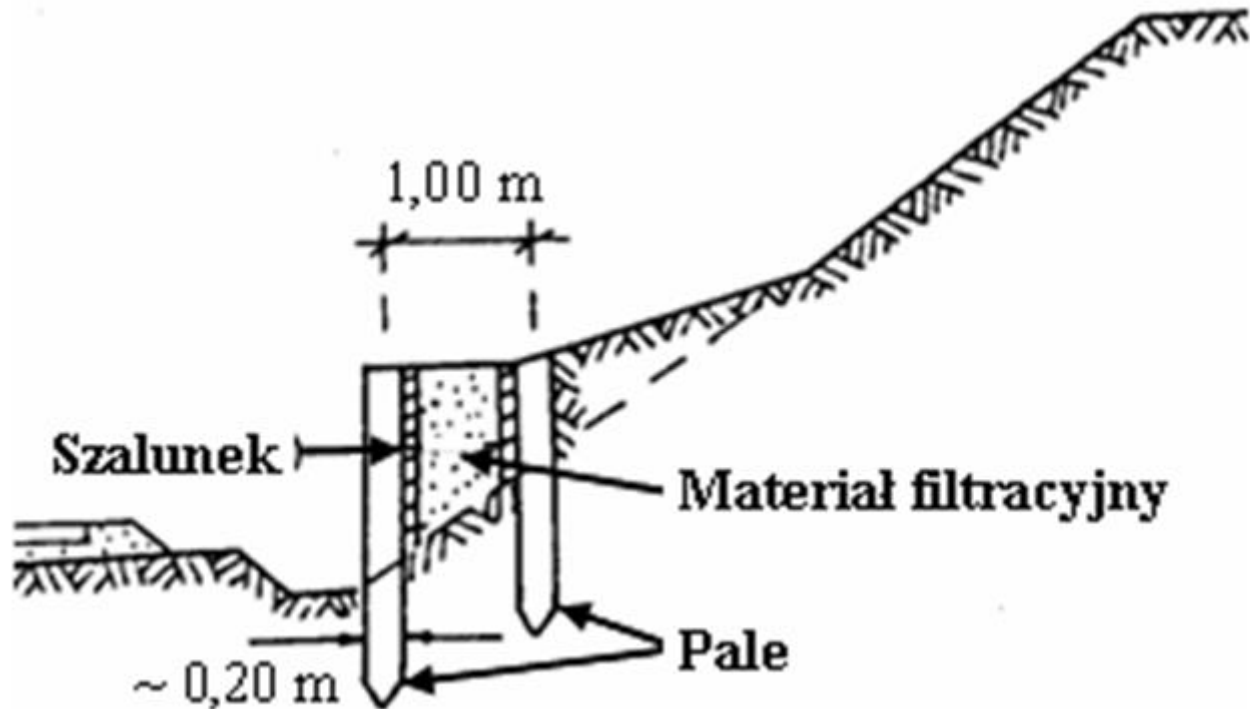


**Kątowa ściana oporowa żelbetowa**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk



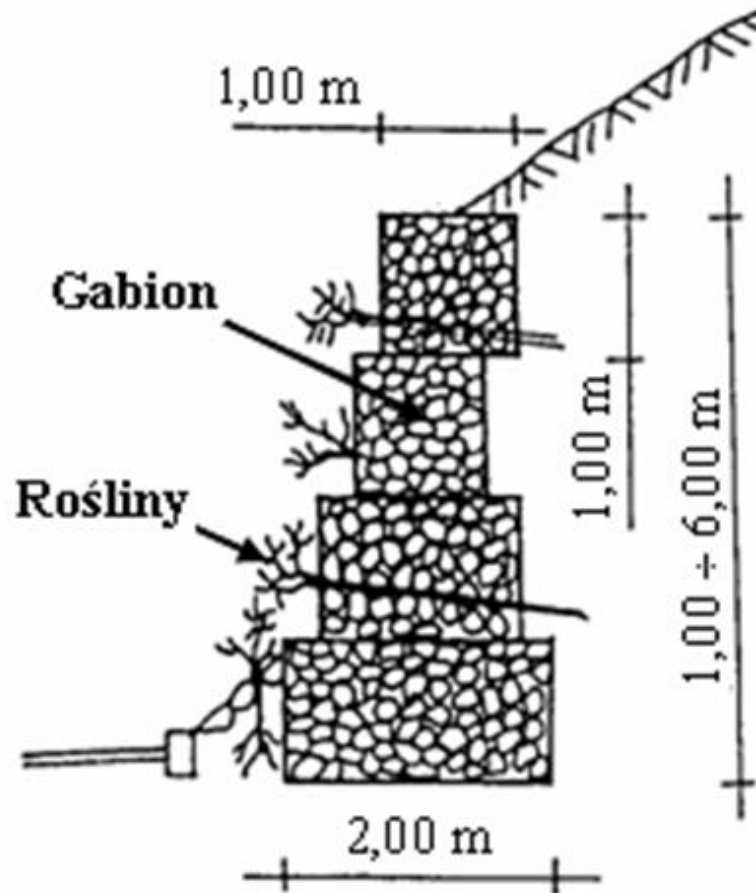
**Tymczasowa konstrukcja oporowa z palisady drewnianej**





AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

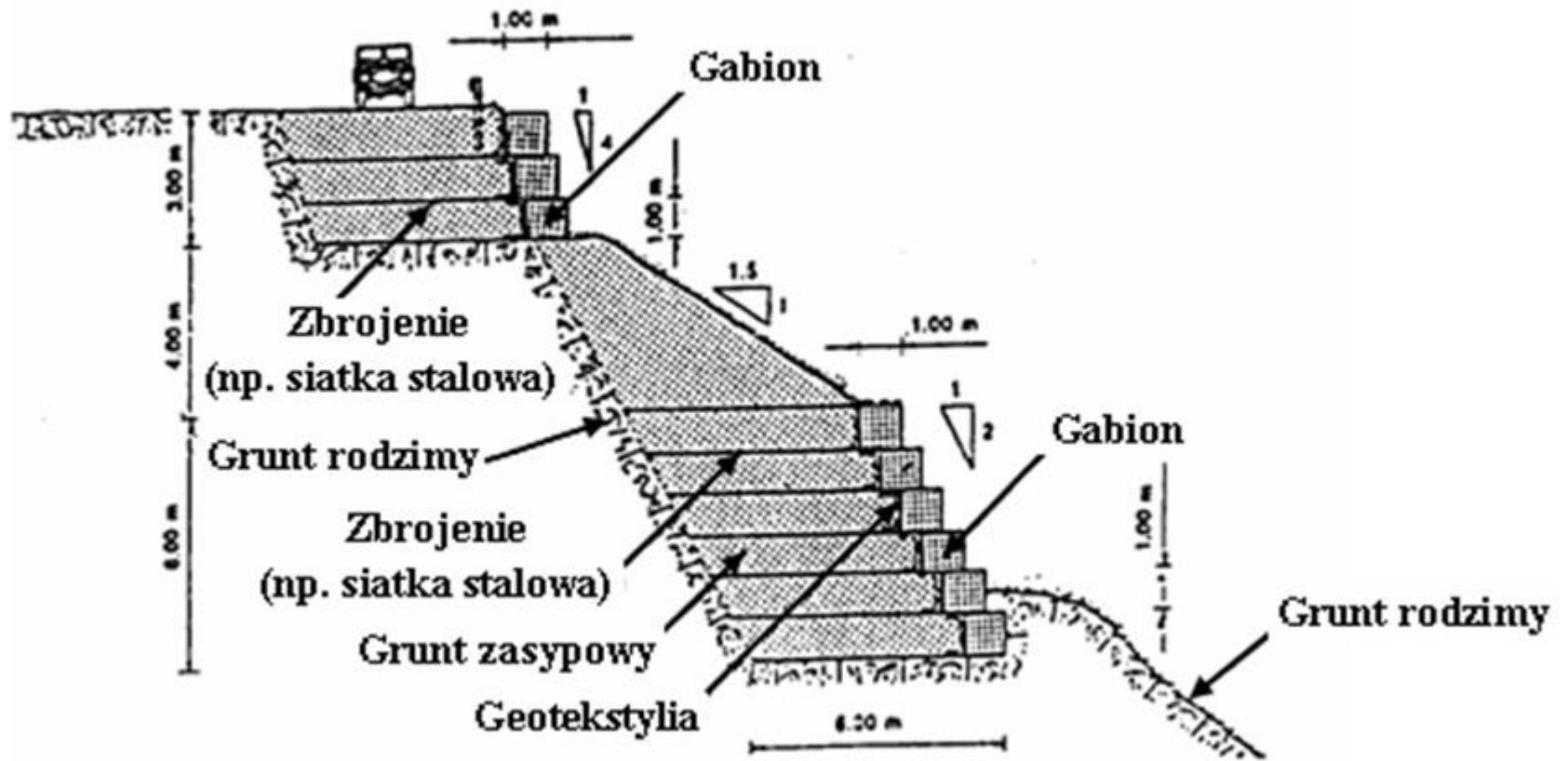


**Konstrukcja oporowa z gabionów**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

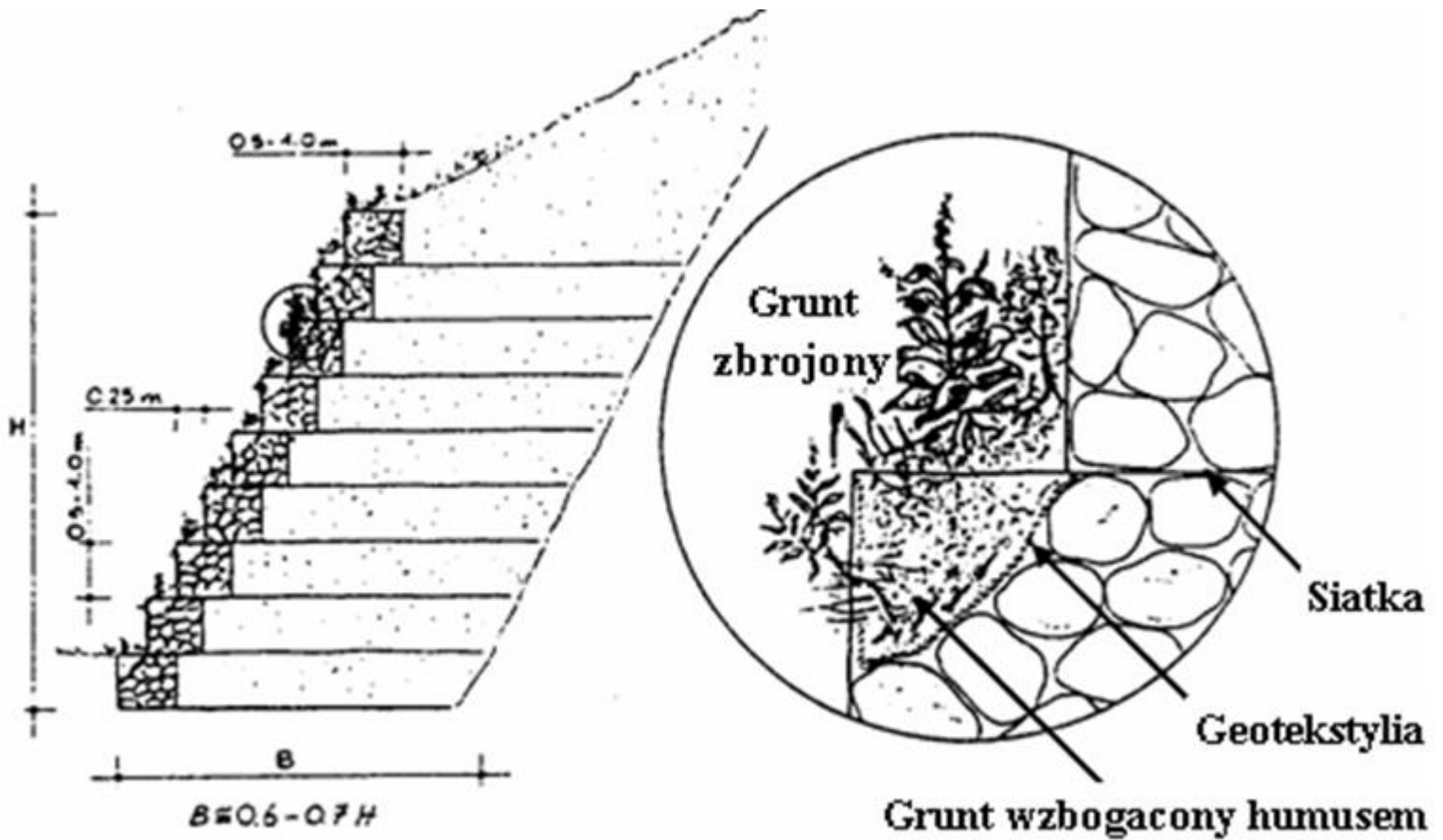


**Konstrukcja oporowa z gabionów i gruntu zbrojonego**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

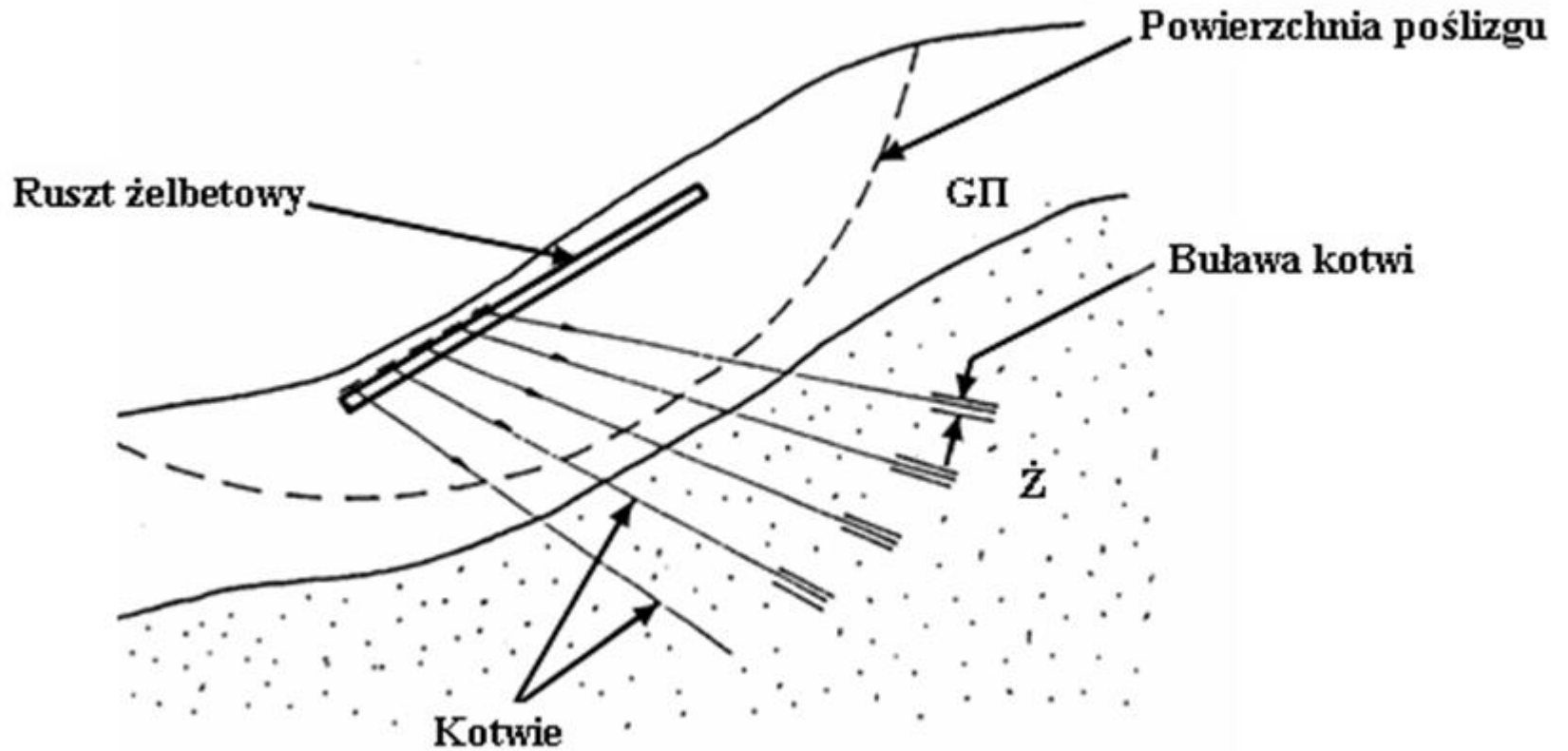


**Konstrukcja oporowa z gabionów i gruntu zbrojonego wzbogaconą obsiewem**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

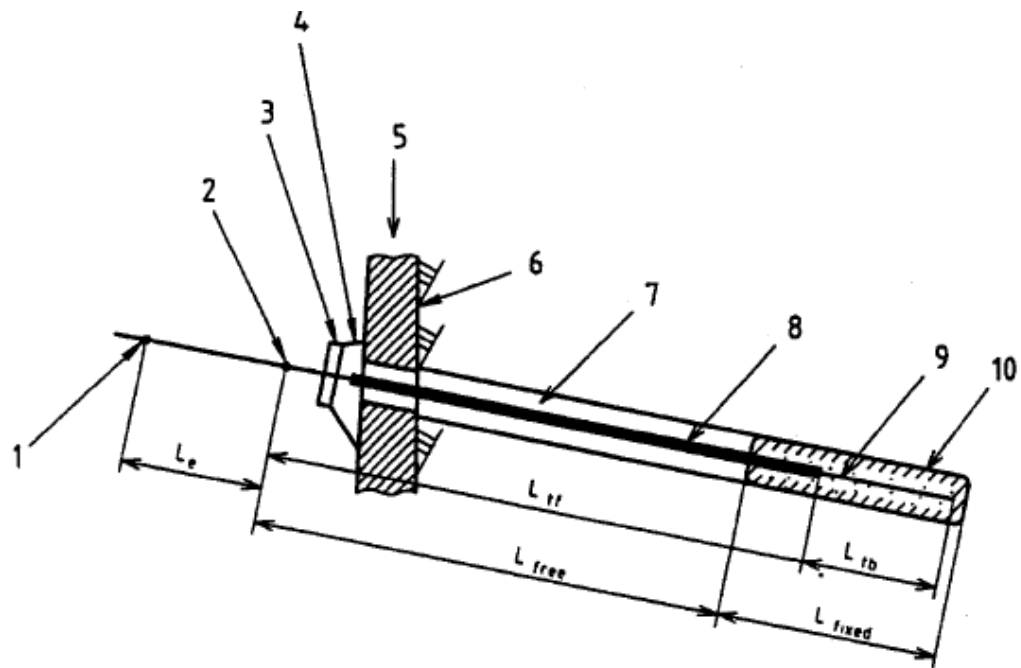


**Przykład stabilizacji zbocza za pomocą kotwi i rusztu żelbetowego**



# AGH Zabezpieczenia osuwisk

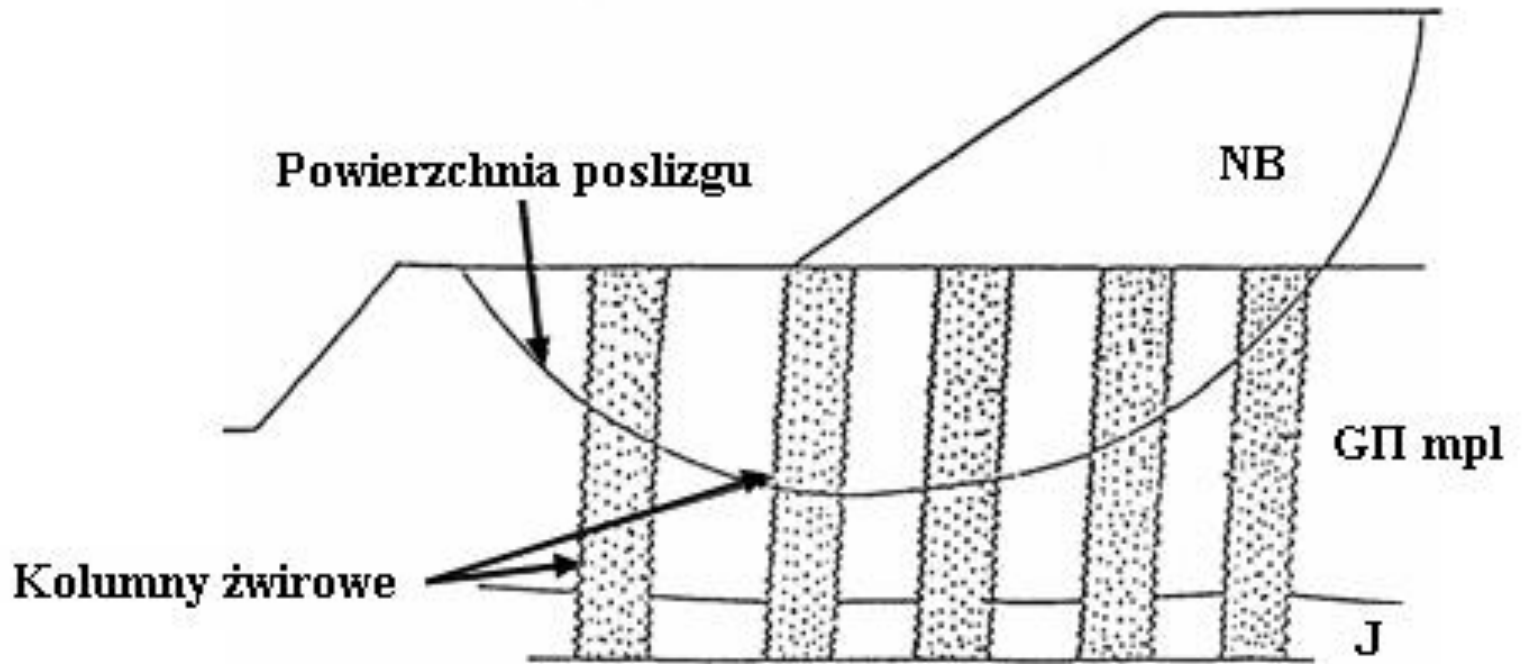
1. Punkt zakotwienia w naciąggarce podczas sprężania
2. Punkt zakotwienia w głowicy kotwy w czasie użytkowania
3. Płyta oporowa
4. Blok oporowy
5. Element konstrukcyjny
6. Grunt/skała
7. Otwór
8. Osłona likwidująca przyczepność
9. Cięgno
10. Buława iniekcyjna





AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

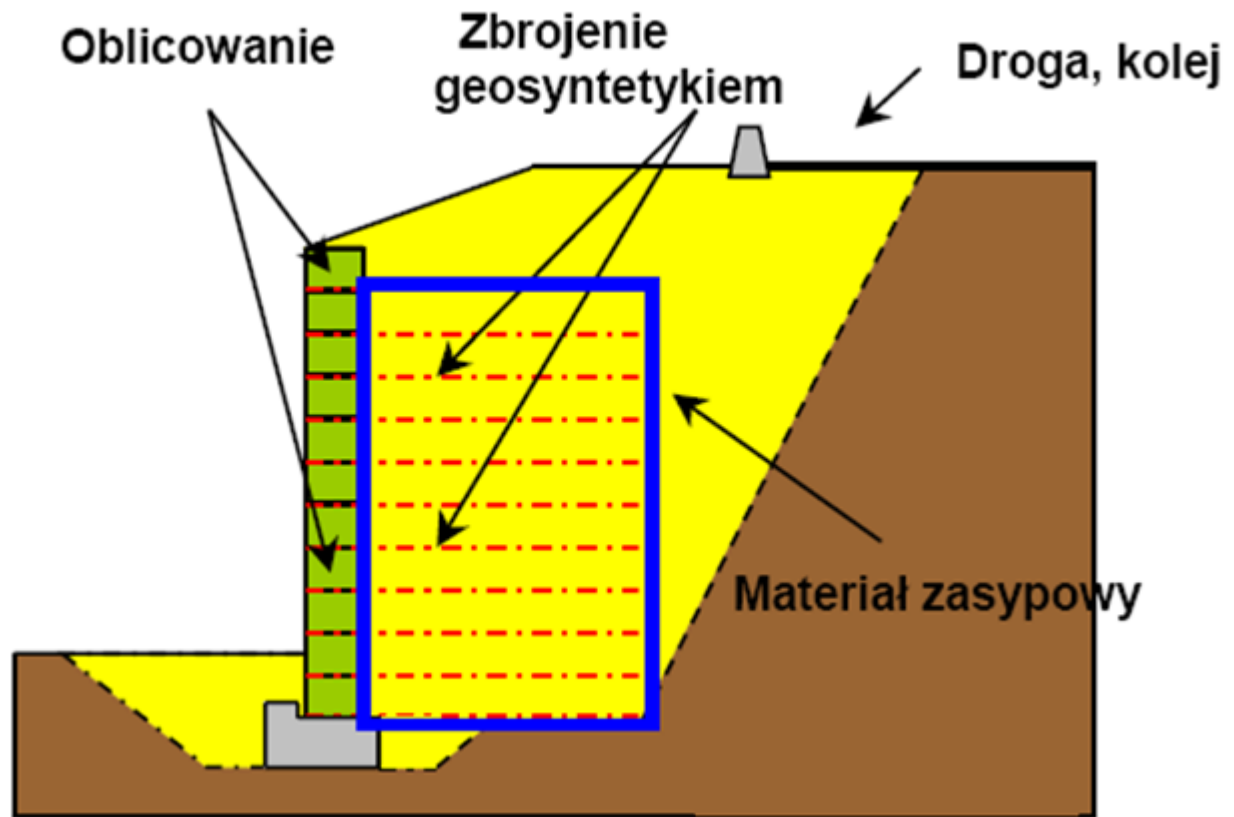


**Wzmocnienie podłoża za pomocą kolumn żwirowych**



AGH

## Zabezpieczenia osuwisk



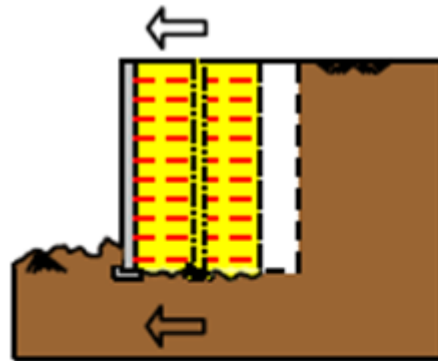
Przekrój przez konstrukcję oporową



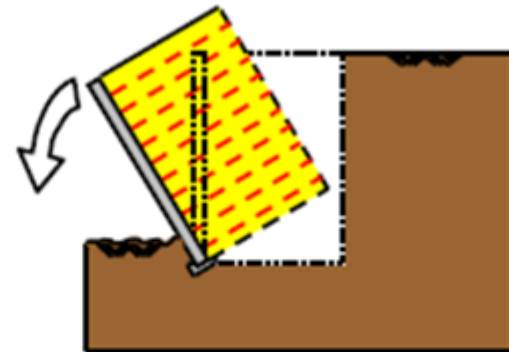


AGH

## Zabezpieczenia osuwisk



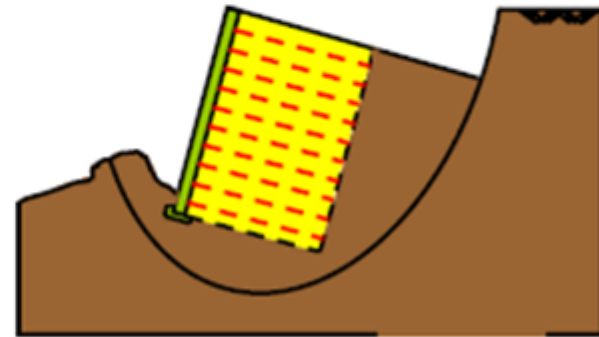
Poślizg



Wywrocenie



Utrata nośności  
podłoża



Stateczność  
ogólna

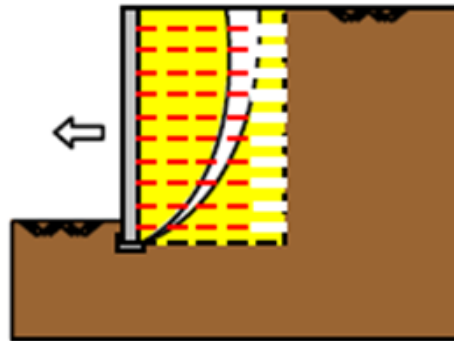
**Warunki sprawdzane w analizie stateczności zewnętrznej**



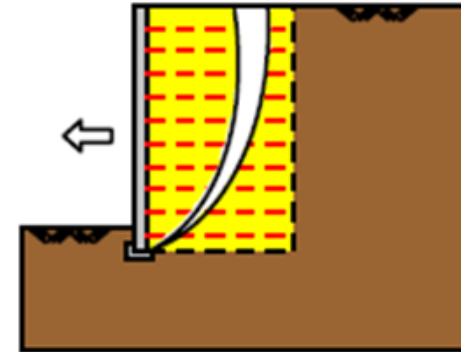


AGH

## Zabezpieczenia osuwisk

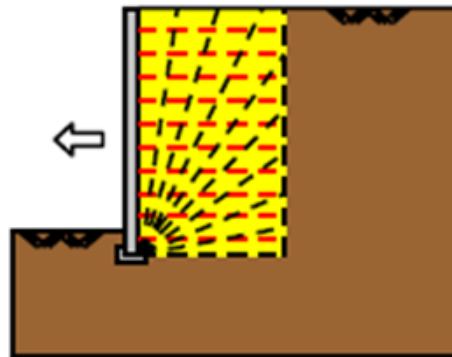


Wyciąganie zbrojenia



Wytrzymałość zbrojenia

Analiza  
klinów odłamu



Warunki sprawdzane w analizie stateczności wewnętrznej