

## STABILNOST KOSINA –

### KLIZANJE: gravitacija

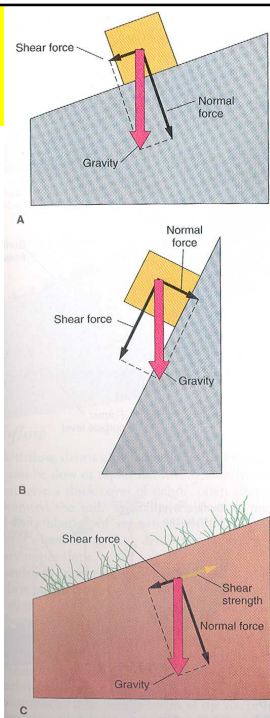
Gravitacija je sila koja pokreće klizanje.

Duljina vertikalne strelice je proporcionalna sili; što je materijal teži, to je stelica dulja.

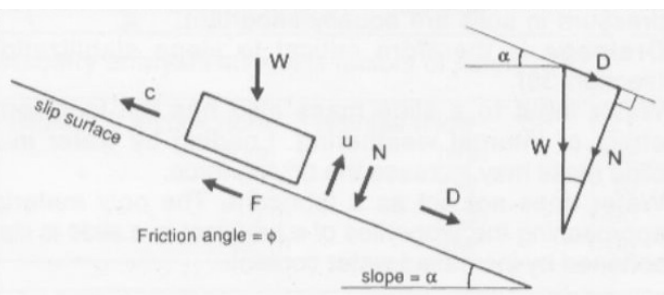
Dvije komponente utjecaja gravitacije (crne strelice):

-**normalna sila** (okomita na kosinu a njezina vrijednost ukazuje na sposobnost bloka da se zadrži na svom mjestu zbog trenja)

-**sila smicanja** (paralelna kosini i ukazuje na sposobnost bloka da se pokrene)



## STABILNOST KOSINA



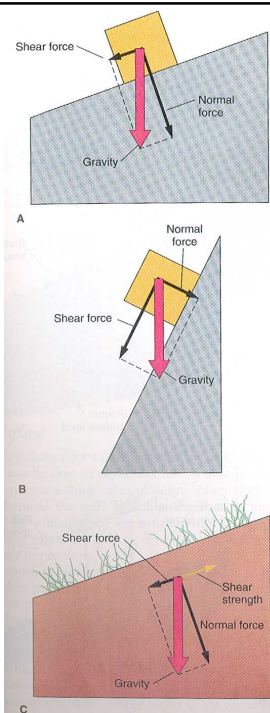
Sile koje djeluju na blok klizišta:

$W$  = težina bloka; 2 komponente,  $D$  i  $N$

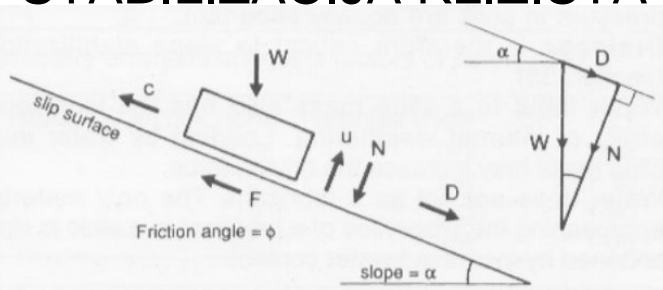
$D$  = sila koja pokreće klizanje =  $W \sin \alpha$

$N$  = normalno naprezanje na kliznoj plohi =  $W \cos \alpha$

$u$  = sila uzgona uslijed pornog tlaka vode



# STABILIZACIJA KLIZIŠTA



Sile koje djeluju na blok klizišta:

$W$  = težina bloka; 2 komponente,  $D$  i  $N$

$D$  = sila koja pokreće klizanje =  $W \sin \alpha$

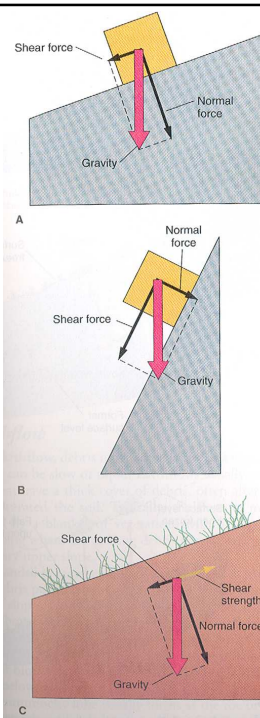
$N$  = normalno naprezanje na kliznoj plohi =  $W \cos \alpha$

$u$  = sila uzgona uslijed purnog tlaka vode

$c$  = kohezija na kliznoj plohi

$F$  = otpor trenja na kliznoj plohi =  $N \tan \phi$

$R$  = otpor na smicanje =  $c + (W \cos \alpha - u) \tan \phi$



## POKRETANJE MASE STIJENA:

### gravitacija

PADINA STRMIJA (BLOK TEŽI):

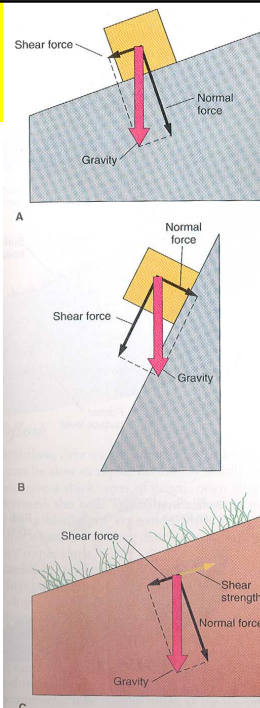
veća je sila smicanja i veća je tendencija bloka klizanju

TRENJE (djeluje suprotno od sile smicanja)

trenje > sile smicanja, blok se neće kretati

sila trenja < sile smicanja (npr. zbog vode)

manja od sile smicanja, blok će kliziti



## POKRETANJE MASE STIJENA:

### gravitacija

Slične sile djeluju na debris na brdu. Otpornost debrisa kretanju ili deformaciji naziva se **posmična čvrstoća**. Ona ovisi o:

-kohezivnosti materijala, trenju među česticama i djelovanju korijenja bilja.

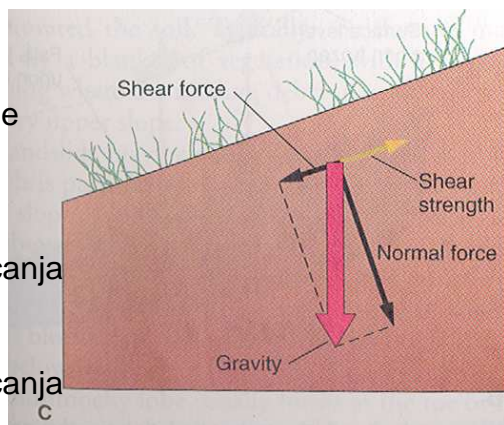
-što je veća normalna sila, to je veća posmična čvrstoća

-DEBRIS SE NE KREĆE

posmična čvrstoća > sile smicanja

-DEBRIS SE KREĆE

posmična čvrstoća < sile smicanja



## POKRETANJE MASE STIJENA:

### voda

- Voda je kritičan faktor kod pokreta na padinama

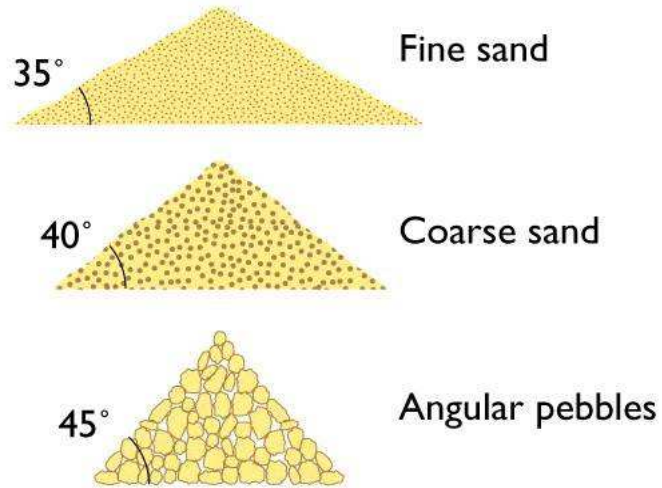
- debris saturiran vodom (bilo iz obilnih oborina ili otapanja snjega) postaje teži i puno je vjerojatnije da će krenuti (čak poteći) niz padinu.

- Razlozi:

1) dodana gravitacijska posmična sila koja je nastala zbog povećane težine (manje važno)

2) redukcija posmične čvrstoće zbog povećanog **pornog pritiska** u kojemu voda utječe na zrna debrisa da se pokreću.

## Angle of Repose- Effect of Grain Size



(a)

Fig. 11.1a



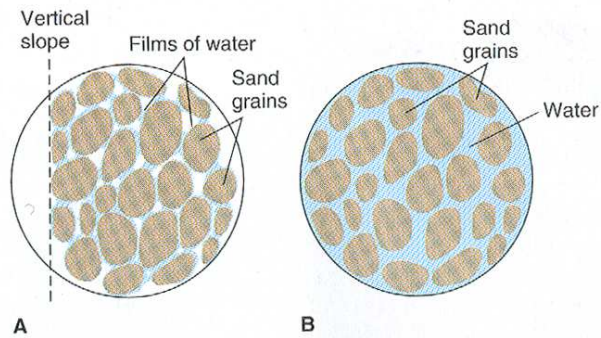
**Zašto stoje  
kule u  
pijesku?**

Kelly Mooney Photography/Corbis

## POKRETANJE MASE STIJENA:

### voda

- mala količina vode u tlu može i spriječiti klizanje
- voda koja ne ispunjava porne prostore između zrna tla u potpunosti, stvara tanki film oko svakog zrna
- rahla zrna lijepe se jedno za drugo zbog **površinske napetosti** koju je stvorio film vode i time se povećava posmična čvrstoća
- *kule u pijesku*



## Angle of Repose- Effect of Moisture Content

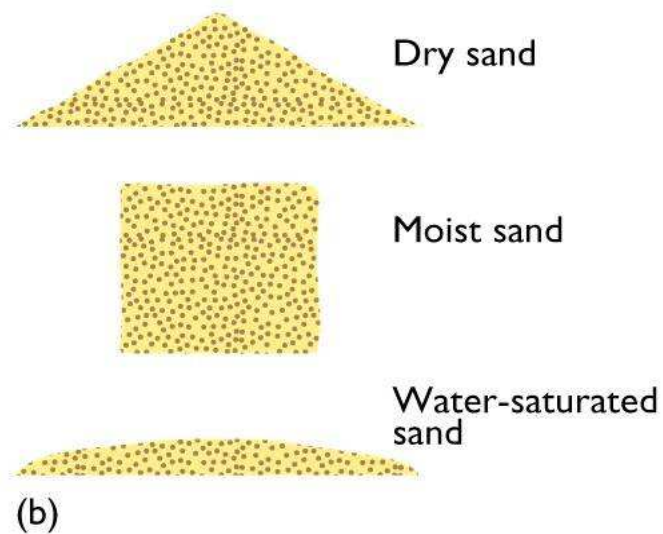


Fig. 11.1b

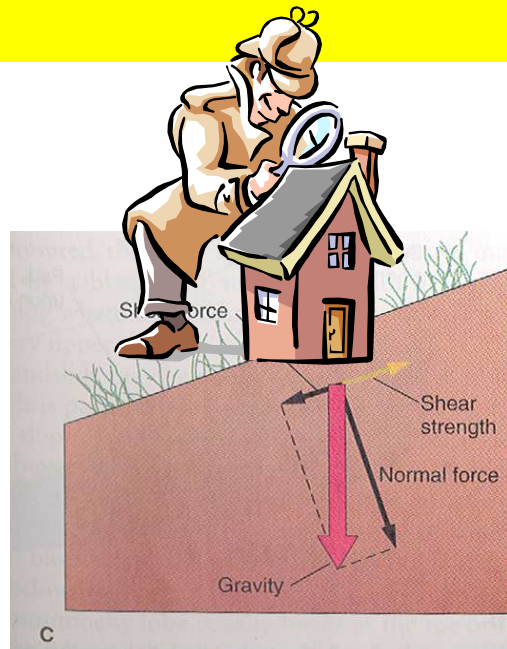


## POKRETANJE MASE STIJENA:

### gravitacija

Gradnja teških objekata visoko na padinama osobito je opasna.

Projektanti trebaju odrediti veličinu objekata i načine temeljenja na padinama

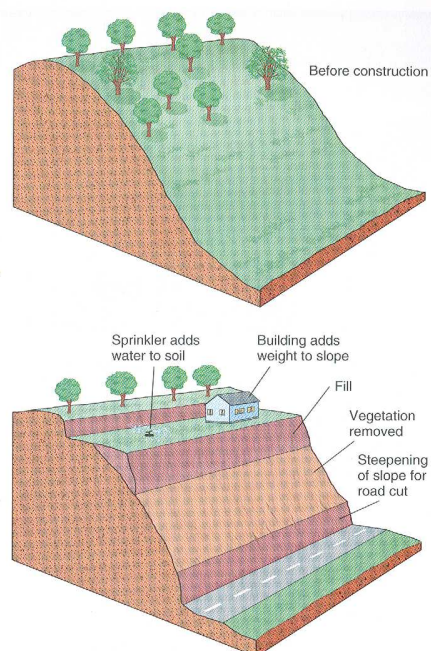


## POKRETANJE MASE STIJENA:

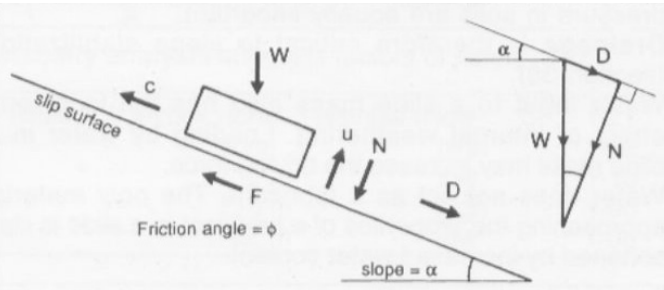
### sprečavanje klizanja

- pažljivo projektiranje inženjerskih građevina (potrebna geološka podloga). Paziti!!!

- 1) podsijecanje nožice padine;
- 2) uklanjanje vegetacijskog pokrivača
- 3) opterećenje gornjeg dijela padine
- 4) namakanje padine vodom ili promjene vodnog režima u padini



# FAKTOR SIGURNOSTI = R/D



**Fs = sile koje se odupiru klizanju / sile koje pokreću klizanje**

Sile koje djeluju na blok klizišta:

$W$  = težina bloka; 2 komponente,  $D$  i  $N$

**$D$  = sila koja pokreće klizanje =  $W \sin \alpha$**

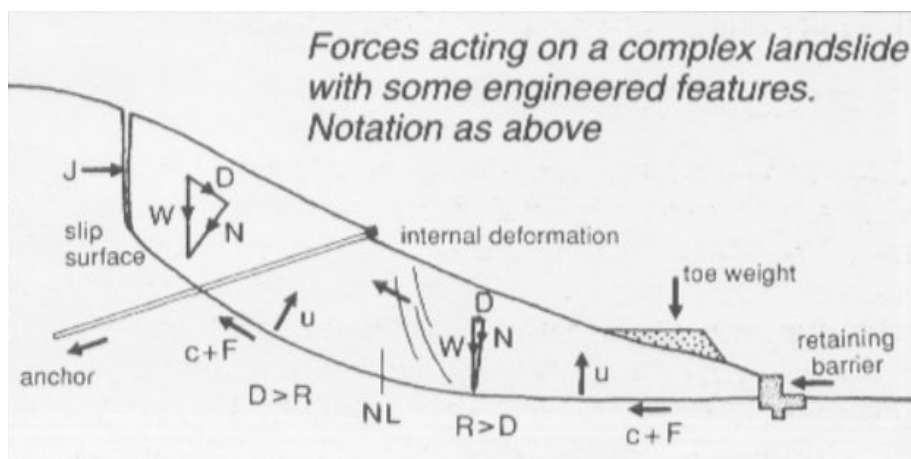
$N$  = normalno naprezanje na kliznoj plohi =  $W \cos \alpha$

$u$  = sila uzgona uslijed pornog tlaka vode

**$R$  = otpor na smicanje =  $c + (W \cos \alpha - u) \tan \phi$**

**Fs > 1,5 minimalni uvjet za stabilnost**

## sile koje djeluju na složena klizišta



Opća definicija **faktora sigurnosti padine** (F) daje odnos posmične čvrstoće materijala ( $\tau_f$ ) i posmičnih naprezanja ( $\tau$ ) po pretpostavljenoj ili utvrđenoj plohi sloma:

- dvije grupe uzroka klizanja:
  - (1) vanjski uzroci uslijed kojih se **povećavaju posmična naprezanja** (npr. geometrijske promjene padine, rasterećenje nožičnog dijela klizišta, opterećenje vrha klizišta, šokovi i vibracije, promjene razine podzemne vode);
  - (2) unutarnji uzroci zbog kojih se **umanjuje posmična čvrstoća** (npr. progresivni slom, trošenje, erozija procjeđivanja).

Međutim, neki od ovih uzroka mogu istovremeno utjecati i na posmična naprezanja i na posmičnu čvrstoću.

## Stabilizacija klizanja

- Stabilizacija postojećeg klizanja ili prevencija potencijalnog klizanja provodi se **reduciranjem sila koje ga pokreću** ili **povećanjem sila otpora**. Sve mjere sanacije moraju uključivati barem jednu od ovih komponenti, a ponekada i obje.



# Stabilizacija klizanja

## 1. MODIFIKACIJA GEOMETRIJE PADINE

- odstranjivanje materijala s klizišta (s moućom zamjenom materijala)
- dodavanje materijala radi održavanja stabilnosti (berme ili nasipi)
- smanjivanje nagiba kosine

# Stabilizacija klizanja

## 2. DRENAŽA

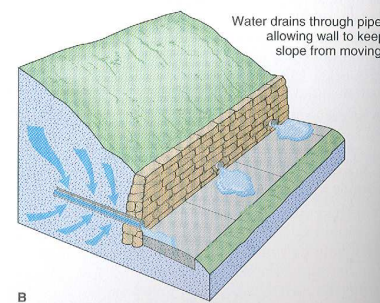
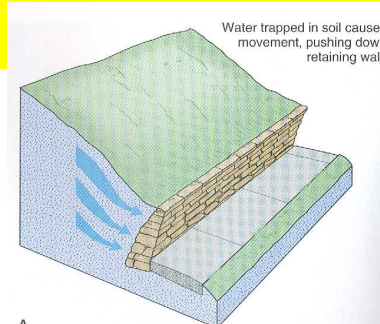
- površinska drenaža radi odstranjivanja vode koja teče po klizištu (pomoću jaraka i kanala)
- plitki ili duboki drenažni jarci ispunjeni slobodnodrenirajućim geomaterijalima (krupnozrnaste ispune ili geosintetici)
- podupirući kontrafori od krupnozrnastog materijala (hidrogeološki učinak)
- vertikalne bušotine (malog promjera), iz kojih se voda crpi ili su samodrenirajuće
- vertikalni bunari (velikog promjera) s gravitacijskim dreniranjem
- subhorizontalne ili subvertikalne bušotine
- drenažni tuneli, galerije ili potkopi
- odvodnjavanje vakumom
- drenaža sifonima
- elektroosmotsko odvodnjavanje
- sadnja vegetacije (hidrogeološki učinak)

## POKRETANJE MASE STIJENA:

### sprečavanje klizanja

#### promjene vodnog režima u padini!!!

Upotreba drenova za sprečavanje klizanja



## Stabilizacija klizanja

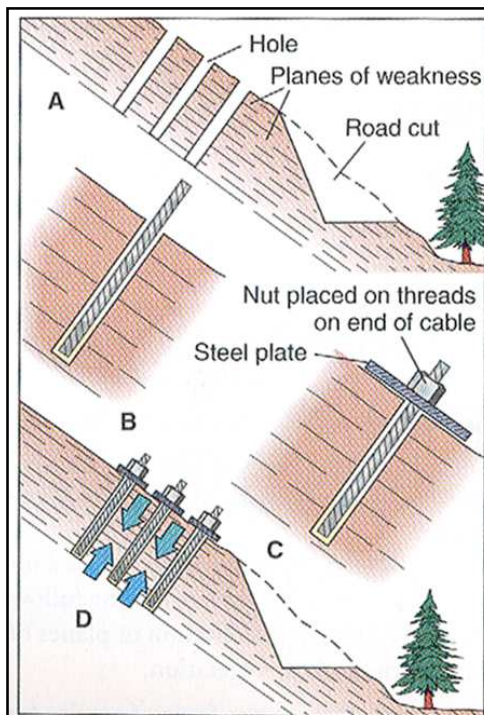
### 3. POTPORNE GRAĐEVINE

- masivni (gravitacijski) potporni zidovi
- zidovi od prefabriciranih elemenata
- gabionski zidovi
- pasivni piloti i kesoni
- armirano-betonski zidovi izrađeni na licu mjesta
- armirane zemljane građevine s trakastim/pločastim polimersko/metalnim armirajućim elementima
- potporni kontrafori od krupnozrnastog materijala (mehanički učinak) mreže za zadržavanje materijala na licima padina u stijenama
- sustavi za oslabljivanje ili zaustavljanje odronjavanja (jarci, klupe, ograde i zidovi za skupljanje kamenja) zaštitni blokovi od stijena ili betona protiv erozije

# Stabilizacija klizanja

## 4. UNUTARNJE OJAČANJE PADINE

- kratka sidra
- mikropiloti
- čavljano tlo
- prednapregnuta (geotehnička) sidra
- injektiranje
- kolone od kamena ili vapna/cementa
- termička obrada
- zamrzavanje
- elektroosmotska sidra
- sadnja vegetacije (mehanički efekt povećanja čvrstoće pomoću korijena bilja)



Zaštita padine od klizanja po oslabljenim plohama.

(A) U nestabilnoj stijeni buše se rupe.

(B) Detalj jedne rupe.  
Postavljanje sidra u rupu s cementiranjem.

(C) Postavljanje čelične ploče na vrh rupe i naprezanje.

(D) Primjer stabiliziranog zasjeka na cesti blizu Valdeza na Aljasci.

<http://landslides.usgs.gov/>

PREVENCIJA KLIZANJA

<http://www.kingston.ac.uk/~ku00323/slides.htm>???

Prof. Bromhead (najpoznatija klizišta)