

# PADINSKI PROCESI

# Žrtve padinskih procesa

Nestabilne padine i kretanje na njima u mnogo su navrata izazvale golema razaranja i brojne žrtve, a i danas svakodnevno ugrožavaju ljudsku imovinu i živote.

Godina	Država	Uzrok	Broj poginulih
1916.	Italija, Austrija	Odroni, klizišta	10.000
1920.	Kina	Odroni izazvani potresom	200.000
1970.	Peru	Lavina i debritni tokovi izazvani potresom	70.000
1985.	Kolumbija	Muljni tokovi izazvani vulkanskom erupcijom	23.000
1999.	Venezuela	Debritni tokovi izazvani obilnim kišama	30.000

U prosječnoj godini, samo u SAD padinski procesi (najčešće klizanje) prouzroče štetu od preko 2 milijarde \$ i 25-50 žrtava. U nerazvijenim državama su štete i žrtve daleko brojnije. Procjenjuje se da je prosječan broj žrtava u svijetu oko 8000 godišnje!

Klizište, Portland, Oregon 1996. (3:47)



<https://www.youtube.com/watch?v=mknStAMia0Q>

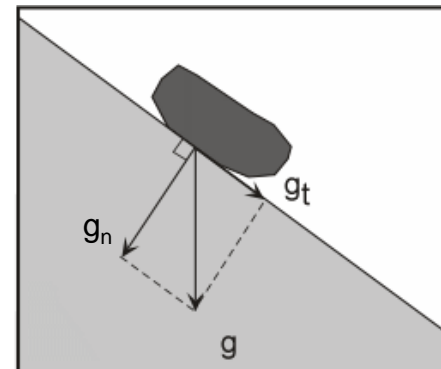
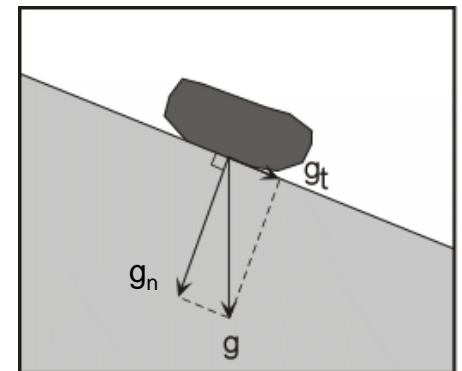
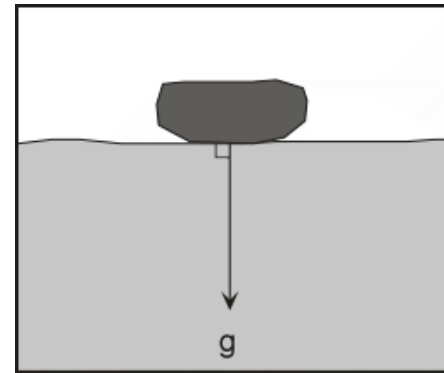
# Uzroci padinskih procesa

**Padinski procesi** odvijaju se pod utjecajem **gravitacije**.

Svaki objekt na padini izložen je **gravitaciji** ( $g$ ) koja ima dvije komponente: **normalnu komponentu** ( $g_n$ ) i **tangencijalnu komponentu** ( $g_t$ ).

Normalna komponenta (pritisak na podlogu) zadržava objekt na mjestu, a tangencijalna stvara stres smicanja koji omogućuje kretanje objekta.

Što je padina strmija, tangencijalna komponenta je veća, a normalna manja.



# Uzroci padinskih procesa

**Sila smicanja** (*shear stress, ss*) = sila koja omogućuje kretanje

**Otpornost na smicanje** (*shear strength, st*) = sila koja sprječava kretanje, obuhvaća trenje s podlogom i koheziju među česticama

Sila smicanja (**ss**) > kombinacije sila koje sprječavaju kretanje (**st**)  
→ **objekt počinje kliziti niz padinu**

# Uzroci padinskih procesa

Ako je materijal takav da sile smicanja prerastu koheziju među česticama (npr. glina, pijesak, tlo), materijal se razdvaja i počinje **teći** niz padinu.

Kretanje niz padinu ovisi o nagibu padine (veći nagib → veća tangencijalna komponenta → veća sila smicanja) i uzrocima koji smanjuju otpornost na smicanje (smanjenje trenja s podlogom, smanjenje kohezije među česticama).

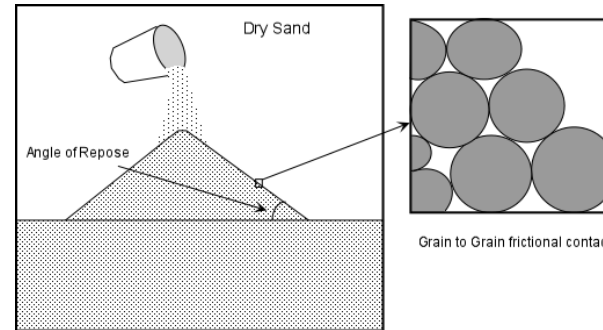
**Faktor sigurnosti** (*safety factor,  $F_s$* ) je odnos otpornosti na smicanje ( $st$ ) i sile smicanja ( $ss$ ):

$$F_s = st/ss$$

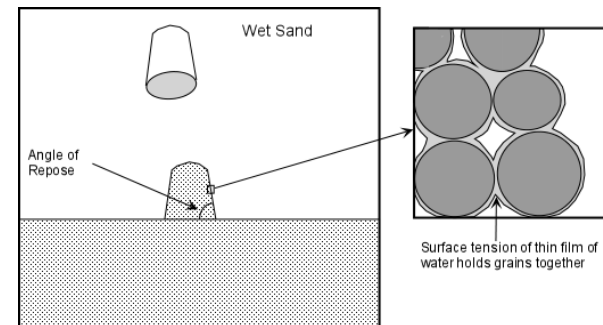
Ako je  $F_s < 1$ , padina je nestabilna i očekuje se njeno pokretanje.

# Kut zadržavanja

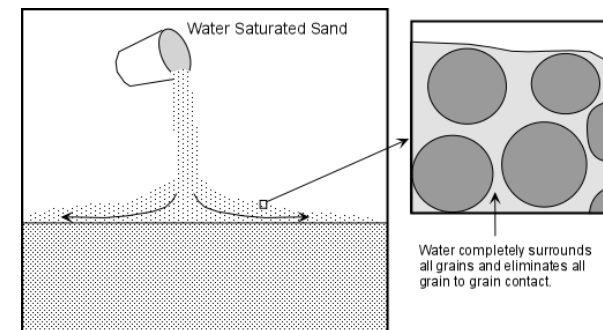
**Kut zadržavanja** (*angle of repose*) je najveći nagib koji ima stabilna padina izgrađena od rastresitog materijala, redovito je veći za suhe materijale, a manji za materijale zasićene vodom (ili u vodi), osim u slučaju vlažnih materijala kod kojih voda povećava koheziju među česticama.



Kut zadržavanja suhog pijeska je oko  $34^\circ$ .



Kut zadržavanja vlažnog pijeska je do  $90^\circ$



Kut zadržavanja pijeska u vodenoj sredini je oko  $20^\circ$ .

Nagib padina sipara odgovara  
kutu zadržavanja detritusa od  
kojeg je izgrađen, Svalbard.



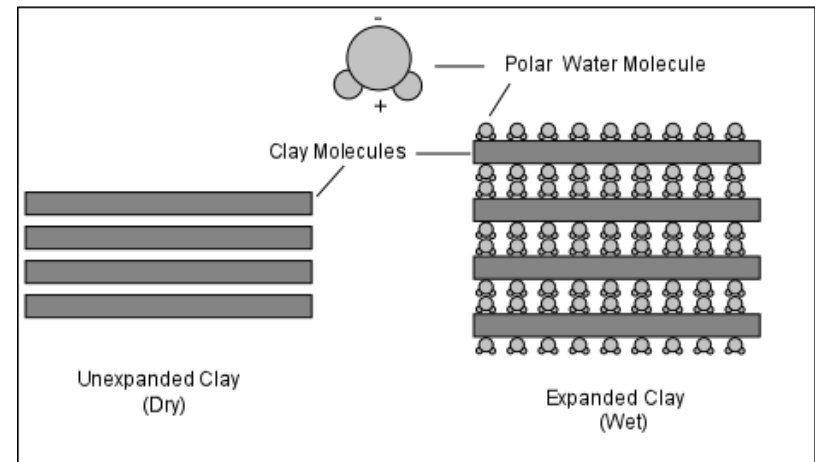
# Uzroci padinskih procesa - voda

Voda je u većini slučajeva igra veću ili manju ulogu pri pokretanju nestabilnih padina. Voda djeluje na više načina:

- 1) Povećanje količine vode u tlu **otežava** padinu.
- 2) Voda prodire u tlo/sediment i istiskuje zrak, time se **smanjuje** unutarnji **kut zadržavanja materijala**.
- 3) Voda se može **vezati u kristalnoj rešetki** minerala glina, čime se razmiču kristalne ravnine pa raste volumen minerala i njegova težina

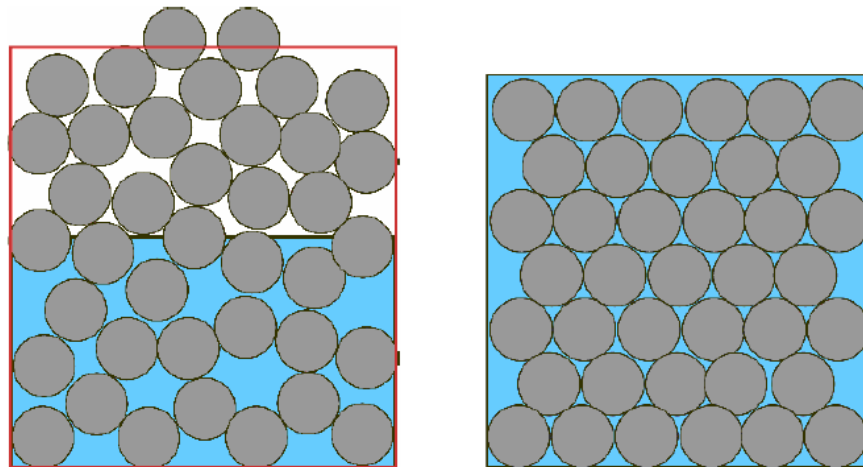
Razmaknute kristalne ravnine imaju vrlo malo unutrašnje trenje, pa zbog nekompresibilnosti vode u rešetki raste hidrostatski tlak koji odgovara vanjskom stresu.

To znači da težinu krovine kompenzira tlak u kristalnoj rešetki, čime je omogućeno tečenje i pri vrlo malom tangencijalnom stresu.



# Uzroci padinskih procesa - voda

- 4) Voda u stijeni **otapa cement**, čime čestice gube međusobnu vezu, smanjuje se kohezija materijala i unutrašnje trenje materijala.
- 5) Voda u sedimentu izaziva **likvefakciju**, slijeganje sedimenta koji nije zasićen vodom u vodom zasićeni sediment; voda prodire u međuzrnski prostor, a zrna zbog uzgona počinju „plutati”.



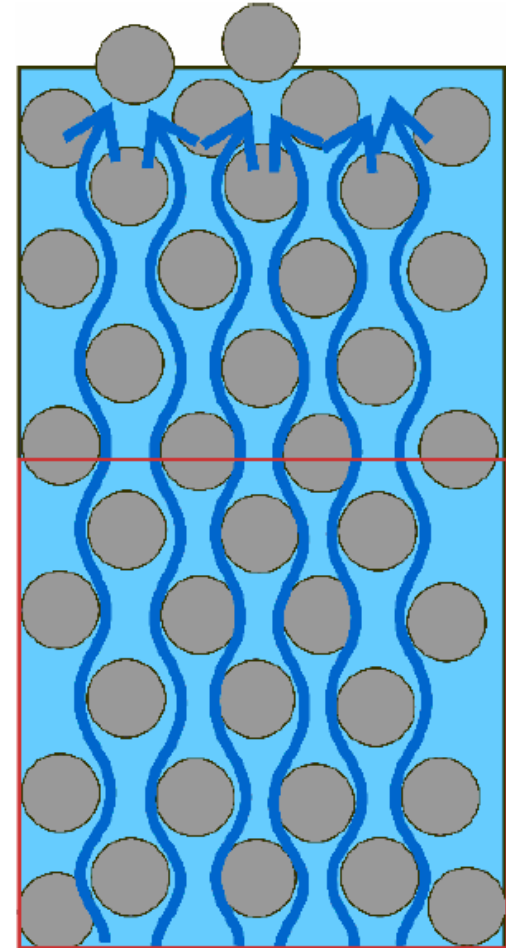
# Uzroci padinskih procesa - voda

- 6) Voda u sedimentu može dovesti do **fluidizacije** sedimenta: prodiranje fluida kroz sediment, kada uzgon kompenzira težinu čestica pa se sediment ponaša kao fluid.

Izbijanje vode na površini stvara muljne i pješčane „vulkane“.

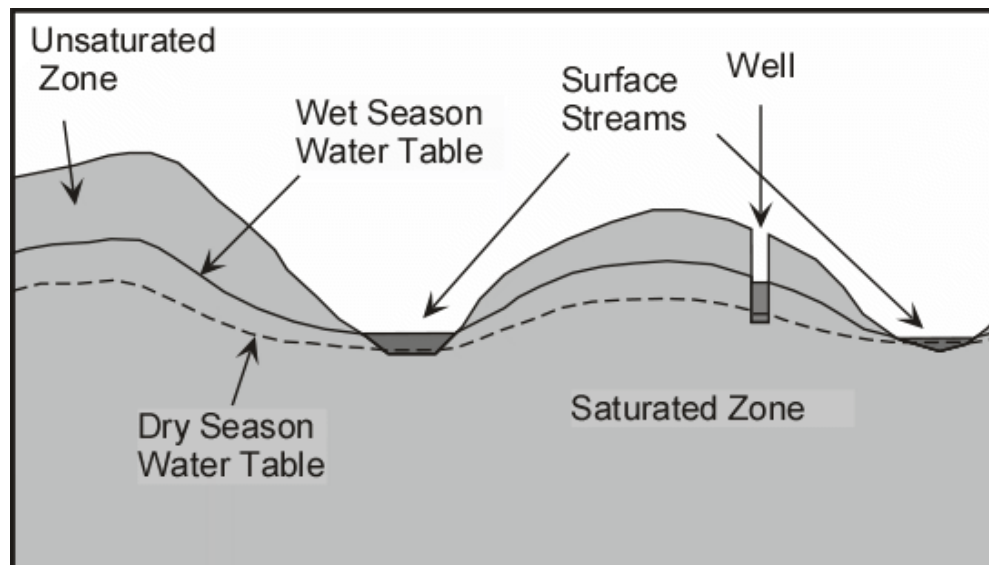
Likvefakcija i fluidizacija se često poistovjećuju, iako je riječ o različitim procesima.

Ukratko: **fluidizacija je prodiranje fluida prema površini, dok je likvefakcija slijeganje sedimenta.**



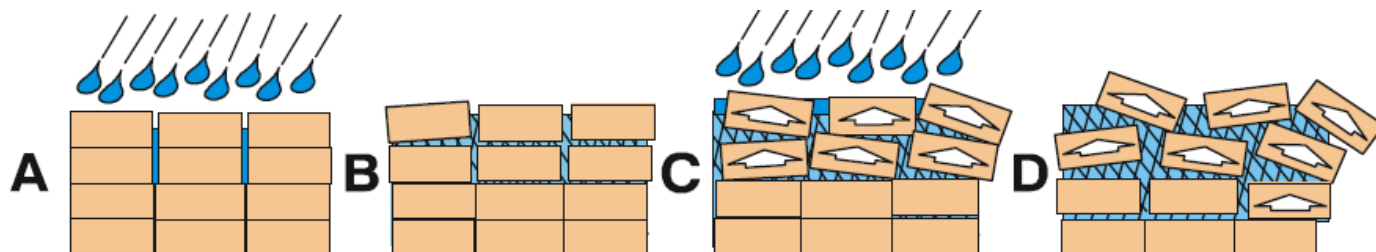
# Uzroci padinskih procesa - voda

- 7) **Promjene u količini podzemne vode** izaziva dotjecanje nove vode prilikom oborina, nakon taljenja snijega, poplava, antropogenog ispuštanja vode → podizanje vodnog lica može dovesti do fluidizacije sedimenta.
- 8) **Hidraulički tlak** u pornoj vodi može utjecati na stabilnost padina jer može u potpunosti reducirati težinu (normalnu komponentu) sedimenta koji tada postaje nestabilan i na gotovo horizontalnoj podlozi.

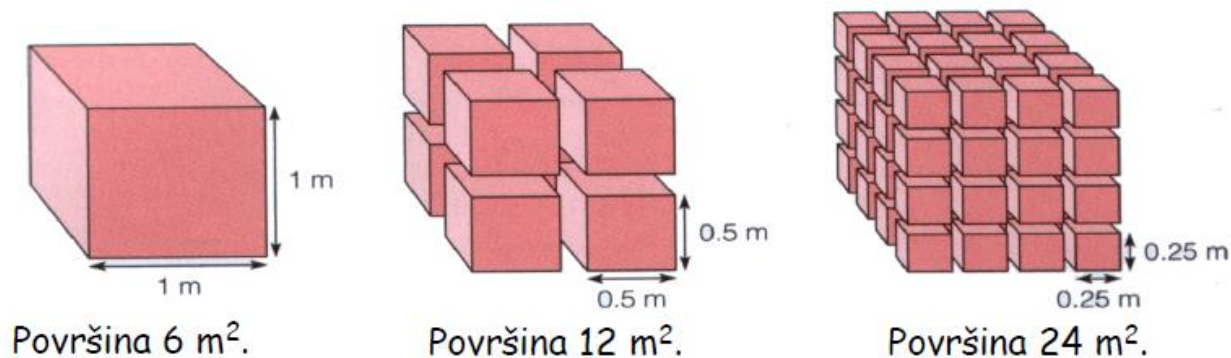


# Uzroci padinskih procesa – mehaničko trošenje

Najizrazitije je u hladnim krajevima. **Smrzavanjem voda povećava volumen 9%**, čime se šire pukotine u stijenama i one postaju sve nestabilnije.



Mehaničko trošenje povećava površinu stijene i posredno pospješuje kemijsko trošenje.

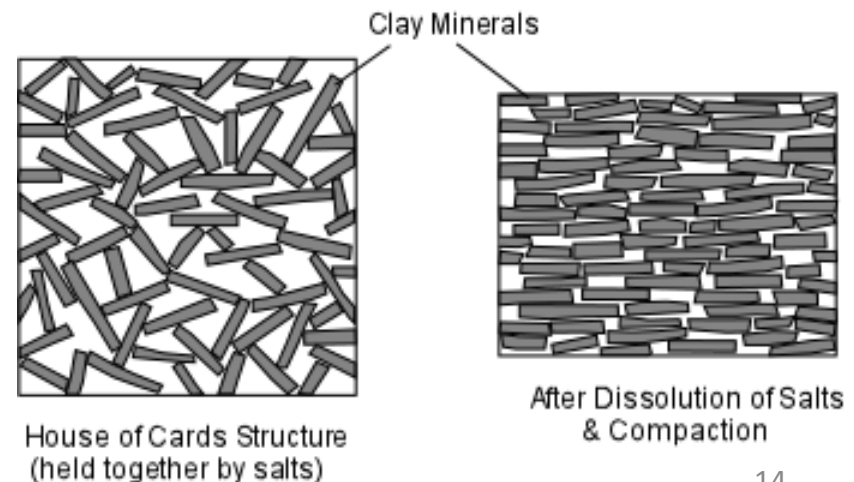
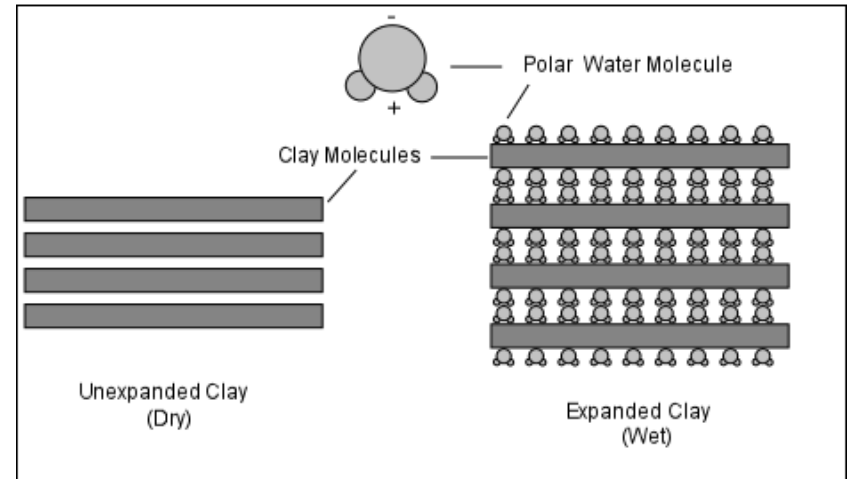


# Uzroci padinskih procesa – vrsta materijala

Neki materijali su podložniji deformacijama i klizanju no drugi. To su naročito tla koja sadrže veliku količinu gline, posebno smektit i montmorilonit.

Minerali glina upijaju vodu pa im raste volumen – **bujaju**, a sušenjem se kompaktiraju. Slično se ponaša i treset.

Neke vrste gline imaju neuređenu strukturu gdje soli vežu pojedine listiće gline. Otapanjem soli gubi se potpora listića, dolazi do kompakcije i nastaje uređena struktura.



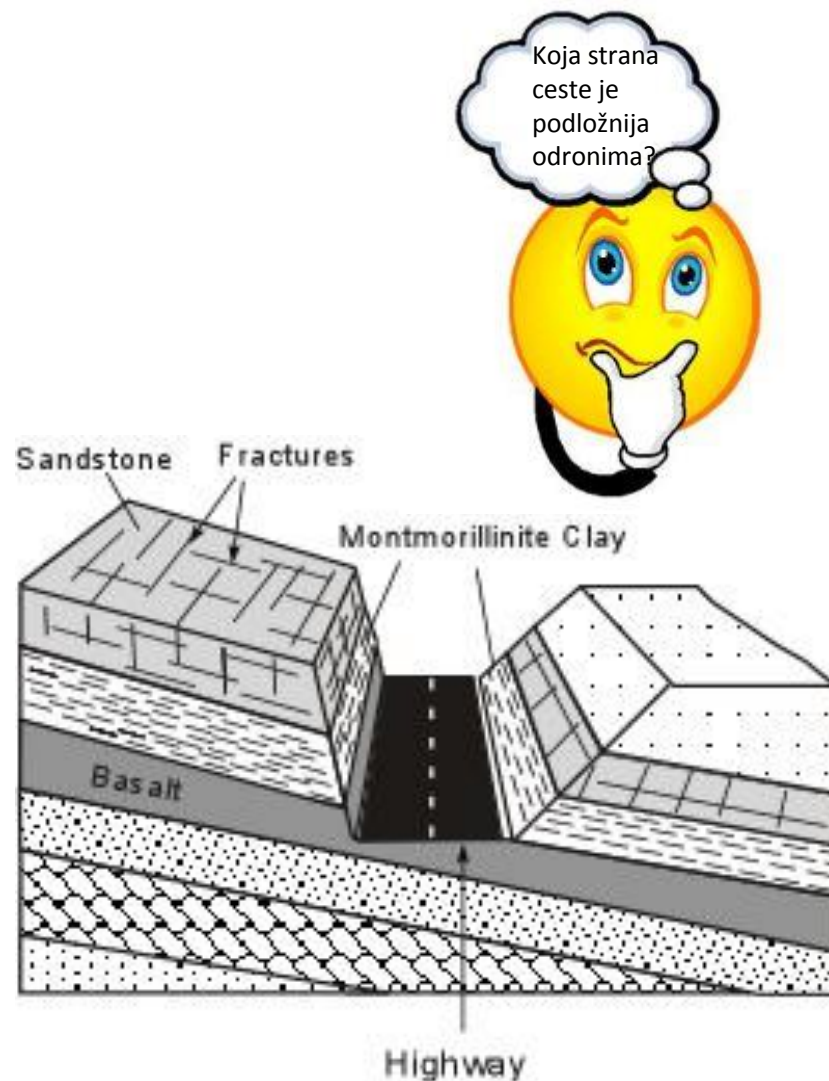
# Uzroci padinskih procesa – geološke strukture

Neke geološke strukture su izrazito pospješuju padinske nestabilnosti ili su njihov uzrok:

- planarna oslabiljenja – pogotovo ukoliko nagnuta u smjeru nagiba padine
  - slojne plohe
  - pukotine
  - folijacija
  - rasjedi
  - škriljavost
- mehanička čvrstoća stijena

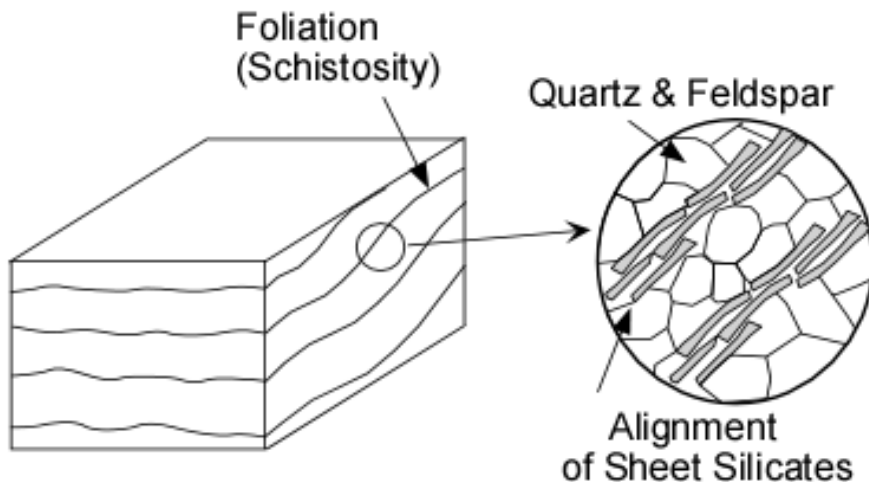
# Uzroci padinskih procesa – slojne plohe

- najčešće su planarne
- nastale su pri prekidu taloženja pa među susjednim slojevima nema kohezije, nego je otpornost na smicanje rezultat samo trenja s podlogom
- voda može prodrijeti u međuslojne pukotine (diasteme), gdje može otapati stijenu i taložiti glinu
- strmo nagnuti slojevi stoga predstavljaju rizične strukture duž kojih može doći do „spontanog“ kretanja masa koje rezultira odronima



# Uzroci padinskih procesa – ostala planarna oslabljenja

- **pukotine i rasjedi** u stijenama predstavljaju oslabljene zone, mjesta brže cirkulacije i taloženja gline što smanjuje sveukupnu čvrstoću stijena i omogućuje odlamanje pojedinih blokova
- **folijacija i škriljavost** metamornih stijena također smanjuju izotropnost stijena i predstavljaju preferentne plohe duž kojih može doći do lomljenja stijena



## Uzroci padinskih procesa – mehanička čvrstoća stijena

- stijene mogu biti „čvršće” i „mekše”, ovisno o količini glina
- ako se između čvršćih stijena nalazi „slabiji” proslojak (bogat glinom), vjerojatno će do kretanja doći na njihovom kontaktu

# Pokretanje padinskih procesa

Padinski procesi se pokreću uslijed kombinacije nestabilne strukture (padine) i nekog događaja-inicijatora (pokretača/trigera). Ponekad su padine trajno nestabilne, a ponekad je nestabilnost posljedica vanjskog uzroka.

Pokretači padinskih procesa mogu biti:

- voda
- potkopavanje padine (prirodno ili umjetno)
- opterećenje vršnog dijela padine
- vibracije (prirodne (npr. potresi) ili umjetne (npr. promet))
- smanjenje čvrstoće stijena uslijed trošenja
- promjene hidroloških prilika
- vulkanske erupcije

# Pokretači padinskih procesa: vibracije

Potres može pokrenuti nestabilnu padinu.

Ponekad je pokretač jaka potresna trešnja, a ponekad dugotrajni tremor (npr. prometna trešnja, vjetar, miniranje, itd.)

Primjeri:

- veliko klizište u Anchorageu na Aljasci 1964. pokrenuo je jak potres
- jak potres ( $M=7.3-7.5$ ) 1959. g. pokrenuo je veliko klizište/odron u Madison River Canyonu, u blizini Yellowstone parka
- manja klizišta i odroni na prometnicama diljem svijeta uslijed tremora izazvanih prometom

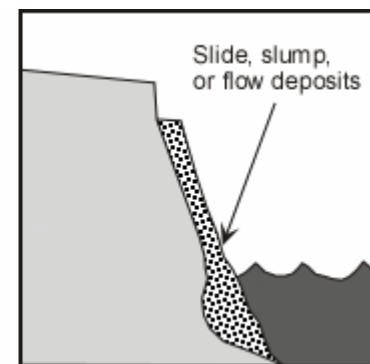
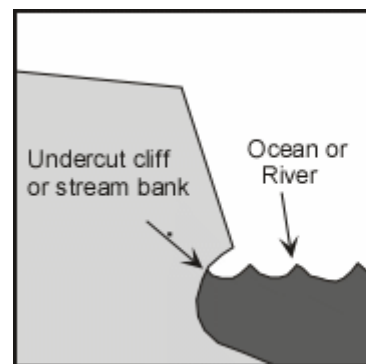
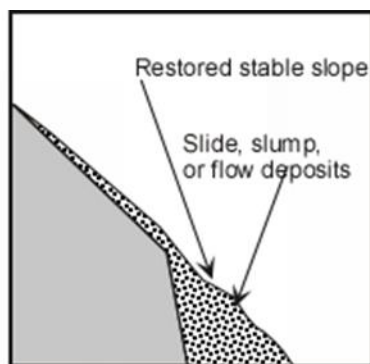
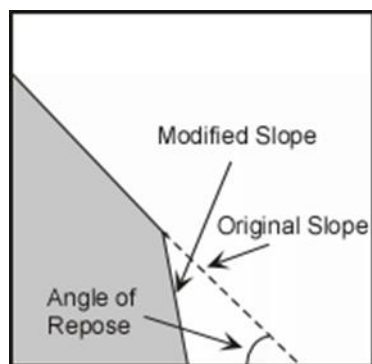


Klizište/odron u Madison River Canyonu, uzrokovano potresom 1959.

<https://forestservicemuseum.org/exhibits/madison-river-canyon-earthquake/>

# Pokretači padinskih procesa: potkopavanje padine

- čest uzrok padinskih nestabilnosti
- može imati prirodne i antropogene uzroke
- prirodno podsijecanje padina može biti posljedica potkopavanja riječnih obala, potkopavanja abrazijskih terasa...
- padinski procesi takve strme padine - ublažavaju



# North Cliffs (Kalifornija) prije, za vrijeme i nakon odrona...



<https://www.youtube.com/watch?v=ZVjr4mii3cE>

<https://www.youtube.com/watch?v=Rs7nlhxGeZM>

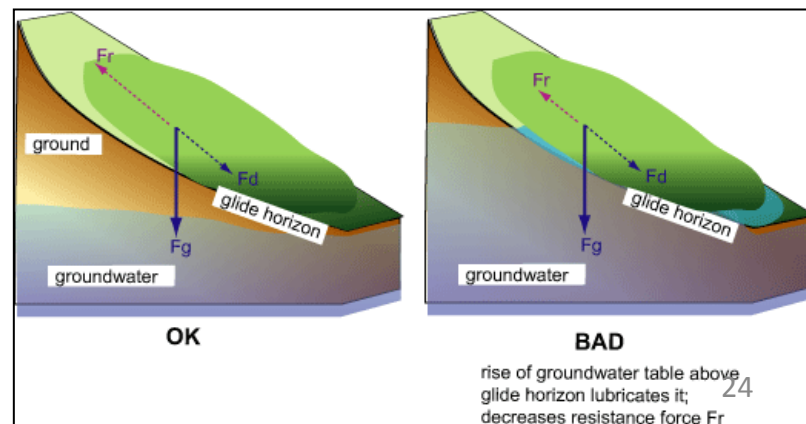
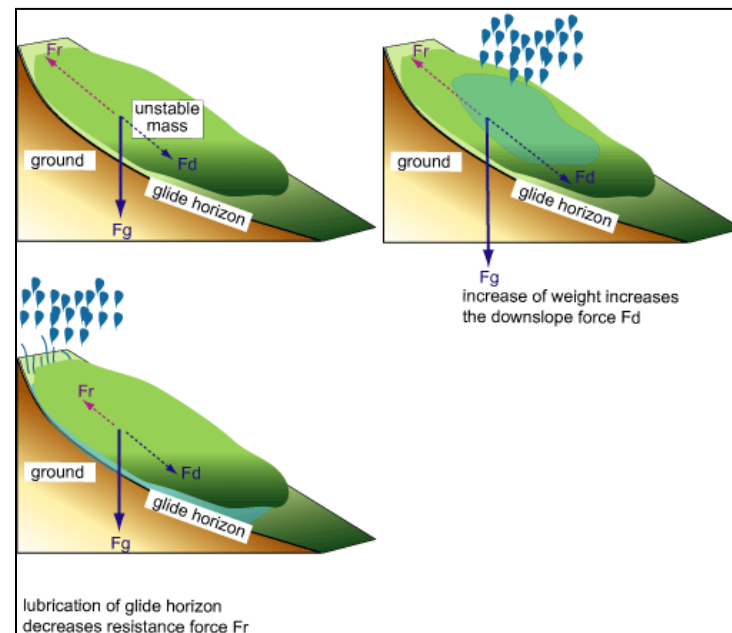
# Pokretači padinskih procesa: opterećenje vršnog dijela padine

- Dodavanje materijala na vršnom dijelu padine povećava opterećenje
- Primjer:
  - Portugalsko Bend klizište u Los Angelesu (1956) aktivirano je nasipavanjem za novu cestu, čime je dodano 3% mase klizišta u zoni iznad klizne plohe, koja je bila nagnuta  $22^\circ$  u slabim glinama



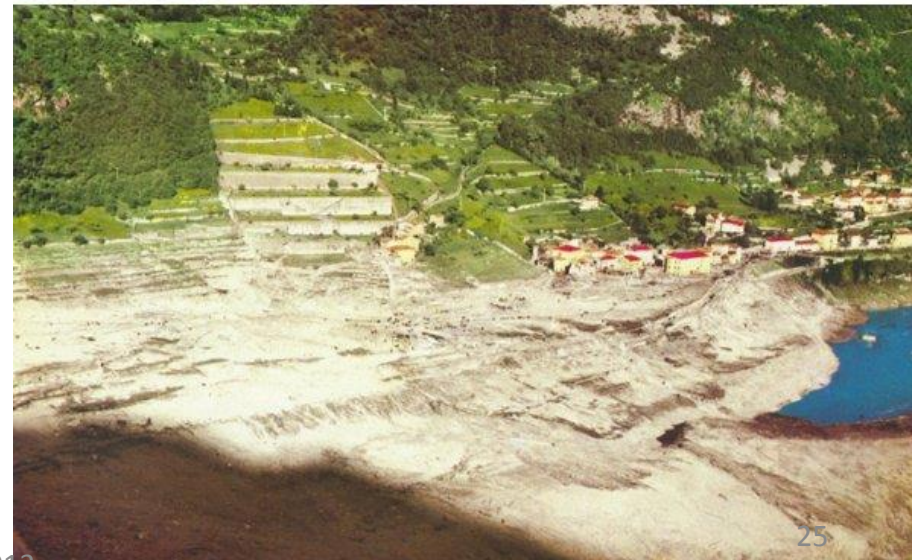
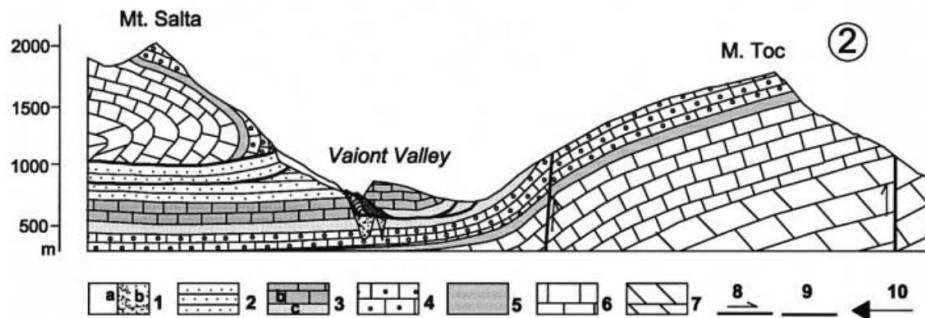
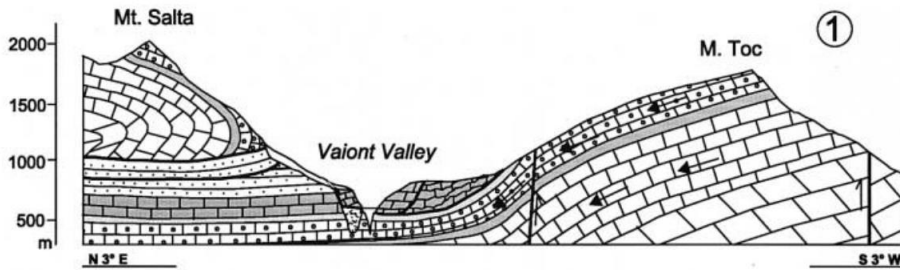
# Pokretači padinskih procesa: promjene hidroloških prilika

- jake kiše mogu natopiti regolit (obuhvaća tlo, koru trošenja i raspadnute stijene, čak i aluvijalne sedimente koji pokrivaju podinske stijene), čime se smanjuje unutrašnje trenje i kut zadržavanja (*angle of repose*)
- promjena količine podzemnih voda također uzrokuje porast ili opadanje hidrauličkog tlaka u stijenama i može pokrenuti klizanje



Primjer:

Jake kiše su pokrenule veliko klizište u talijanskim Alpama 1963. g., koje je prouzročilo jezerski tsunami koji je uništio selo Vajont i grad Longarone.

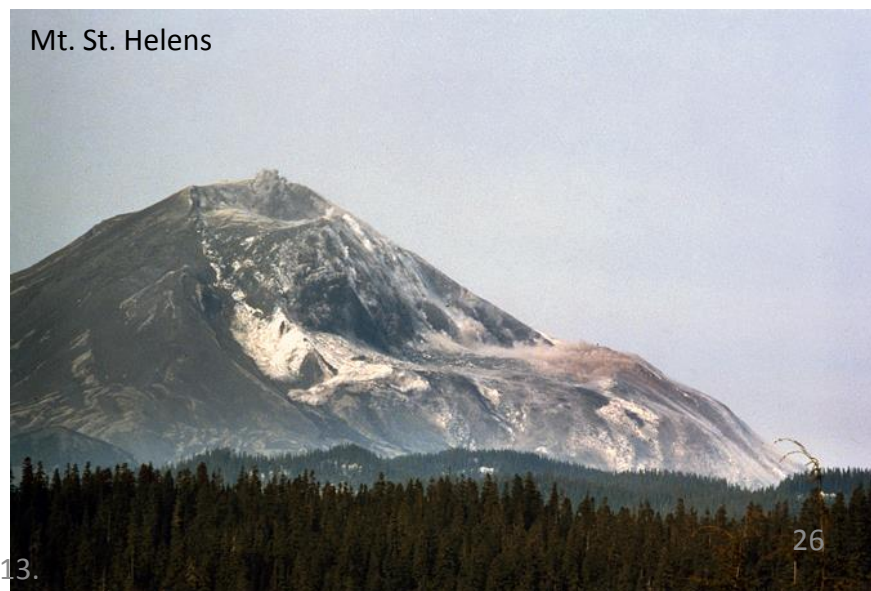


# Pokretači padinskih procesa: vulkanske erupcije

- vulkanske erupcije proizvode seizmičke udare koji mogu potaknuti nestabilnost padine
- taljenje snijega ili izlijevanje kraterskih jezera može osloboditi velike količine vode koje mogu razmočiti regolit i pokrenuti detritični tok, muljni tok (lahar) ili klizišta

## Primjeri:

- erupcija vulkana Nevado del Ruiz u Kolumbiji pokrenula je lahare
- erupcija Mt. St. Helens pokrenula je veliki odron koji je u svega 10ak minuta zatrpao obližnju riječnu dolinu sa 45 m sedimenta u dometu od 22 km!



# Što je bilo prije, klizište ili erupcija?



# Masovno trošenje

**Masovno trošenje** (*mass wasting*) je gravitacijsko kretanje stijena, kore trošenja i tla niz padinu, koje može biti sporo, brzo i vrlo brzo, a odvija se na svim krutim svemirskim tijelima (na Zemlji, Mjesecu, Marsu, itd.).

Masovno trošenje se stalno odvija na planinama, ponekad vrlo sporo, a ponekad i katastrofički brzo.

Uz gravitaciju važnu ulogu ima i voda, pa razlikujemo „mokre” i „suhe” procese, tj. one koji prenose mokri materijal i one koji prenose suhi materijal.

Padinski procesi su važan dio erozije jer prenose nevezani materijal od mjesta nastanka (trošenja) na topografski višem, do mjesta taloženja u topografski nižem položaju.

# Vrste masovnog trošenja

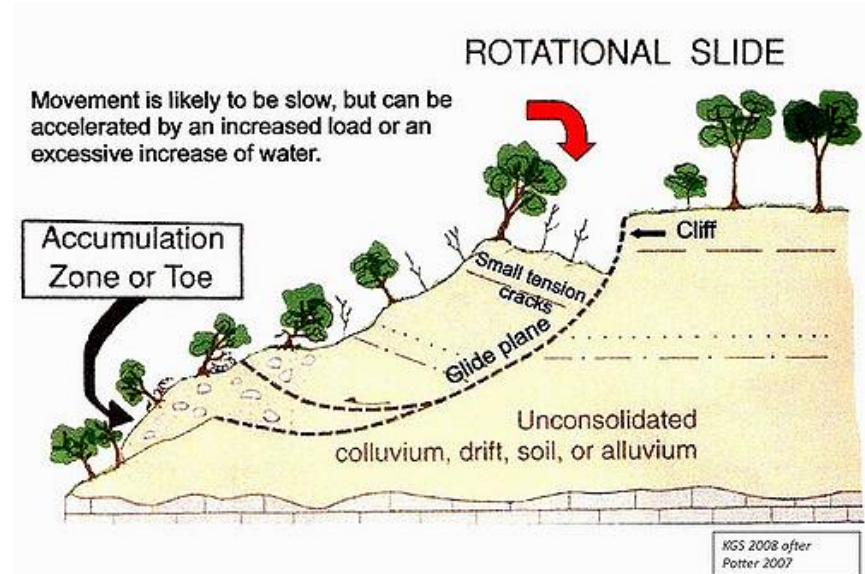
Razlikujemo 2 osnovna tipa masovnog trošenja, iako postoje mnogi miješani tipovi i prijelazi iz jednog tipa u drugi:

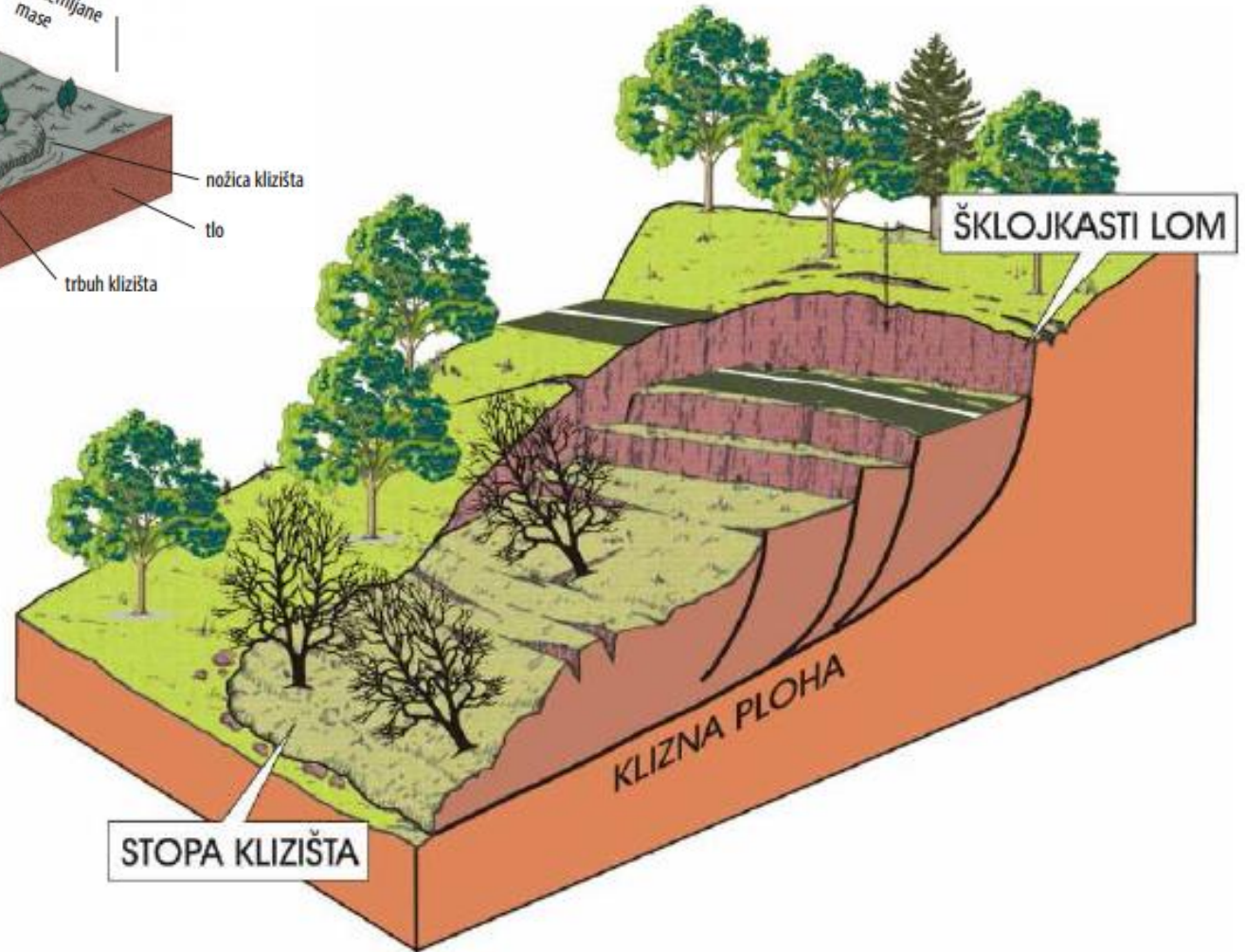
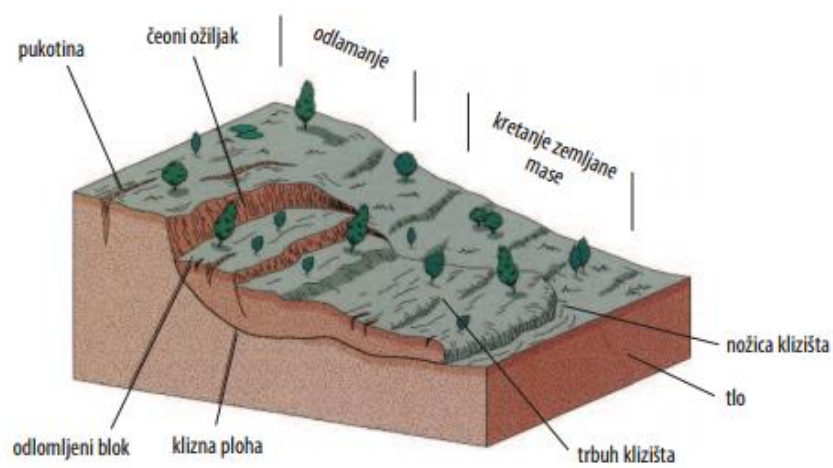
- **urušavanje padina (*slope failure*)**
  - naglo propadanje padine, uslijed čega se niz padinu detritus prenosi klizanjem, kotrljanjem ili slobodnim padom
  - klizišta, odroni → mogu se dogoditi u bilo kojoj vrsti stijene
- **tečenje sedimenta (*sediment flows*)**
  - tečenje sedimenta pomiješanog s vodom ili zrakom
  - bujični tokovi (*slurry flows*), zrnski tokovi (*granular flows*)



# Urušavanje padina (*slope failure*)

- Klizišta (rotacijska) (*slump*)
  - nastaju kada se stijene i regolit pokrenu duž konkavno zakrivljene plohe
  - klizanje mogu pokrenuti kako **prirodni uzroci** (potresi, tajfuni, poplave, vulkanske erupcije...), tako i **umjetni uzroci** (izgradnja, potkapanje, preopterećenje padine, pogrešna drenaža), ali je svima zajednička važna uloga vode
  - pojedini klizni listovi se zbog zakrivljenosti klizne plohe rotiraju i dodatno ustrmljuju
  - na površini se uz školjkasti lom često vide i lučne pukotine na mjestima kliznih ploha





**Klizišta** „napreduju prema unazad” (*retrogressive sliding*), što znači da se s vremenom stvaraju nove klizne plohe u zaleđu prethodnih.

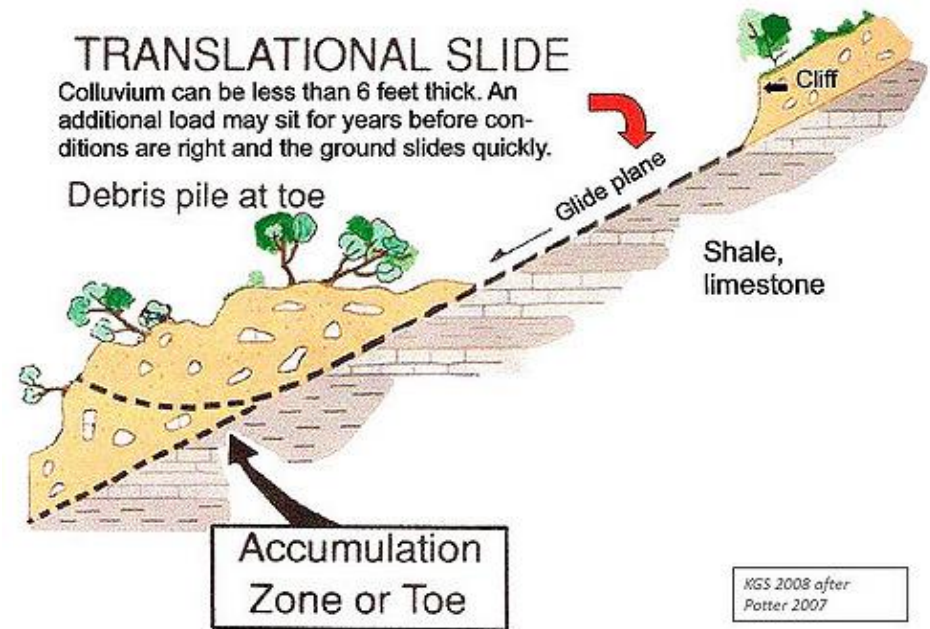
Klizišta mogu biti izolirana, ali mogu zahvaćati i velike površine. Često se aktivna klizišta nalaze lateralno uz neaktivno, što dokazuje lateralno seljenje klizišta koje naposljetku zahvaća cijelu padinu.



Velike količine oborina pokrenule su veliko klizište u Kirgistanu. Klizište je zatrpalo šest kuća u dijelu sela Ayu u regiji Osh i usmrtilo 24 osobe, od kojih devetero djece. Mnogi spasioci su sudjelovali u spašavanju i evakuaciji zatrpanog sela. Četrdeset obitelji koje stanuju u blizini klizišta je evakuirano u pomoćne šatore. Od početka godine je u Ash regiji zabilježeno najmanje 25 klizišta koja su usmrtila šestero osoba.

# Urušavanje padina (*slope failure*)

- Klizišta (translacijska) (*slide*)
  - nastaju odlamanjem kliznih blokova duž strmo nagnutih slojnih ploha, tektonskih pukotina ili folijacije
  - po načinu kretanja najbližnja su snježnim lavinama
  - ovaj tip klizišta obično dodatno pomaže voda i glina koja se nalazi duž nekih slojnih ploha, pa se klizišta aktiviraju nakon kiša ili taljenja snijega i leda



## Translacijsko klizište u Kaliforniji (0:58)



<https://www.youtube.com/watch?v=ZVYGJYnJTio>

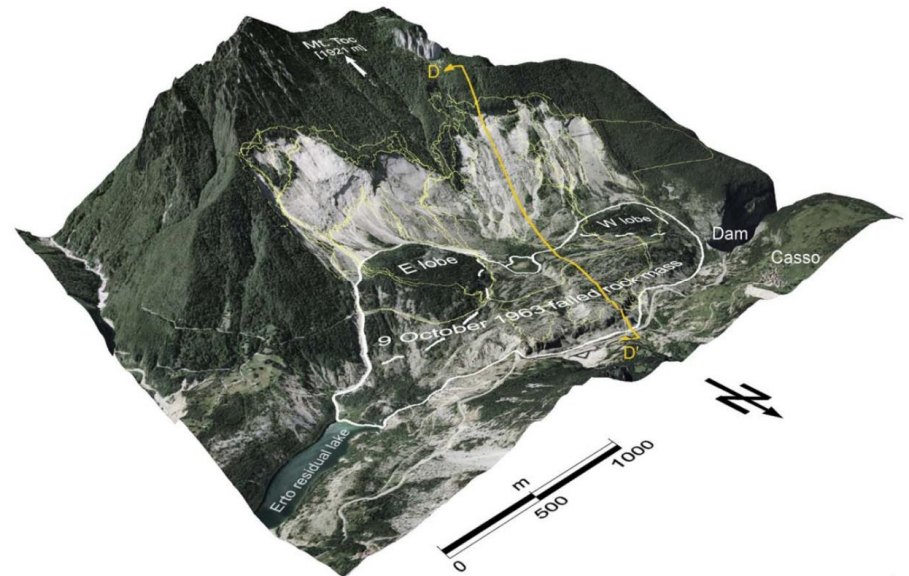
Smrzavanje međuslojne vode dodatno oslabljuje vezu među slojevima, pa se nakon zime u visokim planinama redovito odlamaju veliki klizni listovi koji se ponekad kreću sporo, a ponekad katastrofički brzo.

Primjer: Vajont 9.10.1963.

Klizište od 249.000.000 m<sup>3</sup> (1,8 x 1,6 km) dogodilo se 9.10.1963. u kanjonu Vajont u talijanskim Alpama, nakon dvotjednih kiša i izazvao potres koji se osjetio po cijeloj Europi. Za 1 minutu zatrpalo je akumulacijsko jezero podigavši razinu vode za 200 m (*jezerski megatsunami*), val je nadvisio branu za 200 m i uništio grad Longarone sa 1.600 stanovnika od kojih nitko nije preživio!



(Gabriel Fernández, 1979)

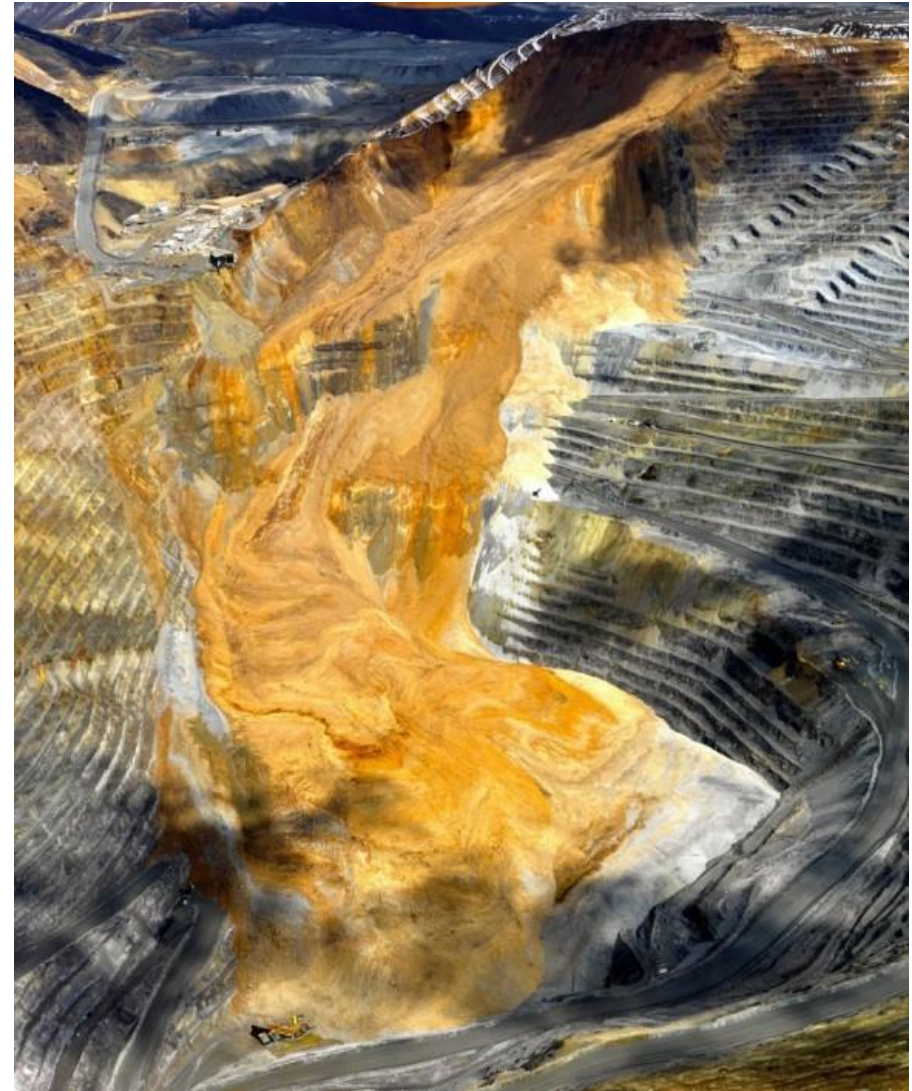


Paronuzzi et al. (2015)

Klizanju su podložna i odlagališta rudarske jalovine ili pak nasute padine, uslijed prevelikog ustrmljenja i preopterećenja padine, kao posljedica nepostojanja odvodnje s takvog deponija.

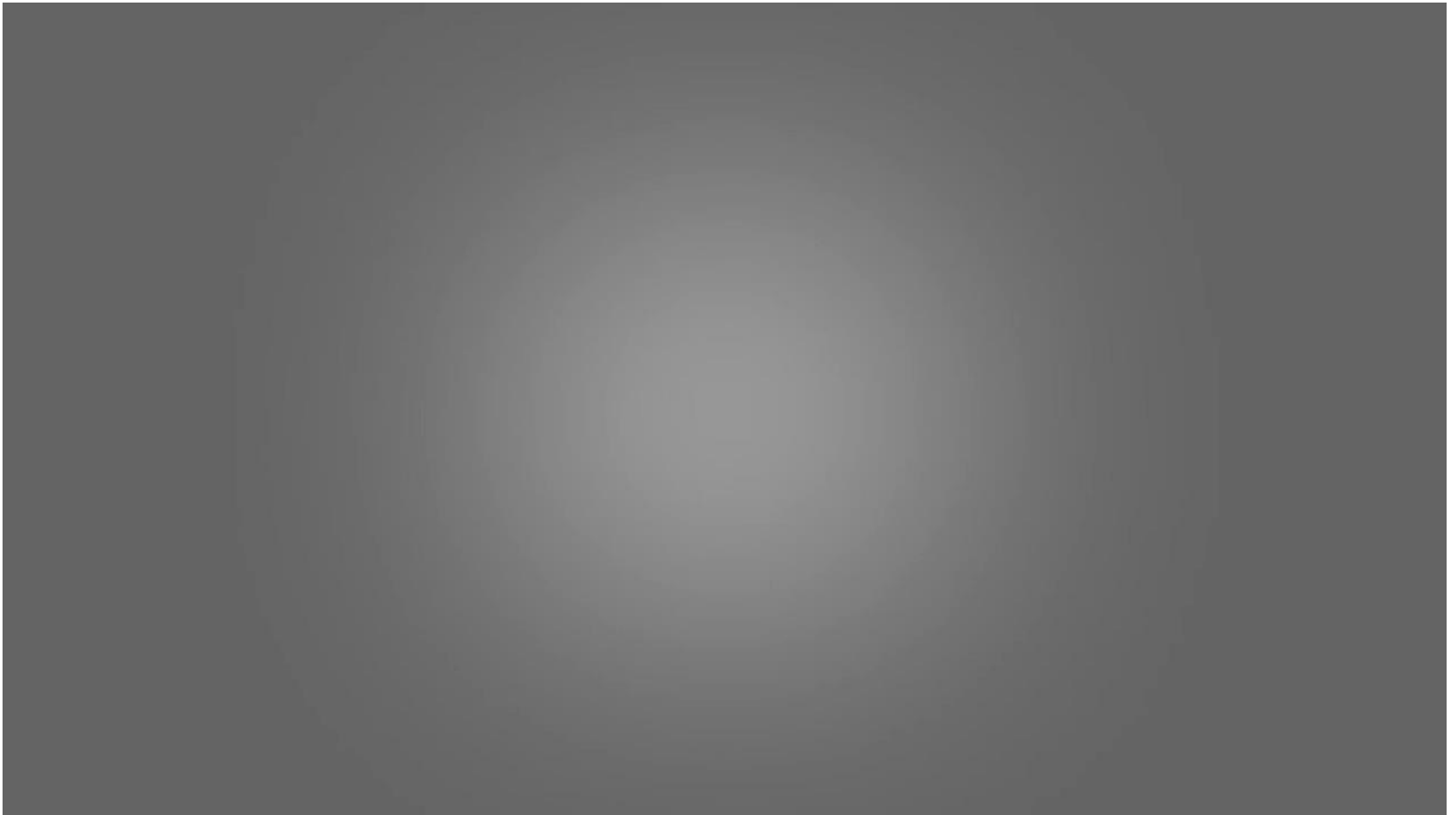
Primjer: Klizište u Bingham Canyon kopu (Utah, SAD)

Ogromno klizište u rudniku bakra pokrenulo se 10.4.2013. g. Dva veća urušavanja dogodila su se u razmaku od 1,5 h i pokrenula su 165 milijuna tona materijala koji je mogao zatrpati Central Park u NY pod 20 m nanosa! Materijal se kretao brzinom do 160 km/h. Srećom, nije bilo žrtava jer je urušavanje bilo predviđeno 7 sati ranije pomoću postavljenih senzora.



<https://www.hcn.org/issues/45.8/how-technology-detected-a-huge-mine-landslide-before-it-happened>

## Urušavanje u Bingham Canyonu (2:04)

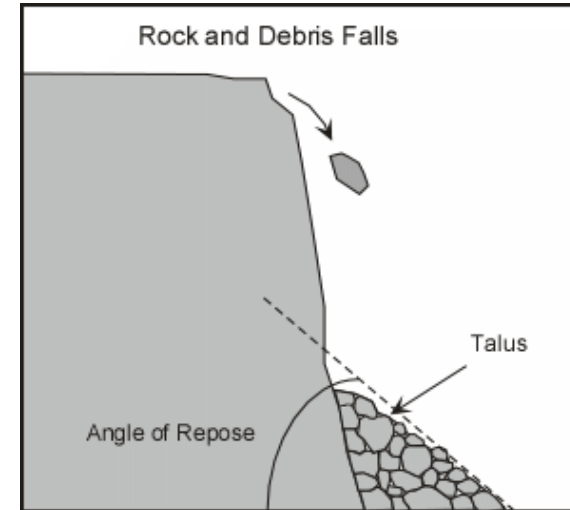


[https://www.youtube.com/watch?v=M2oM\\_GfTA7I](https://www.youtube.com/watch?v=M2oM_GfTA7I)

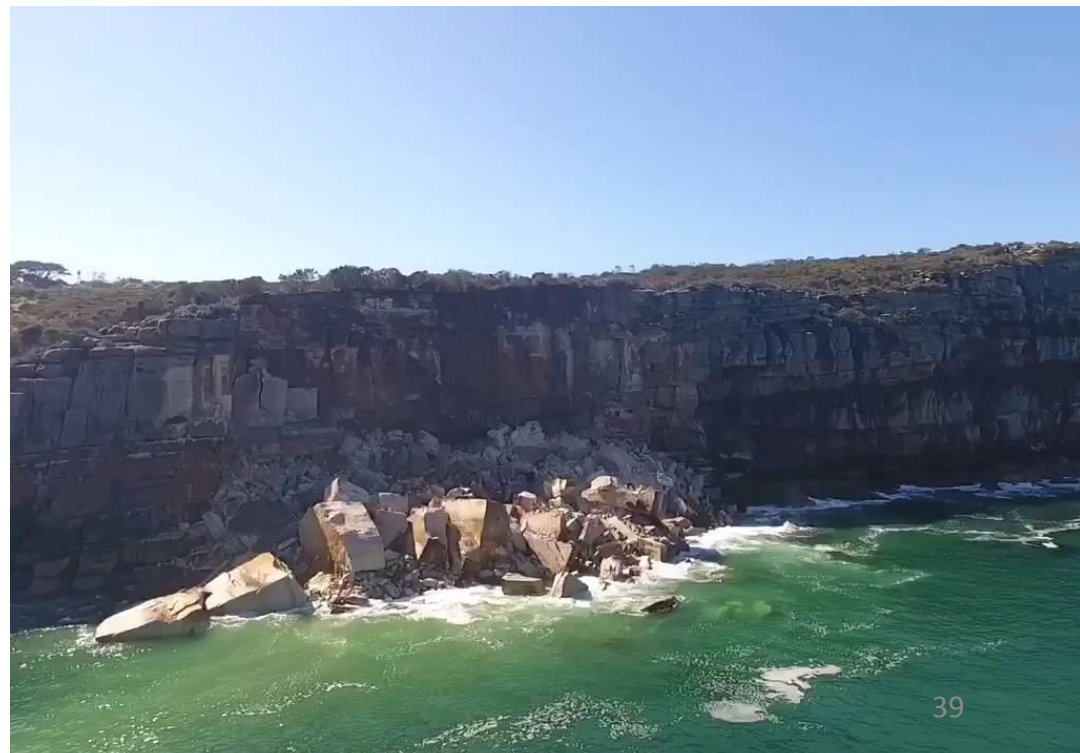
# Urušavanje padina (*slope failure*)

- **Odroni (*rock falls*)**

- nastaju odlamanjem dijela strme padine
- pojedini blokovi kreću se niz padinu slobodnim padom i zaustavljaju se u podnožju padine gdje tvore **sipar** (*talus cone*)
- distribucija detritusa u siparu slijedi Gaussovu raspodjelu, a najveći klasti (koji imaju najveći moment inercije) dospijevaju najdalje, dok je vrh sipara redovito izgrađen od najsitnijih čestica
- strmina sipara (nagib padine) odražava **kut zadržavanja** (*angle of repose*)



# Primjeri odrona



# Vrste masovnog trošenja

Razlikujemo 2 osnovna tipa masovnog trošenja, iako postoje mnogi miješani tipovi i prijelazi iz jednog tipa u drugi:

- **urušavanje padina (*slope failure*)**

- naglo propadanje padine, uslijed čega se niz padinu detritus prenosi klizanjem, kotrljanjem ili slobodnim padom
- klizišta, odroni → mogu se dogoditi u bilo kojoj vrsti stijene

- **tečenje sedimenta (*sediment flows*)**

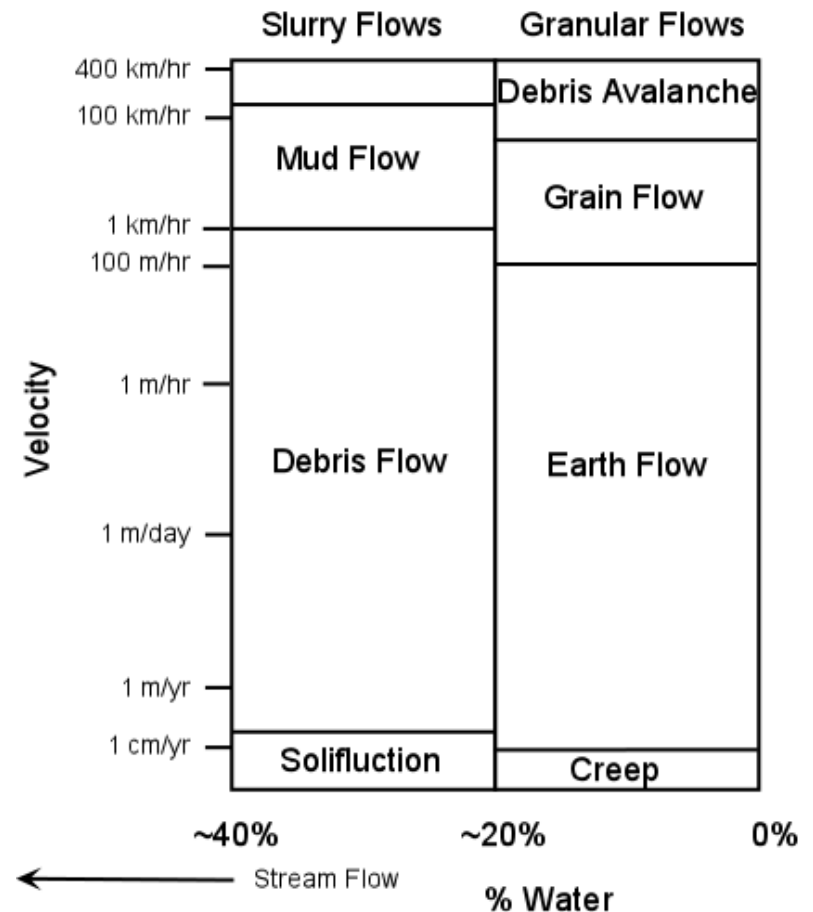
- tečenje sedimenta pomiješanog s vodom ili zrakom
- bujični tokovi (*slurry flows*), zrnski tokovi (*granular flows*)



# Tečenje sedimenta (*sediment flows*)

Tok sedimenta je mješavina stijena i/ili regolita s vodom i/ili zrakom. Ovisno o količini vode razlikujemo:

- **bujične tokove (*slurry flows*)**
  - sadrže 20-40% vode i zasićeni su vodom, a povećanjem količine vode pretvaraju se u potoke
  - tu spadaju:
    - soliflukcija
    - tečenje detritusa (*debris flow*)
    - muljni tokovi (*mud flows*)
- **zrnske tokove (*granular flows*)**
  - relativno suhi jer sadrže <20% vode
  - fluidna svojstva daje im primiješan zrak, ali se tečenje održava sudaranjem čestica
  - tu spadaju:
    - puzanje (*creep*)
    - tečenje tla (*earth flow*)
    - zrnski tokovi (*grain flows*)
    - lavine (*debris avalanches*)



# Soliflukcija

- tečenje tla
- spori proces čija brzina doseže tek nekoliko cm godišnje i njome nastaju humčaste padine
- kretanje tla omogućuje velika količina vode u tlu tijekom većeg dijela godine
- tipična za područja sa sezonskim otapanjem snijega/leda



Soliflukcija na Aljasci

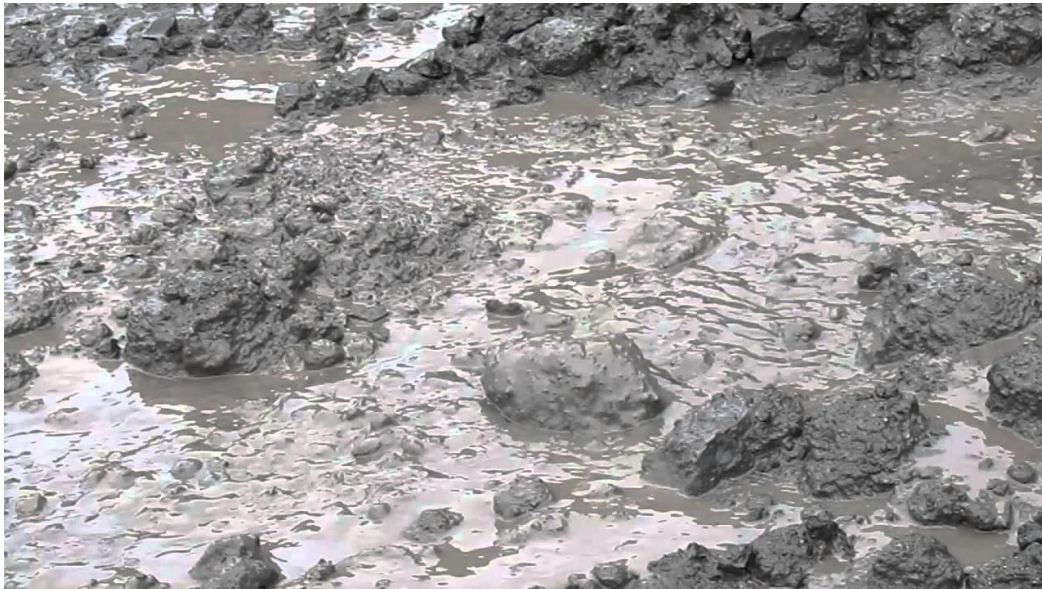
# Tečenje detritusa (*debris flow*)

- kretanje vodom zasićenog detritusa niz padinu
- doseže brzine do 1 km/h (često se poistovjeđuje s muljnim tokom pa se navode veće brzine)
- za nastanak toka detritusa važan je mulj (razmočena glina) koja smanjuje unutrašnje trenje u toku i omogućuje brzo tečenje
- obično nastaje nakon jakih kiša koje razmoče nekonsolidirani sediment i glinu iz tla
- ponekad nastaju evolucijom iz klizišta
- zaustavljaju se naglo „smrzavanjem“ kada izgube vodu
- zaustavljeni tokovi detritusa imaju neravnu površinu s humcima i dolovima

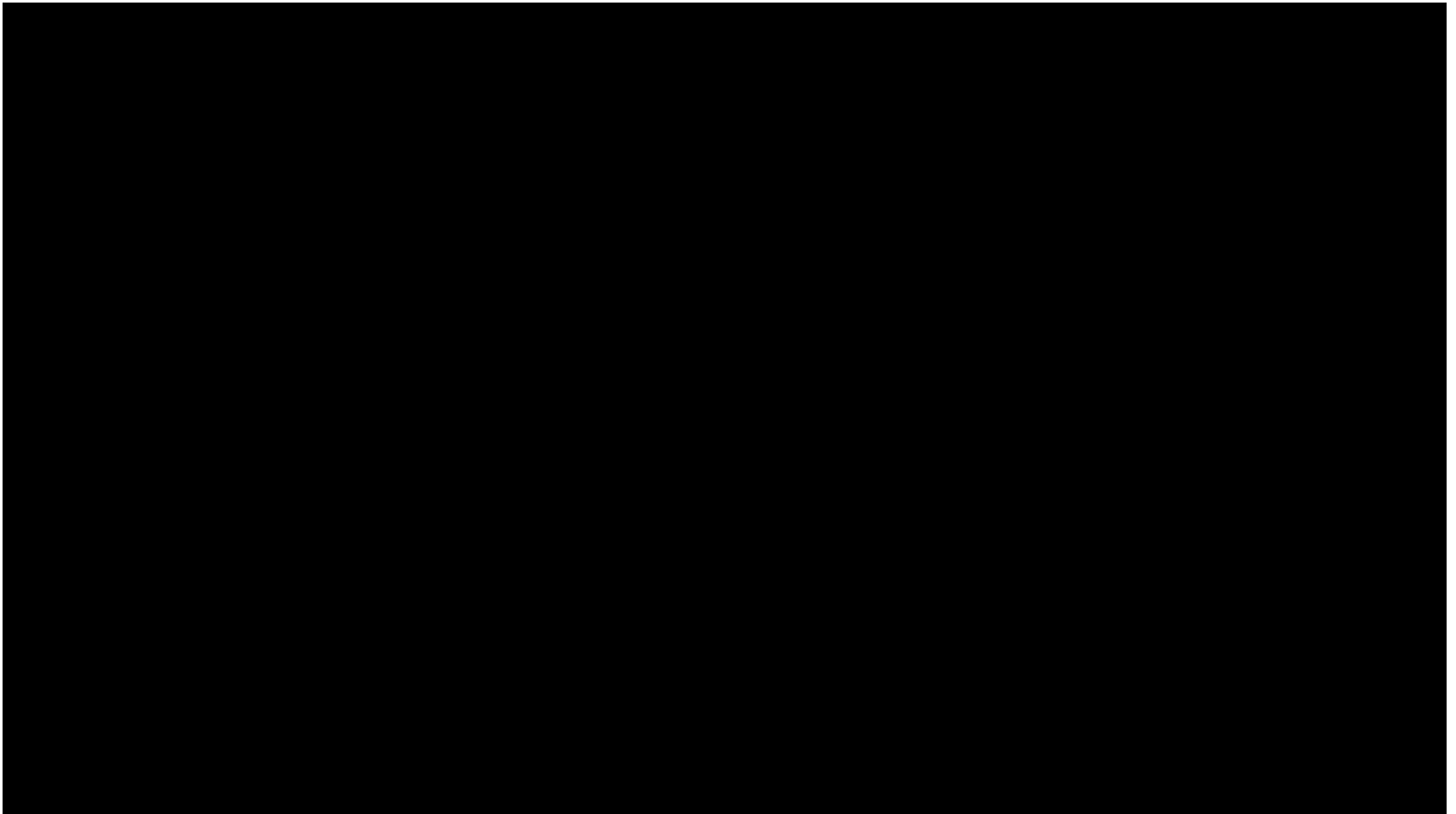


# Muljni tokovi (*mud flows*, „*blatne bujice*“)

- fluidni tokovi mješavine sedimenta s velikom količinom mulja i vode koji teku poput svježeg betona
- tečenje je brzo i doseže 100 km/h
- nastaju nakon jakih kiša u području s jakim kemijskim trošenjem koje stvara glinovitu koru trošenja, u opožarenim područjima ili u područjima s naslagama vulkanskog pepela
- teku daleko i često se kreću aluvijalnim dolinama i potočnim koritima
- muljni tokovi koji nastaju na razmočenom vulkanskom pepelu su **lahari**; mogu biti vrući ili hladni



Tečenje detritusa, Švicarska 2018. (2:40)



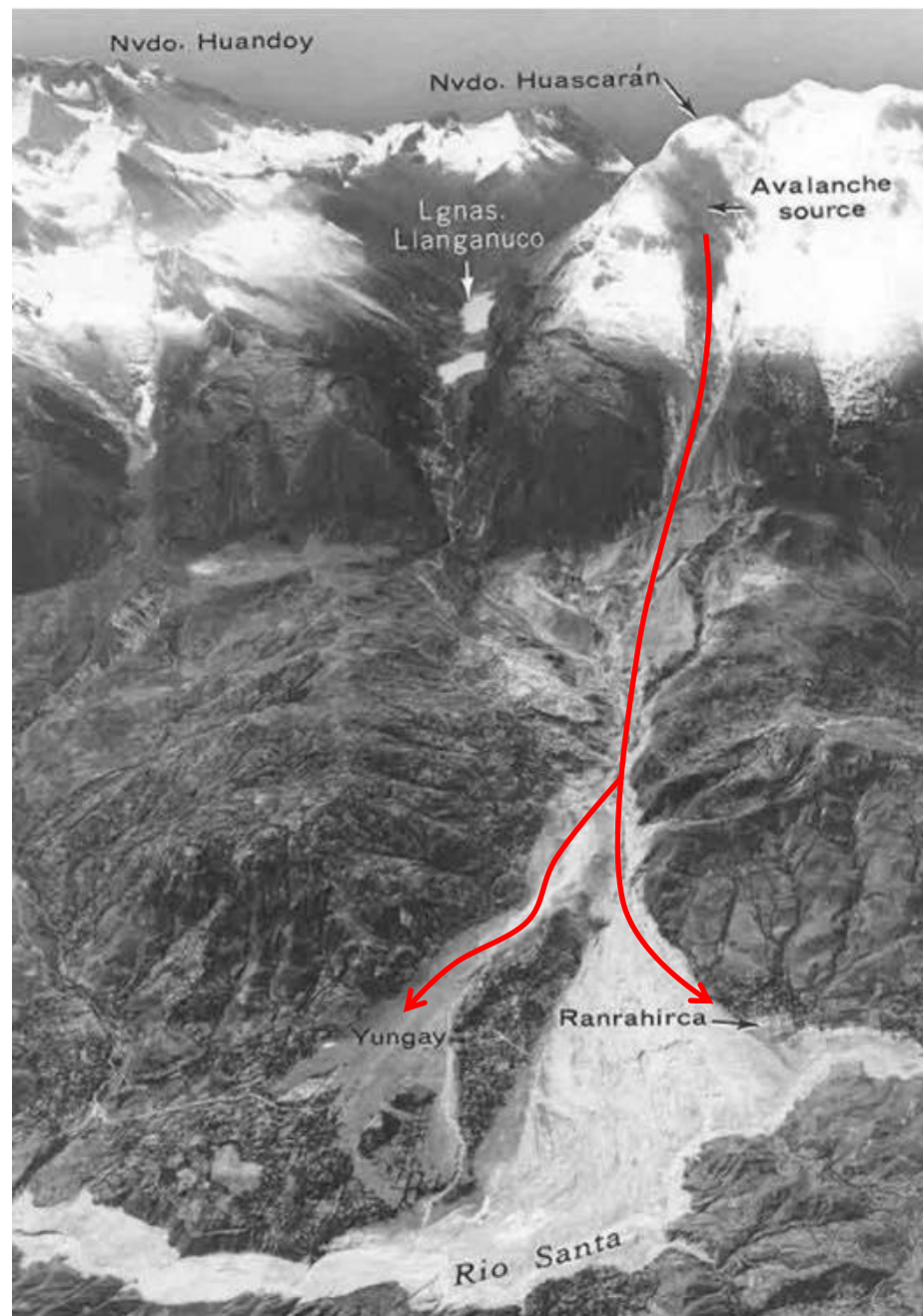
Lahari su vrsta muljnih tokova (1:28)



## Primjer: Mt. Nevado Huascarán (Peru), 1970.

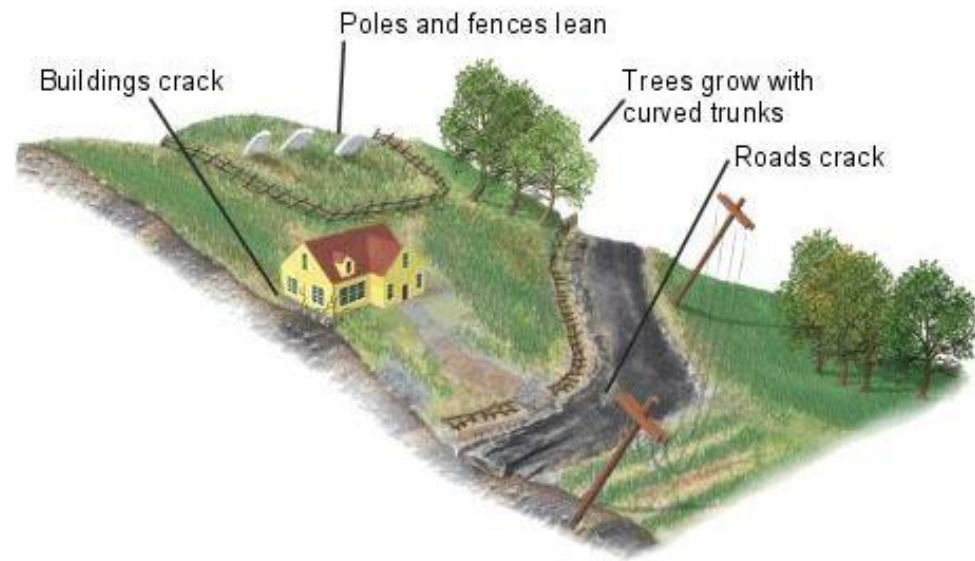
U svibnju 1970. potres 100 km od mjesta Yungay pokrenuo je odron s vrha Nevado Huascarán (6663 m n.v.). Blok leda širok 900 m i dug 1,6 km srušio se kao lavina u dolinu i pretvorio u **muljni tok** volumena 80.000.000 m<sup>3</sup>. Tok se spustio 3700 m i prešao 18 km brzinom od 280-335 km/h!

Muljni tok je dospio do rijeke Rio Santa i zatrpio selo Ranrahirca, a jedan dio toka je preskočio greben i srušio se na grad Yungay. Procjenjuje se da je zbog posljedica muljnog toka poginulo oko 20.000 ljudi.



# Puzanje sedimenta (*creep*)

- kontinuirano kretanje regolita niz padinu
- nastaje gotovo na svim padinama
- male je brzine, pa je gotovo nezamjetljivo, osim po tragovima koji se vide na građevinama (npr., pukotine na asfaltnim i betonskim cestama, zgradama, devijacije ograda, nagnuti el. stupovi) i vegetaciji (svinuta stabla)



Svinuta debela stabala



Deformirana ograda



Valovito tlo

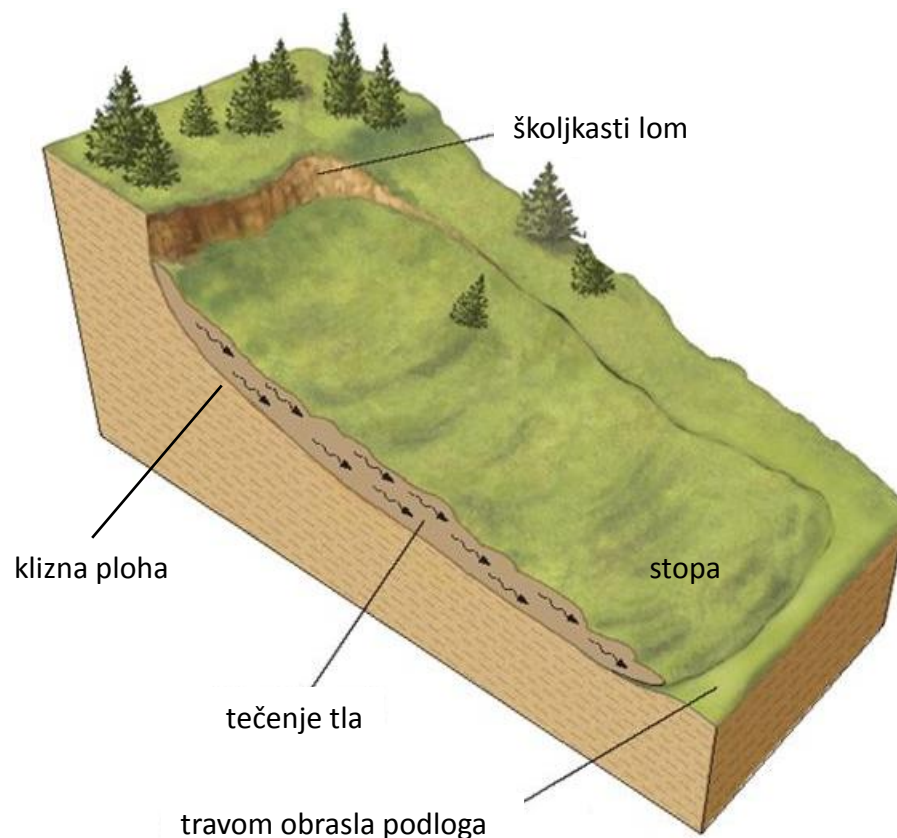


Nagnuti el. stupovi



# Tečenje tla (*earth flow*)

- nastaje nakon jakih kiša
- brži proces od puzanja, brzine su u rasponu od nekoliko cm/god do stotinjak metara na dan
- karakteristično za klizišta
- pokreće se na kliznoj plohi (ožiljku) i nastavlja kao jezik (stopa) niz padinu i u podnožju



Tečenje tla, Kirgistan



Tečenje tla, Kalifornija



Tečenje tla, Kalifornija

Brzo klizište u Kalabriji, Italija, 16.2.2010. (2:16)



# Zrnski tokovi (*grain flows*)

- nastaju na relativno suhim podlogama
- zahvaćaju nekonsolidirani sediment
- kretanje se podržava elastičnim sudaranjem čestica, za njega nije potreban fluid
- najčešće vidljivi na eolskim dinama
- relativno velike su brzine, ali ovim procesom nastaje samo tanak sloj sedimenta (u eolskim okolišima svega nekoliko cm)
- zbog sudaranja čestica dolazi do dinamičkog prosijavanja (*dynamic seiving*) koje stvara inverznu graduiranost sedimenta (krupnije čestice se nalaze iznad sitnijih)

Zrnski tokovi na eolskim dinama u Sahari, Maroko



Navajo sandstone, SAD

## Zrnski tok u suhom eolskom pijesku, Yukon (0:52)



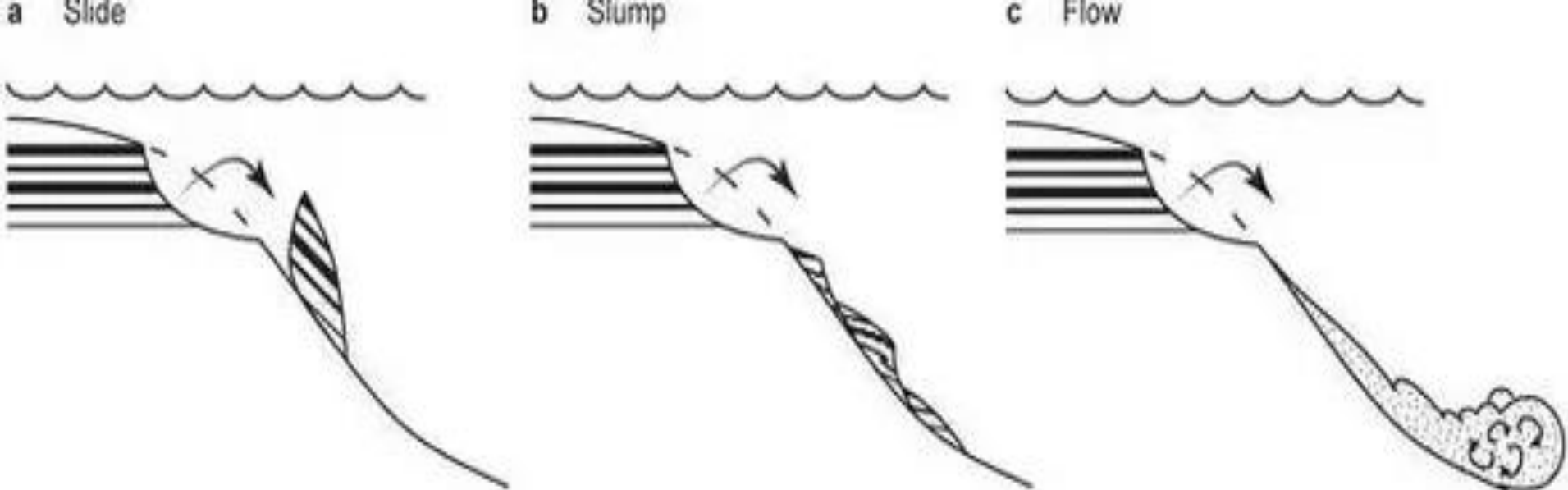
# Lavine (*avalanches*)

- vrlo brzi tokovi mješavine stijena i regolita (ali i snijega, leda i zraka)
- nastaju urušavanjem padine, lomljenjem seraka ili klizanjem svježeg snijega
- mogu se nastaviti kretati i preko relativno blago nagnutih padina
- mogu biti pokrenute različitim uzrocima:
  - gravitacijom na preopterećenim padinama
  - vulkanskim erupcijama
  - potresima

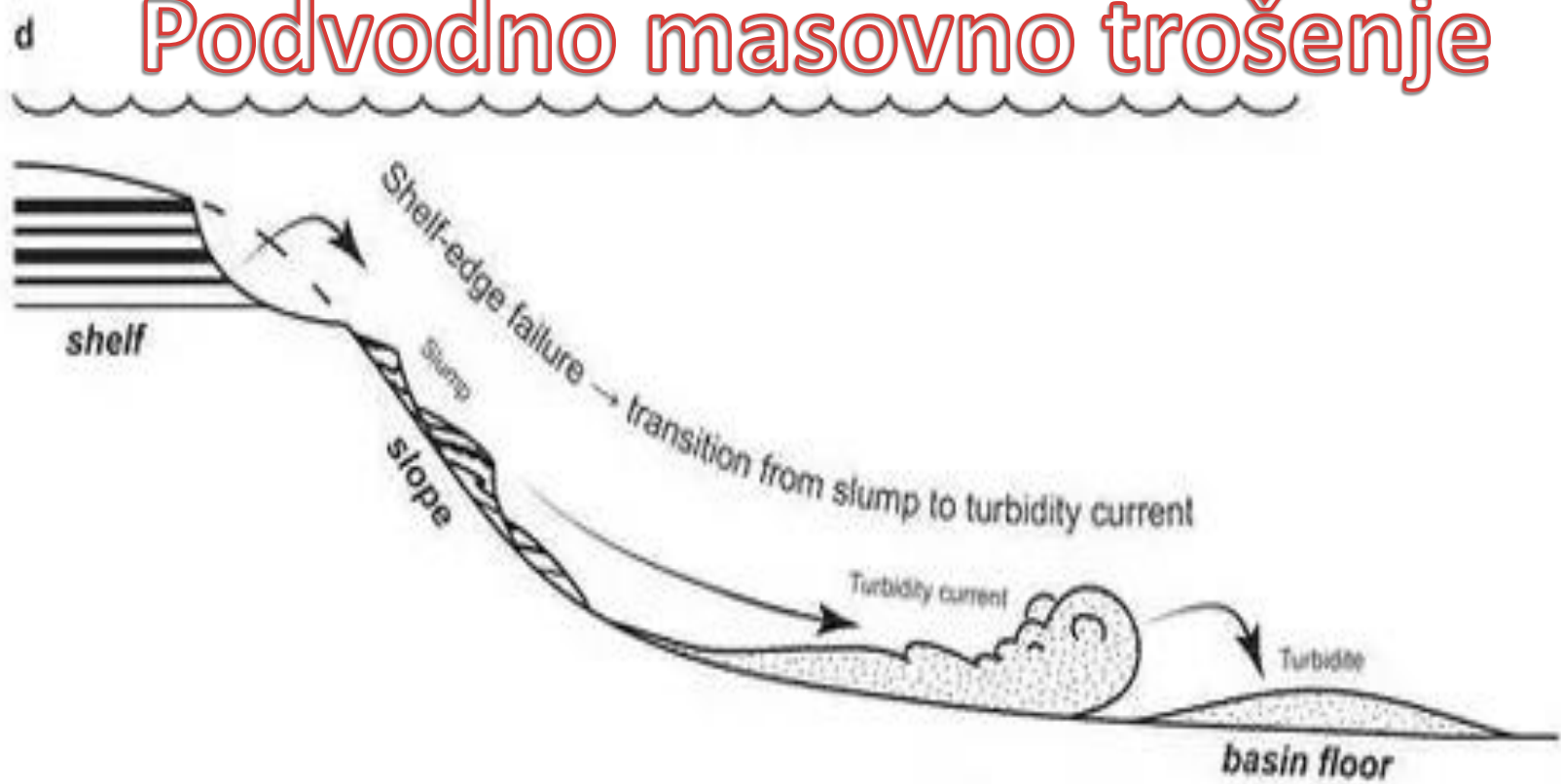


# Lavine imaju veliku transportnu i erozijsku moć. Italija



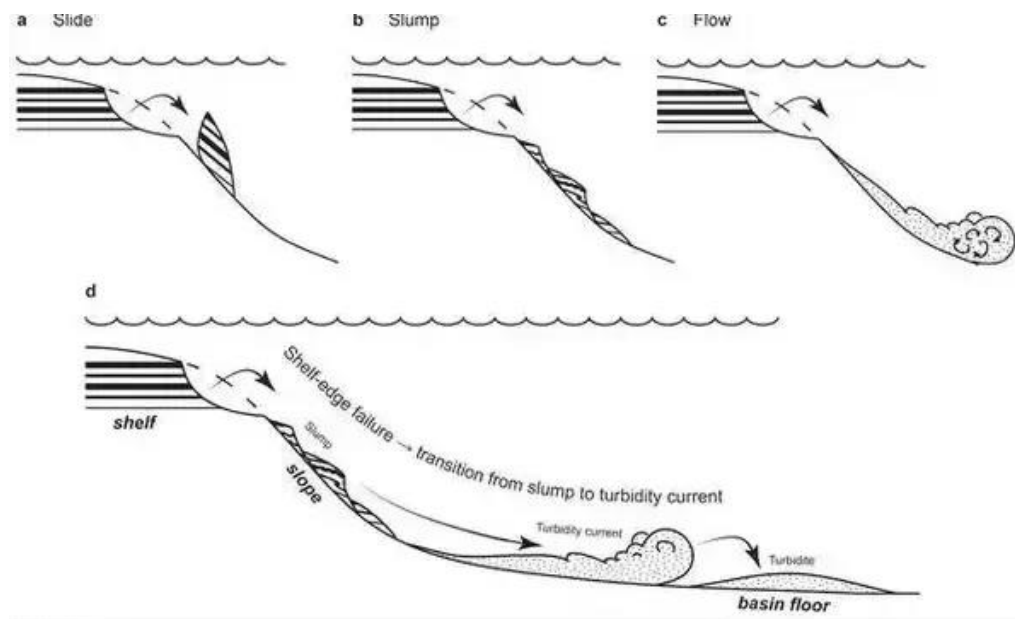


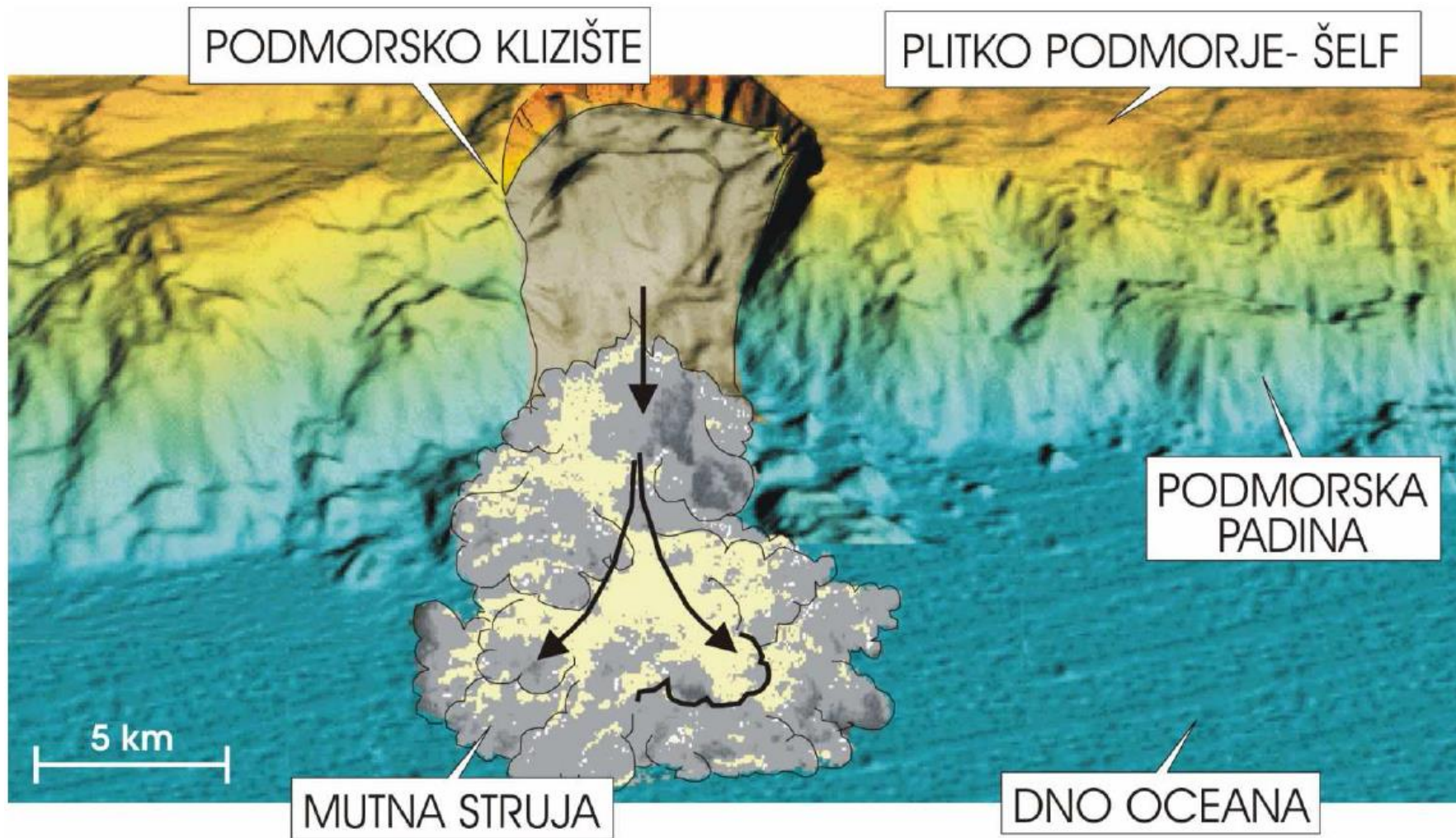
# Podvodno masovno trošenje



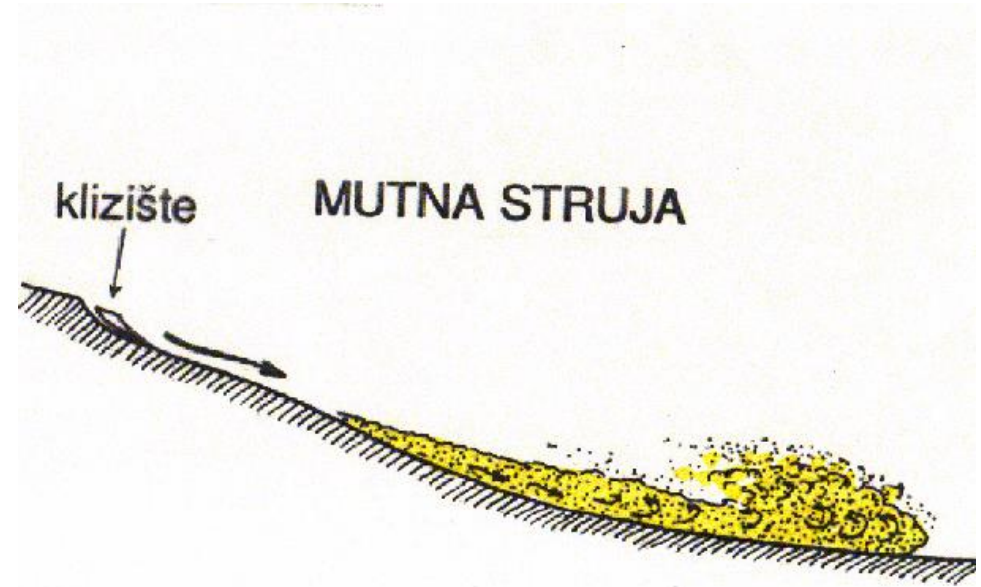
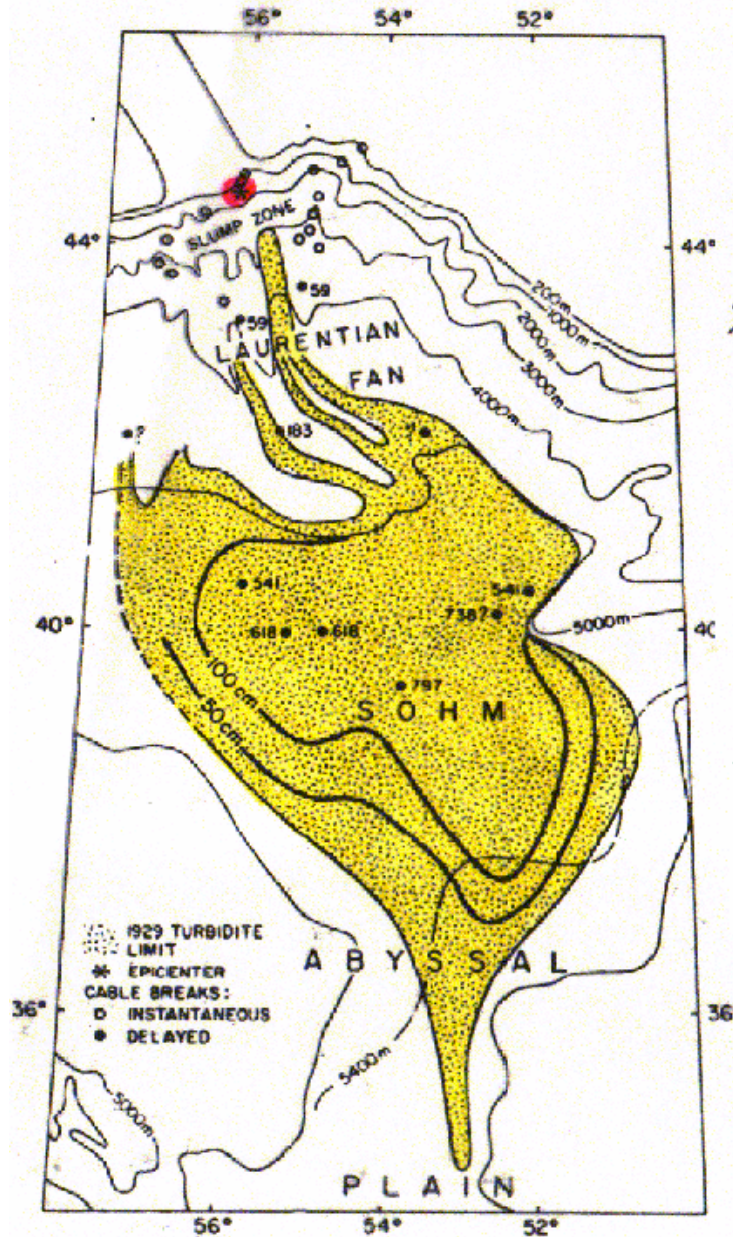
# Podvodno masovno trošenje

- nastaje na podmorskim (i jezerskim) padinama i u oceanskim bazenima
- urušavanje padine može nastupiti zbog brze akumulacije velike količine sedimenta i preopterećenja padine i/ili dodatnog ustrmljenja padine, ali i potresa
- u podmorju često nastaju rotacijska i translacijska klizišta i tečenje detritusa





Mutna struja se kreće niz padinu velikom brzinom i na svom putu može prekinuti podmorske kablove. Ona prenosi veliku količinu pijeska i mulja koji se na dnu talože kao pješčano-muljni sediment – **TURBIDIT**.



Podmorsko klizište pokrenuo je  $M=7.2$  potres s epicentrom u području Grand Banksa (crveni krug) 18.11.1929. Klizanje niz podmorsku padinu prešlo je u mutnu struju koja je dospjela 720 km daleko i iz koje je taloženjem nastao sediment – TURBIDIT.

Na putu niz padinu klizište i mutna struja prekinuli su niz podmorskih kabela, posljednji 13 sati nakon potresa, po čemu je izračunata najveća brzina od 85 km/h.

# Primarni učinci padinskih procesa

- premještanje stijenskog materijala
- retrogradacija padina
- klizanje, odronjavanje
- zatrpavanje
- promjena morfologije padine
- gubitak/smanjenje obradivih površina

# Sekundarni i tercijarni učinci padinskih procesa

## Sekundarni učinci

- oštećene građevine i infrastruktura
- smrt, ozljeđivanje
- poplave
- tsunami
- potresi

## Tercijarni učinci

- promjene topografije
- promjene vodotoka
- gospodarski gubitci

# Predviđanje i procjena hazarda

U mjestu Ronchi di Termeno (sj. Italija), 2014. g. odronila su se dva ogromna bloka i izazvala materijalnu štetu, srećom bez ljudskih žrtava. Jedan blok se zaustavio u vinogradu, a drugi iza kuće. Veliki blok u prednjem dijelu slike potječe od starijeg odrona.

# Predviđanje i procjena hazarda

Svi poznati slučajevi katastrofa koje su izazvali padinski procesi pokazuju da su postojale indicije o ranijim događajima na temelju kojih se moglo zaključiti o postojanju hazarda znatno prije same katastrofe.

**Geološko istraživanje** može pokazati:

- da je neko područje izgrađeno na geomehanički nepovoljnoj podlozi, npr. glinama i sl.
- koliko su često i koliko dugo padine izložene padinskim procesima. U podnožju možemo vidjeti sedimente nastale pri ranijim događajima, klizne ožiljke

Dalmacija &gt; Split županija

VOZAČI, POZOR! 19.03.2018. | 14:53

## Novi odron u okolici Omiša: zbog urušavanja kamenog zida zatvorena cesta od Radmanovih mlinica do Kučića



Piše G.Z.  
Foto Joško Ponoš / Ilustracija /  
HANZA MEDIA



Kiša koja već tjednima ne posustaje na području srednje Dalmacije ponovno je ugrozila strme rubove kanjona Cetine, pa je zbog urušavanja kamenog zida do daljnjeg zatvorena prometnica od Radmanovih mlinica do Kučića.

Iz Županijske uprave za ceste obavještavaju vozače da im na raspolaganju ostaje zamjenski smjer preko Svinišća do Kučića, te napominju kako je na svim ključnim mjestima postavljena privremena prometna signalizacija.



## Klizište u Hrvatskoj Kostajnici još aktivno, građani u strahu od novih odrona



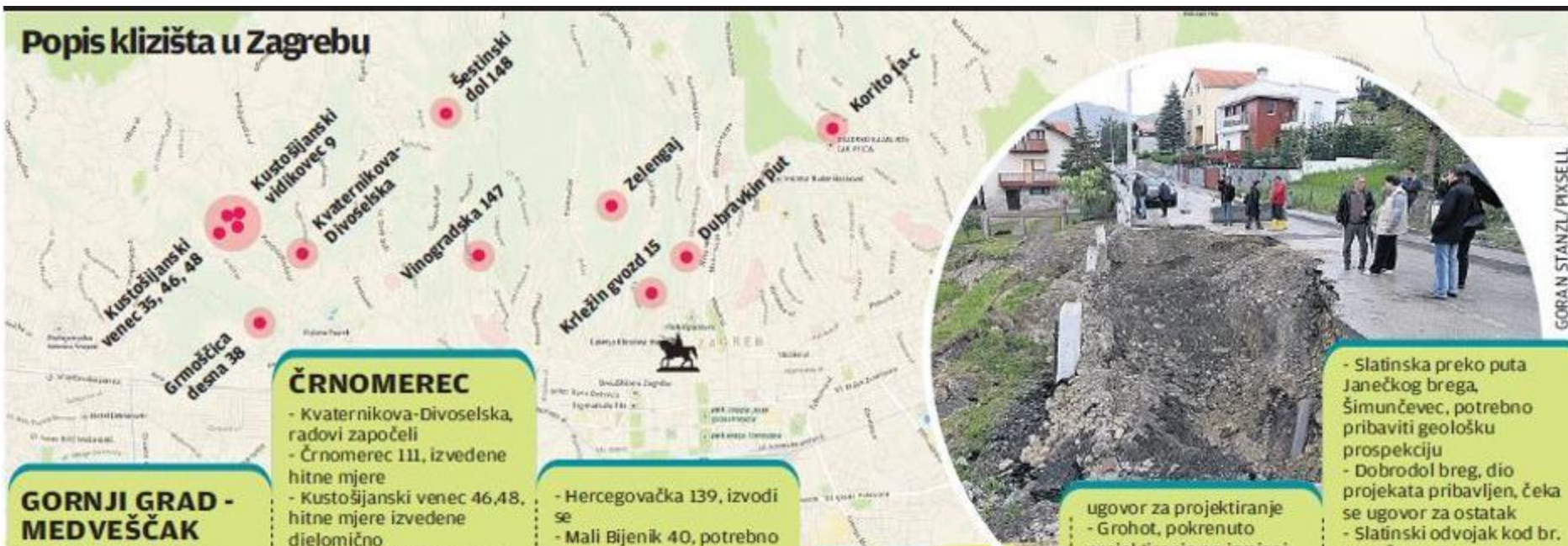
Autor: S.M./M.M./HRT  
14. 03. 2018. prije 27 tjedana

U Hrvatskoj Kostajnici vodostaj Une lagano opada, no klizište je još aktivno, pa policija i dalje osigurava ugroženo područje. Ljudi su u strahu nakon što je jučer u trenu nestalo sedam kuća i nekoliko gospodarskih objekata. Kako bi se spasili, bježali su kroz prozore i preko balkona. Dvadeset i troje stanovnika ostalo je bez svega što posjeduju, većina njih sada boravi u obližnjem hotelu. Traži se rješenje za trajni smještaj. Vlada će na sutrašnjoj sjednici donijeti zaključak o njihovom stambenom zbrinjavanju.

# Klizište u Hrvatskoj Kostajnici 13.03.2018. (video 10:09)



## Popis klizišta u Zagrebu



### GORNJI GRAD - MEDVEŠČAK

- Istarska 58-62, čeka se ugovor za projektiranje
- Dubravkin put, započeli radovi
- Zelengaj, radovi sanacije u završnoj fazi
- Dvorničićeva zid, u tijeku ishodenje građevinske dozvole

### MAKSIMIR

- Korito 1a-c, u tijeku hitni radovi sanacije
- Krležin gvozd 15, sanirano

### ČRNOMEREC

- Kvaternikova-Divoselska, radovi započeli
- Črnomerec 111, izvedene hitne mjere
- Kustošijanski venec 46, 48, hitne mjere izvedene djelomično
- Kustošijanski vidikovac 9, hitne mjere izvedene djelomično
- Sokolovac odvojak, pokrenuti projektiranje po izmjeni plana nabave
- Kustošijanski venec 35, izdan Nalog Zagrebačkim cestama
- Koštacin, sanirano
- Kustošijanski venec odv. - Lea Mulera, u fazi projektiranja
- Zamorski breg 4b, 8a, izdan Nalog Zag. cestama

- Hercegovačka 139, izvodi se
- Mali Bijenik 40, potrebno sanirati
- Vinogradska 147, potrebno sanirati
- Vaupotičeva 69
- Zamorski breg 12c- potrebno sanirati
- Istarska 56-58, potrebno sanirati
- Grmožičica desna 38, iseljenje
- Orehovac 9b
- Šestinski dol 148, sanirano
- Šestinski dol odvojak, ispod ulice Čukovići, izdan nalog Zagrebačkim cestama

### SESVETE

- Turčinski put, izrađen projekt
- Kralji 33, izvedene mjere sanacije
- Tidaki, Goranec, izvest će se iz ugovora za hitne sanacije
- Paruževinska 113
- Liševo iznad groblja u Kašini, potrebno pribaviti geološku prospekciju
- Blaguška 90, čekamo

- ugovor za projektiranje
- Grohot, pokrenuto projektiranje po izmjeni plana nabave
- Paji 6, potrebno pribaviti geološku prospekciju
- Gajeva 6, radovi počinju
- Cvijetna 18, prvo treba staviti vodospremu van upotrebe
- Pajurini, Goranec, izdan nalog Zagrebačkim ceste
- Drenovec, Goranec, potrebno pribaviti geološku prospekciju
- Kunjkova, Moravče, nalog Zag. cestama

- Slatinska preko puta Janečkog brega, Šimunčevac, potrebno pribaviti geološku prospekciju
- Dobrodoš brež, dio projekata pribavljen, čeka se ugovor za ostatak
- Slatinski odvojak kod br. 40a, Šimunčevac, potrebno pribaviti geološku prospekciju
- Pavlovići 4, Goranec, potrebno pribaviti geološku prospekciju
- Veliki brijeg, pokrenuti natječaj za sanaciju po izmjeni plana nabave
- Planinarska preko puta kbr. 19, Planina Gornja, potrebno pribaviti geološku prospekciju
- Graberje 46
- Graberje 56



GORAN STANZL/PIXSELL

# Pojednostavljena karta gustoće klizišta na podsljemenskom urbaniziranom dijelu Grada Zagreba

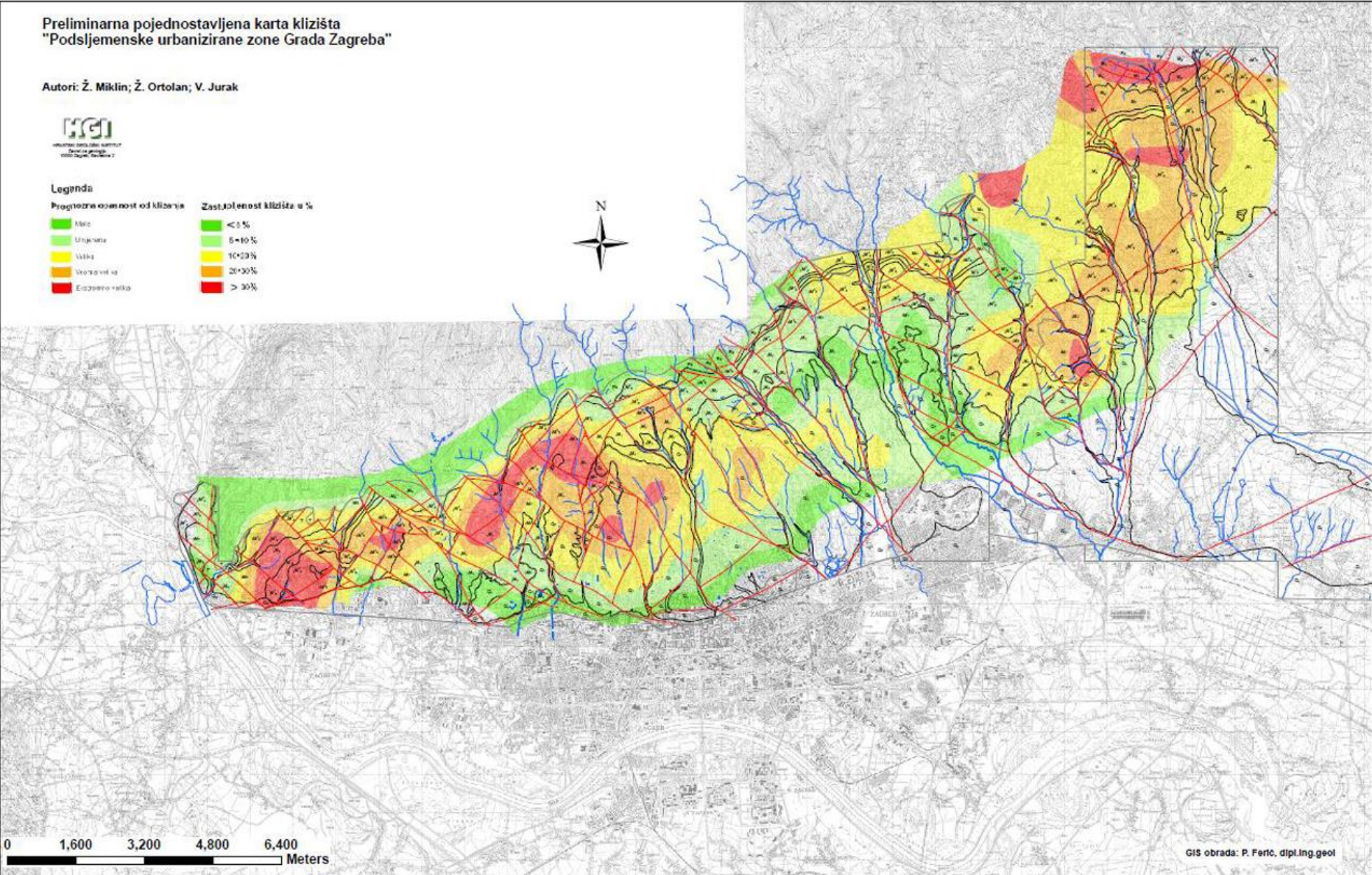
Preliminarna pojednostavljena karta klizišta  
"Podsljemenske urbanizirane zone Grada Zagreba"

Autori: Ž. Miklin; Ž. Ortolan; V. Jurak



Legenda

Prognozirana opasnost od klizanja	Zastupljenost klizišta u %
Malo	< 5 %
Umgredna	5-10 %
Srednja	10-20 %
Visoka	20-30 %
Ekstremno visoka	> 30 %

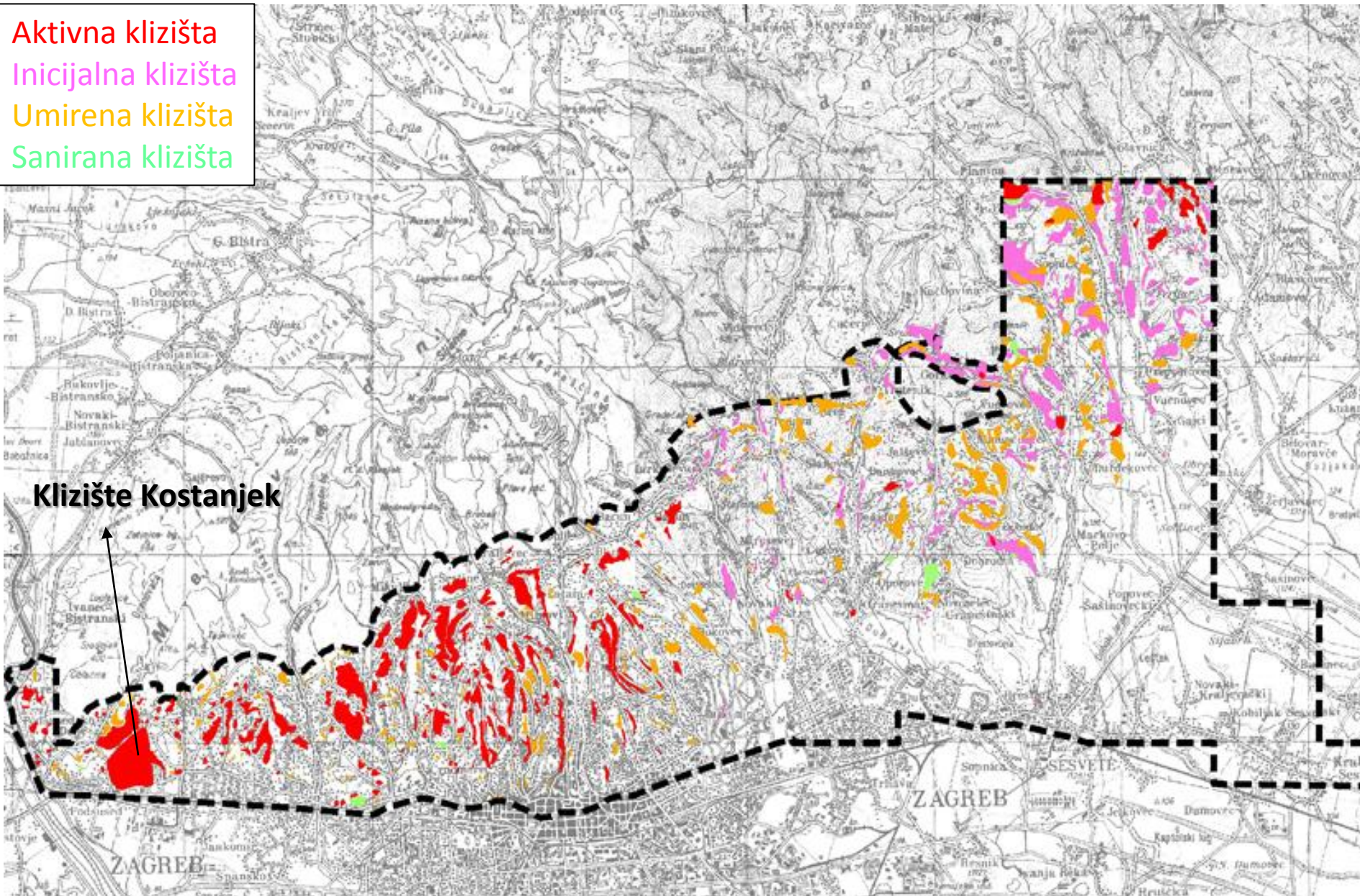


GIS obrada: P. Ferić, dipl.ing.geol

U Zagrebu je registrirano 700-ak klizišta!

Aktivna klizišta  
Inicijalna klizišta  
Umirena klizišta  
Sanirana klizišta

Klizište Kostanjev



# NAŠI REPORTERI NA JEDNOM OD NAJVEĆIH SVJETSKIH KLIZIŠTA U URBANOJ SREDINI, U ZAGREBAČKOM PODSUSEDU Gradani strepe od katastrofe: 'Sve je deformirano'

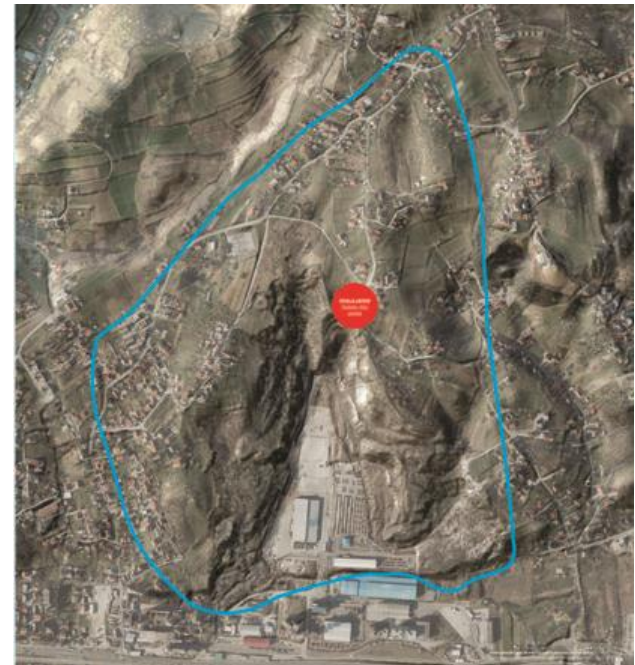
AUTOR: Matija Boltižar OBJAVLJENO: 24.03.2018. u 18:49



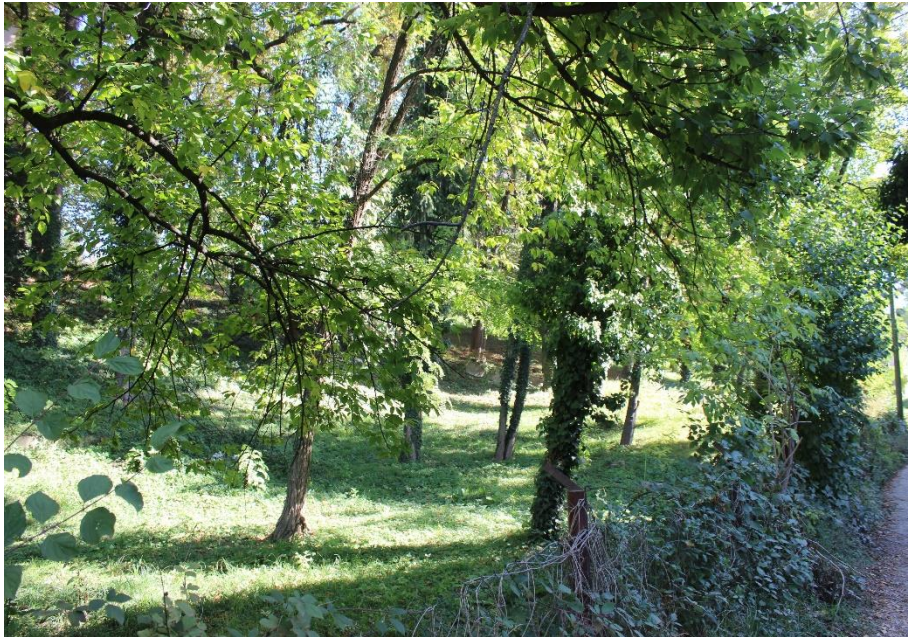
*Već je pola stoljeća poznato da se u Podsusedu, pokraj cementare, nalazi jedno od najvećih svjetskih klizišta u urbanoj sredini. Iako je klizište aktivno još od 1963., ništa se ne čini da se taj problem sanira, a stanovnici samo čekaju da se dogodi katastrofa*

# Klizište Kostanjek (Podsused, Zagreb)

Klizište Kostanjek najveće je klizište u Hrvatskoj, a aktivirano je 1963. g. zbog miniranja i eksploatacije lapora i vapnenca za potrebe cementare „Sloboda” u Podsusedu. Kretanje klizišta otad kontinuirano oštećuje privatne i industrijske objekte na površini od oko 1,2 km<sup>2</sup>, zbog čega je daljnji razvoj tog dijela Zagreba onemogućen do sanacije klizišta. Eksploatacija je prekinuta 1988. g., ali klizište je i dalje aktivno i još uvijek nesansirano. Prema tipu, Kostanjek je translacijsko klizište s nekoliko kliznih ploha, a pokrenuti volumen iznosi oko 32 milijuna m<sup>3</sup>. Čelo, stopa i bokovi klizišta nisu jasno vidljivi jer je kretanje klizišta iznimno sporo, ali dugotrajno!



# Klizište Kostanjek u Podsusedu (rujan 2018.)



# Predviđanje i procjena hazarda

**Praćenje (monitoring)** na strmim padinama može pokazati širenje pukotina u stijenama ili u ledu, što se može neposredno geodetski mjeriti i može poslužiti kao argument za prepoznavanje masovnog trošenja.

**Praćenje nivoa podzemnih voda** (piezometarsko praćenje) ili voda u stijenama je lako izvedivo, a uočene promjene mogu biti najava masovnog trošenja.

**Prostorni planeri** moraju uvažiti geološke hazarde prikazane na kartama rizika/ugroženosti nekog područja.

**Istraživanje geoloških procesa** može poslužiti za predviđanje njihove dinamike, evolucije, dosega i učestalosti.



Senzori za praćenje padinskih procesa postavljeni su na krajeve metalnih držača zaštitne mreže.

# Procjena i smanjenje rizika

Masovno trošenje može biti izuzetno opasno i uzrokovati goleme materijalne štete i brojne ljudske žrtve.

Međutim, u većini slučajeva uz adekvatno znanje moglo se:

- prepoznati ugrožena područja
- zaobići nestabilne padine
- stabilizirati nestabilne padine primjerenim geotehničkim zahvatima i pošumljavanjem
- postaviti susatav ranog upozorenja

## Primjer: monitoring planine Mannen (Norveška)

Planina Mannen (1294 m n.v.) promatra se od 2009. g. zbog mogućnosti velikog odrona, a od 2014. g. vrše se i precizna mjerenja. Predviđa se da bi se moglo odroniti oko 100.000.000 m<sup>3</sup> stijena, obrušiti se u dolinu i učiniti ogromne štete obližnjim naseljima i prometnicama. Odron bi mogao zatrpiti rijeku Rauma, što bi moglo dovesti do velikih poplava. Stanovništvo obližnjih sela bilo je evakuirano 2014. i 2017. godine zbog crvene uzbune, no do odrona još uvijek nije došlo. Čak se razmišljalo o induciranju odrona ubrizgavanjem vode u pukotine, ali od te se ideje odustalo. Mjerenja pokazuju da se pukotine šire i stijenska masa kreće po nekoliko cm godišnje, a u posljednje vrijeme i po nekoliko cm na dan. Najveći pomak dosad izmjeren bio je u rujnu 2018. i iznosio je 60 cm!



Total movement [cm] recorded at Mannen since 6 October 2014. <sup>[3]</sup>	
Date	Centimetres (% change from two days previously)
6 Oct.	0
8 Oct.	0
10 Oct.	1
12 Oct.	2 (+100%)
14 Oct.	3 (+50%)
16 Oct.	3 (0%)
18 Oct.	4 (+33.3%)
20 Oct.	4 (0%)
22 Oct.	6 (+50%)
24 Oct.	7 (+16.7%)
26 Oct.	9 (+28.6%)
28 Oct.	11 (+22.2%)
30 Oct.	17 (+54.5%)
1 Nov.	20 (+17.6%)
3 Nov.	23 (+15%)
5 Nov.	25 (+8.7%)
7 Nov.	26 (+4%)
9 Nov.	27 (+3.8%)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Mannen>

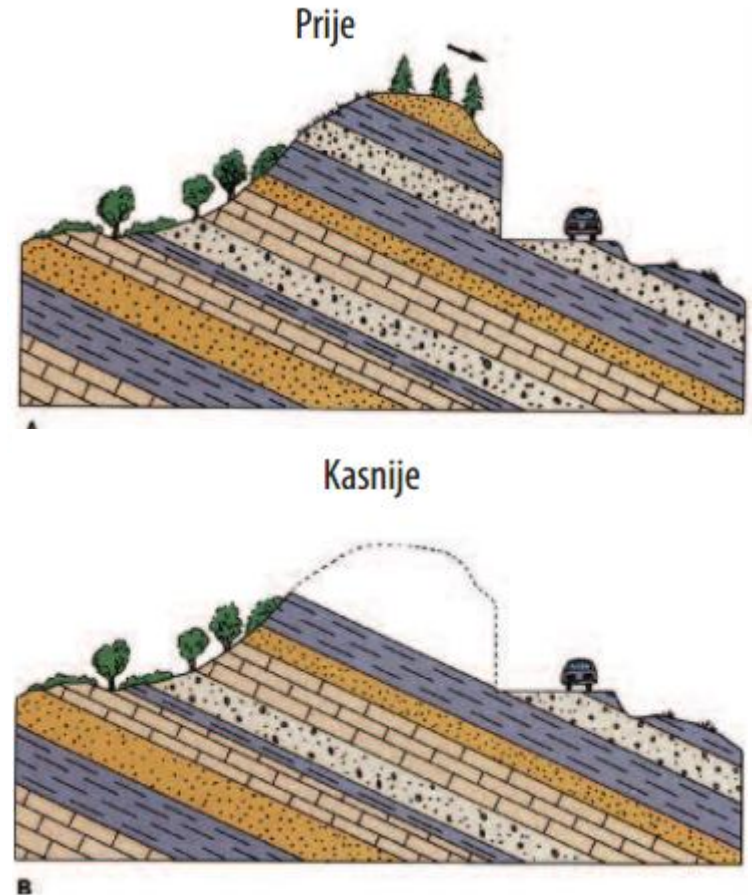


[https://www.nve.no/Media/5480/standard\\_veslemannen.png](https://www.nve.no/Media/5480/standard_veslemannen.png)

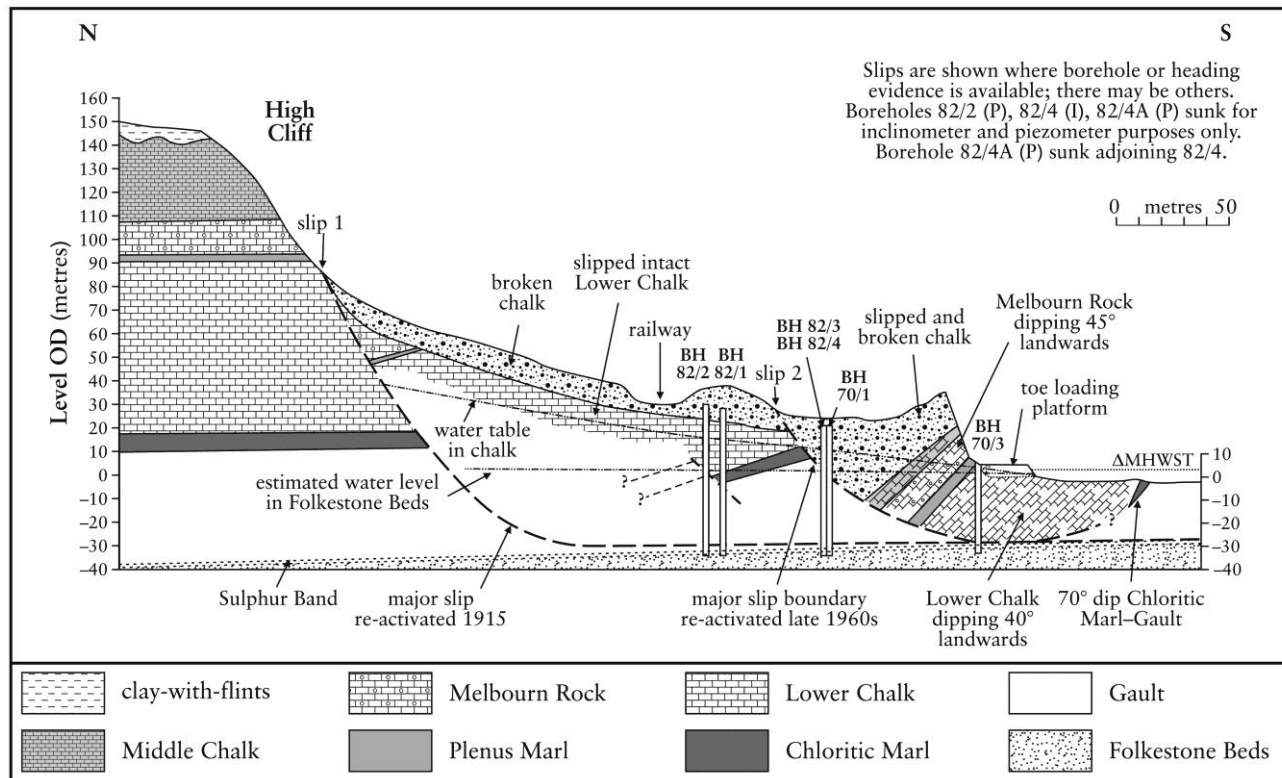
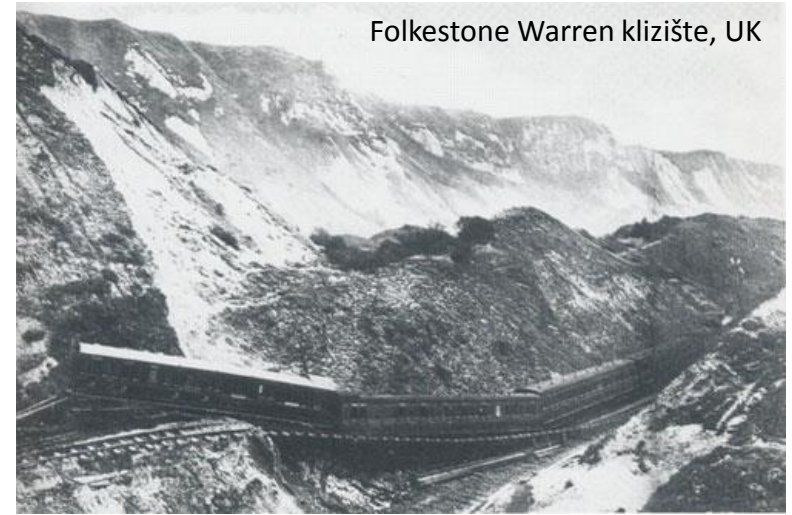
# Smanjenje rizika

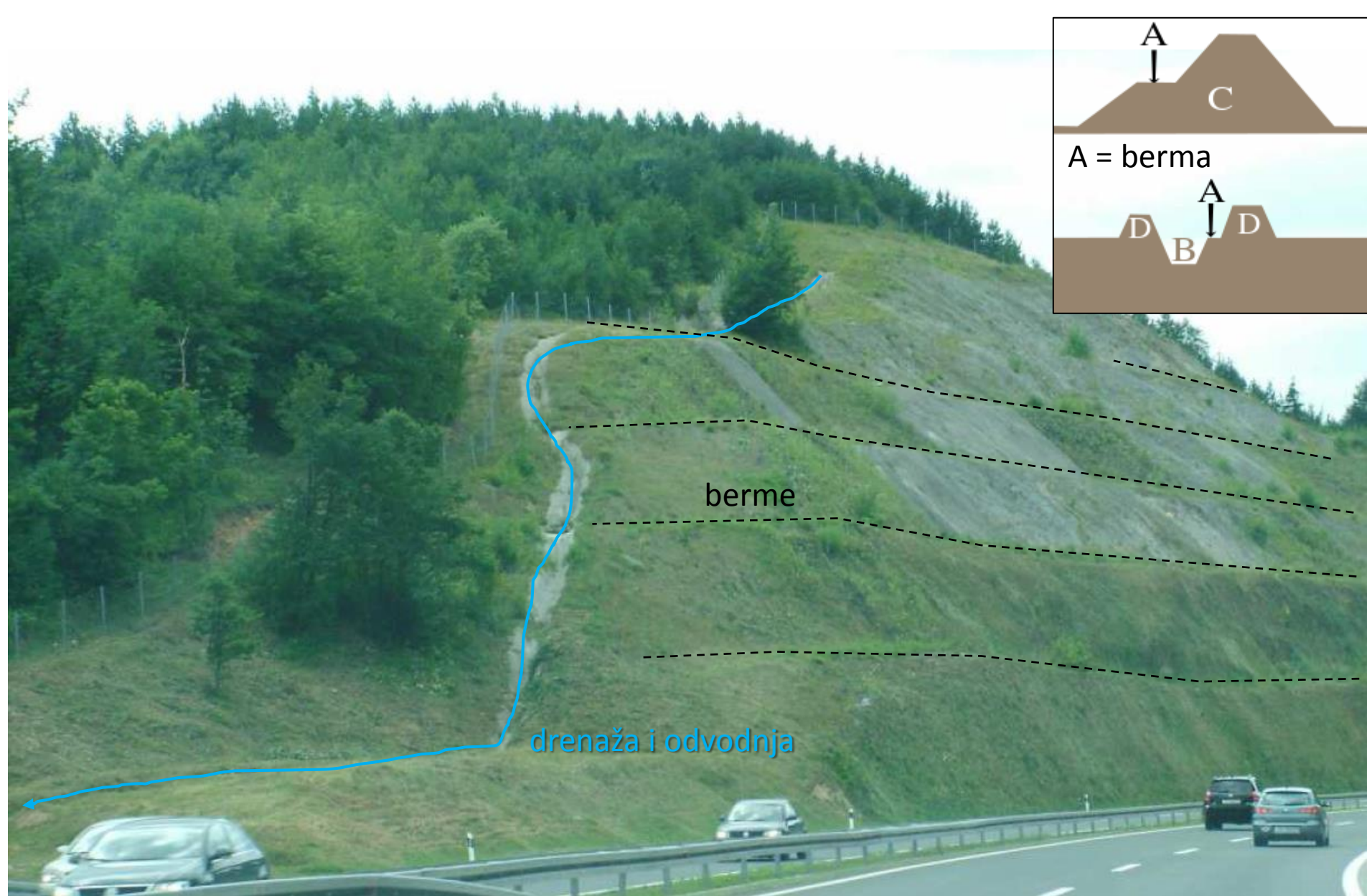
Strmi pokosi, najčešće antropogeni, usjeci autocesta i željezničkih pruga stabiliziraju se različitim geotehničkim postupcima:

- ublažavanjem nagiba padine
- opterećivanjem stope (nožice) klizišta
- rasterećenjem vrha padine
- postavljanjem zaštitnih mreža
- izgradnjom potpornih zidova
- betoniranjem padine („torkretiranje“)
- podzidavanjem kamenim zidovima
- dreniranjem i odvodnjom
- sidrenjem
- izgradnjom dubokih temelja
- pošumljavanjem (stabla akacije su naročito podobna)



Klizište Folkestone Warren u UK (1915) je aktivirano odronom krede i glina s čeone pukotine; 1940-ih godina u nožici klizišta dodana je betonska masa za stabilizaciju padine i smanjenje erozije u podnožju, kao i drenažni prokop za sniženje razine podzemne vode.





Zaštita od odrona – ublažavanje nagiba padine pomoću berma i odvodnja s padine. 78



Mreža je zaštitila prometnicu (i vozače) od odrona



Zaštitna mreža



Zaštitna mreža i sidrenje



Zaštitna mreža i podzidavanje



Zaštitna mreža na elastičnim ovjesima

Zaštita od odrona – betonski podzidi, tunel Konjsko



Zaštita od odrona – betoniranje padine („torketiranje”), tunel Klis-Kosa



Zaštita od klizanja – opterećivanje kamenim zidovima, Vukova Gorica




Zaštita od odrona – zaštitna mreža i sidrenje




# Što učiniti u slučaju pojave klizišta?

Svaku pojavu većeg odrona i klizanja zemljišta potrebno je prijaviti:

- Državnoj upravi za zaštitu i spašavanje
- Gradskom uredu za prostorno uređenje
- najbližoj policijskoj stanici
- mjesnoj zajednici
- putem Hrvatskog geotehničkog društva (<http://www.hgd-cgs.hr/zanimljivosti/klizista-u-hrvatskoj-prijava-klizista-i-karta-klizista/?lang=HR> )
- Putem Hrvatskog portala o klizištima (<https://www.klizista-hr.com/baza-podataka/prijavite-kliziste/> )



NASLOVNICA ORGANIZACIJA BAZA PODATAKA SKUPOVI hr en

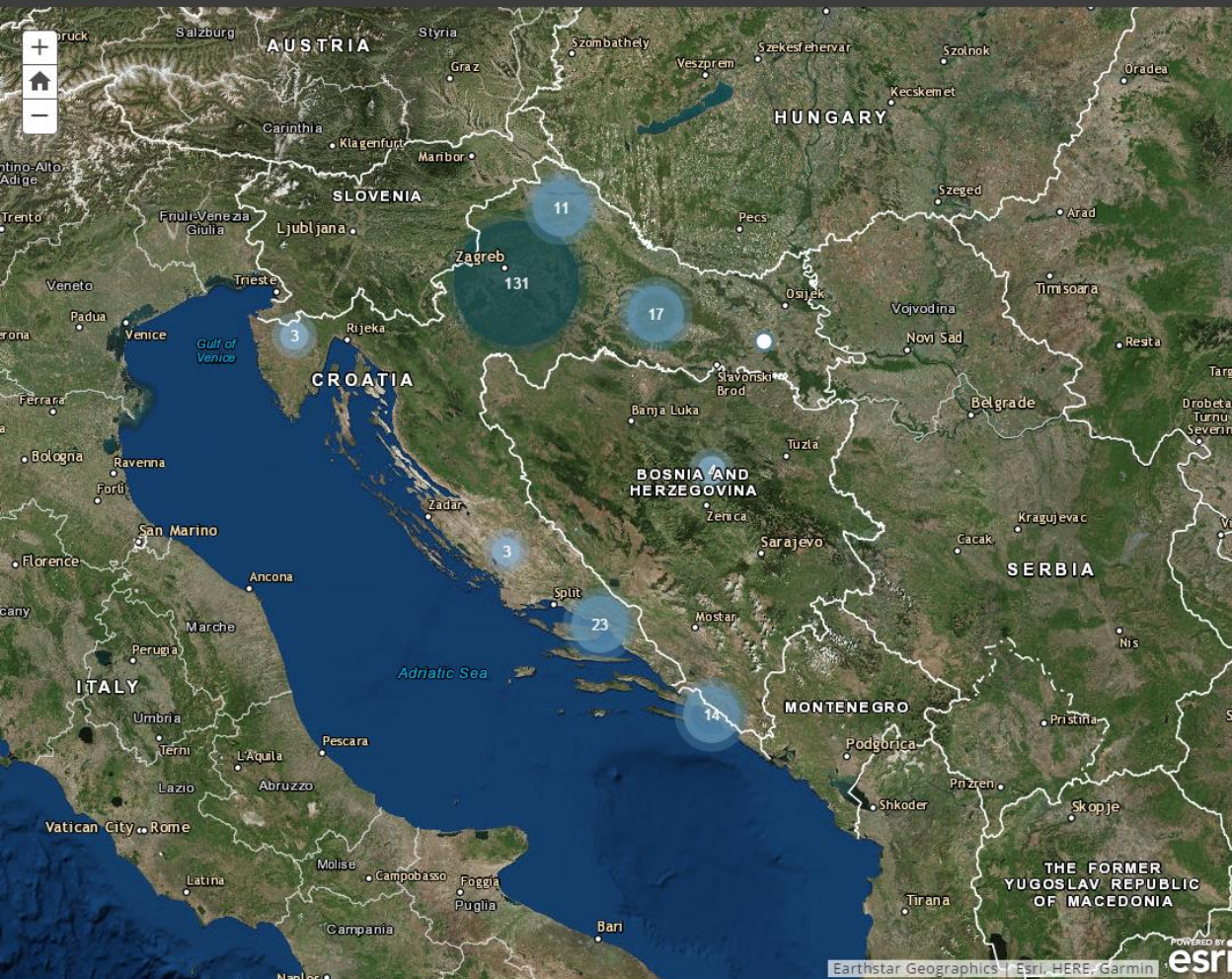
 **KLIZIŠTA-hr**  
HRVATSKI PORTAL O KLIZIŠTIMA

KARTA KLIZIŠTA HRVATSKE

baza podataka > Prijavite klizište KARTA KLIZIŠTA VIJESTI O KLIZIŠTIMA PRIJAVITE KLIZIŠTE

U slučaju veće opasnosti po živote ljudi, potrebno je odmah napustiti ugroženi objekt i sačekati upute stručnjaka iz nadležnih službi.

# Klizišta možete prijaviti i ovdje



Vaš doprinos!

Slika \*

Drag & Drop  
or  
Click to pick a file

Mjesto \*

Unesite naziv mjesta (selo, grad)

Lokacija \*

Unesite točnu adresu ili odaberite lokaciju na karti

[Locate Me](#) [Find on Map](#)

Opis i datum aktivacije klizišta (ako je poznato) \*

Unesite kratki opis klizišta i datum aktivacije, ako je poznato (max 200 riječi)

[Show terms and conditions](#)

Accept Terms and Submit

Close

\* Required Fields