

Zadanie Nr: 3

Treść: W jakich warunkach może wystąpić lawina? Zbadaj to zjawisko doświadczalnie.

Autorzy projektu: JAKUB BOGDZIEWICZ, SZYMON BOGDZIEWICZ

LAWINA

Przedmiot opracowania:

Lawiny można zaliczyć z pewnością do najbardziej spektakularnych przejawów niszczącej siły przyrody. Statystyki alarmują, iż każdego roku na świecie ginie z ich powodu ponad 200 osób. Oto niektóre doniesienia prasowe, świadczące o powadze tego zjawiska:

- „30 grudnia 2001r. pod Szpiglasową Przełęczą, ratowników spieszących do ofiar lawiny, zasypała następna lawina(...)”
- „Cztery osoby w Austrii i Francji poniosły śmierć w rezultacie zejścia w ostatnich dniach lawin(...)”
- „W lawinach w austriackich Alpach zginęło co najmniej pięciu zagranicznych narciarzy i snowboardzistów. Ekipy ratunkowe poszukują kolejnej zaginionej osoby(...)”

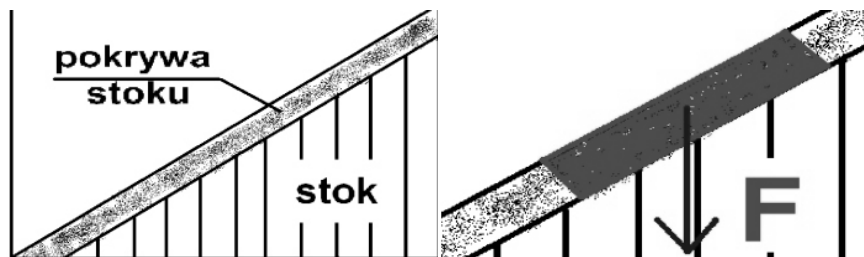
Podczas jednej tylko zimy w 1951 roku lawiny alpejskie zabiły 240 osób i wyrządziły szkody 45 tysiącom ludzi!

Historia donosi, że lawiny to nie problem współczesności. Pierwsze wzmianki o śmiertelnych lawinach znajdujemy studiując historię kartagińskiego przywódcy Hannibala. Kiedy Hannibal maszerował ze swą wielotysięczną armią na Rzym musiał przepłynąć się przez górskie szlaki Alp i Pirenejów- lawiny uszczupliły stan liczebny armii kartagińskiej o ponad 18 tysięcy ludzi!

Według Słownika Języka Polskiego- lawina to: „masy śniegu, kamieni lub lodu zsuwające się po stromym zboczu z dużą prędkością”. Natomiast specjaliści TOPR zdefiniowali to zjawisko jako gwałtowne przemieszczenie się masy śniegu, lodu lub gruntu na odległość min. 50m. Według danych TOPR-u obsunięcie stoku może zajść przy pochyleniu skarpy powyżej 15°. Najczęściej spotykane lawiny to lawiny śnieżne, pyłowe i gruntowe.

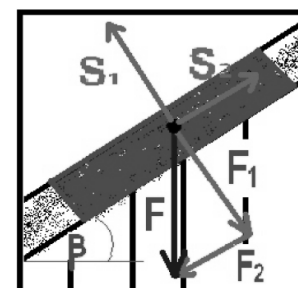
Mechanika lawiny:

Zalegające na pochyłych stokach masy, które przeradzają się w lawinę- stanowią układ statyczny, tzn., iż wszelkie siły oddziałujące na ich masę prowadzące do zsuwu są niwelowane przez oddziaływania przeciwne- zapewniające stan równowagi.



W celu zobrazowania tej zależności wyobraźmy sobie podłużny kawałek stoku zaznaczony w przekroju kolorem czerwonym. Ziemia

przyciąga pokrywę siłą grawitacji o wektorze pionowym. Możemy ją rozłożyć na dwie składowe: F_1 - prostopadłą do płaszczyzny skarpy powodującą nacisk na nią oraz F_2 - równoległą do stoku skierowaną pod kątem w dół i inicjującą zsuw. Aby ten układ pozostał w równowadze muszą pojawić się siły: S_1 - równą co do wartości i kierunku sile F_1 , lecz posiadająca przeciwny zwrot (stanowi naturalną reakcję podłoża na



obciążenie) oraz S_2 - równą co do wartości i kierunku sile F_2 o przeciwnym do niej zwrocie (siła tarcia).

Podany schemat jasno ukazuje, że w momencie, gdy:

siła tarcia przewyższa **siłę parcia** skarpy ku dołowi- układ jest statyczny ($S_2 > F_2$ lub $S_2 = F_2$) lecz gdy to siła parcia jest dominująca- dochodzi do lawiny, a układ jest dynamiczny ($S_2 < F_2$).

Jeżeli za kąt pochylenia przyjmujemy β , to wartości sił (wg. II zasady Dynamiki Newtona)

wynoszą:

$F = m g$		$F_1 = m g \cos\beta$		$F_2 = m g \sin\beta$		$S_2 = \mu m g \cos\beta$
gdzie: m - masa; g - przyspieszenie grawitacyjne; μ - współczynnik tarcia						

A więc:

$$S_2 < F_2$$

$$F_2 - S_2 > 0$$

$$m g \sin\beta - \mu m g \cos\beta > 0 \text{ /(mg)}$$

$$\sin\beta - \mu \cos\beta > 0$$

Powyższa zależność pokazuje, że wystąpienie lawiny jest zależne od kąta nachylenia stoku oraz współczynnika tarcia materiału lawinowego do płaszczyzny ślizgu lawiny.

Struktura lawiny:

Lawina składa się z materiału sypkiego, czyli ośrodka rozdrobnionego, w którym może dochodzić do wzajemnych przemieszczeń poszczególnych cząsteczek. Wspomniane



tarcie stoi na przeszkodzie przemieszczeń naszego materiału. Postanowiliśmy poddać obserwacji kilka wybranych rodzajów materiałów sypkich- w celu określenia ich właściwości i sposobu zachowania się- w warunkach zbliżonych do pochyłego stoku lawinowego.



Zbudowaliśmy prostopadłościenny pojemnik z płyty PCV, którego jedna ścianka była przezroczysta (twarda folia plastikowa). Pojemnik posiada wymiary 20x20x35cm.

Wsypując badane materiały do pojemnika i tworząc na potrzeby naszego eksperymentu stromy stok

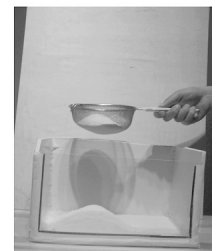
- poprzez przezroczysty „ekran” możemy obserwować jego zachowanie w pionowym przekroju.



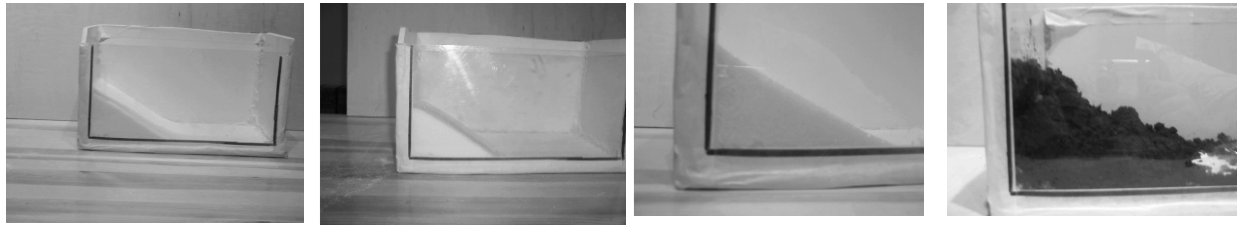
Badaliśmy w ten sposób cechy 4 materiałów sypkich: mąki, soli, cukru, suchej ziemi organicznej oraz 2 mieszanin: sól + mąka

(w stosunku objętościowym 1:1) i sól + mąka + cukier (w stosunku 1:1:1). Zastosowaliśmy różne metody otrzymywania stromego zbocza: wysypywanie próbek z torebki lub garnka, przesypywanie przez sito oraz podgarnianie ręką.

Wielokrotne próby doświadczenia zaowocowały ciekawym spostrzeżeniem- widocznym na zdjęciach:



Każdy materiał pozostawał w równowadze pod jednym charakterystycznym dla siebie kątem. Pomimo stosowania różnych technik układania próbek każda powtórka doświadczenia wiązała się z uzyskaniem takiego samego pochylenia stoku, który mierzyliśmy kątomierzem. Kolejne nasypy różniły się od siebie jedynie kształtem wierzchołka- w dolnej części były identyczne co potwierdza tabelka z liczbowymi wartościami danych uzyskanych podczas eksperymentu.

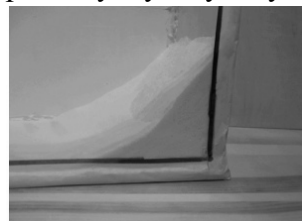


Próba	Kąt Pochylenia			
	MAKA	SÓL	CUKIER	ZIEMIA
1	32°	26°	28°	44°
2	34°	24°	30°	52°
3	32°	24°	29°	47°
4	32°	27°	32°	55°
5	33°	25°	30°	48°
6	31°	24°	34°	43°
7	32°	27°	29°	50°
średnia	ok. 32°	ok. 25°	ok. 30°	ok. 48°

Wniosek: każdy materiał sypki posiada przyporządkowaną wartość pochylenia- „kąt naturalny”, która jest jego charakterystyką i którą możemy z pewnym przybliżeniem określić. Zróżnicowanie frakcji (tj. różna wielkość ziarenek) materiału (np. ziemia org.) powoduje duże wahania kąta nachylenia i umożliwia utworzenie bardziej

stromych skarp.

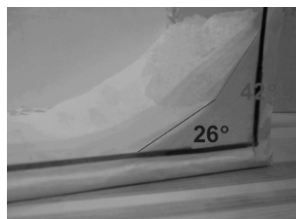
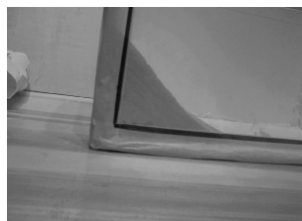
Postanowiliśmy to sprawdzić- przebadaliśmy wspomniane na wstępie doświadczenia mieszaniny. Mieszanina nr1 (mąka + sól) powieliła zjawiska opisane powyżej. Kolejne pomiary wykazywały wartości zbliżone do kąta 30° (kolejno: 1- 29°, 2- 31°, 3- 33°, 4- 30°, 5- 28°...).



Jednakże przebadanie mieszaniny nr2 (mąka + sól + cukier) wzbogaciło nas o nowe informacje.

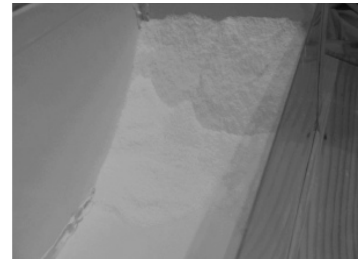
Wielokrotne próby utworzenia maksymalnego spadku mieszanki spowodowały wytworzenie dwóch odmiennych stanów.

Pierwszym była skarpa o kącie ok. 27° (m.in. 28°, 26°, 28°, 27°, 25°...). Drugi zaobserwowany stan to stok załamany (widoczny na zdjęciach). Kilukrotnie udało się usypać i utrzymać w stanie równowagi skarpe o dwóch kątach: 26° oraz 42°. Poszczególne pomiary ukazuje tabelka:



Próba	Kąt Pochylenia	
	dolny	górnny
1	25°	42°
2	27°	46°
3	25°	42°
4	24°	40°
5	26°	40°
6	28°	44°
7	27°	42°
średnia	ok. 26°	ok. 42°

Część materiału znajdująca się ponad „kątem naturalnym” naszej próbki, czyli powyżej 26° jest bardzo podatna na obsunięcia. Wielokrotnie zaobserwowaliśmy samoistny zsuw tej części stoku. Próbka ulegała obsunięciu również pod wpływem delikatnych drgań, w które wprawialiśmy pojemnik rękami. Rozpatrywany stok zsuwał się ostatecznie do płaszczyzny „kąta naturalnego” tej mieszanki (26°), gdzie pozostawał w stanie względnej równowagi. Materiał tworzący górny kąt możemy określić mianem „klina odłamu”. Między płaszczyzną „kąta naturalnego”, a płaszczyzną „klina odłamu” powstaje wyraźna granica, którą przedstawia zdjęcie obok.



Wniosek: do lawiny może dojść, kiedy nachylenie skarpy przekracza „kąta naturalny” materiału, z którego składa się podłoże tego stoku. W takim stanie każde oddziaływanie zewnętrzne może spowodować, przeważenie sił parcia nad siłami tarcia. Dochodzi do lawiny!

Wpływ wody na wystąpienie lawiny:

Obserwacje specjalistów TOPR (zamieszczone na stronie internetowej TOPR-u) wskazują, że wielokrotnie do lawin dochodzi w czasie deszczu. Postanowiliśmy zbadać jak obecność wody wpływa na pochyłe skarpy. W kolejnym eksperymencie jako miarodajne próbki posłużą nam porcje badanej już wcześniej ziemi organicznej.



Do części ziemi dodaliśmy niewielką ilość wody. Następnie porównaliśmy próbki suche z wilgotnymi. Miernikiem były ich właściwości mechaniczne



badane poprzez ręczne urabianie. Próbka **sucha** była sypka, drobinki ziemi o różnej wielkości i kształcie stanowiły rozdrobniony ośrodek ziarnisty. Próby „ulepienia” zwartej struktury z tego materiału nie powiodły się. Natomiast próbka wilgotna wykazywała odmienne



cechy: dodatek wody spowodował zmianę ziarnistego charakteru w plastyczną i podatną na kształtowanie masę.

Wniosek: woda spowodowała powstanie w materiale sił spoistości łączących jego poszczególne drobinki. Spoistość wilgotnej masy nie pozwala na swobodne przemieszczania się cząsteczek względem siebie w takim stopniu, w jakim ma to miejsce w materiałach sypkich.

Uznaliśmy za konieczne sprawdzić wpływ spoistości materiałów na stateczność stoku lawinowego. W tym celu wilgotną ziemię umieściliśmy w opisanym wcześniej pojemniku badawczym.



Następnie układaliśmy wilgotną masę w sposób mający na

celu utrzymanie maksymalnego kąta stoku. Widoczny na zdjęciach wynik doświadczenia przekroczył nasze oczekiwania.

Wielokrotnie stworzyliśmy skarpe o niemal pionowej ścianie, tak więc kąt pochylenia był zbliżony do 90°. Siły spoistości w materiale pozwoliły stworzyć bardziej strome pochylnie i utrzymać je w stanie

równowagi. Doświadczenie nie pozwoliło nam na określenie „kąta naturalnego” tego spoistego materiału. Powstała w wyniku doświadczenia skarpa nie była podatna na obsunięcia pod wpływem delikatnych oddziaływań.

Wniosek: *spoistość jest siłą, która potrafi się aktywnie przeciwstawić sile parcia pokrywy stoku. Początkowe założenia dotyczące statyki lawiny były niekompletne, ponieważ pomijały wpływ sił spoistości materiału na jego zachowanie na pochylni. Spoistość działa jak siła tarcia między cząsteczkami (identyczny wektor) i zapobiega obsuwaniu lawin.*

Ale powyższe stwierdzenie wydaje się być w sprzeczności z założeniem specjalistów TOPR-u, jakoby woda (w postaci deszczu) powodowała lawinę- nasze badanie udowodniło, że woda powoduje powstanie spójności zapobiegającej obsunięciu skarpy. Oba twierdzenia są prawidłowe i nie wykluczają się, lecz wzajemnie uzupełniają- co potwierdza kolejne wykonane przez nas doświadczenie.

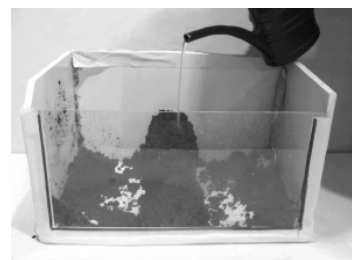


W pojemniku ułożyliśmy poprzeczny wał składający się z wilgotnej ziemi- która umożliwiła wyprofilowanie regularnych kształtów i pionowych skarp wału. Następnie na górną prawie płaską powierzchnię wału dozowaliśmy niewielkie ilości wody za pomocą małej konewki. Wodę spuszczałyśmy z małej wysokości. Każdorazowo przed kolejnym dodaniem wody czekaliśmy, aż jej wcześniejsza porcja wsiąknie w masę wału ziemnego.

W efekcie zauważyliśmy przyrost objętości nawilżanej masy. Wał pęczniał we wszystkich kierunkach. Zjawisko to następowało do momentu obsunięcia się lawiny.

Wniosek: *woda powoduje przyrost objętości materiału nawadnianego. Ponadto zwiększa jego masę- co jest negatywne w punktu widzenia statyki lawiny. Mimo zwiększenia spoistości materiału wpływ wody może być również destrukcyjny- nadmiar wody może przyczynić się do lawiny!*

Dokonałyśmy również bliźniaczego doświadczenia- z użyciem podobnego wału. Tym razem jednak wodę dozowaliśmy w bardziej „brutalny” sposób z większej wysokości. Cienka strużka wody lała się bez przerwy na górną powierzchnię wału. Nasze działanie spowodowało zmianę konsystencji wierzchniej warstwy ziemi na płynną, a następnie spłynięcie jej po powierzchni skarpy wału- jak to pokazano na zdjęciu. Innymi słowy doszło do wymycia górnej części wału. W przyrodzie ten rodzaj obsuwania się stoku możemy określić jako lawinę błotną.



Wniosek: *intensywny spływ powierzchniowy wody wywołuje dodatkowe parcie na wierzchnią część stoku- przyczyniając się do lawiny. Oprócz tego duża ilość ruchomej wody zmienia niejednokrotnie konsystencje zalegających na skarpach materiałów- powodując ich spływ. Te wszystkie warunki są spełnione podczas ulewnych deszczy- które niejednokrotnie są przyczyną lawin!*

Ostatnim aspektem wpływu wilgoci na lawinę, który zbadaliśmy- będzie jej brak w materiale lawinowym. Opisałyśmy co się dzieje z suchą ziemią- poddaną działaniu wody. Postawiliśmy sobie pytanie co wydarzy się z wilgotną próbką, którą następnie osuszymy. Nawodnioną ziemną skarpe poddałyśmy działaniu strumienia suchego powietrza generowanego przez suszarkę. Nawiew trwał 10 minut. Spęcznieła pod wpływem wody ziemia organiczna zaczęła

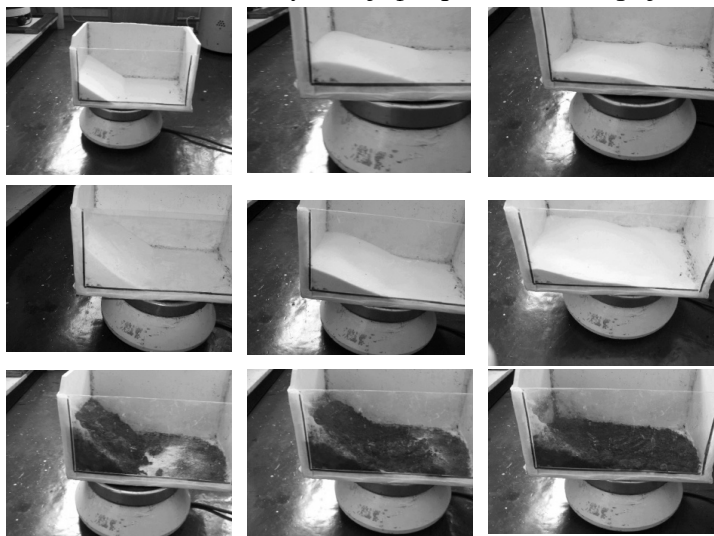


tracić wilgoć. Jednak proces ten nie był odwrotny do nawadniania- próbka nie kurczyła się równomiernie w całej objętości. Na wysuszonej powierzchni stoku powstały wyraźne spękania szczelinowe naruszające jej strukturę powierzchniową. Logika podpowiada, że materiał o spękanej powierzchni jest bardziej podatny na obsunięcie.

Wniosek: kolejnym czynnikiem lawinotwórczym jest kurczenie się materiałów pod wpływem utraty wody. W naturze to zjawisko może wystąpić przy silnych, suchych wiatrach lub warunkach pogodowych sprzyjających odparowywaniu wody (upalne, suche powietrze przy małej zawartości pary wodnej). Podobne zjawisko- spękania stoków może również nastąpić przy niskich temperaturach, kiedy dochodzi do znaczących skurczów materiałów.

Wibracje- a powstawanie lawiny:

Jednym z najbardziej powszechnych zjawisk wywołujących lawiny są trzęsienia ziemi. Zbadaliśmy wpływ drgań mechanicznych na obsuwanie się skarp pochyłych stoków. Niezbędnym przyrządem w kolejnym doświadczeniu jest generator drgań. Wstrząsy wywoływane rękami byłyby z pewnością skuteczne, lecz nie można by uznać takiego doświadczenia za miarodajne, ze względu za niepowtarzalny charakter tego rodzaju wibracji. Wykorzystaliśmy widoczny na zdjęciu generator o częstotliwości stałej 50hz. Umieszczaliśmy na jego powierzchni pojemnik ze sztucznymi



skarpami badanych wcześniej materiałów. Podczas wytwarzania drgań- wszystkie badane stoki ulegały stopniowemu obsuwaniu się do kąta zbliżonego do 15°, po czym następował moment stabilizacji- skarpa przestawała się obsuwać. **Wniosek:** wibracje powodowały ruch cząsteczek stoku- stan ten

wywołał zmniejszenie tarcia wewnętrznego materiału i dochodziło do lawiny. Kiedy obsunięty stok uzyskał pochylenie zbliżone do 15°- siły tarcia ponownie przewyższyły

parcie skarpy. Po dłuższym czasie materiał ciągle się obsuwał, lecz był to proces prawie znikomy, który na potrzeby tego doświadczenia można pominąć. Każda próbka obsuwała się z inną prędkością. Dane z doświadczenia przedstawia tabela:

próba	Czas obsunięcia (do kąta 15°)		
	sól	maka+cukier+sól	ziemia
1	35s	43s	73s
2	32s	49s	81s

Dane potwierdzają założenie jakoby materiały o większym tarcia wewnętrznym stawały skutecznie zniejs

zy opór zsuwającej się lawinie (materiały najdłużej się obsuwające tworzyły najbardziej strome kąty nachylenia skarpy- widoczne w pierwszym doświadczeniu). A co można powiedzieć o zachowaniu spoistej, nawilżonej ziemi podczas drgań?

Materiał spoisty w wibrującym naczyniu ulegał rozwarstwieniu i



wyraźnemu zagęszczeniu. Woda pod wpływem trzęsienia naczyniem oddzielała się od reszty stoku wypływając u podnóża. Co ciekawe mokra masa nie obsuwała się bezwładnie po stoku, lecz plastycznie zmieniała swój kąt do uzyskania stabilizacji w okolicach wartości kąta 15° .

Wniosek: *kąt 15° jest średnią wartością pochylenia przy której skarpy pozostają w równowadze. Poniżej tego kąta- wystąpienie lawiny jest mało prawdopodobne. Potwierdzają to spostrzeżenia specjalistów TOPR oraz nasze empiryczne doświadczenia.*

Podsumowanie: do lawiny dochodzi, gdy siły tarcia i spoistości są zwyciężone siłami kierującymi pokrywą wprost w dół stoku. W naturze temu niszczącemu zjawisku pomagają zaistnieć takie oddziaływania jak: wiatr, trzęsienia ziemi, ulewne deszcze, wysoka lub niska temperatura, a także działalność dominującego na tej planecie ssaka- człowieka.

Udało się nam wykazać, iż lawina zależna jest od: kąta pochylenia, rodzaju materiału, wielkości tarcia, spoistości, zawartości wody oraz energii dostarczonej zewnątrz- również w formie drgań mechanicznych.

BIBLIOGRAFIA:

- „Gleboznastwo” – H. Buckman, N. Brady
- „Mechanika gruntów” – W. Lambe, R. Whitman
- „Surowce skalne” – S. Kozłowski
- http://www.topr.com.pl/topr_historia.asp
- <http://skiexpert.onet.pl/0,1042978,wiadomosci.html>
- <http://wiadomosci.wp.pl/kat,1329,wid,6635506,wiadomosc.html>
- <http://www.topr.pl>
- w doświadczeniach zastosowaliśmy pojemnik skonstruowany z następujących materiałów: płyty pcv, twardej folii plastikowej, kleju silikonowego- przy użyciu wyrzynarki elektrycznej oraz dozownika silikonu.
- niezbędne doświadczenia wykonaliśmy w laboratorium Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej