

# SVÁHOVÉ DEFORMACE

Ivo Baroň

*-syllabus kurzu-*

## 1. Úvodní část, klasifikace

- co jsou svahové deformace
- stručná historie výzkumu S.D.
- typy svahových pohybů
- typy smykových ploch a zón
- morfologické typy deformací, jednotlivé tvary

## 2. Dynamika

- faktory vzniku S.D., spouštěcí mechanismy
- cykličnost v průběhu porušení svahů
- stabilitní analýzy
- modelování svahových deformací (na bázi GISu – mělké sesuvy, kinetické modelování, numerické modelování hlubokých svahových deformací)

# Syllabus kurzu

## 3. Metody průzkumu, stabilizace a monitoringu S.D.

### přímé a nepřímé metody průzkumu:

- kopané sondy, vrtné práce
- geofyzikální metody
- geomorfologické metody
- bioindikační metody
- datovací a paleoenvironmentální metody

### stabilizace svahových deformací

### metody měření pohybů

## 4. Svahové deformace jako zdroj přírodních rizik – příklady:

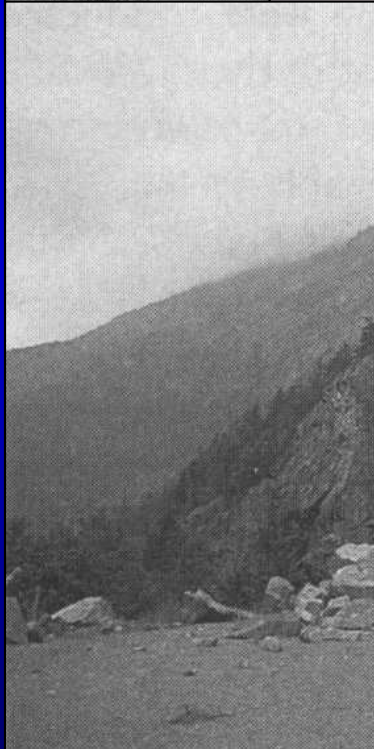
- ČR (Český masiv, Karpaty, mapování stabilitních poměrů, projekt „Svahové deformace v ČR“)
- Evropa
- svět

## 5. Terénní exkurze - Vsetínsko

13. – 15. 5. 2006 (terénní základna České geologické služby v Hutisku-Solanci), svahové deformace: Vaculov-Sedlo, Bystřička, Malá Brodská, Kobylská, Jezerné, Kopce, Oznice

# Literatura

- Bláha P., 1993: Geofyzikální metody při výzkumu svahových deformací. Díl 1: Textová část. –MS. Geotest Brno, a.s., NIS ČR – středisko Geofond, 71 pp. Brno.
- Borgatti L., Soldati M., 2002: The Influence of Holocene Climatic Changes on Landslide Occurrence in Europe. – In: Rybář J., Stemberk J., Wagner P. (eds.): Landslides – Proceedings of the 1<sup>st</sup> European Conference on Landslides, Prague, Czech Republic, June 24-26, 2002. – Swets & Zeitlinger, Lisse, 111-116.
- Casale R., Margottini C., 1999: Floods and Landslides: Integrated Risk Assessment. –Springer, 373 pp.**
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L., Ibsen, M.-L., (eds.), 1996: Landslide Recognition, Identification, Movements, and Causes. –John Wiley Sons, 251pp. Chichester.**
- Hladík V., Hruška J., Hubatka F., 1998: Georadar – výhody a úskalí metody. –Geotechnika, 98 (4): 7-9. Praha.
- Hrádek M., Kolečka, J., Švehlík R., 1994: Náhlá ohrožení geomorfologickými katastrofami v České republice. – Sborník ČGS, 1994 (3): 201 – 214.
- Košťák B., Rybář J., 1978: Measurement of the Activity of Very Slow Slope Movements. –Grundlagen und Anwendung der Felsmechanik, Felsmechanik Kolloquium Karlsruhe, 191 – 205. Clausthal.
- Košťák B., Rybář J., 1984: Cykličnost v průběhu porušení svahů. –Acta Polytechnica – Práce ČVUT v Praze, 4 (1): 85 – 90. Praha.
- Margielewski W., 1998: Landslide Phases in the Polish Carpathians and their Relation to Climatic Changes in the Late Glacial and the Holocene. –Quaternary Studies in Poland, 15: 37 – 53.
- Rybář J., 1999: Rozbor příčin zvýšeného výskytu svahových deformací v ČR v červenci 1997. –Geotechnika 2 (2): 7 – 14. Praha.
- Sassa K. (ed.), 1999: Landslides of the world. –Japan Landslide Society, 413 pp. Kyoto.**
- Turner A.K., Schuster R.L. (eds.), 1996: Landslides – Investigation and Mitigation (Special Report 247). – National Academy Press, 673 pp. Washington, D.C.**
- WP/WLI et Canadian Geotechnical Society, 1993: Multilingual Landslide Glossary. –BiTech Publishers, Richmond, British Columbia, Canada.
- Záruba Q., Mencil V., 1969: Sesuvy a zabezpečování svahů. –Academia, 222 pp. Praha.**
- Záruba Q., Mencil V., 1974: Inženýrská geologie. –Academia, 511 pp. Praha.**





# SWAHOVÉ POHYBY A SWAHOVÉ DEFORMACE

- svahové pohyby: gravitační pohyby horninových hmot na svazích s výjimkou těch, kde materiál odnášejí transportační média, tzn. voda, led, sníh, vítr. Výslednou formou je svahová deformace (Nemčok et al. 1974);
- běžně je užíván (morfologický) termín “*sesuv*”, tzn. *těleso hornin, suti nebo zemin které bylo deponováno po svahu dolů bez dominantní účasti transportačních médií* (Cruden 1991), který je možná výstižnější, ale vylučuje řadu dalších procesů a jevů spojených s gravitačním deformováním svahů.
- Proto bude užíván širší termín “svahová deformace”, jako *soubor geologických struktur a forem reliéfu středního a malého měřítká vzniklých v důsledku gravitačně podmíněného deformování zvětralin, deluvia, sedimentů i horninového podkladu na svazích*.
- přednáška si neklade za cíl uvést veškeré dosavadní poznatky o problematice svahových deformací, spíše seznámí s různými úhly pohledu na svahové deformace

## nástin historie studia S.D.

- První seriózní popisy a studie o sesuvných událostech pocházejí již z doby před průmyslovou revolucí z přelomu 18. a 19. století, a to většinou ze západní Evropy, hlavní zájem o S.D. však způsobil až rozvoj výstavby průplavů, silničních komunikací, mostů a železnice právě v souvislosti s průmyslovou revolucí
- **Zay (1807)** zpracoval 1. monografii, která pojednávala o rozsáhlém skalním sesuvu na hoře **Rossbergu** ve středním Švýcarsku ze 2. srpna 1806. Při sesuvu se tehdy uvolnilo 10 až 20 mil. m<sup>3</sup> suti i podloží a pohřbilo městečko Goldau
- důležité práce, které ovlivnily i vývoj geologických věd, byly publikace **Conybeare et al. (1840)** a **Robertse (1840)** o sesuvu **Bindon** na jižním pobřeží Anglie z 29. prosince 1839. Roberts upozornil, že se jedná o závažný zdroj rizik. Conybeare et al. provedli **první analýzy mechanismu celé deformace**, včetně výpočtů hmotnosti a stability porušených hmot a posouzení vlivu hydrostatického tlaku na rozvoj sesuvu
- Dalšími významnými autory 19. století byli Švýcaři **Buss** a **Heim**, nebo Francouz **Collin**

Světové osobnosti 20. století: **Varnes**, **Ter-Stepanian**, **Terzaghi**, **Cruden**, **Hutchinson**, **Savarenskij**, **Varnes**, **Záruba** a další

## Výzkumy svahových deformací v našich zemích

První skalní řízení zaznamenáno v r. **1132 v Chuchli**, první sesuv v roce **1531 u Záhořan na Litoměřicku** (Špůrek 1972). Koncem 18. stol. v okolí Ústí n. Labem a Děčína registrováno 13 sesuvů. Soustavné výzkumy svahových deformací však až na přelomu 19. a 20. století, v centru zájmu již všechny hlavní české k sesuvům náchylné oblasti (**Valašsko, Mladoboleslavsko, České středohoří a Pavlovské vrchy**);

Osobnosti: **Václav Dědina**, **Filip Počta**, **Jan Stejskal**, **Otakar Matoušek**, **Quido Záruba**, **Antonín Culek**, **Karel Žebera**, **Jan Krejčí**, **Karel Patočka**, **Vojtěch Mencl**, **Blahoslav Košťák**, **Arnold Nemčok**, **Stanislav Novosad**, **Jaroslav Pašek**, **Jan Rybář** a nebo **Lumír Woznica**. Světově uznávaným se stal zvláště **Quido Záruba**.

# Kde se řeší problematika svahových deformací???

Svahovými deformacemi se u nás zabývají **pracoviště Akademie věd ČR**, jmenovitě **Ústav struktury a mechaniky hornin v Praze** a **Ústav geoniky v Ostravě** a její pobočky v **Brně**. **Česká geologická služba** řešila v souvislosti se zvýšeným zájmem o sesuvy po roce 1997 projekt **“Svahové deformace v ČR”**, nyní v rámci programu ISPROFIN zpracovává podprogram **„Řešení nestabilit svahů“**. Mimoto se svahovými deformacemi v rámci svých zakázek zabývá řada soukromých průzkumově-geologických a stavebních firem (Geotest, S.G.-Geotechnika, Unigeo, A-Z Sanace...)

Z mezinárodních institucí je asi nejvýznamnější **“Commision on Landslides and other Mass Movements” při IAEG** (Mezinárodní asociace inženýrské geologie). Ta měla za úkol sjednotit terminologii na mezinárodní úrovni. Organizace spojených národů ustanovila **“Pracovní skupinu pro katalogizaci sesuvů” (WP/WLI) při Mezinárodní geotechnické společnosti UNESCO**. Tato pracovní skupina vydala **Vícejazyčný výkladový slovník sesuvů** (*WP/WLI et Canadian Geotechnical Society 1993*).



## Svahové pohyby, jejich klasifikace:

• svahové pohyby: gravitační pohyby horninových hmot na svazích s výjimkou těch, kde materiál odnášejí transportační média, tzn. voda, led, sníh, vítr (Nemčok et al. 1974);

- geodynamický proces vznikající působením gravitace na horninový materiál „na svazích“
- materiál musí mít dostatečný energetický (gravitační) potenciál ke vzniku nestability, dostatečná „energie reliéfu“
- svahové pohyby vznikají již na velice mírných svazích (kolem  $2^\circ$ )
- jeden z nejzávažnějších zdrojů tzv. „přírodních rizik“ (Natural Hazards)

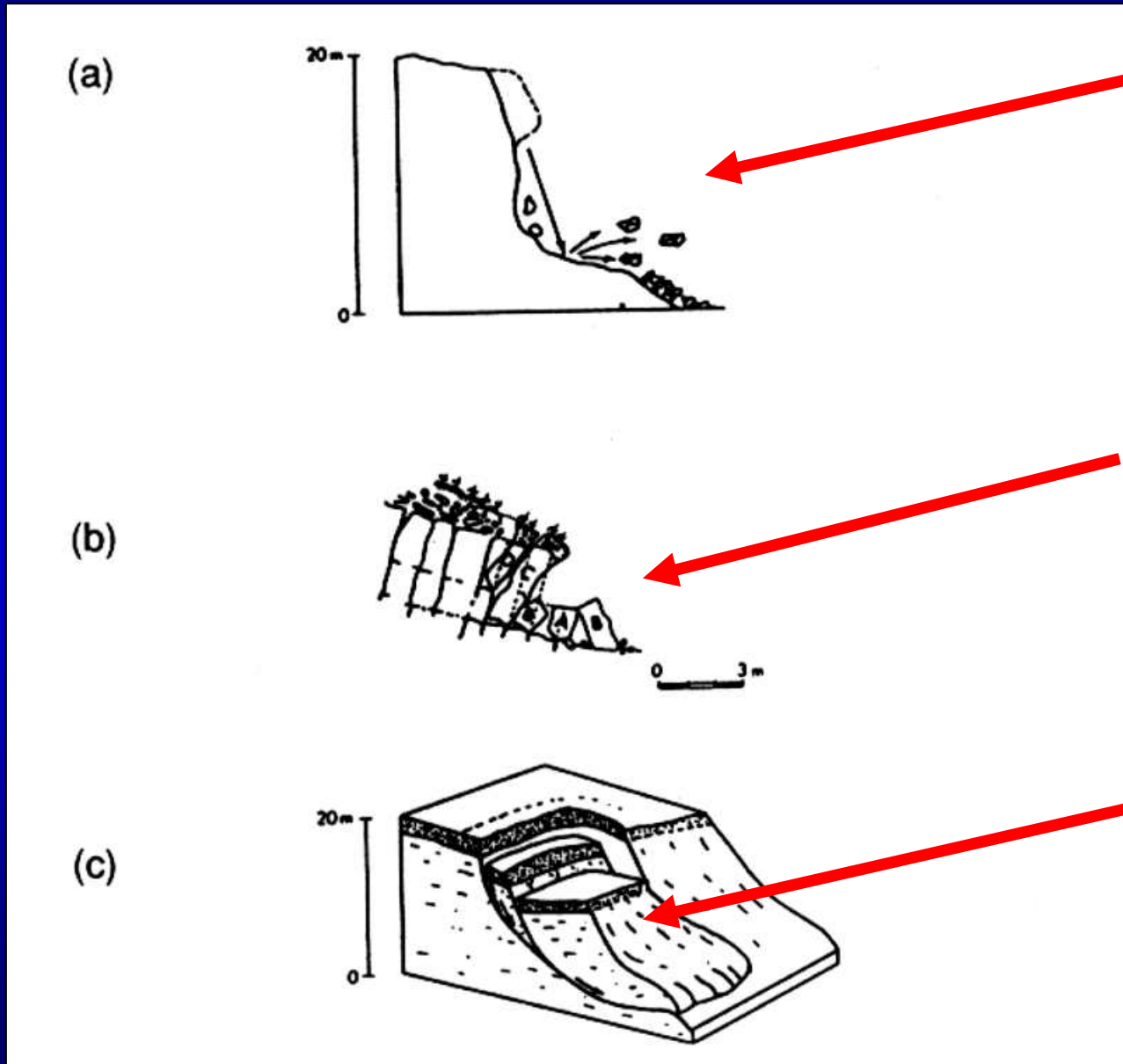
## Svahové pohyby, jejich klasifikace

- dle rychlosti (Turner, Schuster 1996):

- třída 7: extrémně rychlé (< 5 m/s), skalní řícení, lahary, suťové proudy
- třída 6: velmi rychlé (3 m/min až 5 m/s), suťové a bahenní proudy
- třída 5: rychlé (1,8 m/h až 3 m/min), mělké sesuvy v deluviu
- třída 4: středně rychlé (13 m/měsíc až 1,8 m/h), mělké a středně h. sesuvy
- třída 3: pomalé (1,6 m/rok až 13 m/měsíc), hluboké sesuvy
- třída 2: velmi pomalé (16 mm/rok až 1,6 m/rok), hluboké sesuvy
- třída 1: extrémně pomalé (> 16 mm/rok), h. sesuvy, toppling, lateral spreading

# Svahové pohyby, jejich klasifikace

- dle mechanismu I. (Varnes 1978):



falling / řícení

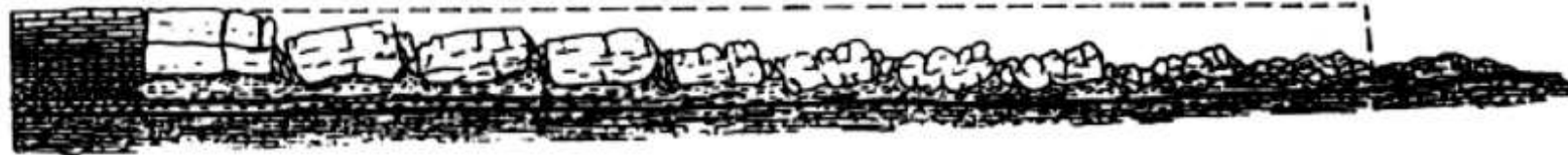
Toppling / odklánění

sliding / sesouvání

# Svahové pohyby, jejich klasifikace

- dle mechanismu II. (Varnes 1978):

(d) (lateral) spreading / rozvolňování

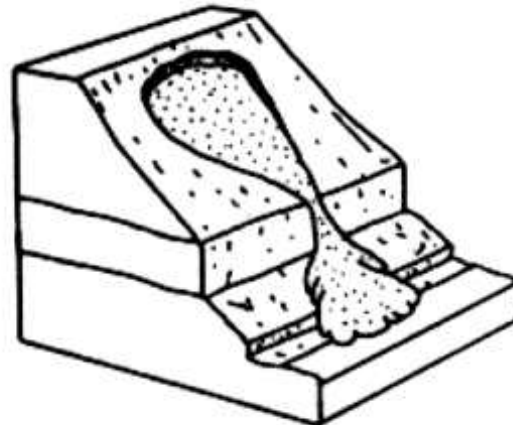


500 m

flowing / tečení

(e)

20m  
0





## Svahové pohyby, jejich klasifikace

- kombinace dle rychlosti a mechanismu (Nemčok et al. 1974):

- ploužení (creep), řádově až mm/den;
- sesouvání (sliding), řádově m až km/den;
- stékání (flow), řádově m až km/h;
- řícení (fall), řádově jednotky až stovky km/h

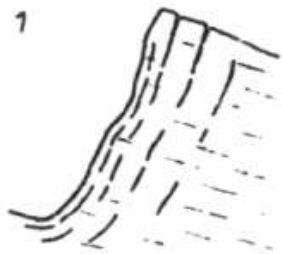
Členění do podskupin (viz tabulka):

# Svahové pohyby, jejich klasifikace: kombinace dle rychlosti a mechanismu (Nemčok et al. 1974):

základní skupiny svahových pohybů	základní typy svahových pohybů	příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika	číslo příkladu	názvy výsledných svahových deformací
ploužení	podpovrchové (hlubinné)	rozvolňování svahů	1.	— projevy uvolňování napětí — něm. „Entspannungsklüfte“
			2.	— rozvolnění svahu — roztrhání horských masívů
			3.	— zdvojené hřbety
		gravitační vrásnění	4.	— něm. „Sackung“ — shrnutí — hlubinné ohýbání vrstev — gravitační vrásy
			5.	— gravitační vrásy — shrnutí
			6.	— údolní antiklinály — bulging — naduřování vrstev pod dnem údolí
	blokové pohyby	7.	— bloková pole — cambering	
		8.	— rozsedliny — bloková pole — posuvy	
	povrchové	povrchové ploužení	9.	— slézání suti — slézání svahových hlín — povrchové ohýbání vrstev — vyvlečení a hákování vrstev — plošná soliflukce — kamenné ledovce

základní skupiny svahových pohybů	základní typy svahových pohybů	příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika	číslo příkladu	názvy výsledných svahových deformací
sesouvání	sesouvání podél rotační smykové plochy		10.	— rotační sesuvy — sesuvy podle rotační smykové plochy
	sesouvání podél rovinné smykové plochy	sesouvání zemin podél rovinné smykové plochy	11.	— planární sesuvy — sesuvy podle rovinné smykové plochy — sesuvy podle předurčené (pre-disponované) smykové plochy
		sesouvání skalních hornin podél rovinné smykové plochy	12.	— planární sesuvy ve skalních horninách — sjíždění po předurčené ploše — skalní sjíždění — sjíždění
	sesouvání podél složené smykové plochy	sesouvání podél složené, zakřivené a rovinné, smykové plochy	13.	— rotačně planární sesuvy — sesuvy podél složené smykové plochy
sesouvání po horizontální nebo mírně ukloněné smykové ploše		14.	— laterální sesuvy	
stékání	stékání svahových uloženin	stékání jílovitých a hlinitopísčitých zemin	15.	— zemní proudy — bahnitě proudy — zemní proudy v citlivých jilech — soliflukční proudy
		stékání hlinitých a úlomkovitých zemin působením přivalových vod	16.	— kamenitě (balvanité) přivalové proudy — hlinitokamenitě přivalové proudy — hlinitě a bahnitě přivalové proudy — mury
		stékání povrchových partií pokrývných útvarů v období tání nebo po nadměrných srážkách	17.	— rusky „oplyviny“ — angl. „flowage“
řícení	sesypávání	přemísťování drobných úlomků polo-skalních hornin až zemin kutálením a valením po svahu	18.	— drolení — sesypy
	opadávání úlomků	náhlé přemístění úlomků skalních hornin volným pádem, poté valením a posouváním po svahu	19.	— opadové kuzele — suťové kuzele — haldy — úsypy — osypy — kamenná moře — padání kamenů
	odvalové řícení	náhlé přemístění skalních stěn převážně volným pádem	20.	— skalní zřícení — odvalové zřícení — odvaly
	planární řícení	náhlé přemístění skalních stěn, přičemž se kombinuje kluzný pohyb po předurčené ploše s volným pádem	21.	— sesutí — planární skalní zřícení — skalní zřícení kombinované se sjížděním — slovensky zlomiská

# Klasifikace svahových pohybů: **ploužení** (Nemčok et al. 1974)



uvolnění napjatosti po odlehčení erozí, křehké horniny



Otevírání tahových trhlin



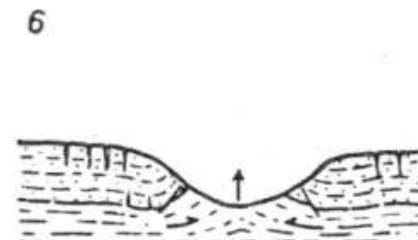
Zdvojování horských hřbetů



Zdvojování horských hřbetů



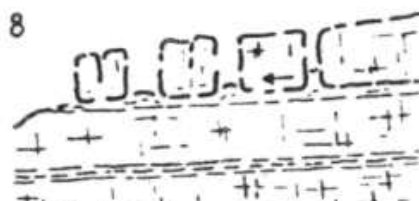
Gravitační vrásnění



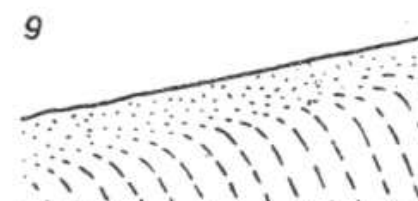
„údolní antiklinály“  
(rigidní na plastické)



Blokové pohyby po plastickém podloží



Blokové pohyby podél předurčené plochy



Povrchové ploužení  
(hákování vrstev)

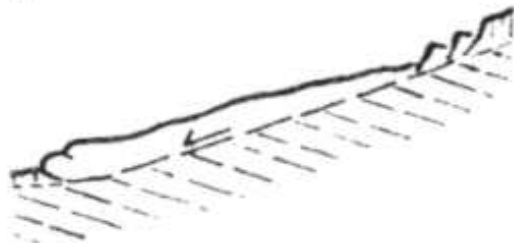
# Klasifikace svahových pohybů: **sesouvání** (Nemčok et al. 1974)

10



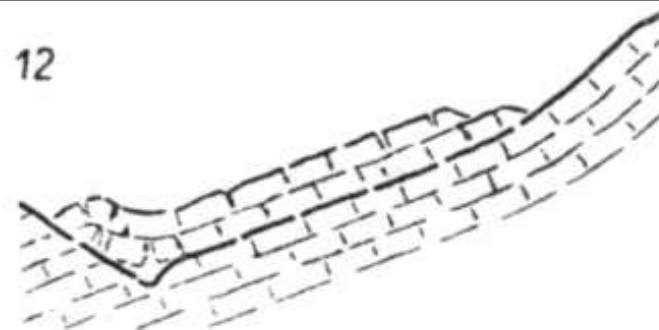
sesouvání podél rotační  
smykové plochy

11



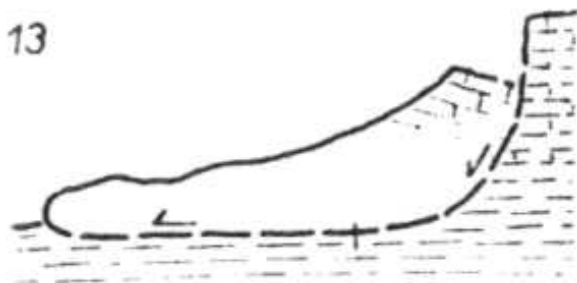
sesouvání podél rovinné  
smykové plochy

12



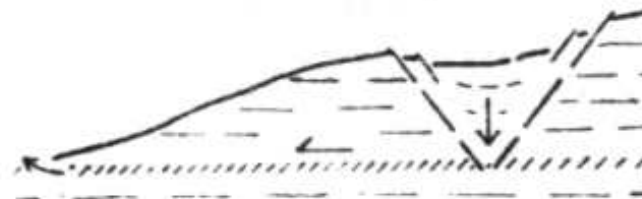
sesouvání podél rovinné smykové  
plochy (předurčené polohy)  
paralelní se svahem

13



sesouvání podél složené  
smykové plochy

14

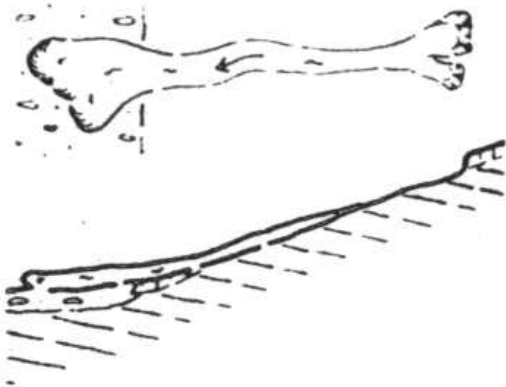


sesouvání podél (sub-)  
horizontální smykové plochy



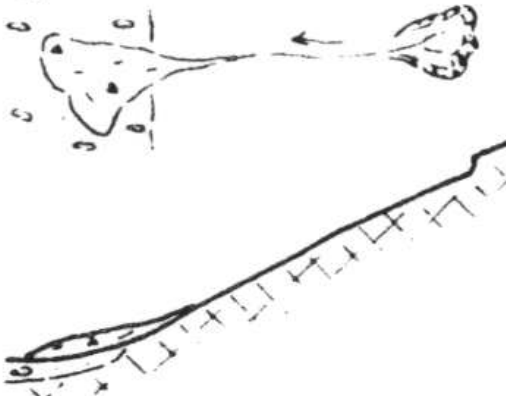
## Klasifikace svahových pohybů: **stékání** (Nemčok et al. 1974)

15



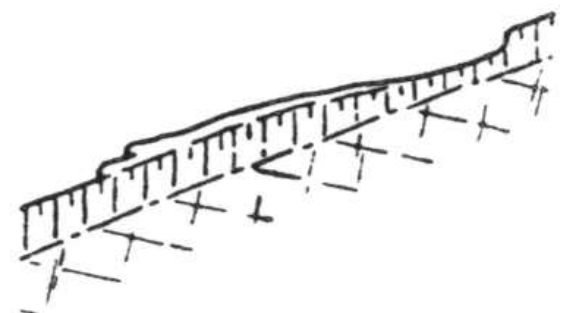
Stékání deluvia v nížinách až  
hornatinách

16



Stékání deluvia na strmých  
svazích (mury)

17

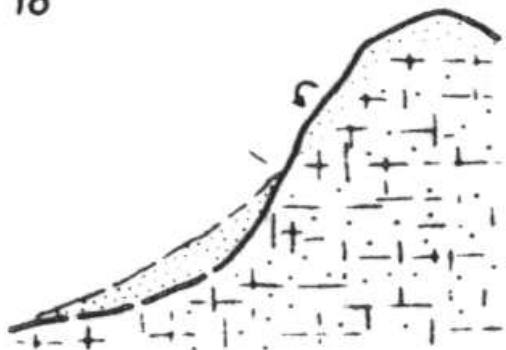


Stékání deluvia po  
nadměrných srážkách v  
období tání sněhu a ledu

Soliflukce: stékání zvodnělého  
deluvia aktivní vrstvy po zmrzlém  
podloží (permafrostu)

## Klasifikace svahových pohybů: řízení (Nemčok et al. 1974)

18



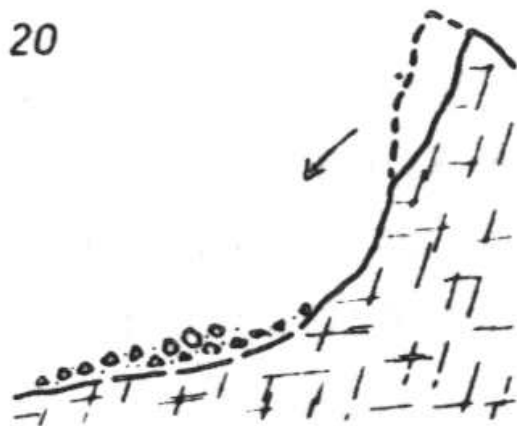
Drolení a saltace drobných částic  
poloskalních hornin a zemin

19



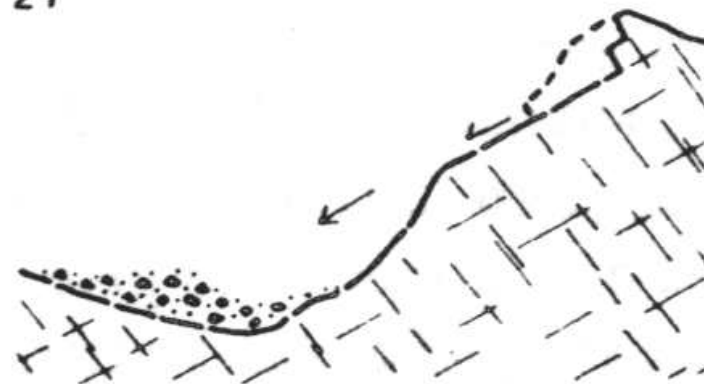
Osypávání drobných úlomků  
skalních hornin

20



Odvalové řízení skalních stěn a  
věží v horských a  
vysokohorských oblastech

21



Planární řízení skalních stěn a věží po  
předurčených plochách

## Svahové deformace, jejich klasifikace:

*svahová deformace*: soubor geologických struktur a forem reliéfu středního a malého měřítká vzniklých v důsledku gravitačně podmíněného deformování zvětralin, deluvia i horninového podkladu na svazích.

## Svahové deformace: klasifikace dle průběhu smykové plochy (Savarenskij):

- **asekventní**, rotační smyková plocha v homogenním materiálu;
- **insekventní**, hluboké svahové deformace, sm. plocha napadá vrstevnatost;
- **konsekventní**, smyková plocha sleduje vrstevní plochy;

## Svahové deformace: klasifikace dle věku:

- **mladé (juvenilní) X staré (senilní) ... X pohřbené (fossilní)**;

## Svahové deformace: klasifikace dle tvaru:

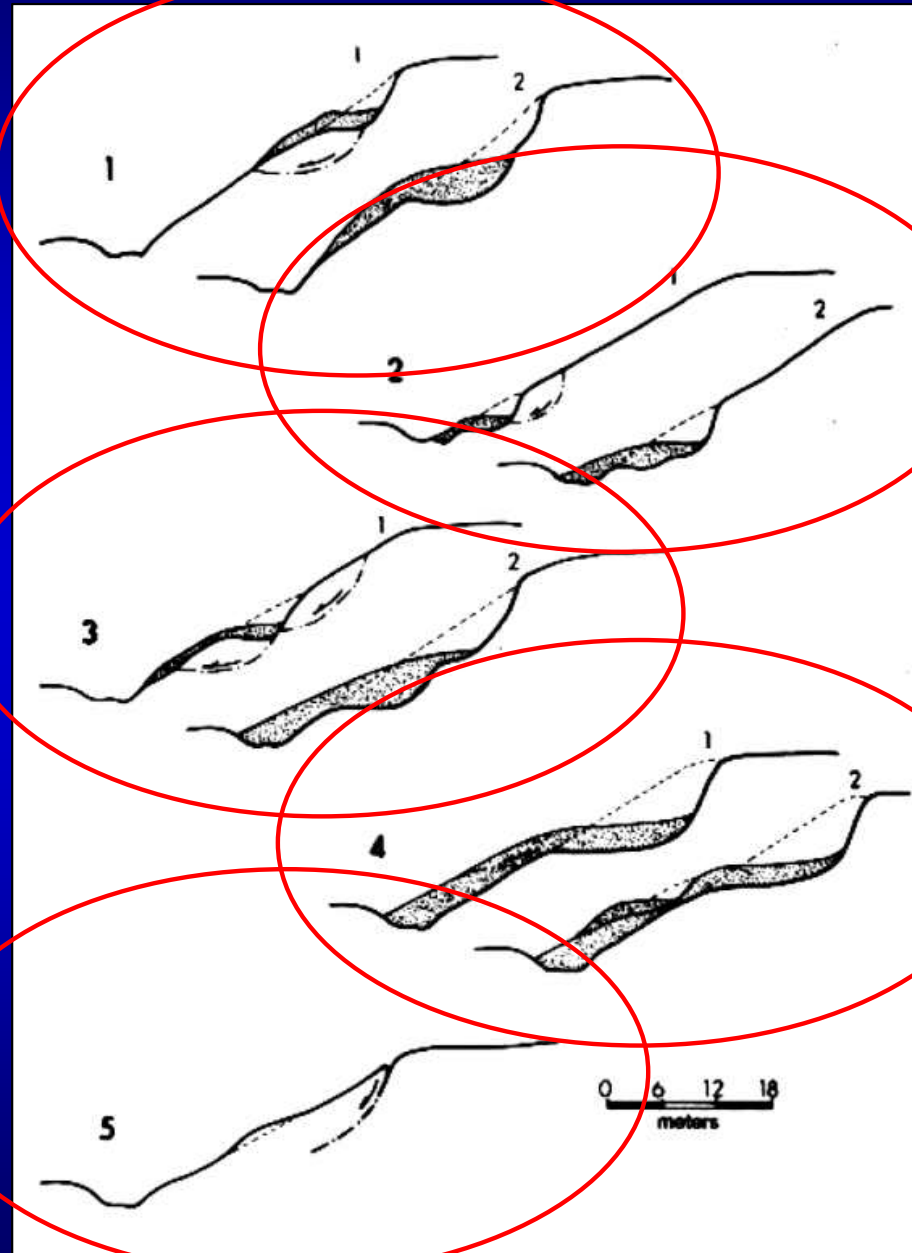
- **frontální X plošné X proudové**;

## Svahové deformace: klasifikace dle hloubky:

- **povrchové (do 1m) X mělké (do 10m) X hluboké (do 20m) X velmi hluboké (nad 20m)**;



# Svahové deformace: dle rozmístění aktivity (Turner, Schuster 1996)



advancing (postupující)

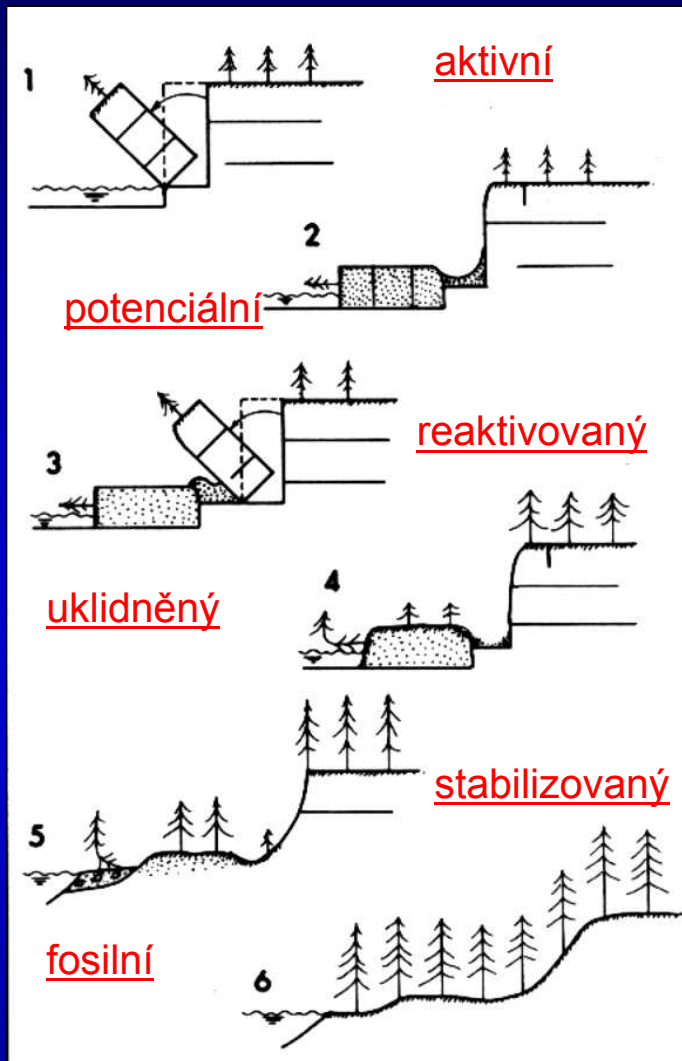
retrogressing (ustupující)

enlarging (zvětšující se)

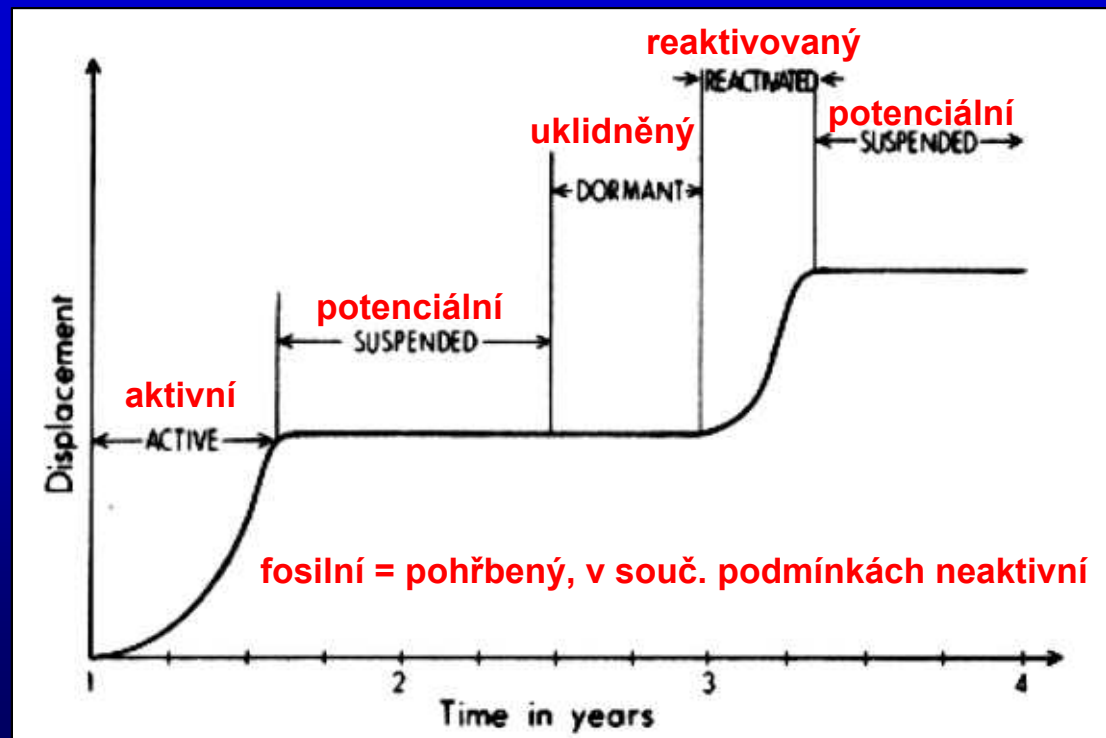
diminishing (zmenšující se)

confined (uzavřený)

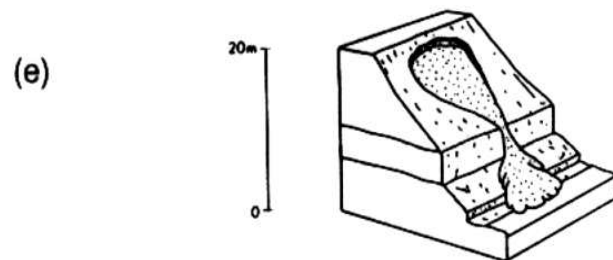
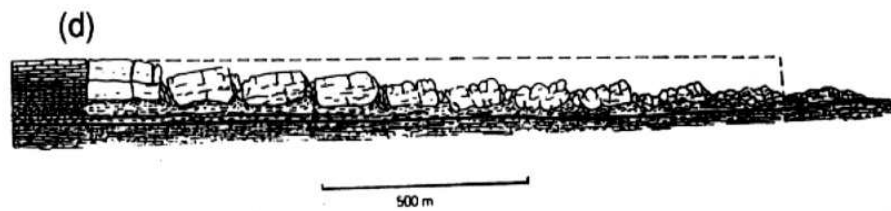
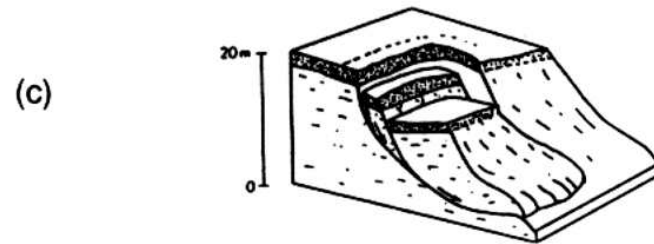
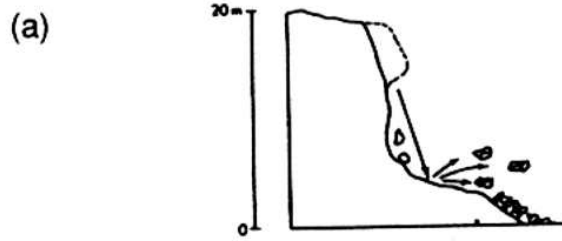
# Svahové deformace: dle stupně aktivity (např. toppling):



## stupeň aktivity:



## Svahové deformace: typy svahových pohybů



## Svahové deformace

- dvouslovná klasifikace (Varnes 1978):

TYPE OF MOVEMENT	TYPE OF MATERIAL		
	BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
		PREDOMINANTLY COARSE	PREDOMINANTLY FINE
Fall	Rock fall	Debris fall	Earth fall
Topple	Rock topple	Debris topple	Earth topple
Slide	Rock slide	Debris slide	Earth slide
Spread	Rock spread	Debris spread	Earth spread
Flow	Rock flow	Debris flow	Earth flow

## Svahové deformace: dvouslovná klasifikace (Dikau 1996):

**TABLE 1.1** Classification of mass movements used in this volume (EPOCH, 1993)

Type	Rock	Debris	Soil
Fall	rockfall	debris fall	soil fall
Topple	rock topple	debris topple	soil topple
Slide (rotational)	single (slump) multiple successive	single multiple successive	single multiple successive
Slide (translational) Non-rotational	block slide	block slide	slab slide
Planar	rockslide	debris slide	mudslide
Lateral spreading	rock spreading	debris spread	soil (debris) spreading
Flow	rock flow (Sackung)	debris flow	soil flow
Complex (with run-out or change of behaviour downslope, note that nearly all forms develop complex behaviour)	e.g. rock avalanche	e.g. flow slide	e.g. slump- earthflow

*Note:* A *compound* landslide is one that consists of more than one type, e.g. a rotational–translational slide. This should be distinguished from a complex slide where one form of failure develops into a second form of movement, i.e. a change of behaviour downslope by the same material.

Svahové deformace: formy řícení / fall (Varnes 1978):

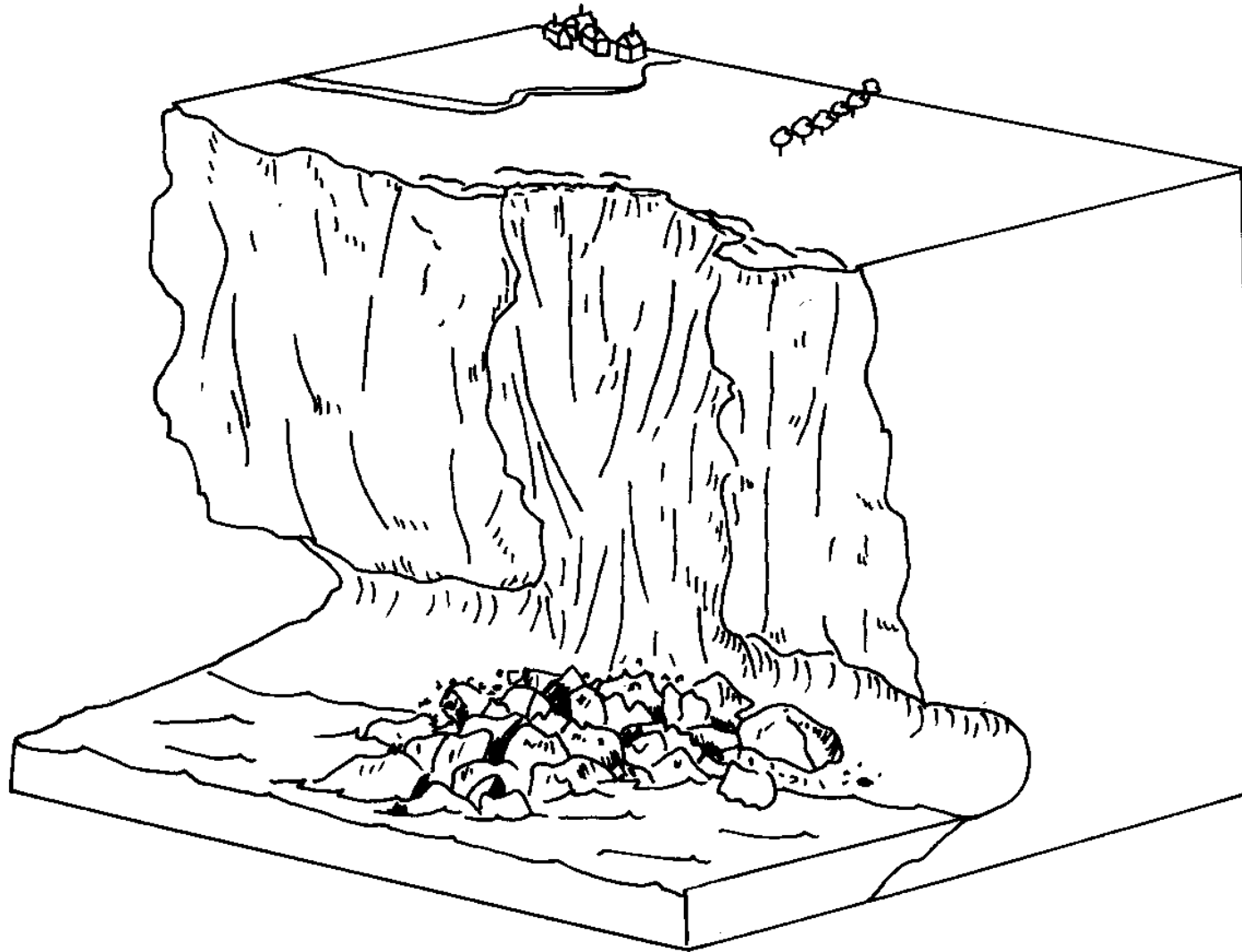
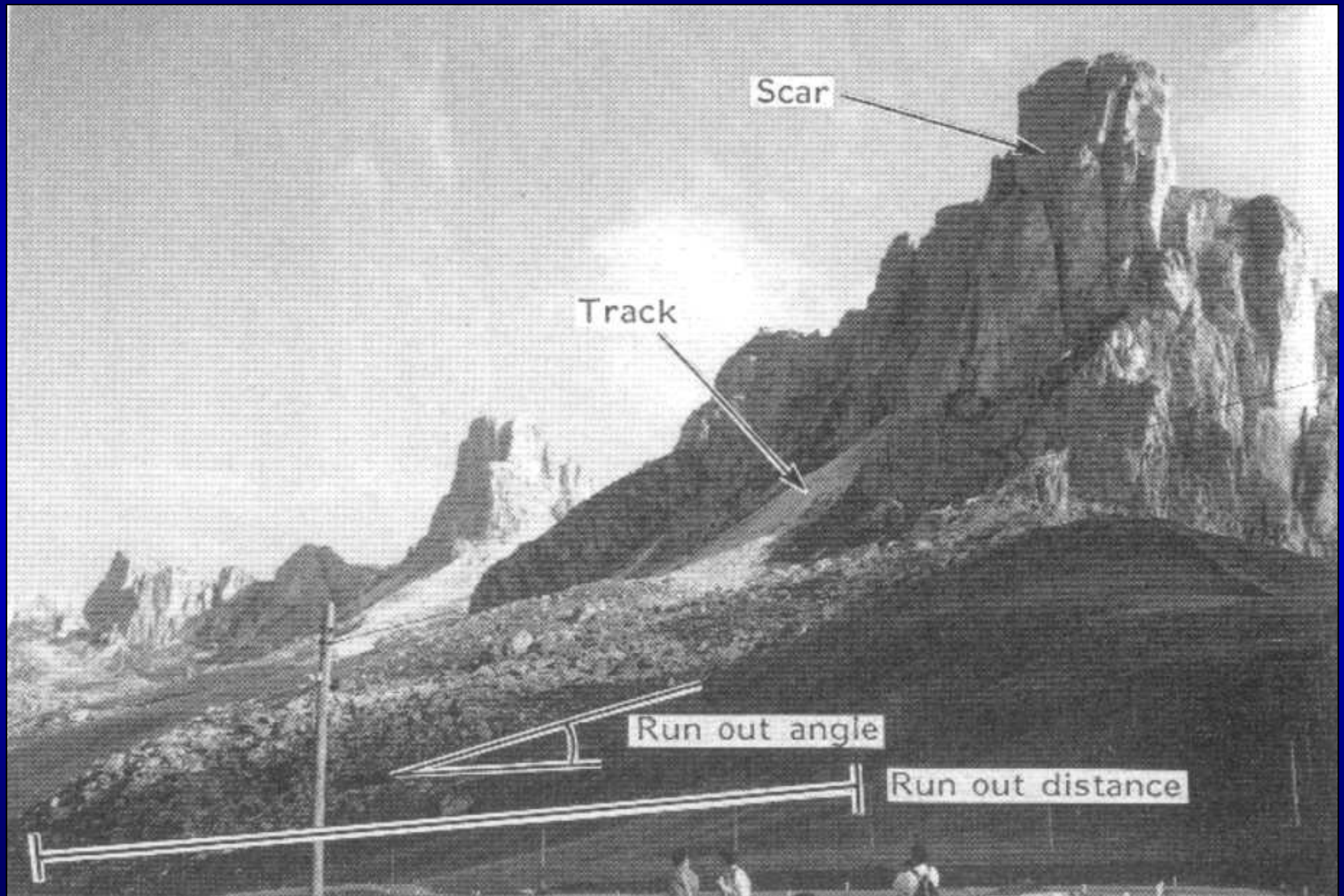


FIGURE 2.2 Block diagram of a typical coastal rock fall (drawn by B. Martin)



Svahové deformace: formy řízení / fall (Dikau et al. 1996):



Svahové deformace: formy řícení / fall (Dikau et al. 1996):

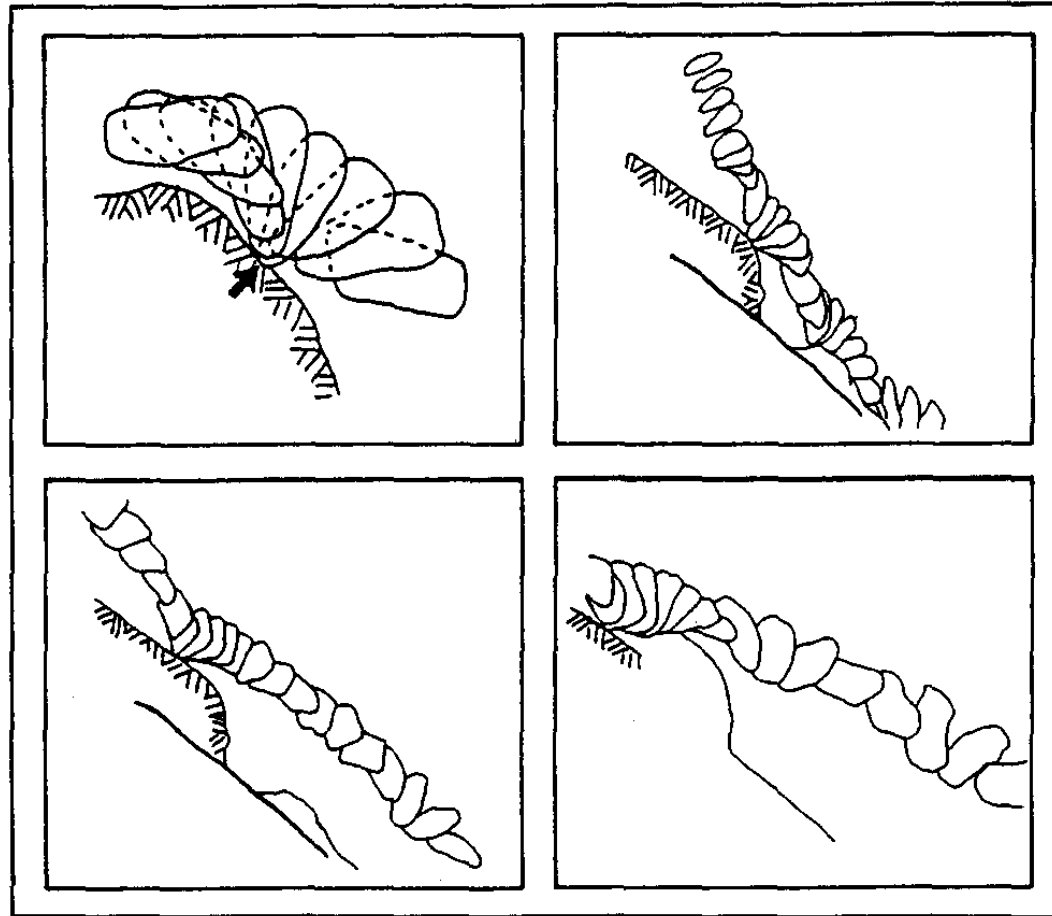


FIGURE 2.9 Single frame pictures of the motion of rocks as they approach and leave the contact points. Redrawn from cinefilms at the Casletto site, Switzerland (from Bozzolo et al., 1988)

Svahové deformace: formy řízení / fall (Dikau et al. 1996):

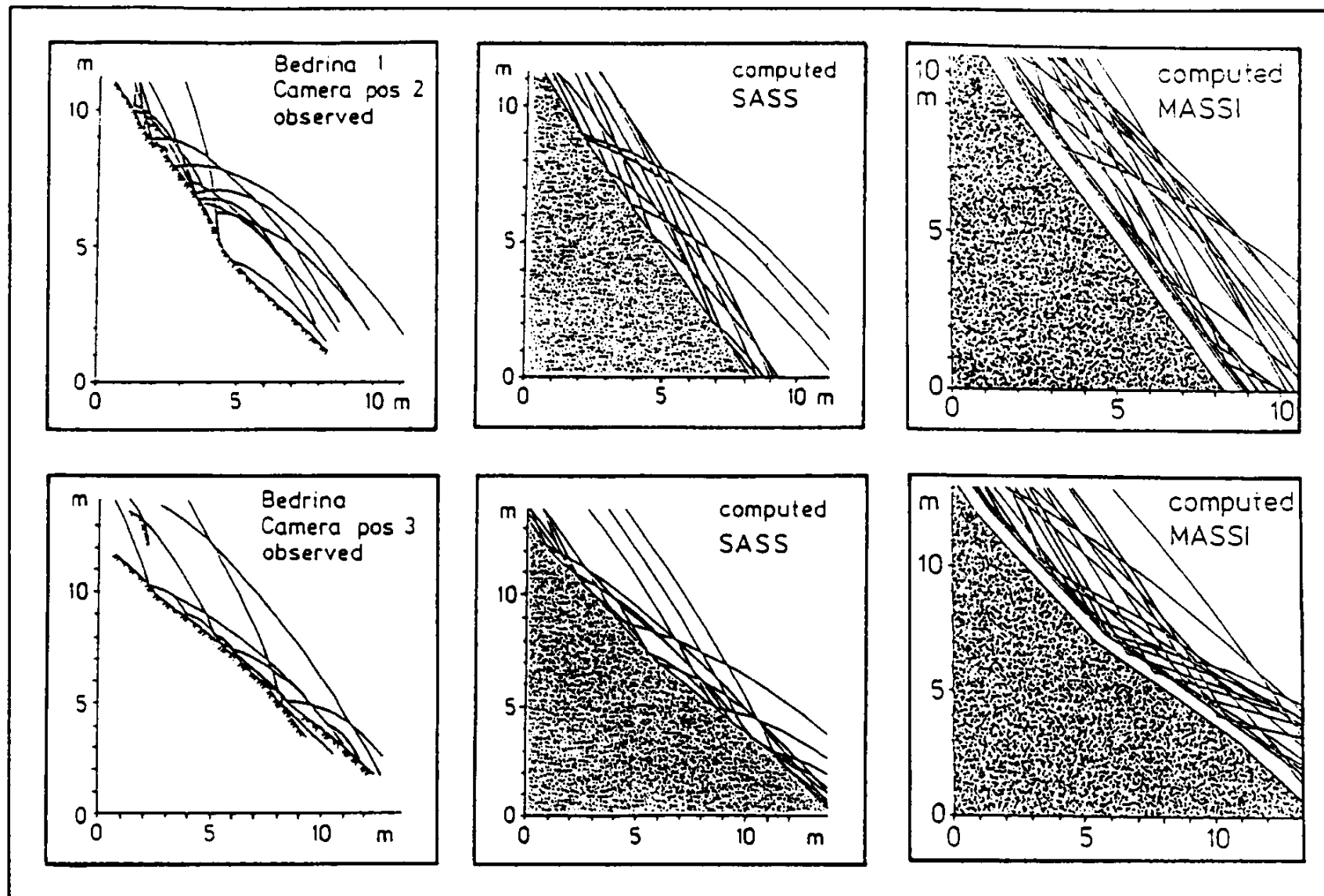


FIGURE 2.10 Comparison between observed and computed trajectories of rockfalls in the Bedrina area, St Gotthard, Switzerland (from Bozzolo et al., 1988)



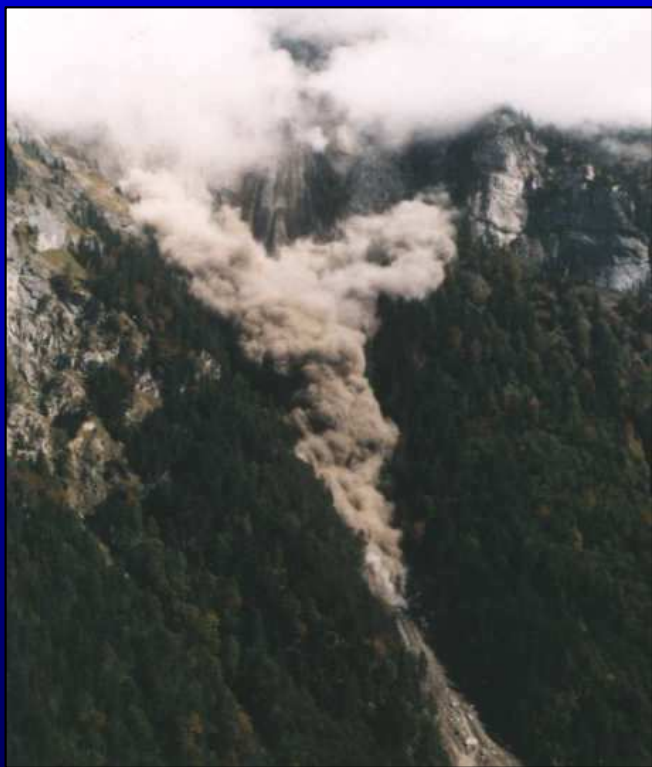
Svahové deformace: formy řícení / fall (Dikau et al. 1996):



Svahové deformace: formy řízení / fall (Dikau et al. 1996):



# Svahové deformace: formy řízení





## Recentní skalní řícení (Křížový vrch-Vsetínsko)





## Recentní skalní říční – duben 2001 (Zámčisko-Vsetínsko)





# Rock Avalanches (Davies & McSaveney 2004)

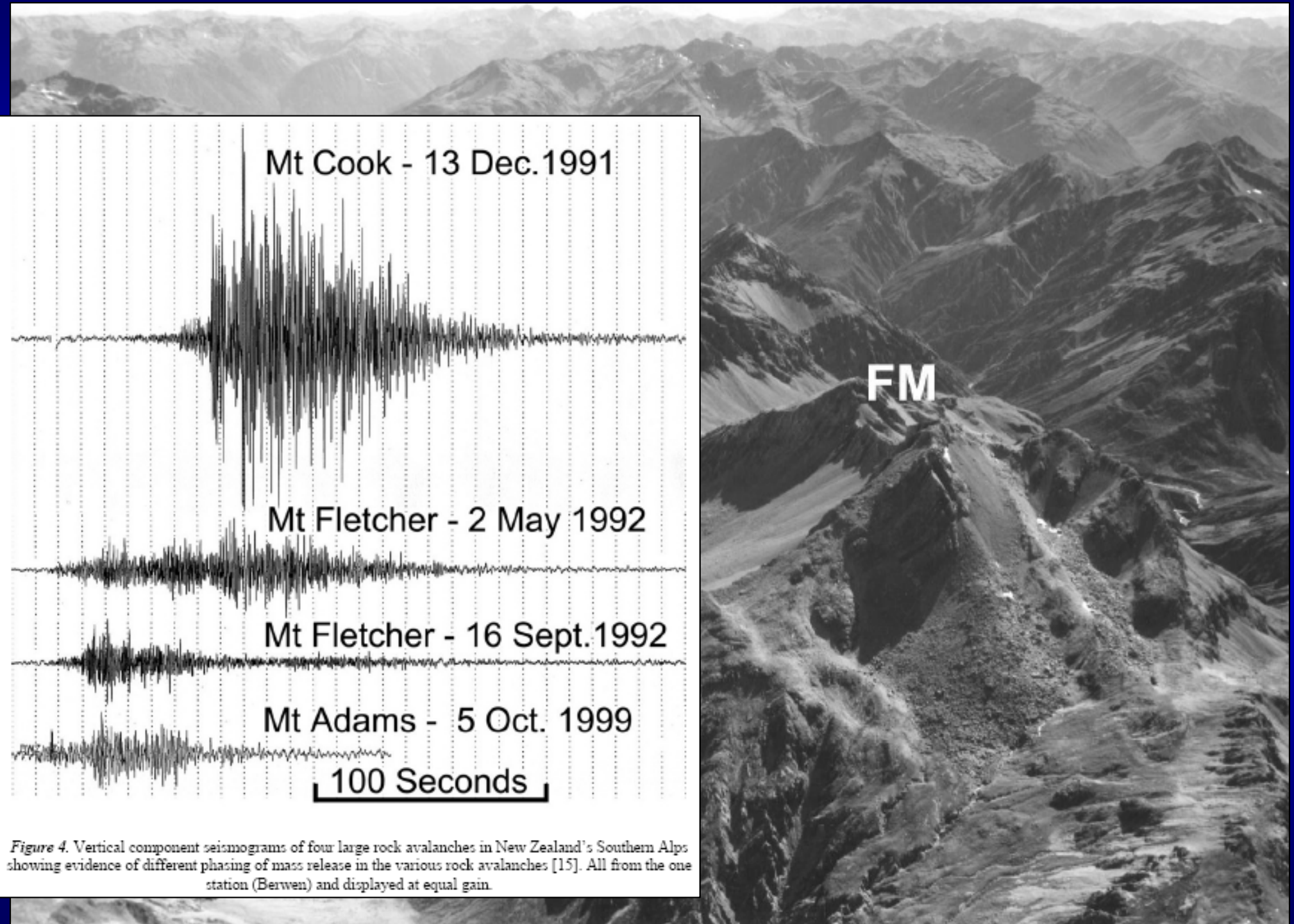


Figure 4. Vertical component seismograms of four large rock avalanches in New Zealand's Southern Alps showing evidence of different phasing of mass release in the various rock avalanches [15]. All from the one station (Berwen) and displayed at equal gain.

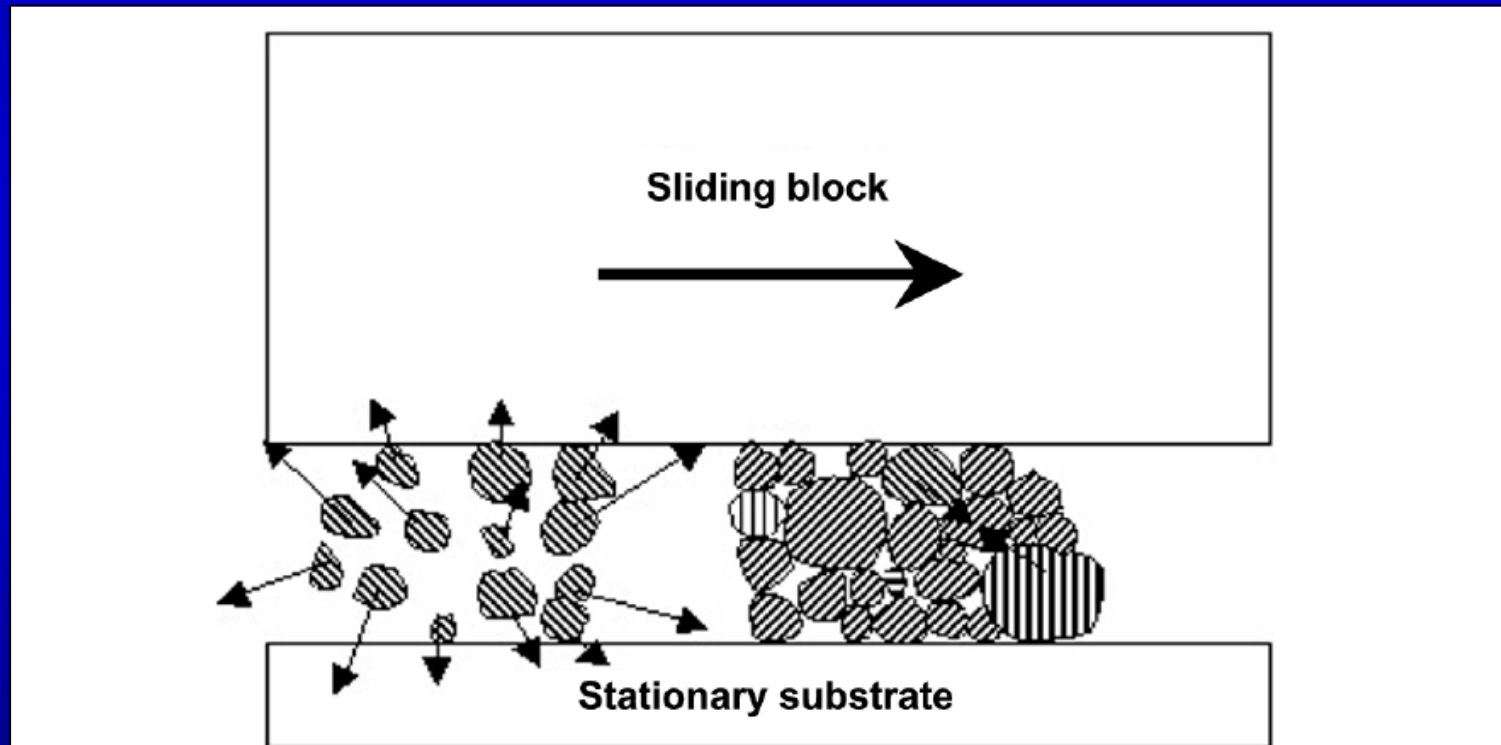
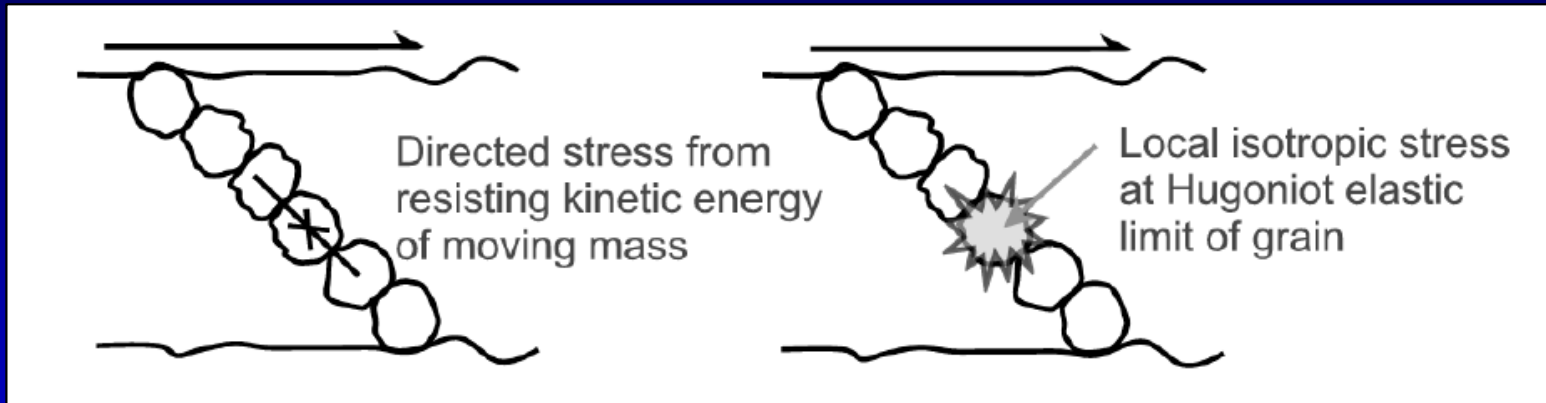


Figure 6. Concept of how dispersive pressure from fragmentation of larger clasts supports the weight of block, and so reduces the direct stress on adjacent non-fragmenting debris.

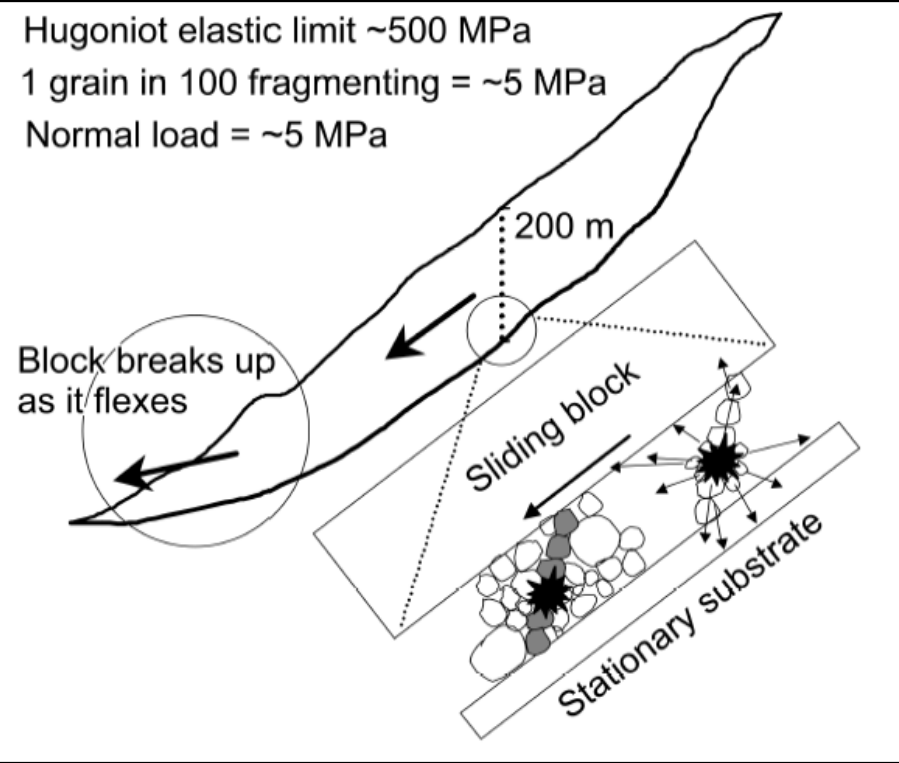
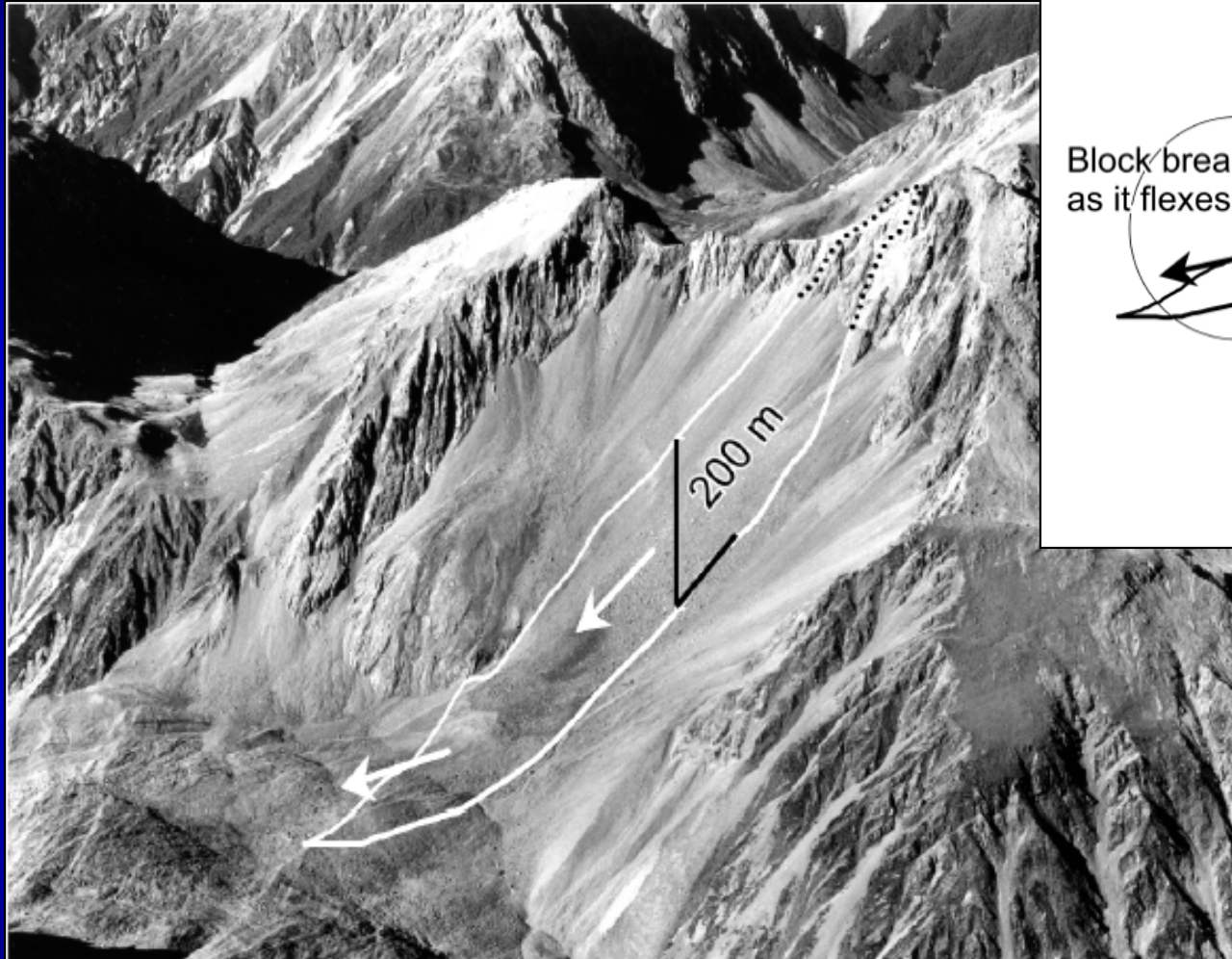


Figure 9. Source area of the 1929 Falling Mountain rock avalanche, New Zealand, showing profiles of the release surface and reconstruction of the original land surface. We suggest that initial motion was as a blockslide, that broke up through flexure.



Svahové deformace: formy řícení (Dikau et al. 1996):

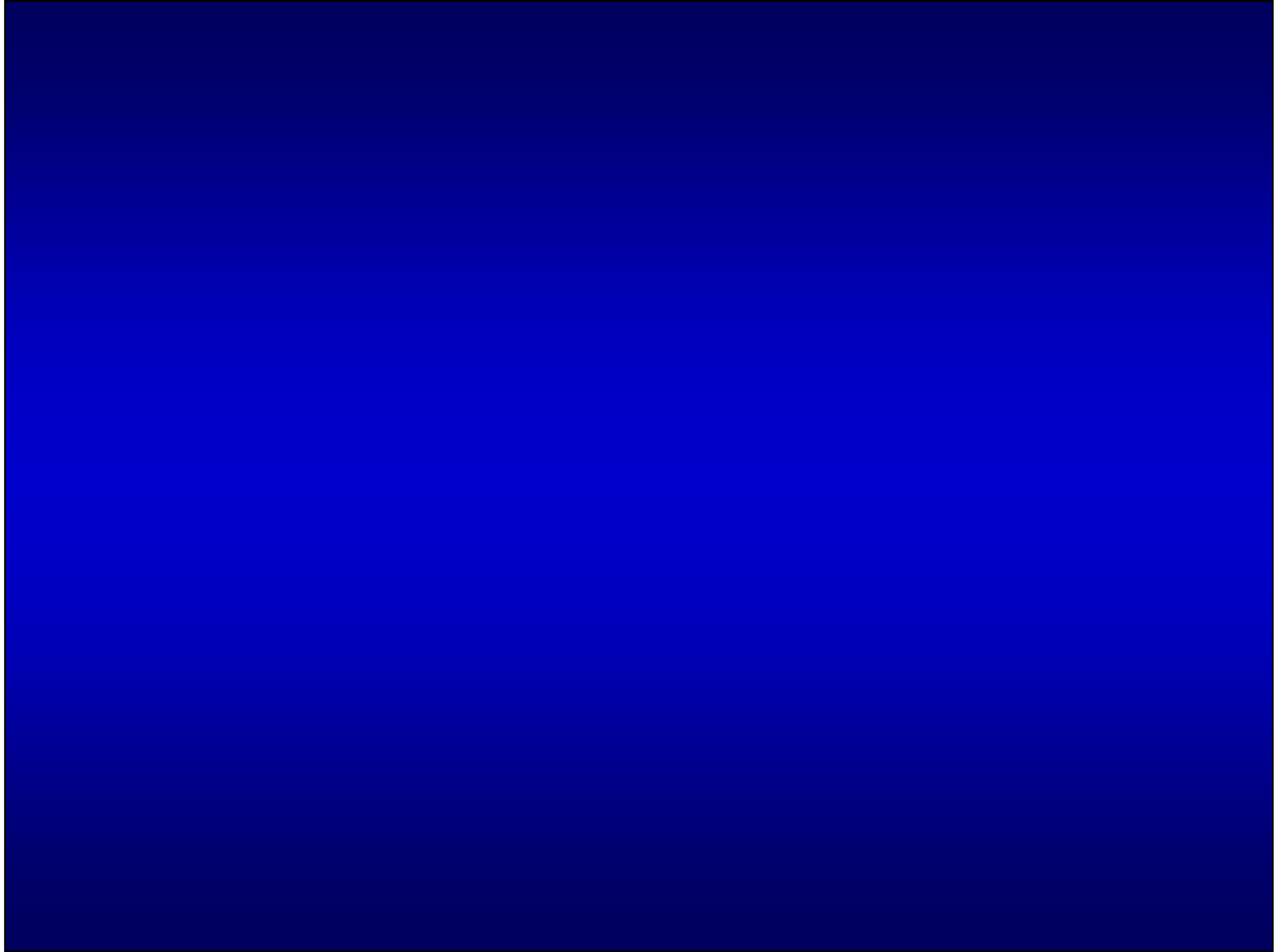
TABLE 2.2 Diagnostic features of falls

Potential	Relict
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Nature of rock face. Steep to vertical: overhanging; undercut; open cracks close to slope face.</li><li>2. Rock structures. Dip of bedding or the orientation of primary joints, faults and thrusts dipping or opening toward the free slope face, are vulnerable locations.</li><li>3. Joints lined with gouge or other soft infillings and interbedded materials are common locations.</li><li>4. Falls occur where high water pressures are possible. Melting permafrost or seasonally frozen faces are vulnerable areas.</li><li>5. Any eroded slope in debris or soil is vulnerable to boulder fall or collapse of fissured ground. Such slopes rapidly unload or weather so that boulders fall in heavy rain or similar disturbances.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Nature of scars; where rockfalls have taken place these may be curved hollows, 'bridges' or 'beams' of rock on buttresses. Wedge-shaped hollows are typical. Polished surfaces are diagnostic.</li><li>2. Look for piles of debris, loose rock, scree slopes, open-work rock textures in colluvium, detached boulders, massive debris in valley floors, valley dams.</li><li>3. If the fall source is mainly debris then the relict form may be boulders set in a redistributed matrix or colluvium. Such debris slopes are typical of previously glaciated areas where moraine follows ice retreat.</li></ol>



Svahové deformace: formy odklánění / topple (Dikau et al. 1996):





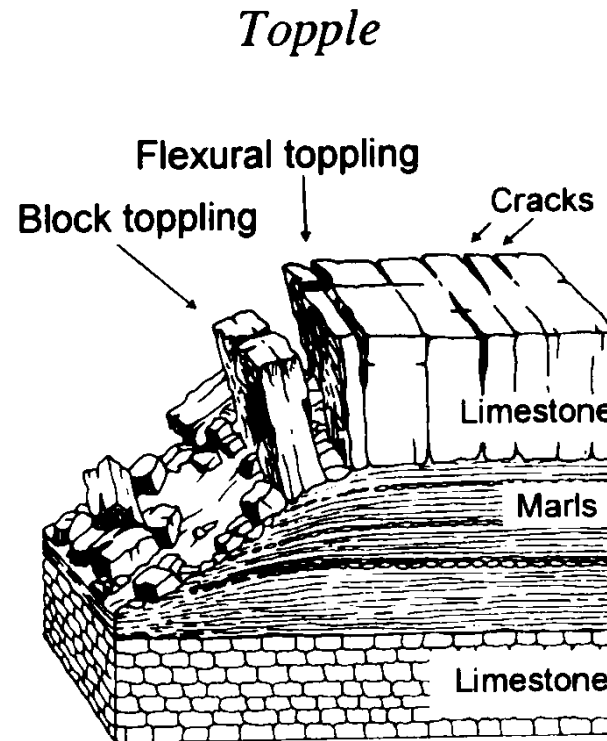


FIGURE 3.2 Typical block diagram of a topple on a Jurassic cuesta scarp slope. The geological situation is generally characterised by hard rocks (e.g. limestone) covering softer rocks (e.g. marls). The figure also illustrates that a topple is very often associated with other types of mass movement, like rockfalls (Chapter 2), rock spreading (Chapter 6.2), translational sliding along the base (chapter 5) and clay extrusion. Because movement takes place in the clays before large-scale slope failure, the required shear strength is reduced from the peak to the residual value

Svahové deformace: formy odklánění / topple (Varnes 1978):

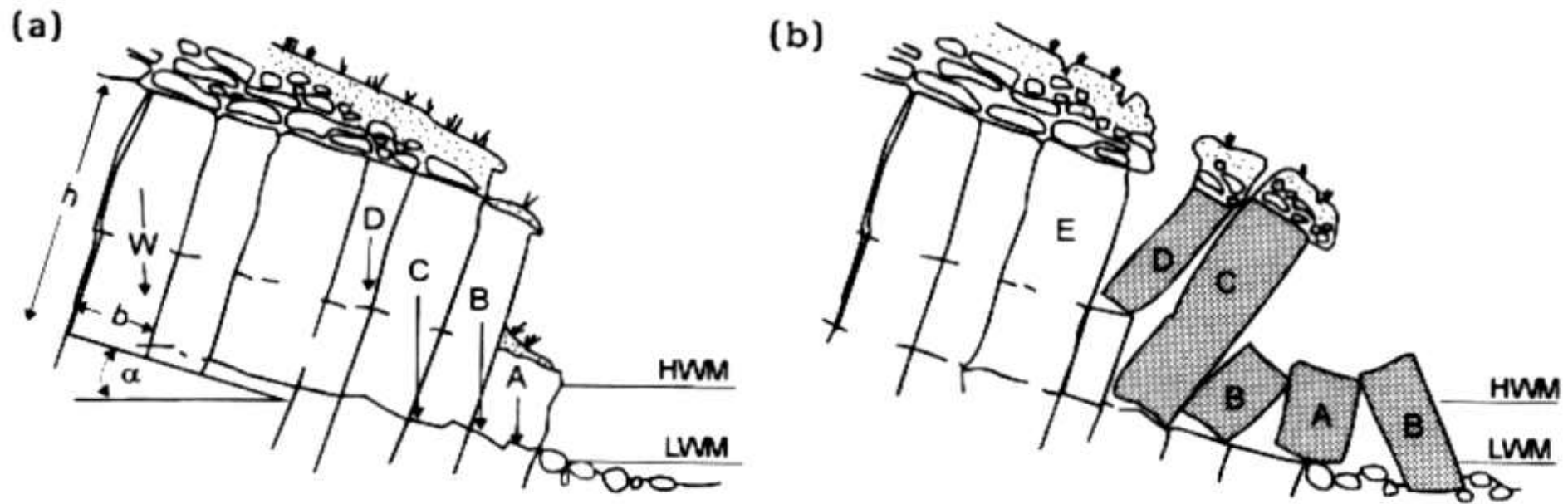


FIGURE 3.4 An example of toppling without sliding where the ratio  $b/h < \tan \alpha$  is given. The influence of basal erosion on the initiation of toppling failure is shown. (a) Toppling will occur above a surface inclined at the angle  $\alpha$  when the ratio  $b/h < \tan \alpha$ ; units B, C and D are capable of toppling but are prevented from moving by unit A. HWM = high water mark; LWM = low water mark; (b) marine erosion removes A and B falls; C and D follow but E remains by reason of its connection to a wider basal unit (after de Freitas and Watters, 1973).



Svahové deformace: formy odklánění / topple (Dikau et al. 1996):

TABLE 3.1 Diagnostic features of topples

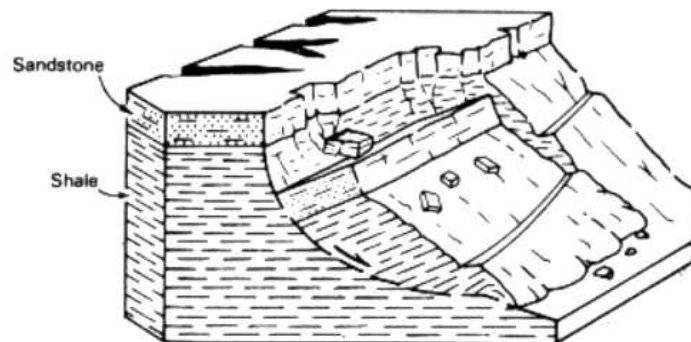
Potential	Relict
<ol style="list-style-type: none"><li>1. A free face, steep slope or cliff.</li><li>2. A sufficient unloading potential.</li><li>3. Sufficient height (weight) relative to the width of base to provide disturbing force.</li><li>4. Sufficient rock strength to allow a column to stand. Usually hard or coherent rock layer overlying a weaker stratum but may be a uniform material, e.g. loess.</li><li>5. Strong vertical joint development which divides face into columnar units.</li><li>6. Strong jointing or unloading tension cracks parallel to face.</li><li>7. Critical dip in basal materials.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Cliff top may be marked by residual, unemployed tension cracks, partially detached columns, and other decompression features. The depth of affected ground can be measured by seismic velocities.</li><li>2. Rock face will show open vertical cracks. Cracks may have chaotic infill from overlying material.</li><li>3. Base of cliff shows disturbed strata or bulging material.</li><li>4. Where a column has fallen the weathering detail on the face may be less well developed. Very fresh scars will be smooth.</li><li>5. Debris will be very chaotic. Huge boulders or partially broken columns will be scattered across the lower slopes.</li><li>6. The texture will be coarse with open work and extensive voids.</li></ol>

# Slides (*sesuvy sensu stricto*)



Svahové deformace: **sesuvy s.s.: typy smykových ploch** (Varnes 1978):

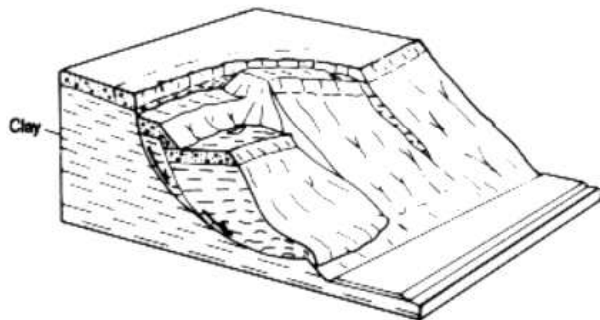
(a) rotační jednoduchá



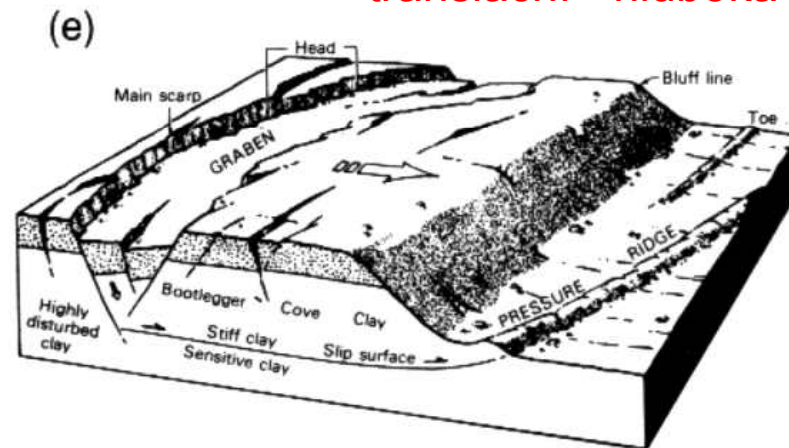
(d) translační - mělká



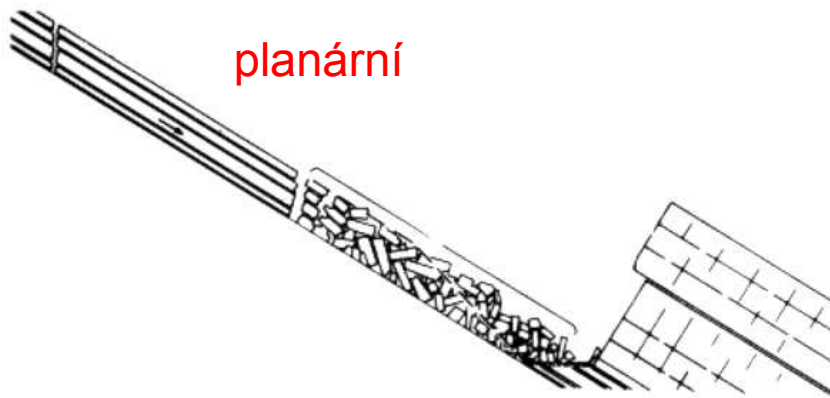
(b) rotační složená



(e) translační - hluboká

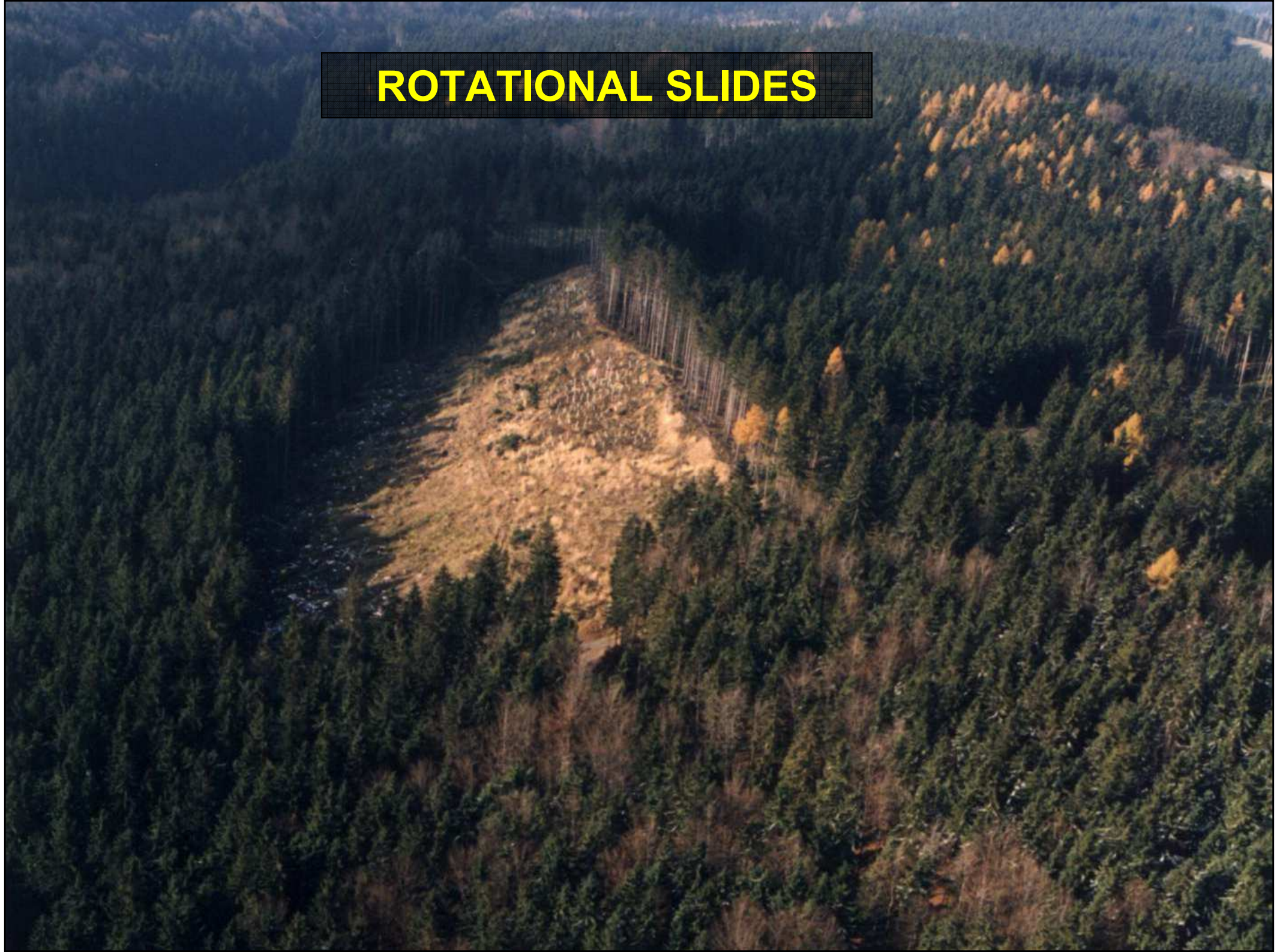


(c) planární





# ROTATIONAL SLIDES





Svahové deformace: rotační sesuvy (Dikau et al. 1996):

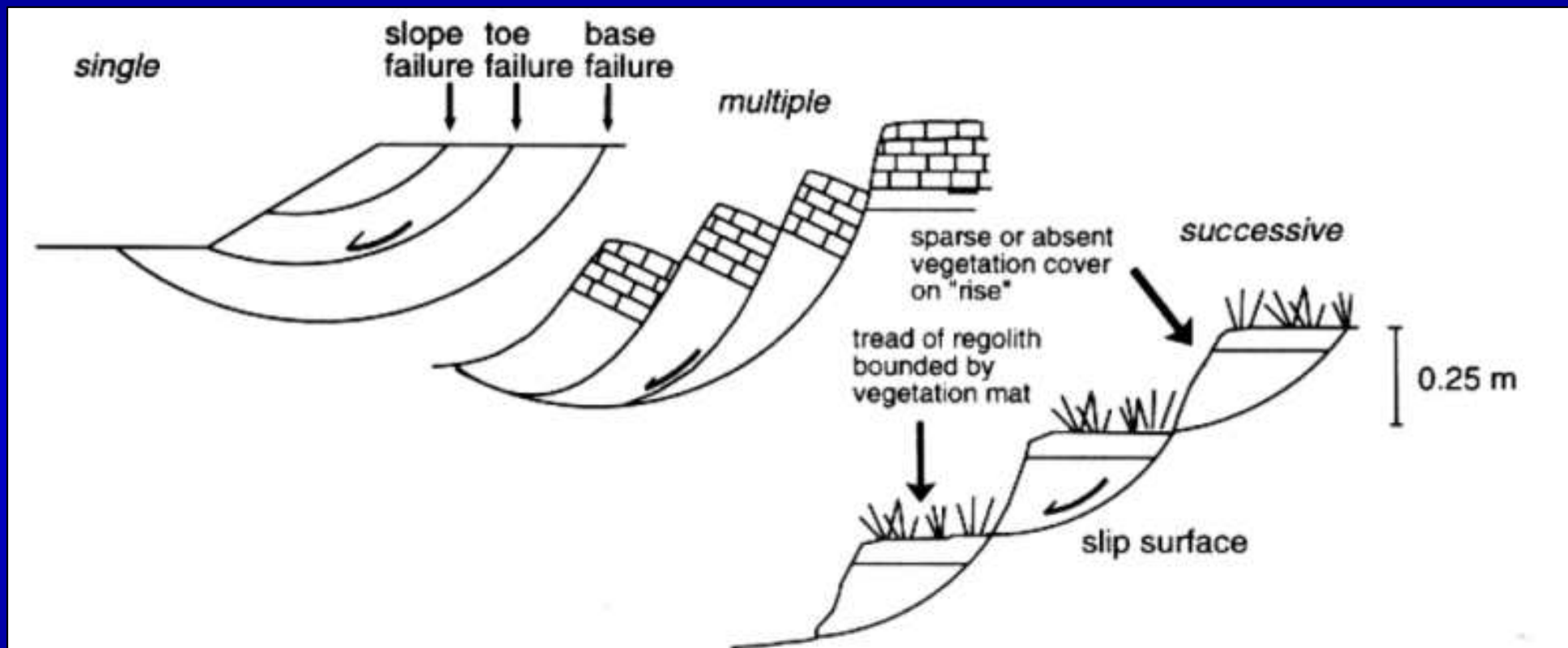
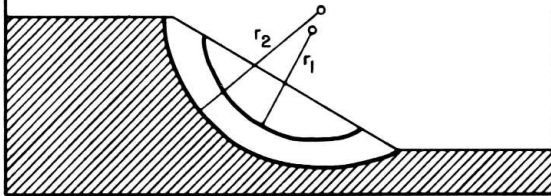


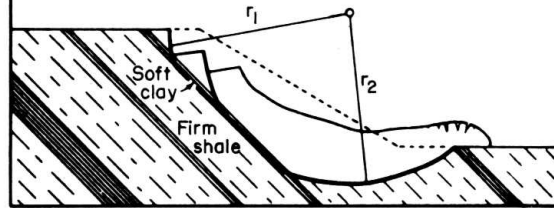
FIGURE 4.2 (a) Typical block diagram of a rotational slide. The important morphological features are marked (after Varnes, 1978). (b) Single, multiple (from Hutchinson, 1988, reproduced by permission of A.A. Balkema) and successive landslides (from Clawes and Comfort, 1982, reproduced by permission of Addison Wesley Longman Ltd)

# Svahové deformace: rotační sesuvy (Varnes 1978):

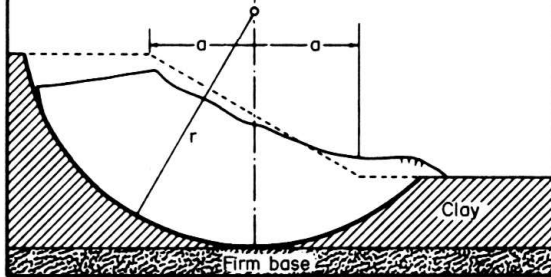
(a) SLOPE FAILURE IN HOMOGENEOUS MATERIAL. CIRCULAR ARC. (1) SLIDE WHOLLY ON SLOPE AND (2) SURFACE OF RUPTURE INTERSECTS TOE OF SLOPE.



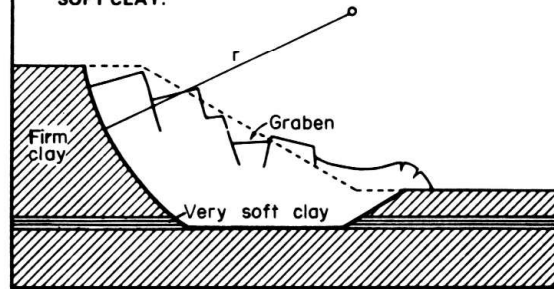
(b) SLOPE FAILURE IN NONHOMOGENEOUS MATERIAL. SURFACE OF RUPTURE FOLLOWS DIPPING WEAK BED.



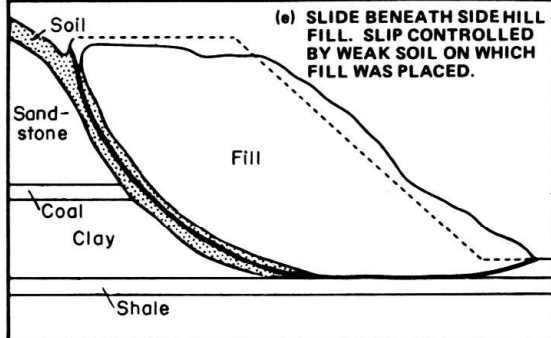
(c) BASE FAILURE IN HOMOGENEOUS CLAY. SLIP CIRCLE TANGENT TO FIRM BASE, CENTER ON VERTICAL BISECTOR OF SLOPE.



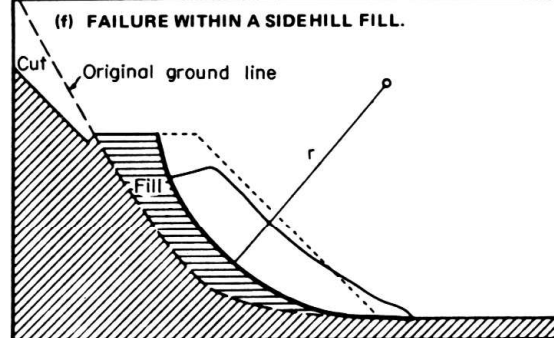
(d) BASE FAILURE IN NONHOMOGENEOUS MATERIAL. SURFACE OF RUPTURE FOLLOWS BED OF VERY SOFT CLAY.



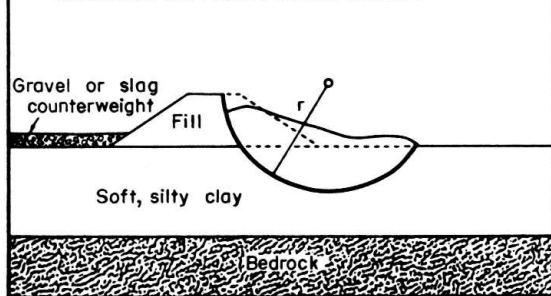
(e) SLIDE BENEATH SIDEHILL FILL. SLIP CONTROLLED BY WEAK SOIL ON WHICH FILL WAS PLACED.



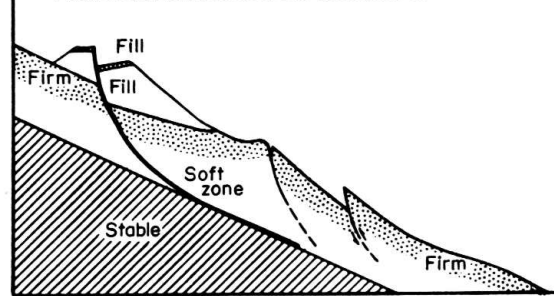
(f) FAILURE WITHIN A SIDEHILL FILL.



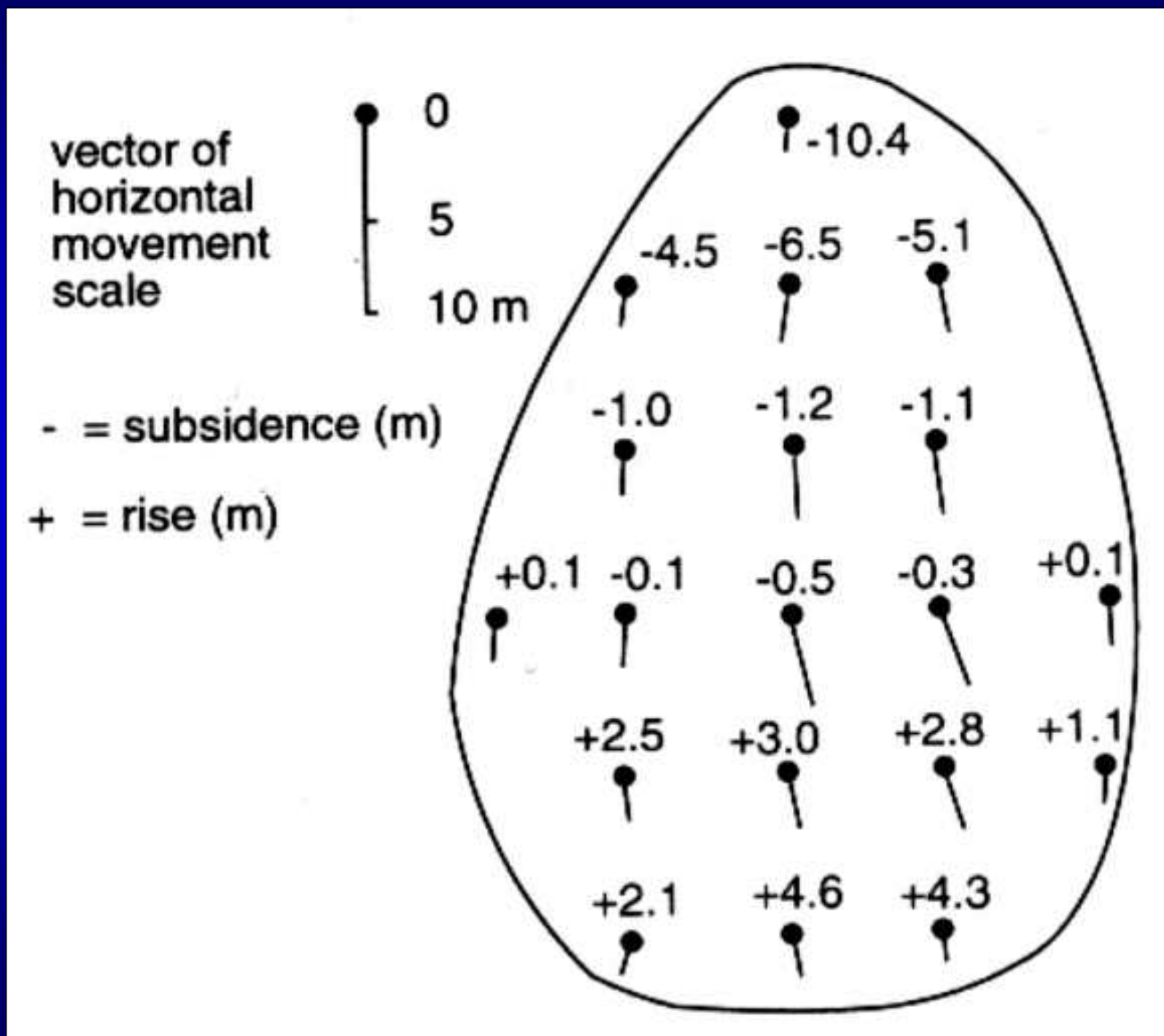
(g) FAILURE OF EMBANKMENT. GRAVEL COUNTERWEIGHT ON LEFT SIDE PREVENTS SLIDE.



(h) SLIDE IN FILL INVOLVING UNDERTHRUSTING OF FIRM SURFACE MATERIAL DOWN SLOPE.

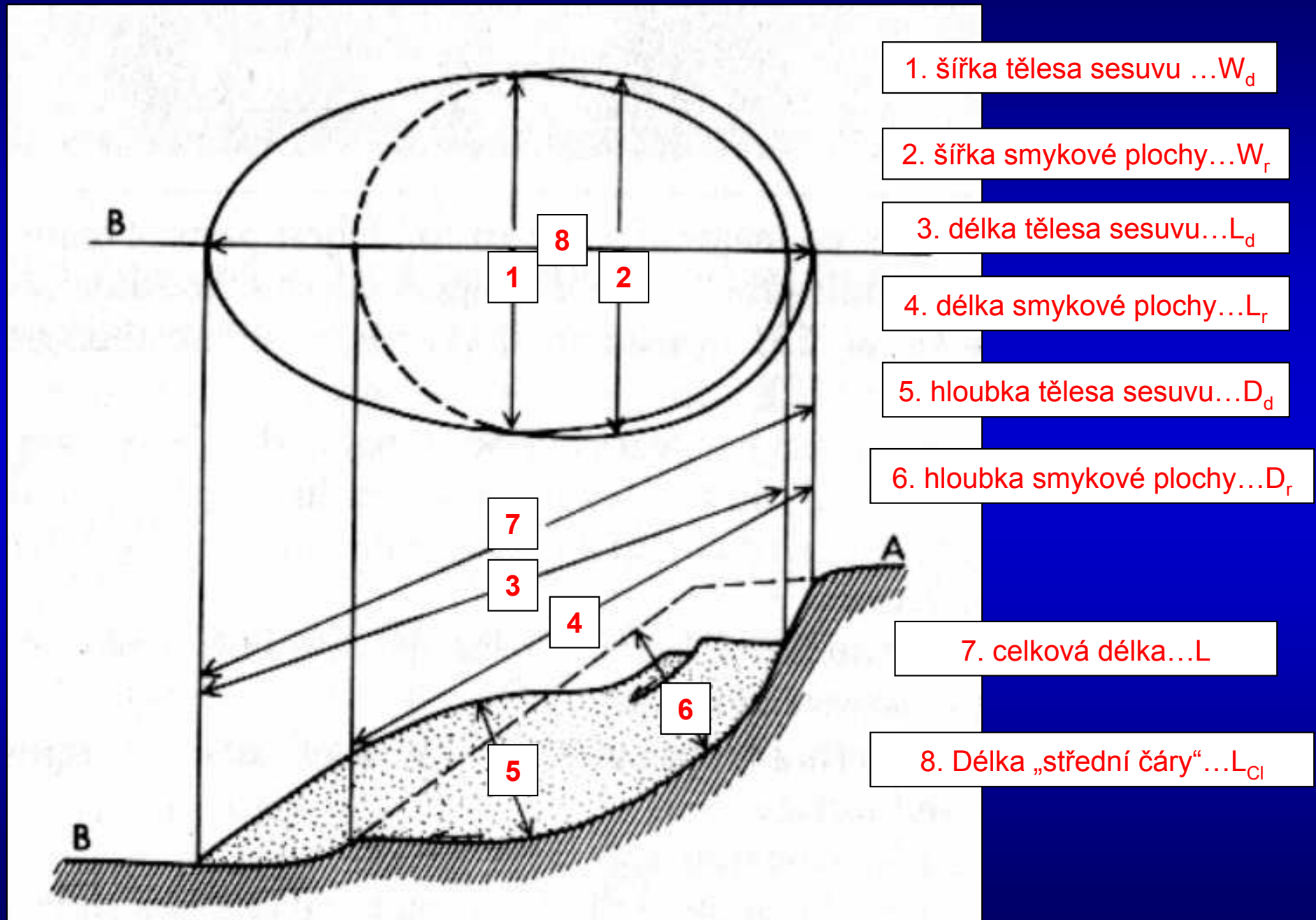


Svahové deformace: rotační sesuvy (Varnes 1978):

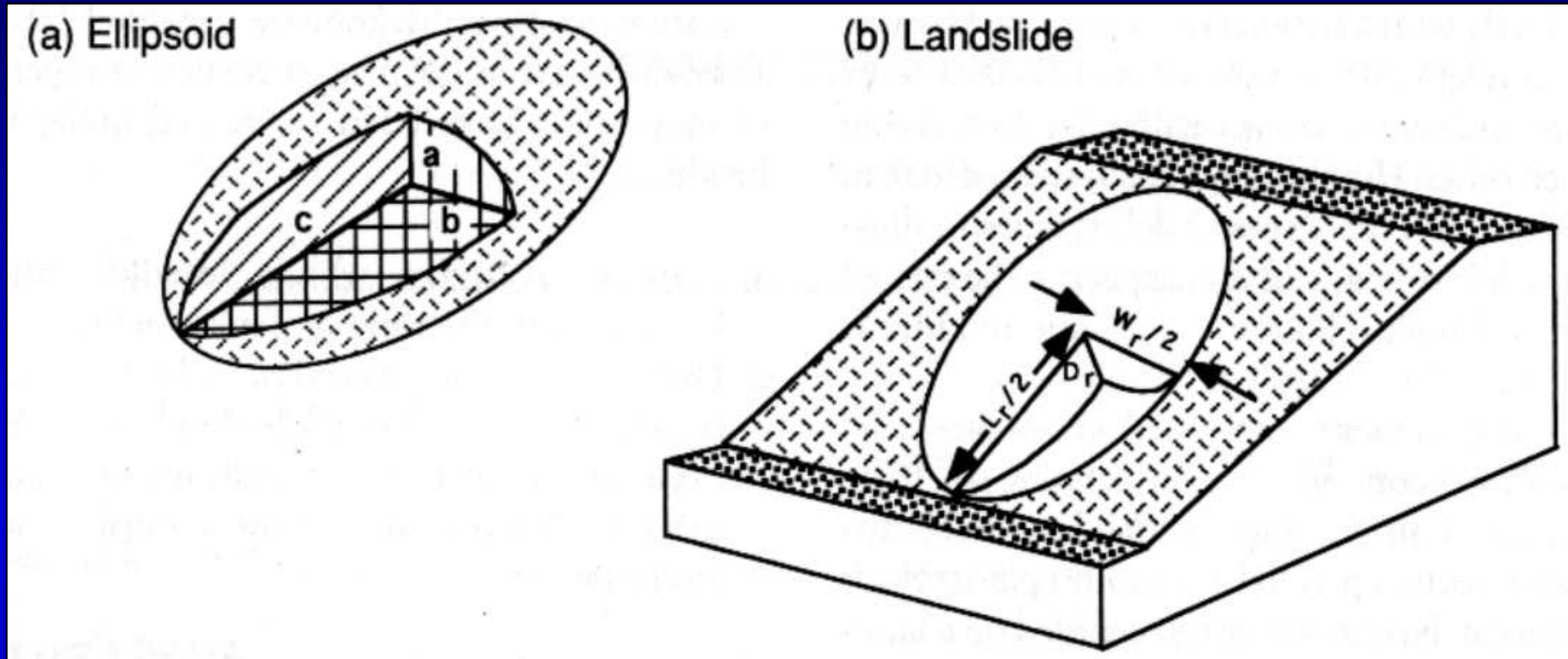




# Svahové deformace: rotační sesuvy - rozměry (Varnes 1978)



Svahové deformace: rotační sesuvy - objem sesuvu (Turner, Schuster 1996)



Objem elipsoidu:

$$V_{\text{eps}} = 4/3 \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot c$$

Objem sesuvu (před pohybem):

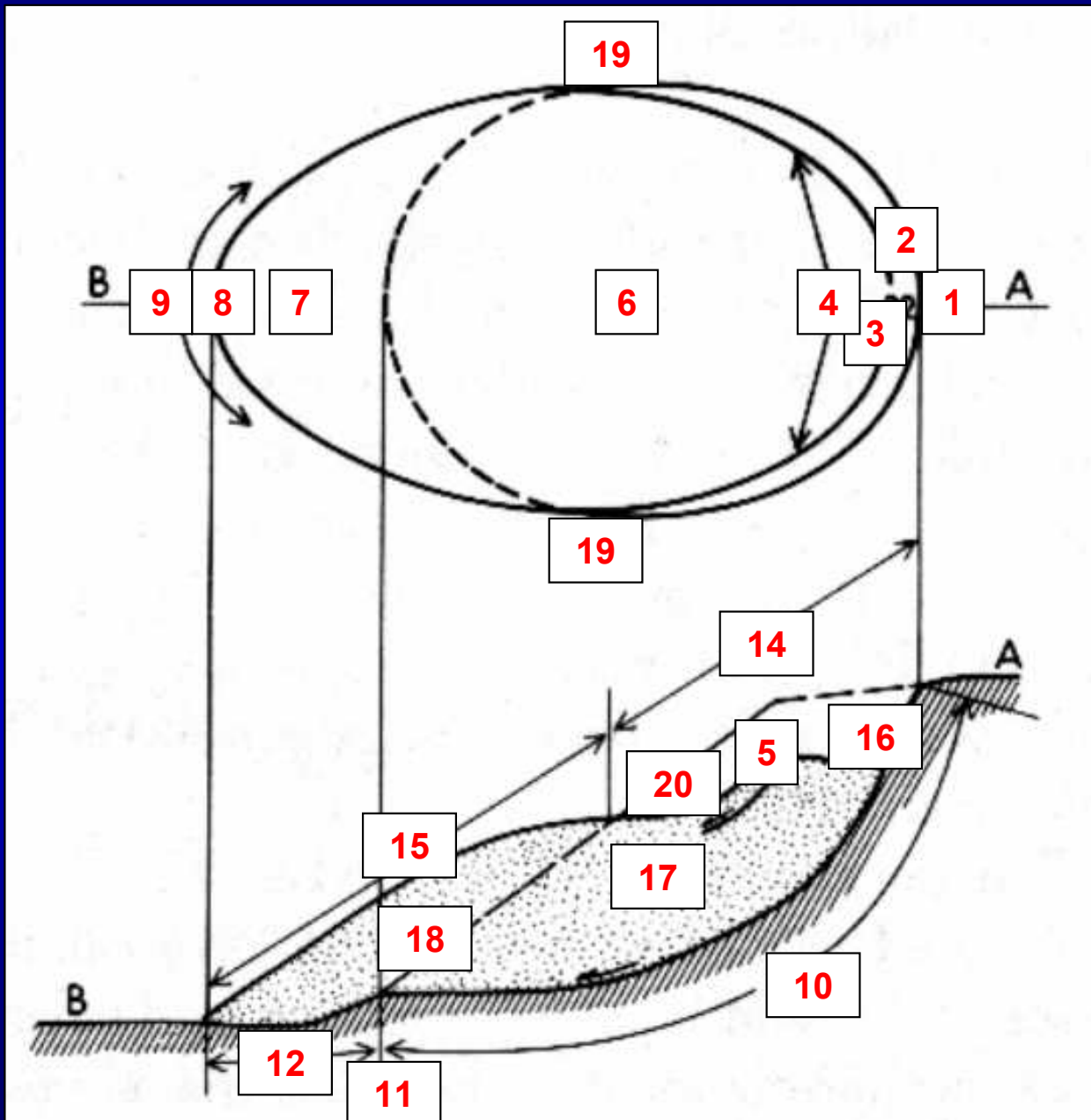
$$\begin{aligned} \underline{V_{\text{Ls}}} &= 1/2 \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot c = 4/6 \pi D_r \cdot W_r/2 \cdot L_r/2 = \\ &= \underline{1/6 \pi D_r \cdot W_r \cdot L_r} \end{aligned}$$

Objem sesuvu (po pohybu):

dochází k nakypření hmoty sesuvu

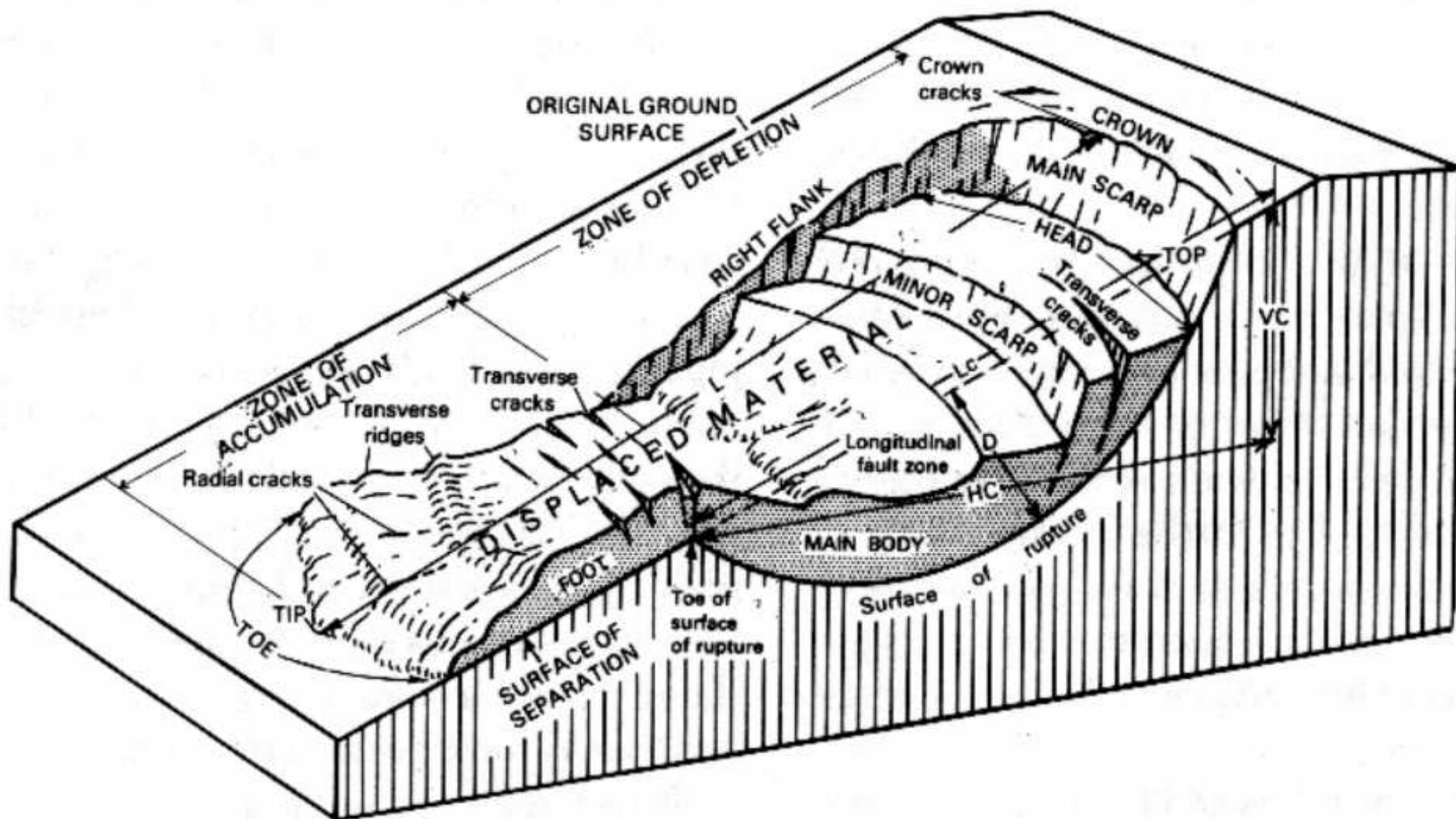
$$\underline{V_{\text{Ls}}} = \underline{1/6 \pi D_d \cdot W_d \cdot L_d}$$

# Svahové deformace: sesuvy - terminologie tvarů (Varnes 1978)



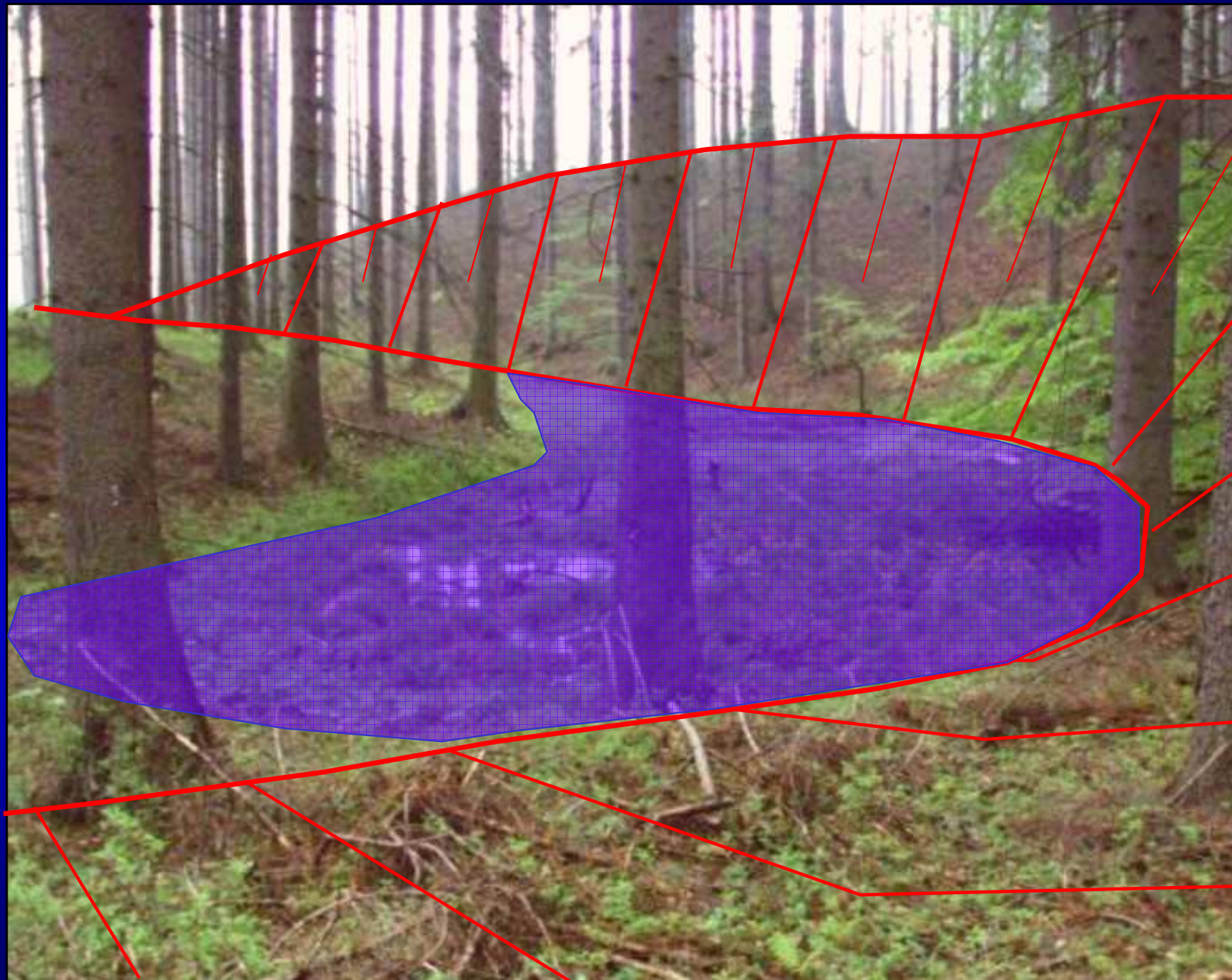
1. crown / „koruna“
2. main scarp / hlavní odlučná stěna
3. top / vrchol
4. head / odlučná oblast
5. minor scarp / dílčí odl. stěna
6. main body / hl. část tělesa sesuvu
7. foot / báze
8. tip / čelo
9. toe / pata
10. surface of rupture / smyková plocha
11. toe of surf. of rupt. / pata sm. plochy
12. surf. of separation / plocha pohřbení
13. displaced material / těleso sesuvu
14. zone of depletion / oblast vyprázdnění
15. z. of accumulation / o. akumulace
16. depletion / vyprázdnění (evakuace)
17. depleted mass / úbytek hmoty
18. accumulation / akumulace
19. flank / okraj
20. orig. ground surface / původní povrch

Svahové deformace: rotační sesuvy - terminologie tvarů (Varnes 1978)





# Horninové kry, srázy odlučných stěn a týlní deprese s jezírky (Vaculov-Sedlo)





# Horninové kry, srázy odlučných stěn a týlní deprese s jezírky (Vaculov-Sedlo)





## Rotovaná horninová kra (Vaculov-Sedlo)





## Relativně mělké frontální sesuvy na čele rotované kry (Vaculov-Sedlo)



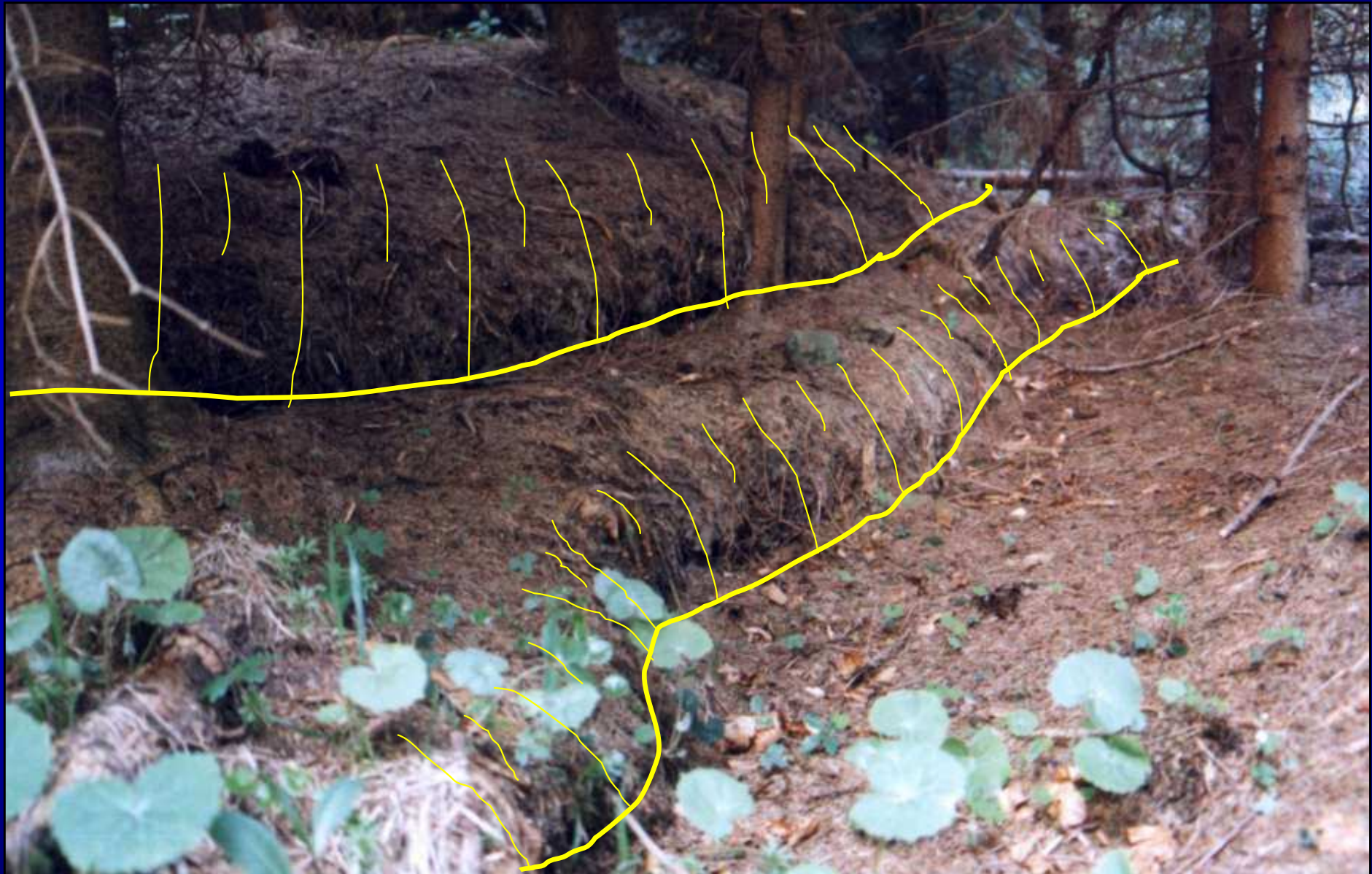


## Čelo sesuvu mělkého translačního sesuvu (Vaculov-Sedlo)



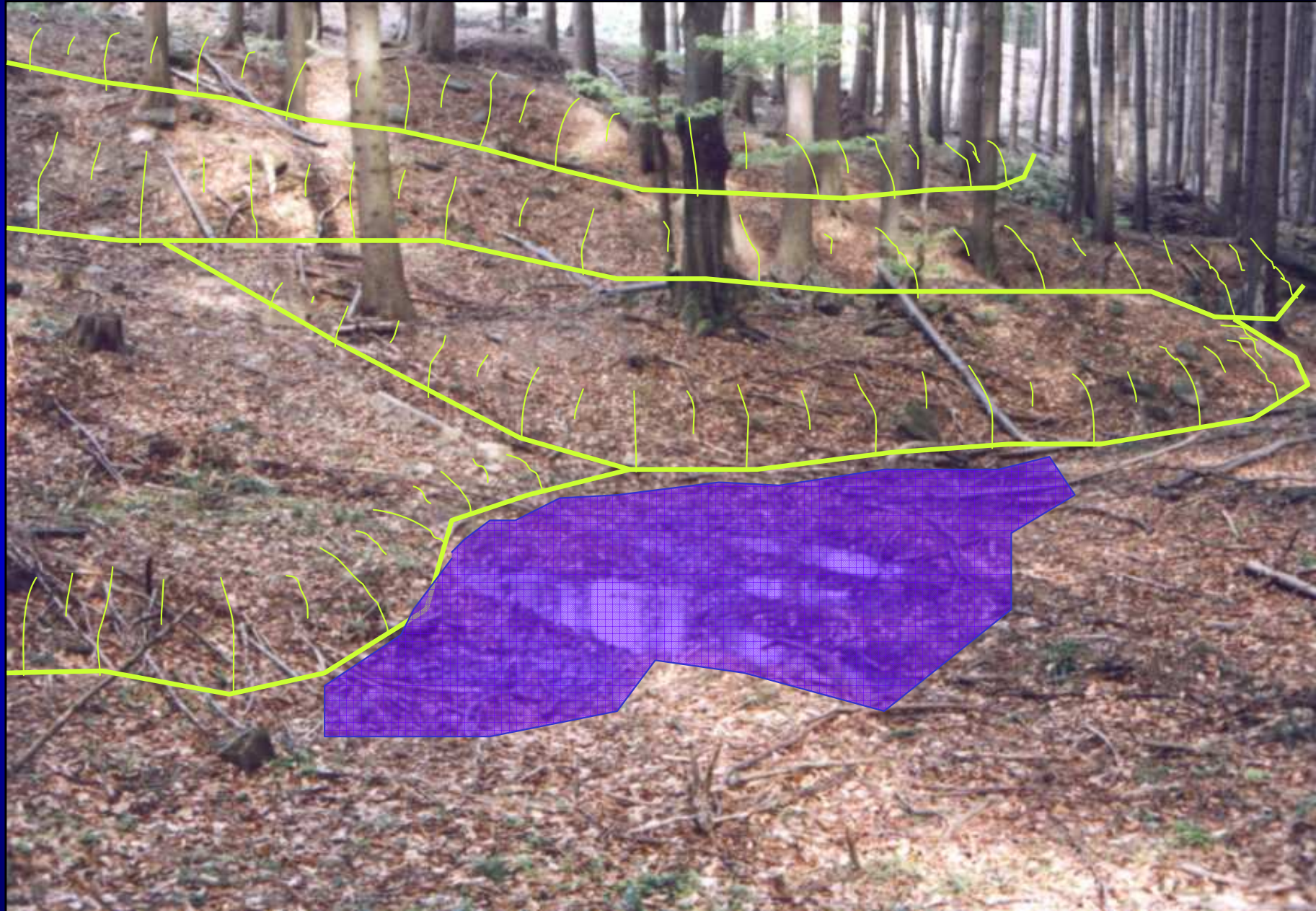


## Akumulační čela mělkých sesuvů (Vaculov-Sedlo)





Různé generace akumul. čel a výtlačných vrás mělkých frontálních sesuvů  
(Vaculov-Sedlo)





## Výtlačné vrásky (Vaculov-Sedlo)



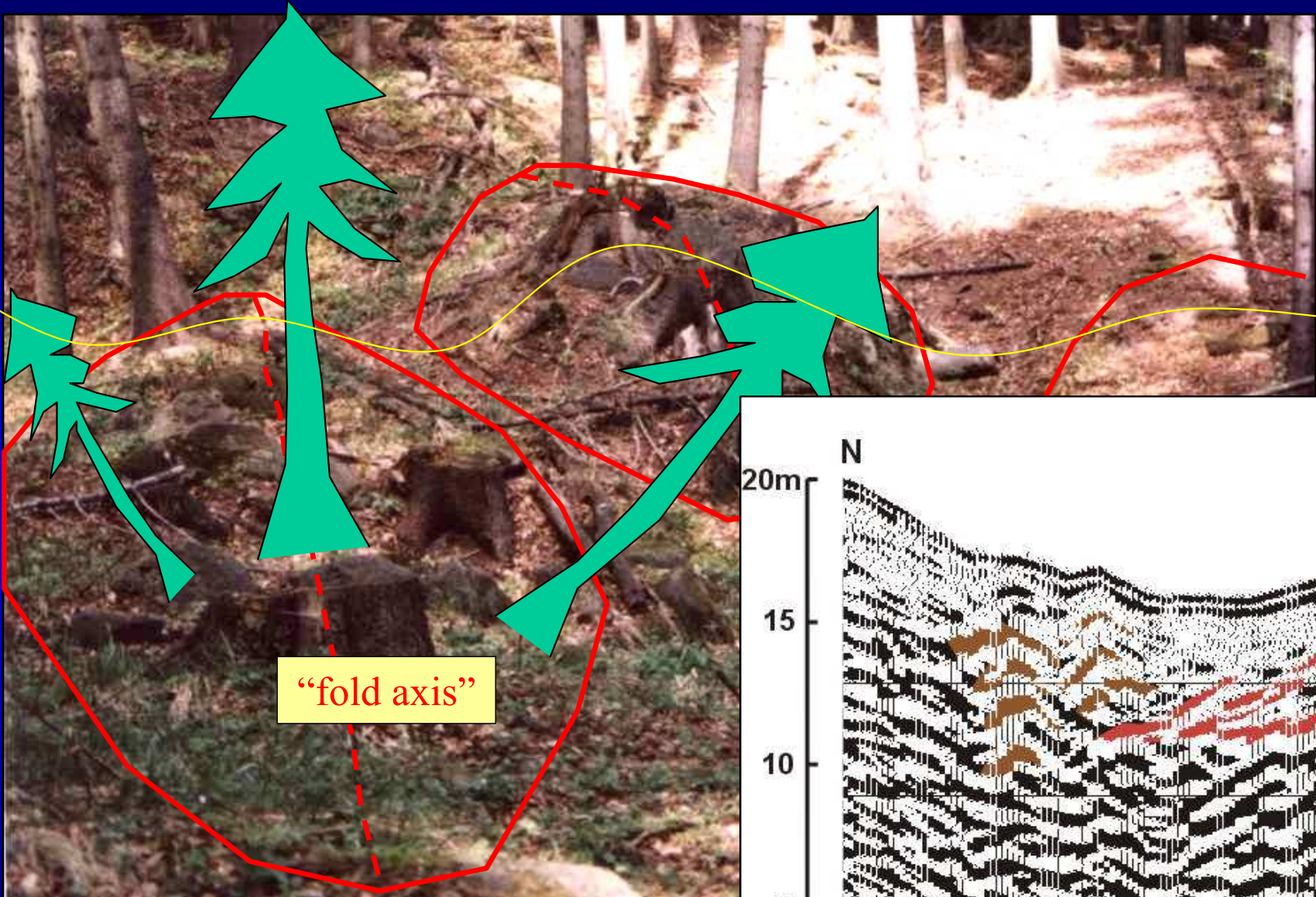


## Výtlačné vrásy (Vaculov-Sedlo)

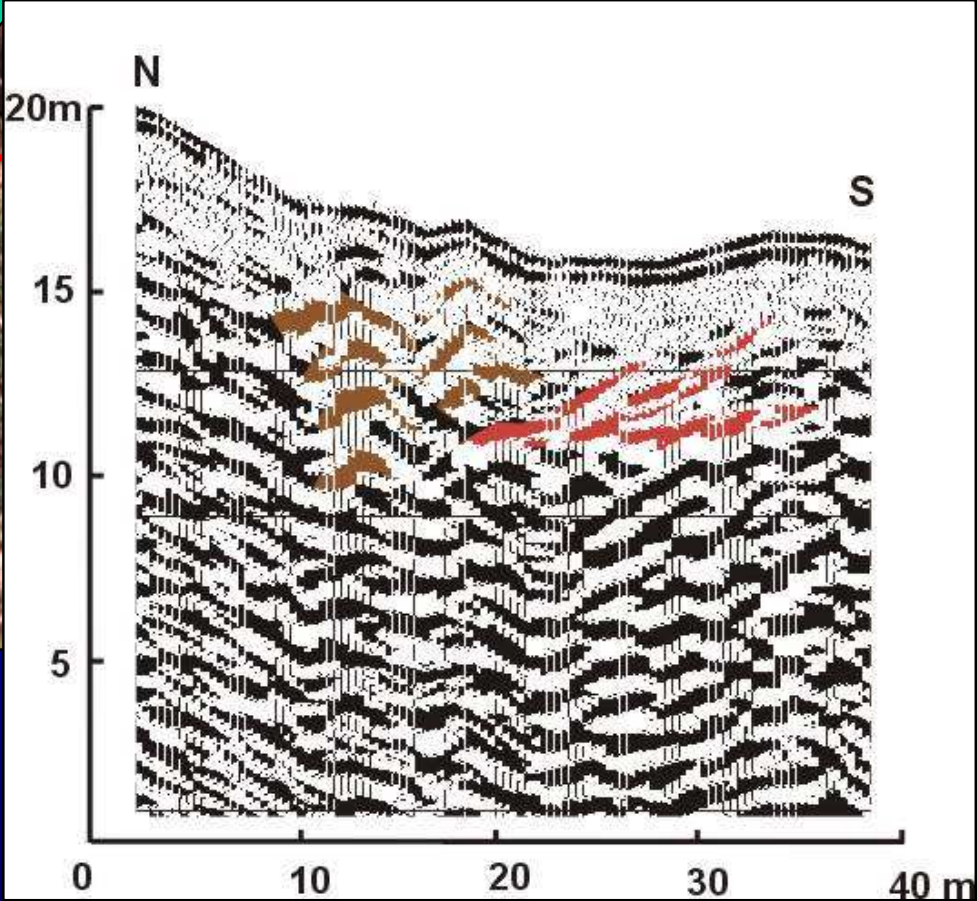




# Slope failure features: pressure anticlines

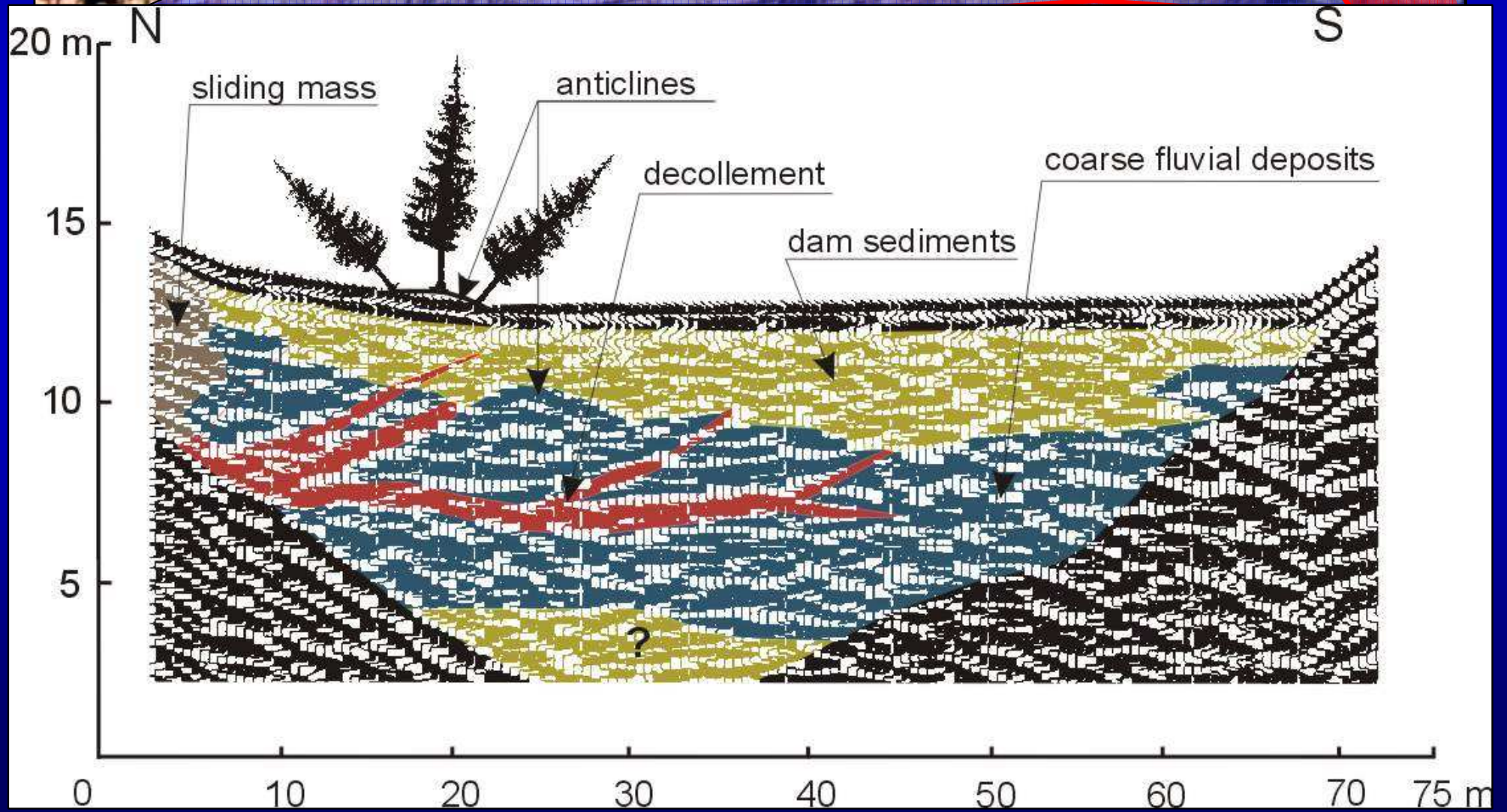


“fold axis”





# Slope failure features: pressure anticlines





## Slope failure features: pressure anticlines





## Slope failure features: pressure anticlines





## Slope failure features: pressure anticlines



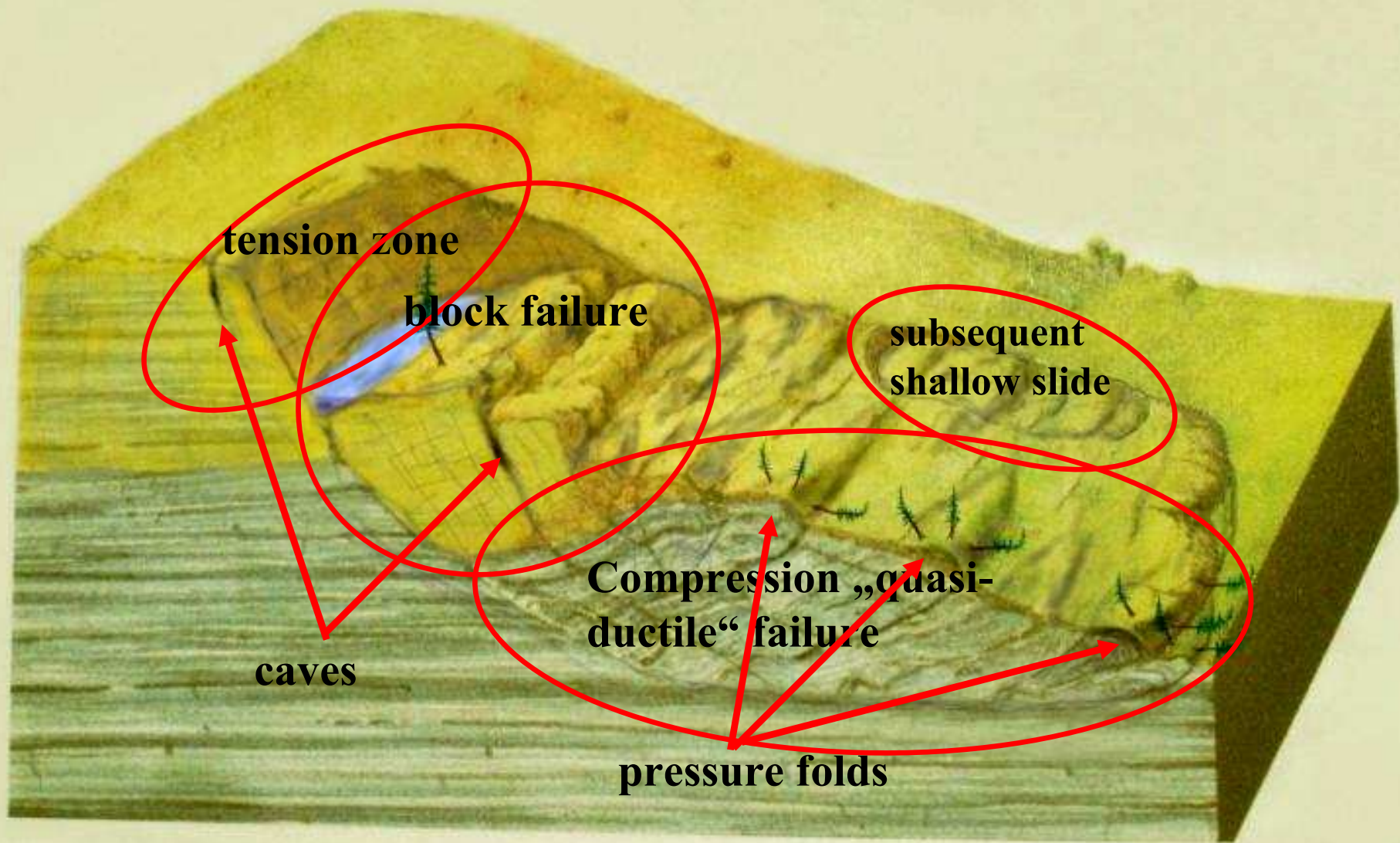


## Kolenovité kořeny mezi výtlačnými vrásami (Vaculov-Sedlo)





# Idealised sketch of a rotational deep-seated slope failure



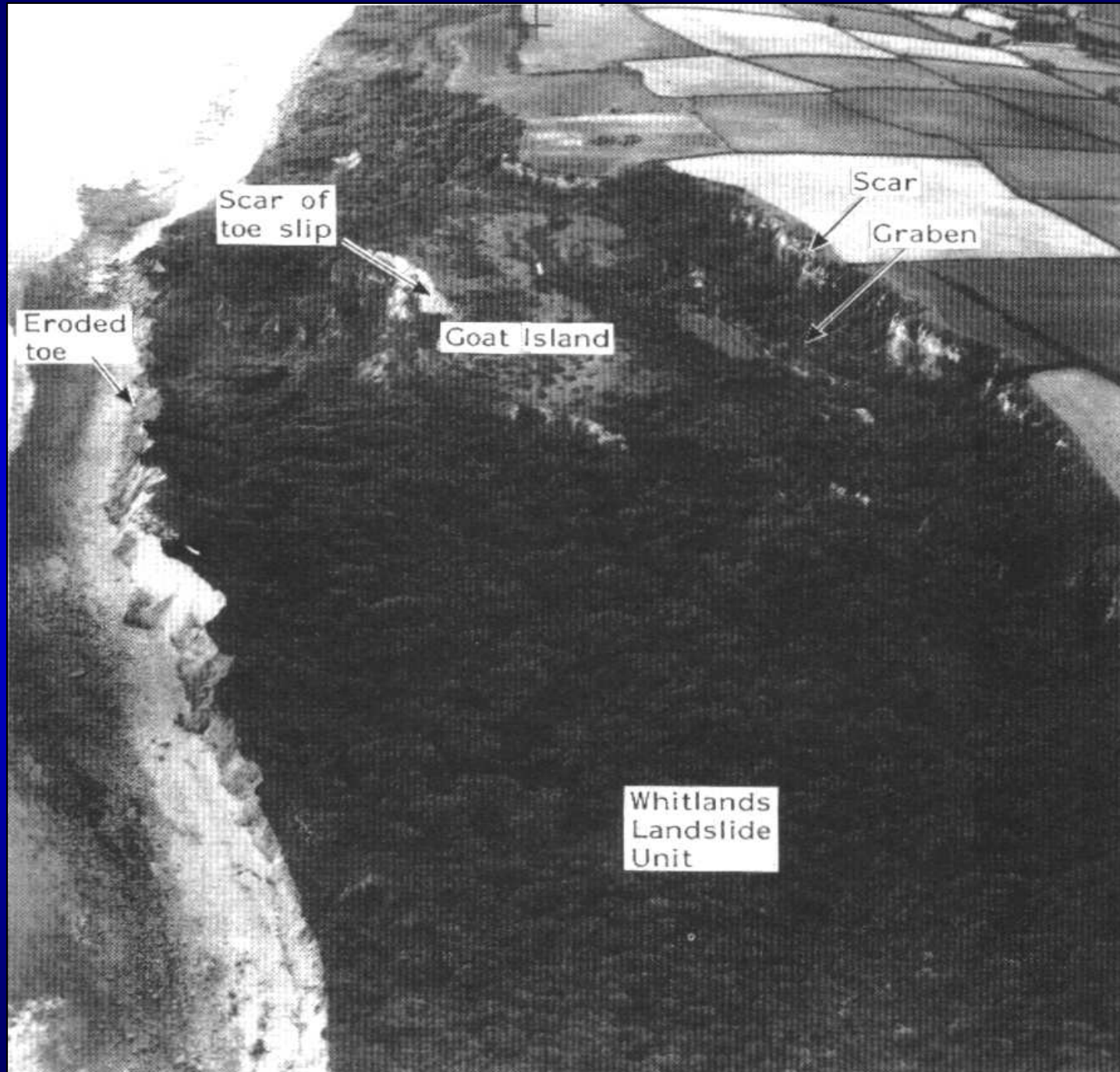


Svahové deformace: rotační sesuvy (Dikau et al. 1996):

TABLE 4.5 Diagnostic features of rotational slides

Potential	Relict
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Single rotational slides require steep slopes, undercut areas, erosion by streams and the sea.</li><li>2. Rise in piezometric surface or change in the water regime.</li><li>3. Usually, consolidated clays and uniform clay outcrops.</li><li>4. Multiple slides commonly occur where permeable rocks overly impermeable materials.</li><li>5. A weak layer is usually required to allow development of a common shear surface for multiple slides.</li><li>6. Retrogressive unloading could generate new slides.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Hummocky ground.</li><li>2. Toe area recognisable as a pronounced lobe with a steep front.</li><li>3. Crown will have a back-tilted or horizontal surface.</li><li>4. Hollows infilled with washed debris and organic material common at the head.</li><li>5. All irregularities will be smoothed out and infilled in time. Form may be completely erased to a smooth slope, but the structure and shear surface will remain beneath the ground.</li><li>6. Tension cracks may be visible at the head.</li></ol>

Svahové deformace: translační sesuvy (Dikau et al. 1996):



Bindon block slide, Devon, UK



Svahové deformace: **translační sesuvy** (Dikau et al. 1996):

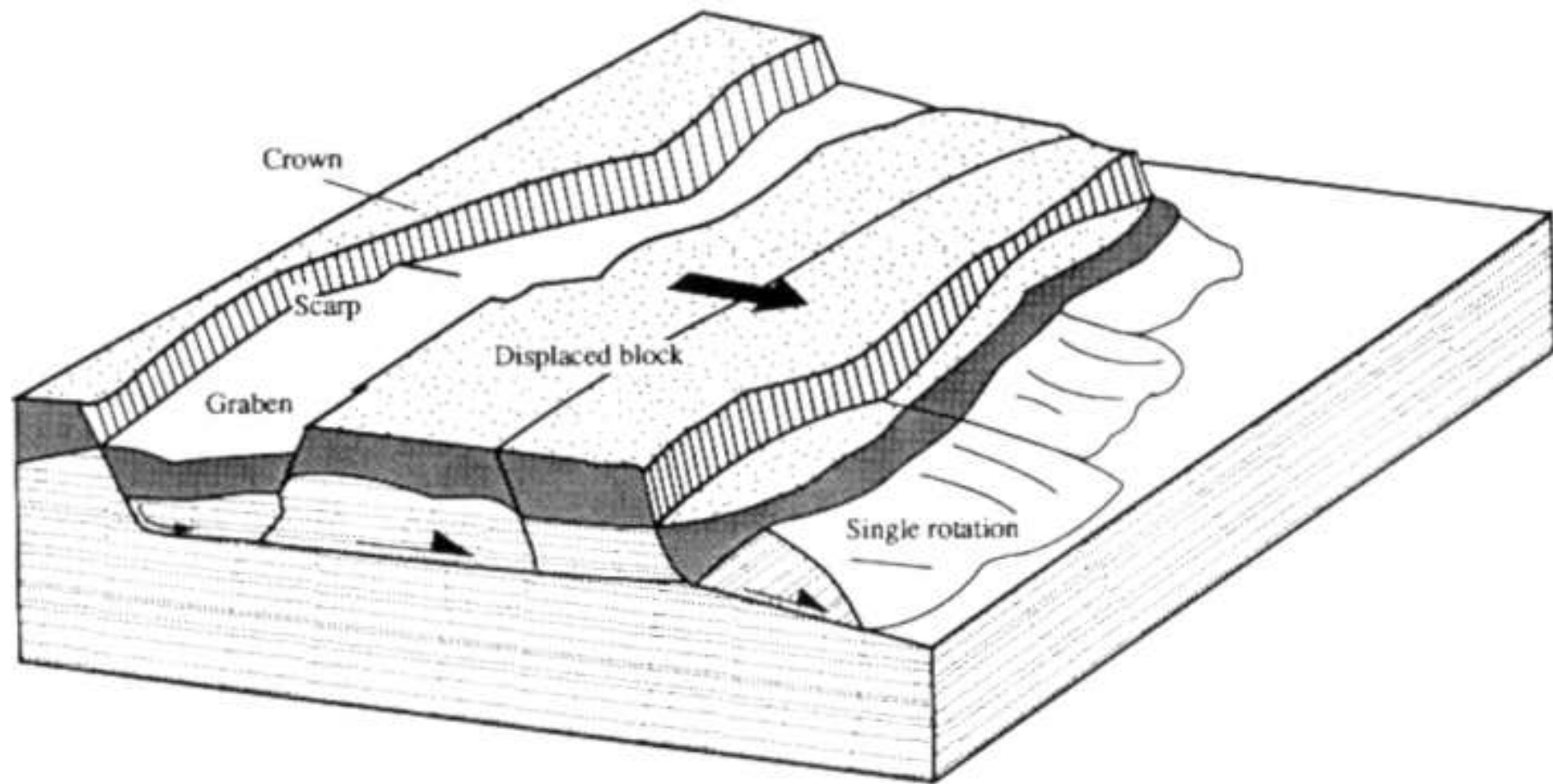
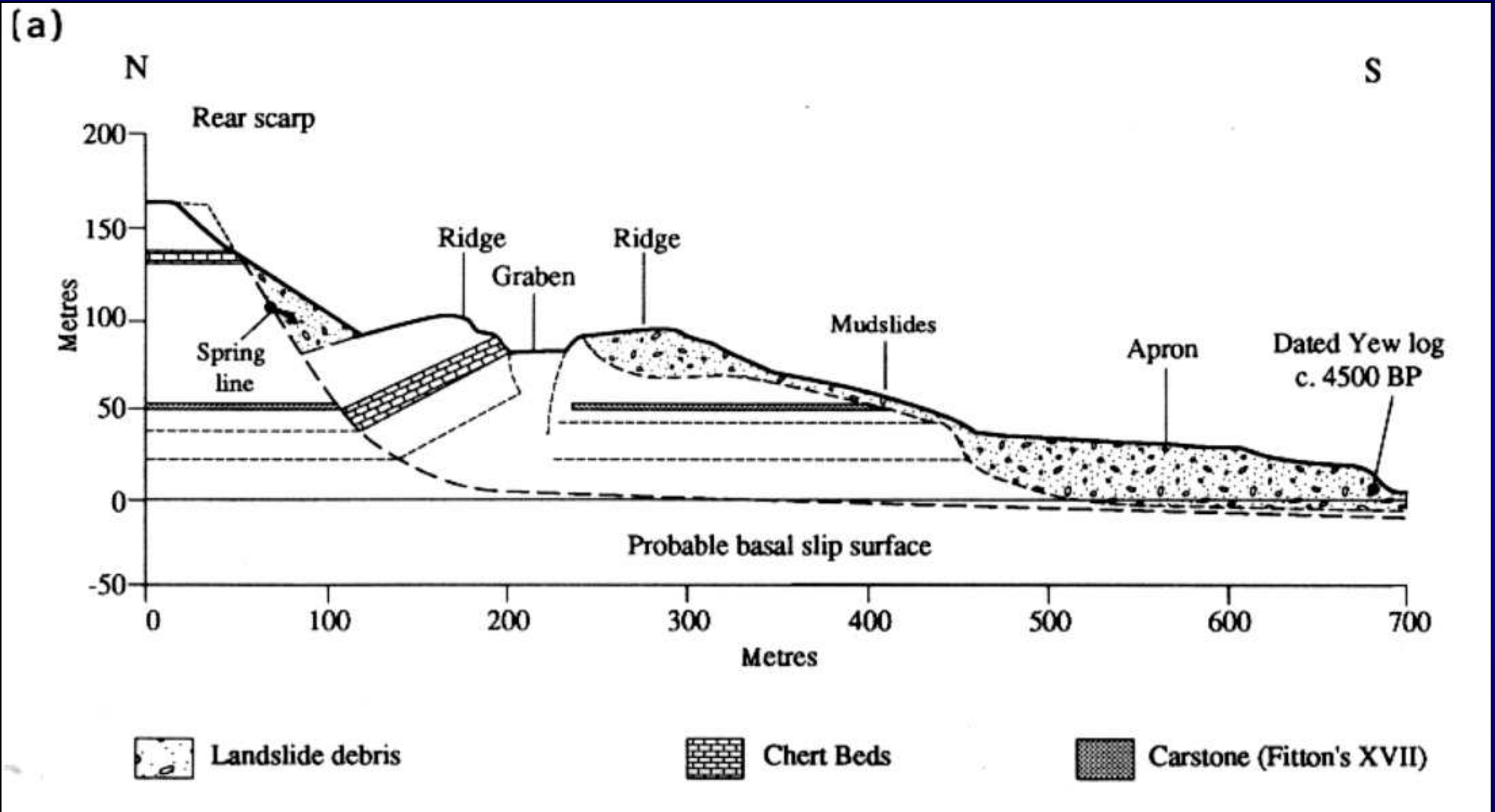


FIGURE 5.2.1 Schematic block diagram of a typical block slide, a failure on a near planar surface with little rotational movement (after GSL, 1987)

# Svahové deformace: translační sesuvy (Dikau et al. 1996):

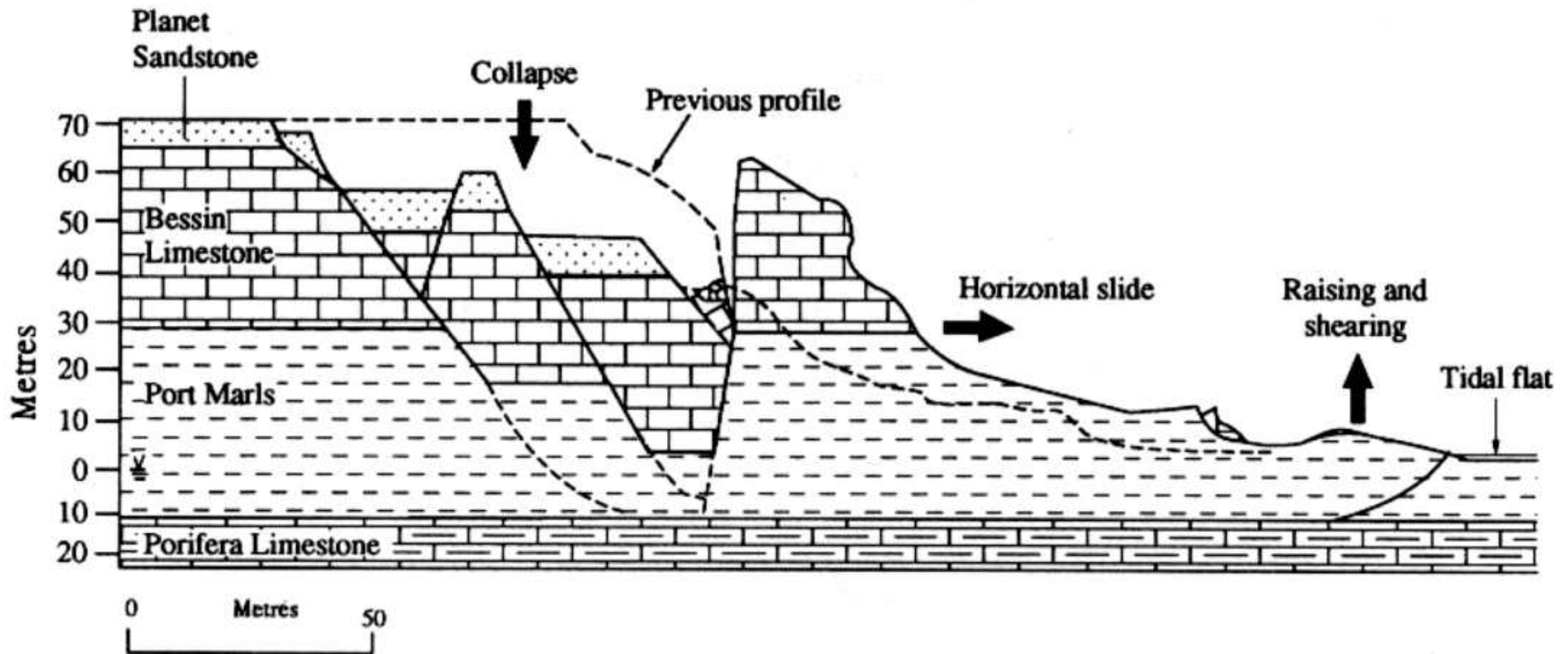




Svahové deformace: **translační sesuvy** (Dikau et al. 1996):

b) SSW

NNE



# Svahové deformace: translační sesuvy (Dikau et al. 1996):

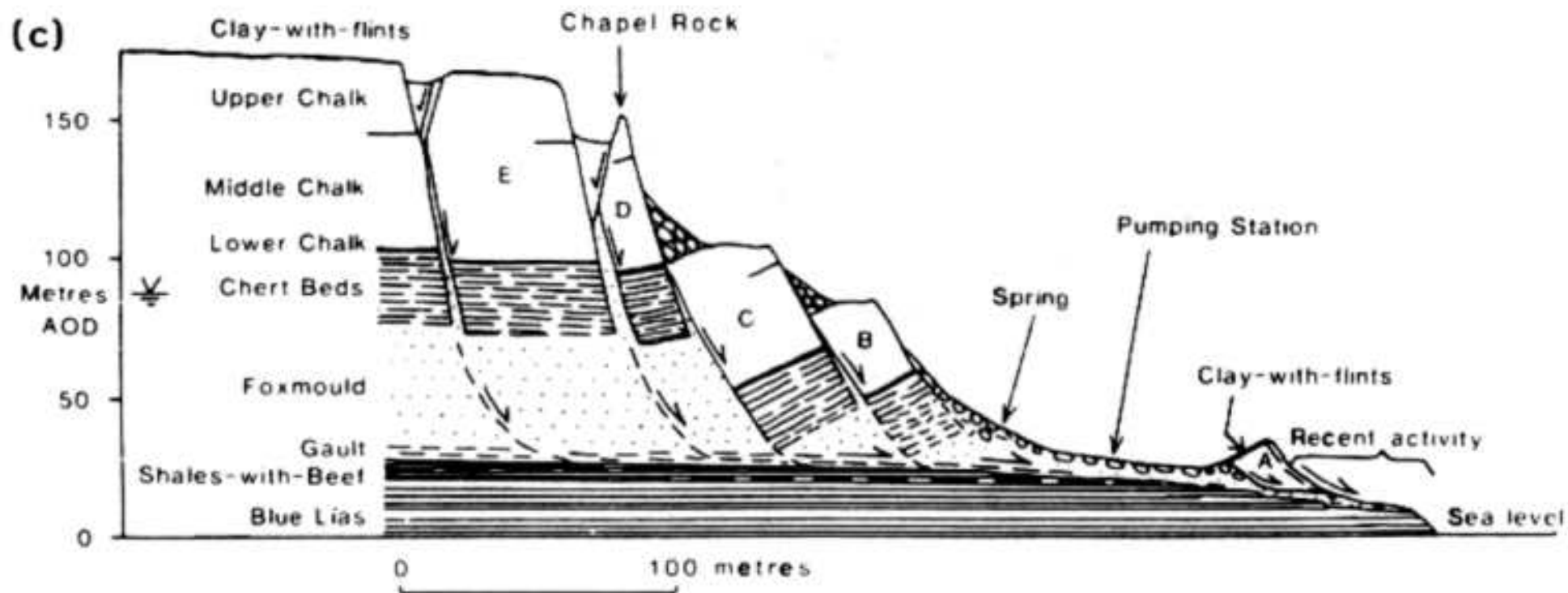
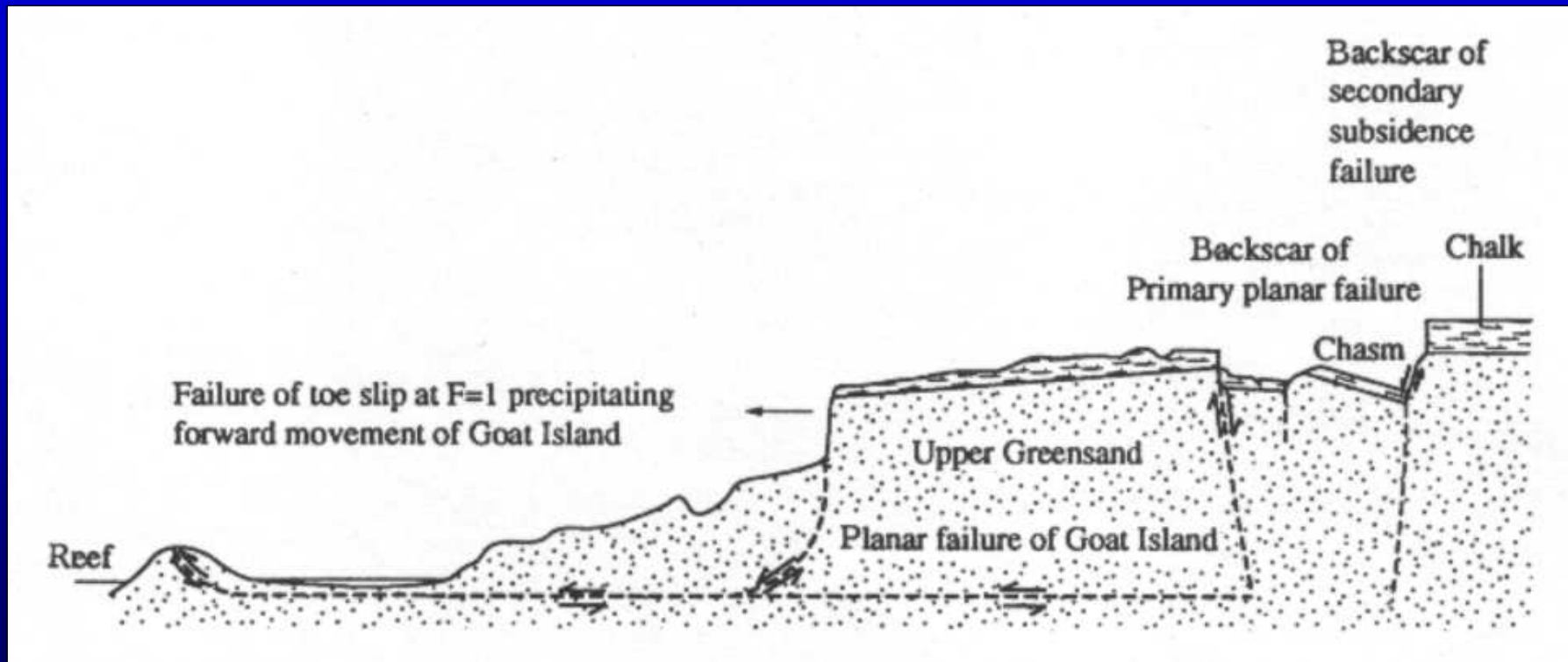
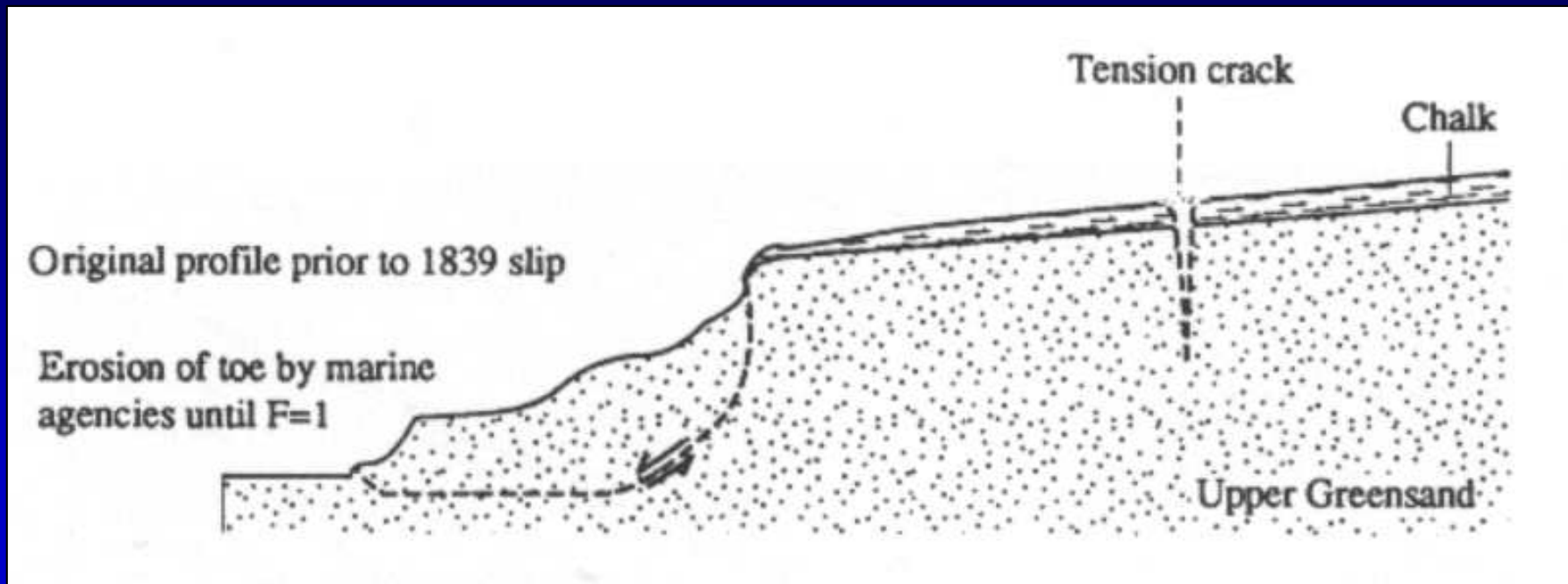


FIGURE 5.2.2 For caption see facing page





## Svahové deformace: **translační sesuvy** (Dikau et al. 1996):

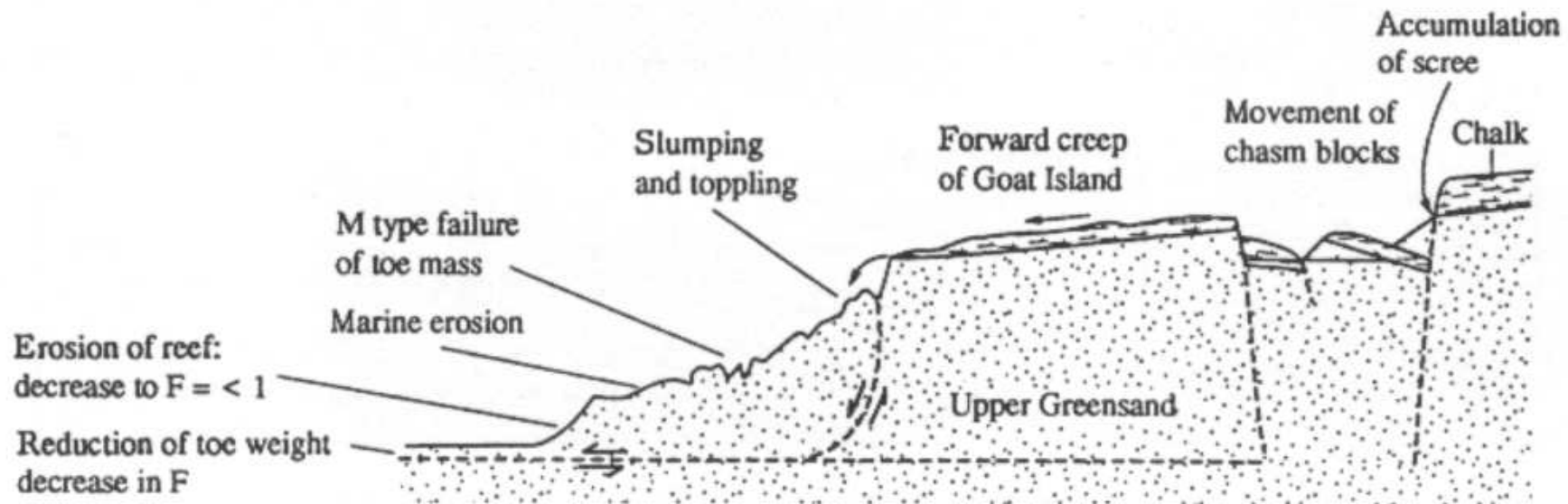
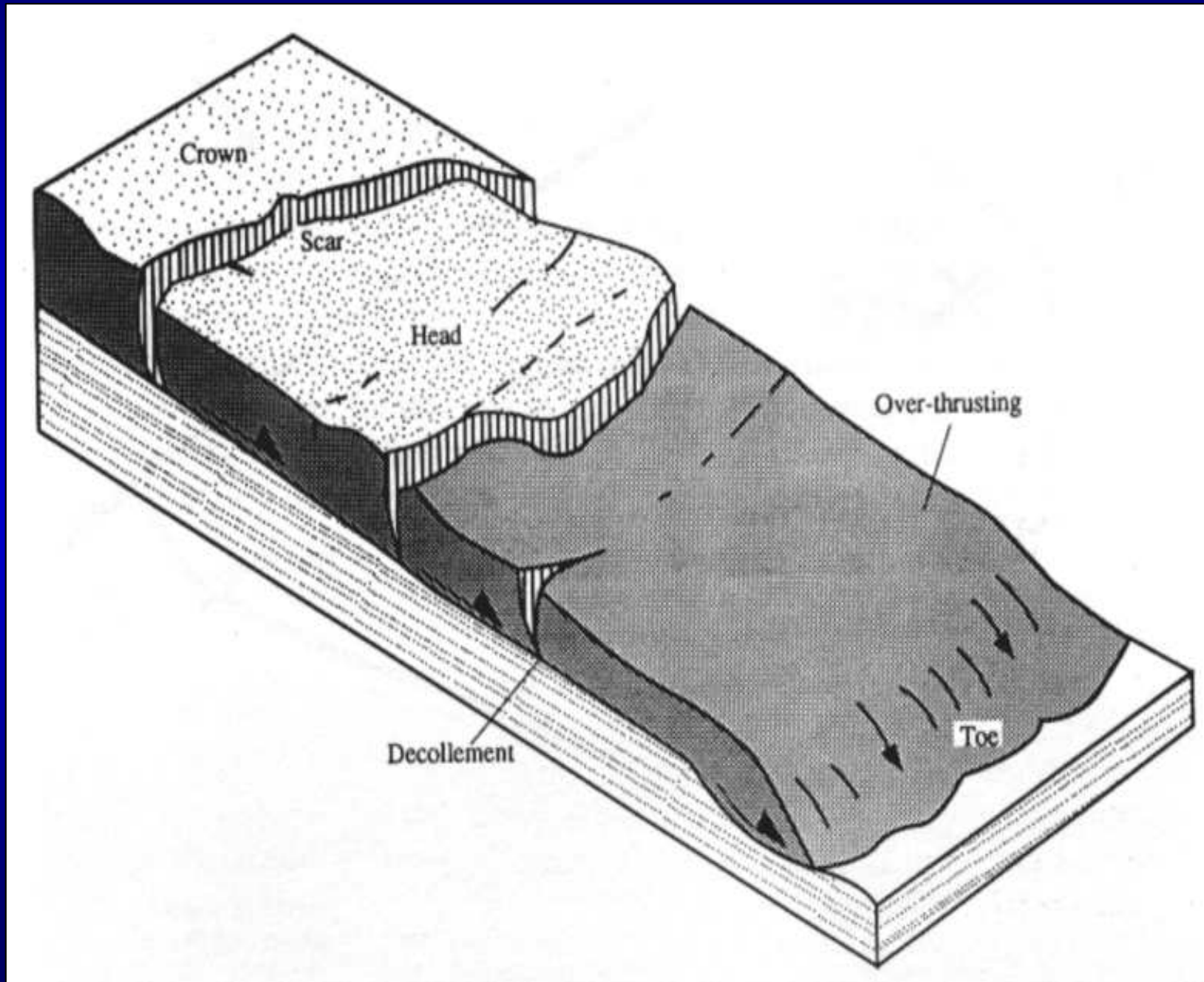


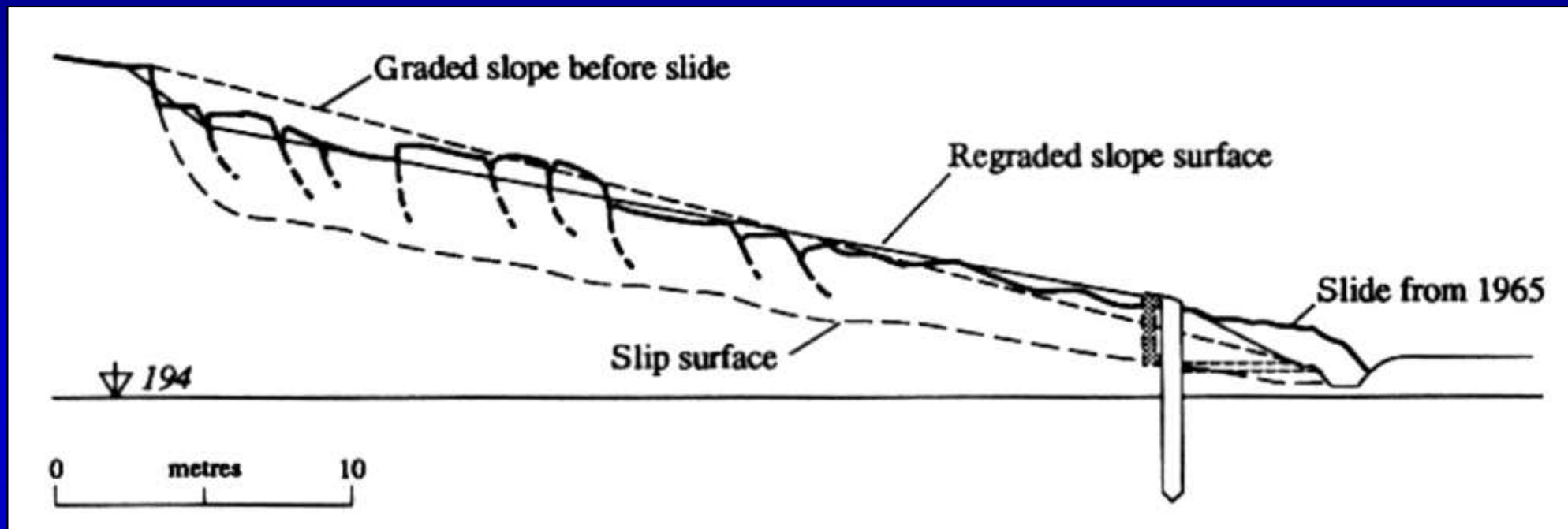
FIGURE 5.2.3 Diagrammatic reconstruction of the development of the Bindon block slide, Devon, UK. The initial failure was non-rotational removing the support at the toe. Subsequently a planar slip occurred and finally subsidence as material moved into the Chasm. Note: the exact position of the shear surface and the structure of the graben is unknown (after Pitts and Brunsden, 1987).  $F$  = Factor of safety;  $F = 1.49$  immediately after failure;  $F = 1.23$  at present. M = Multi-rotational slide



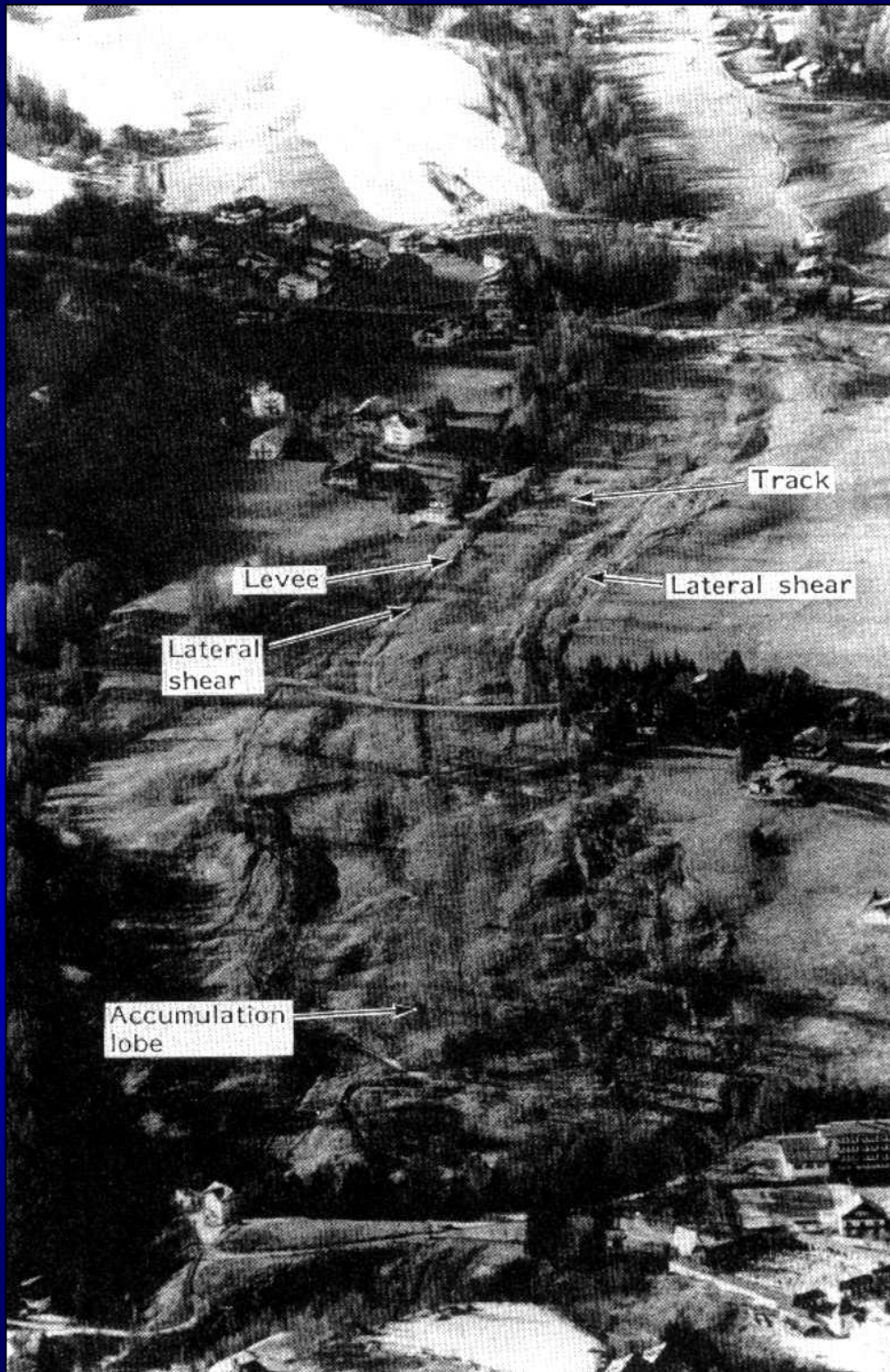
Svahové deformace: **translační sesuvy v zeminách / slab translational slides** (Dikau et al. 1996):



Svahové deformace: **translační sesuvy v zeminách / slab translational slides** (Dikau et al. 1996):

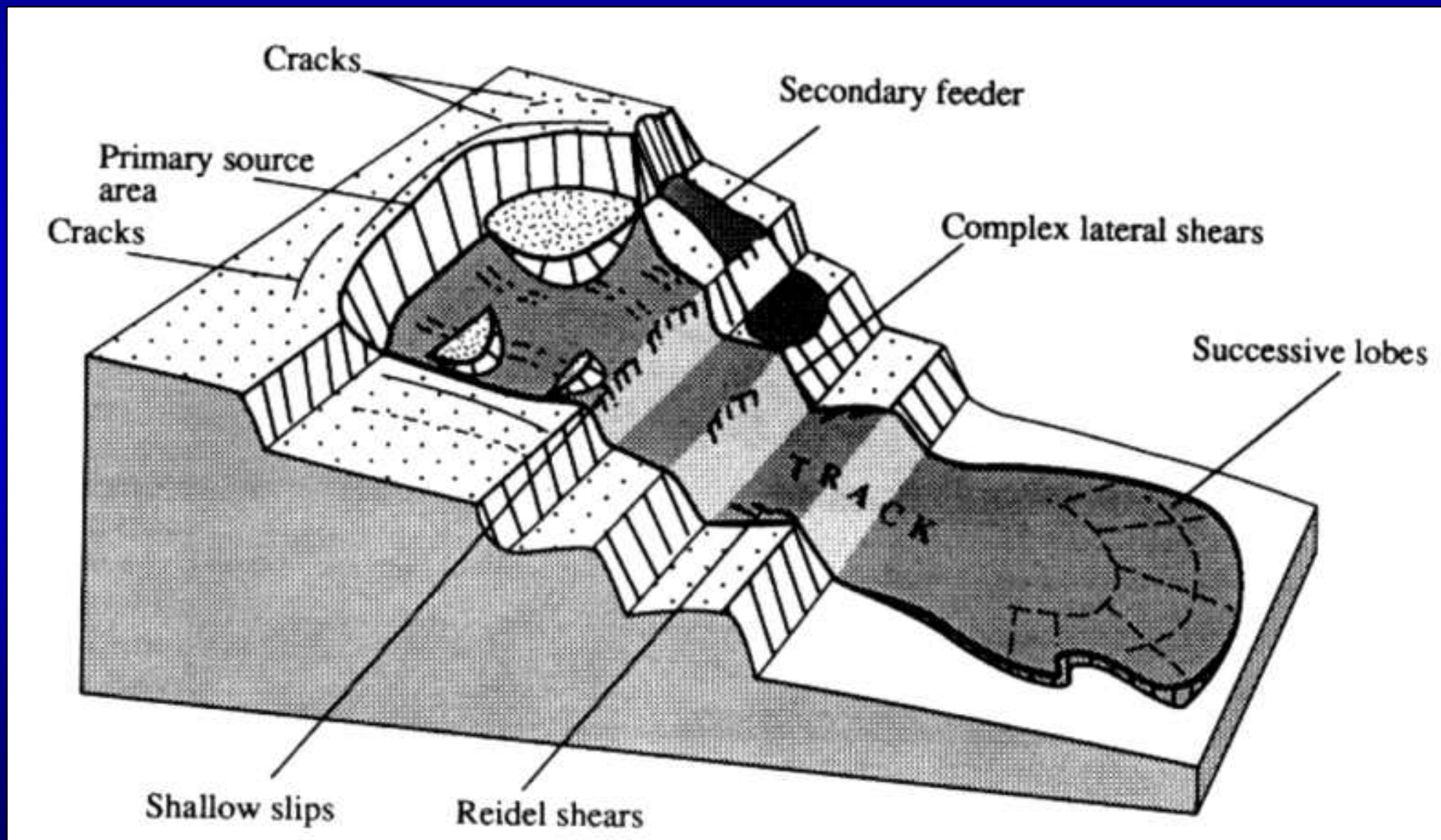






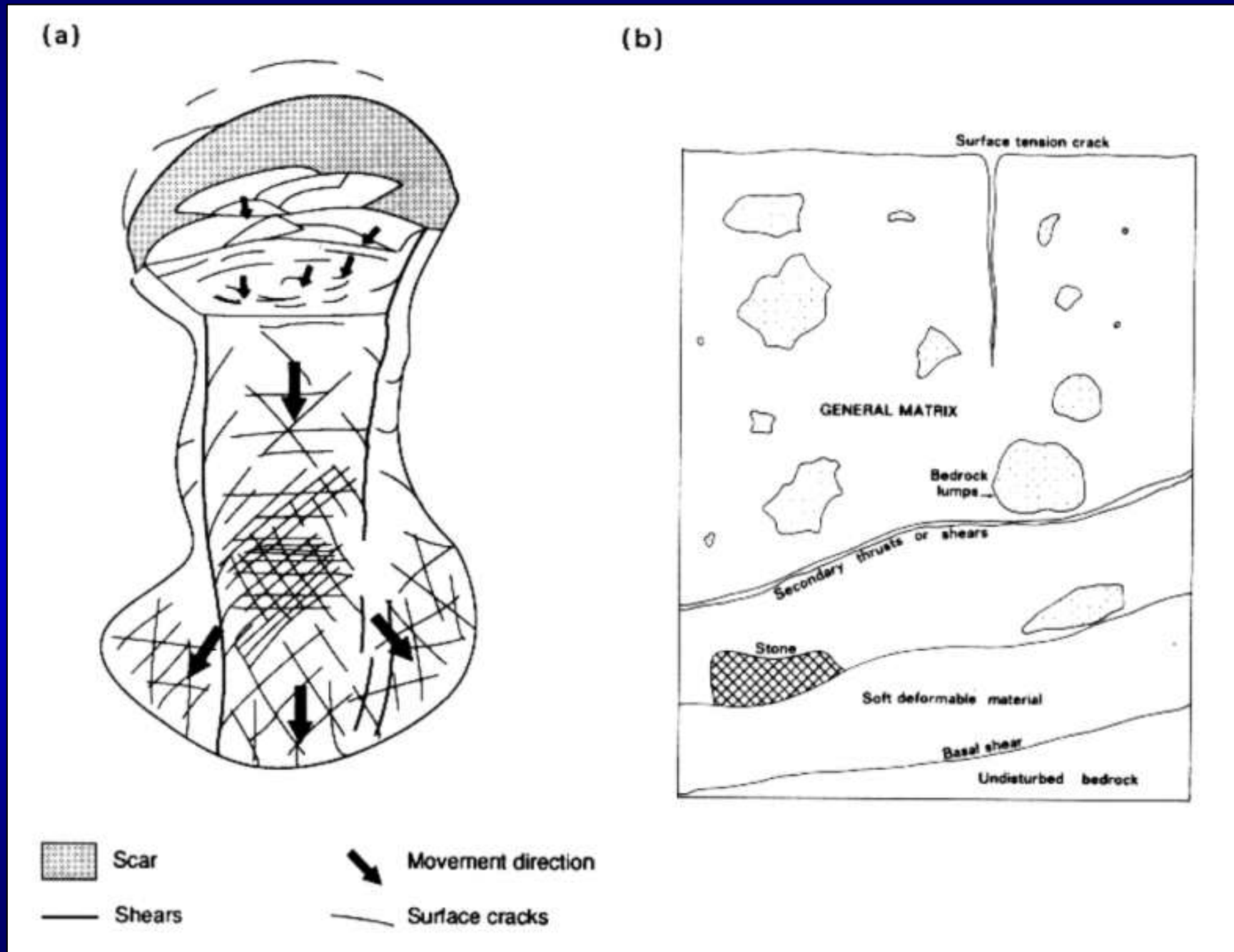
Svahové deformace:  
**planární sesuvy v zeminách**  
**/ mudslides** (Dikau et al. 1996)

Svahové deformace: **planární sesuvy v zeminách / mudslides**  
(Dikau et al. 1996):

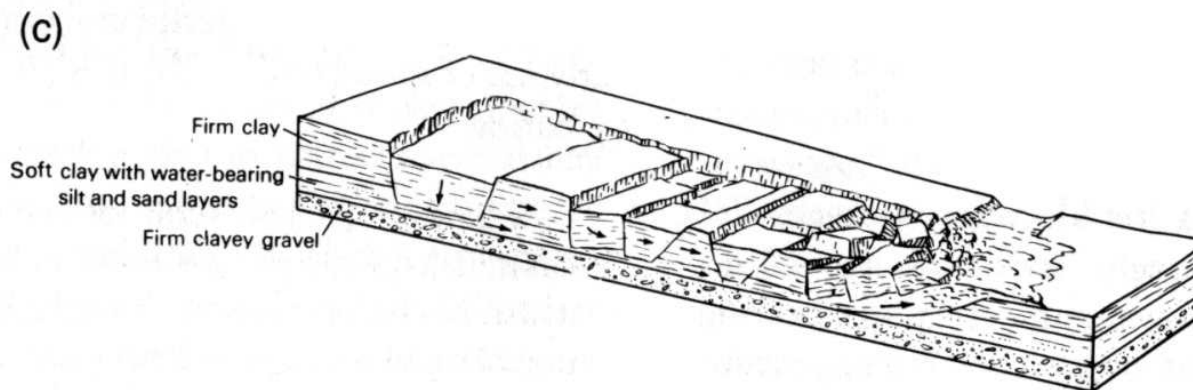
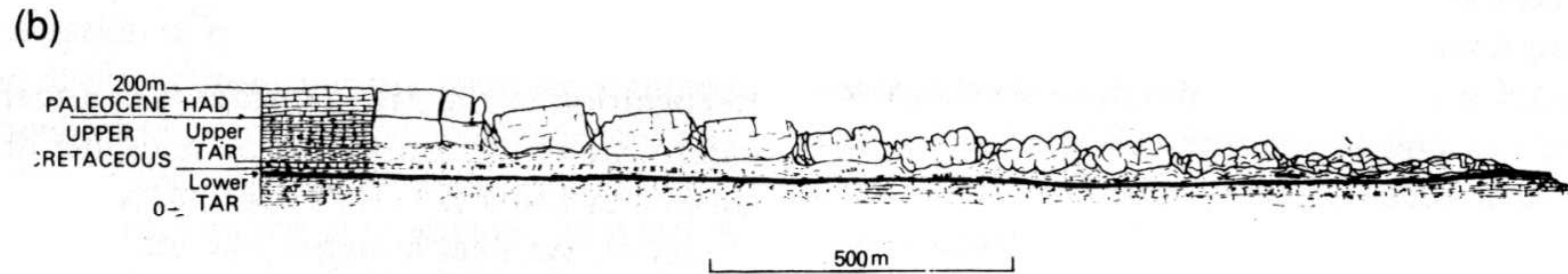
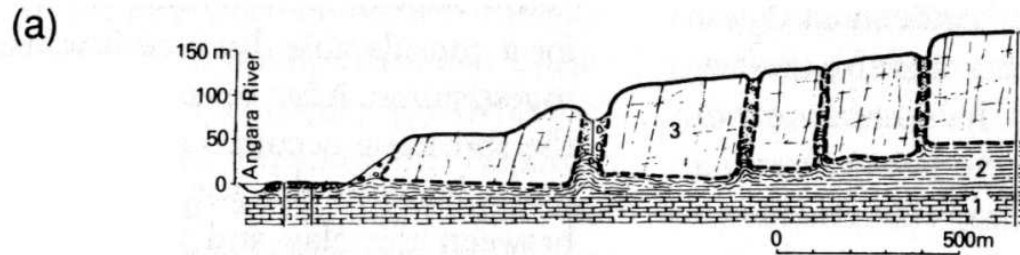




Svahové deformace: **planární sesuvy v zeminách / mudslides** (Dikau et al. 1996):

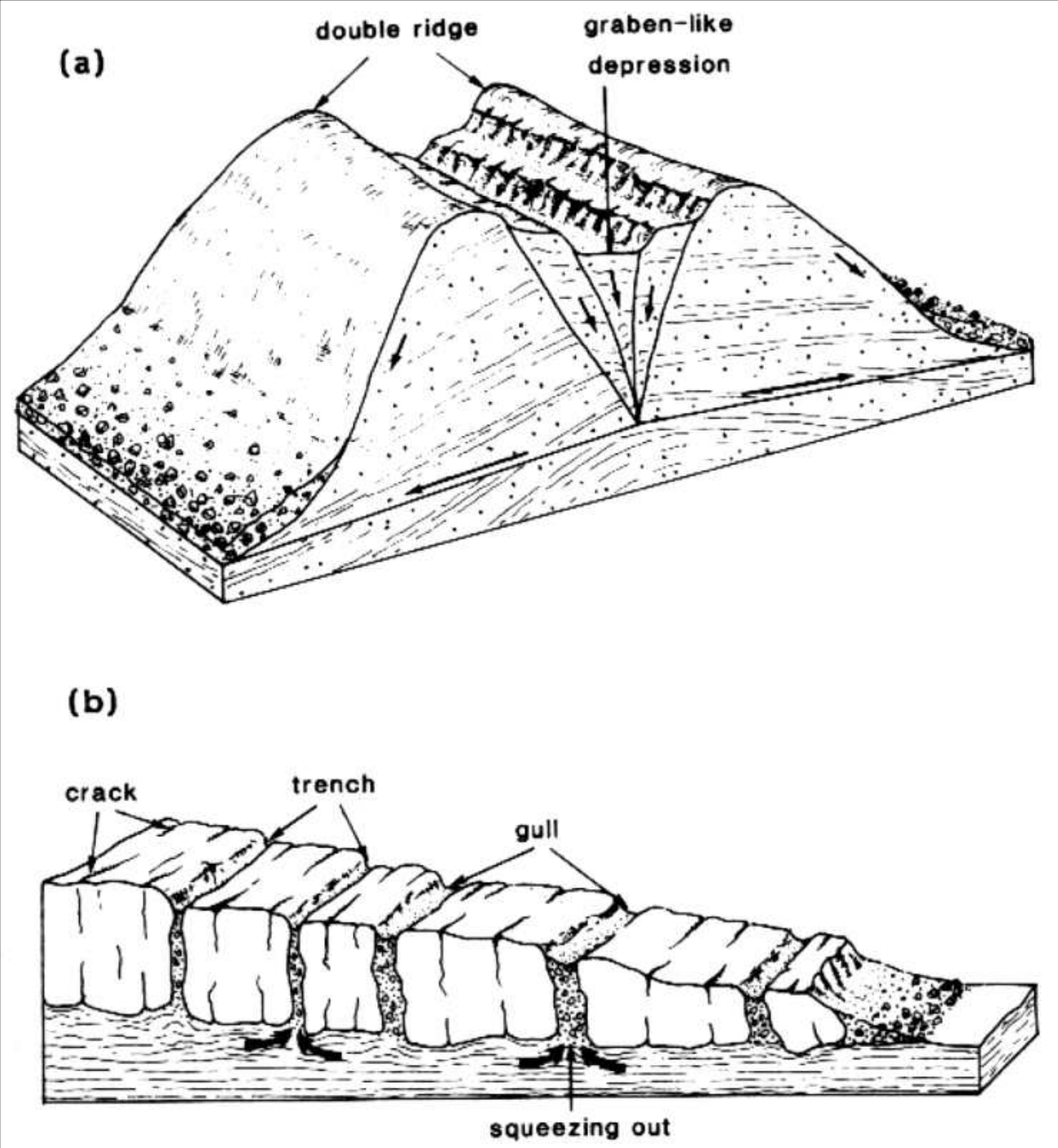


# Svahové deformace: spread / rozvolnění (Varnes 1978)

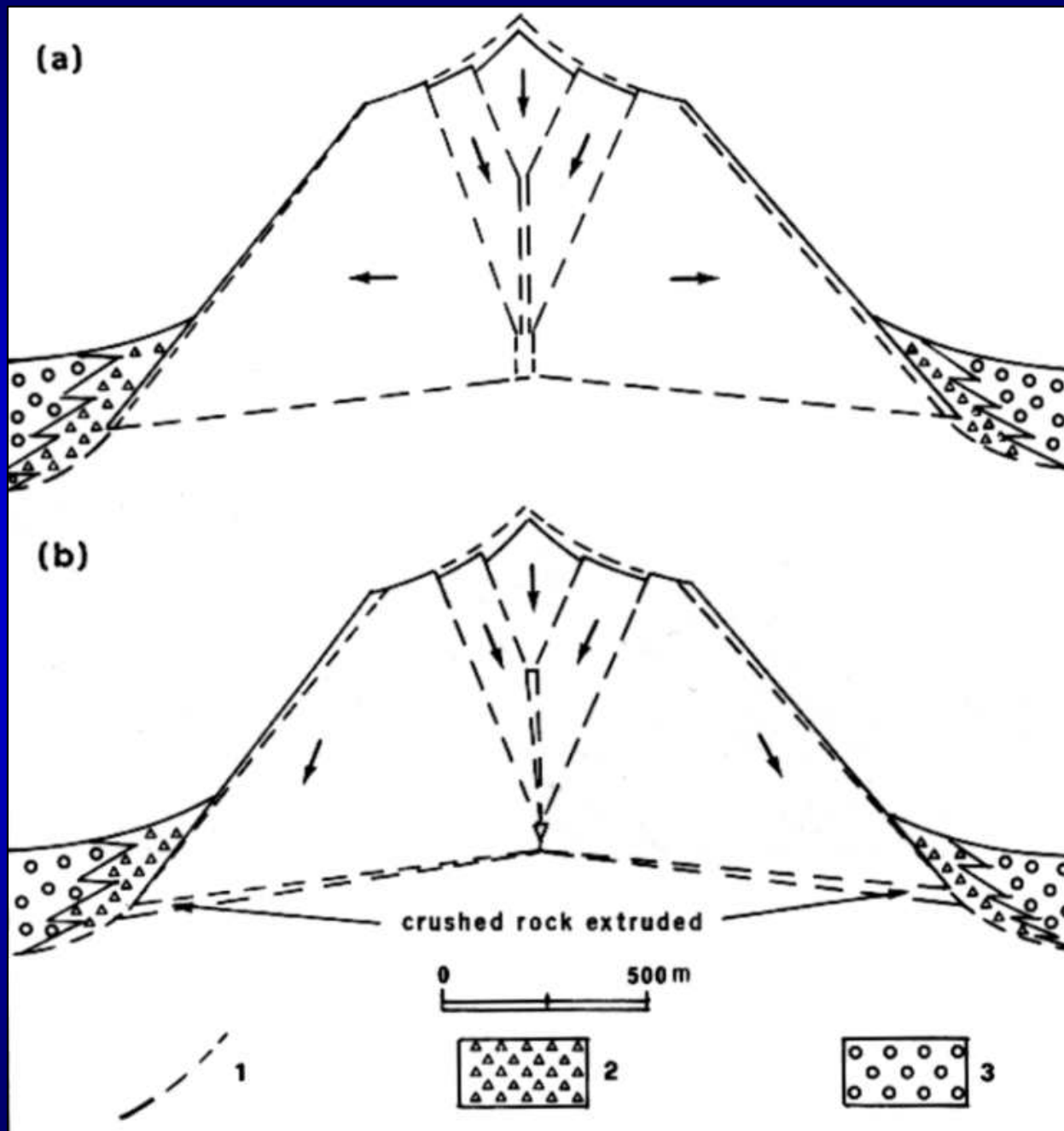




Svahové deformace: spread / rozvolnění (Varnes 1978)

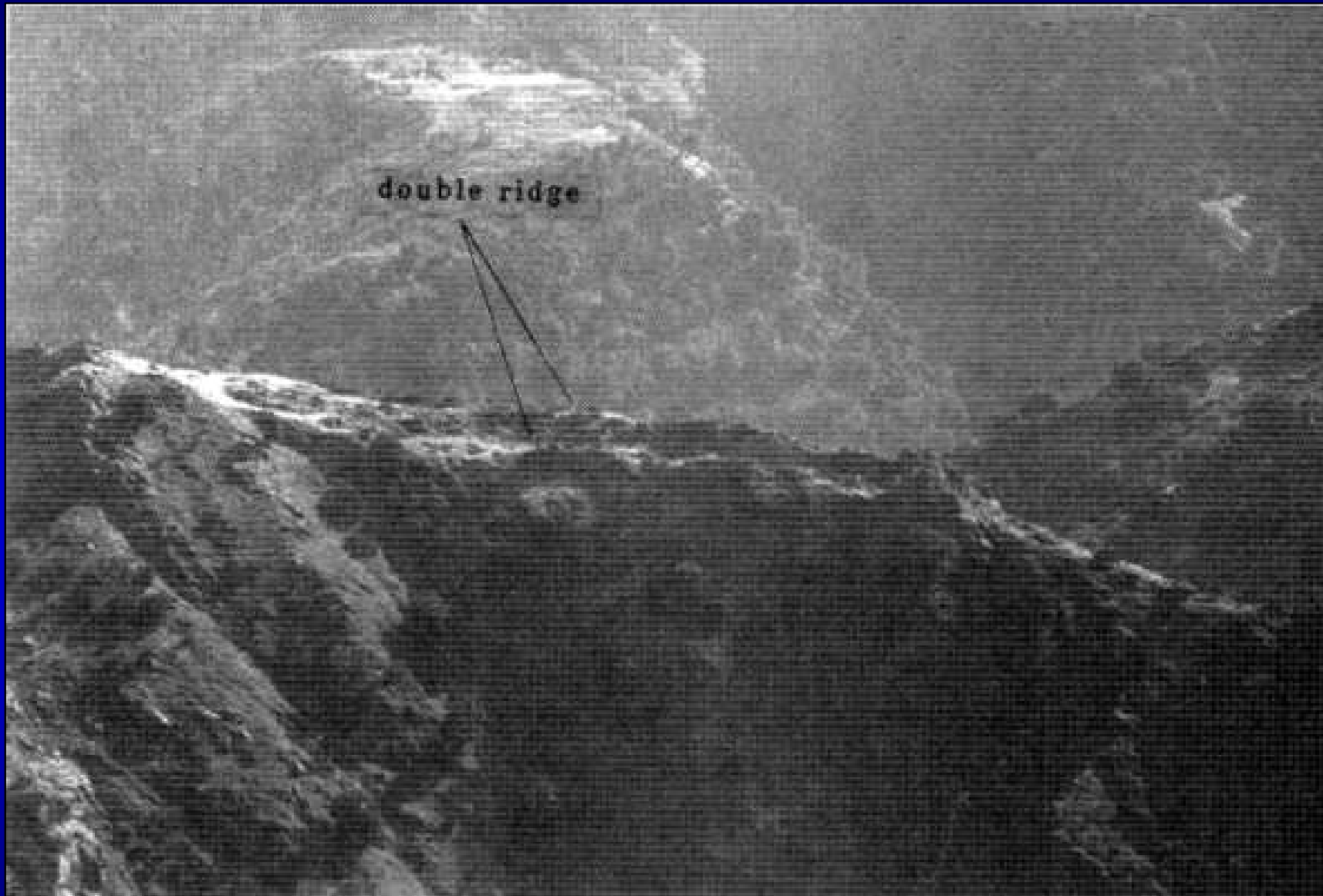


Svahové deformace: spread / rozvolnění (Varnes 1978)

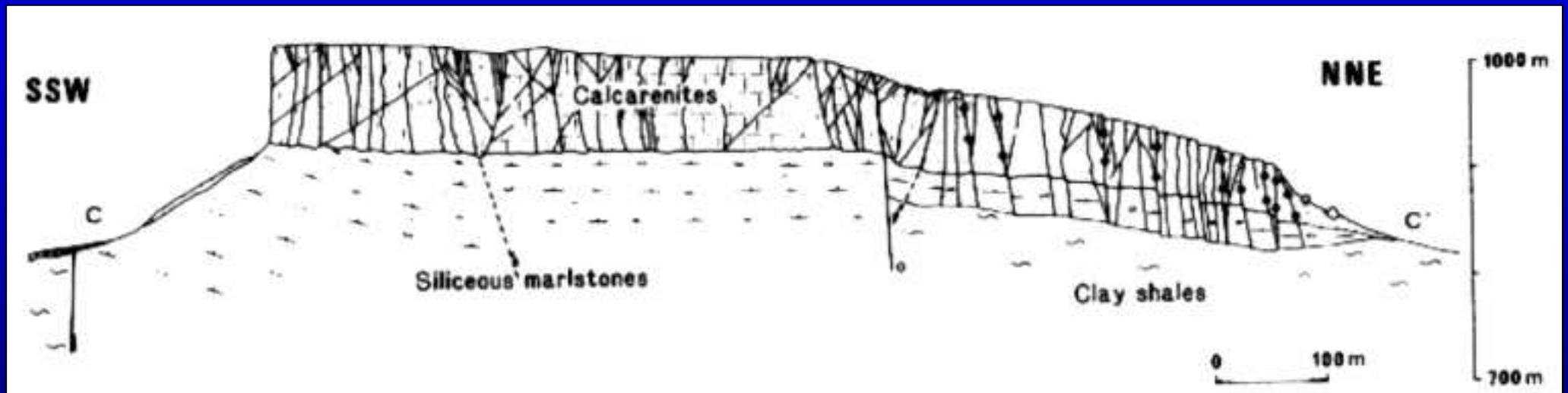
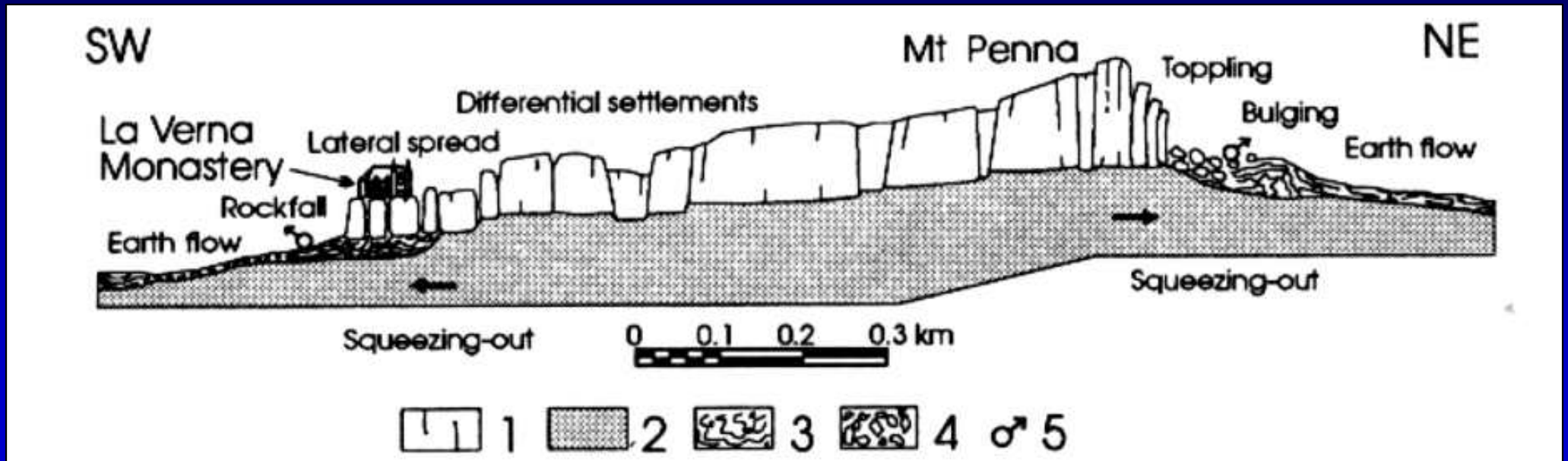




Svahové deformace: spread / rozvolnění (Dikau et al. 1996)

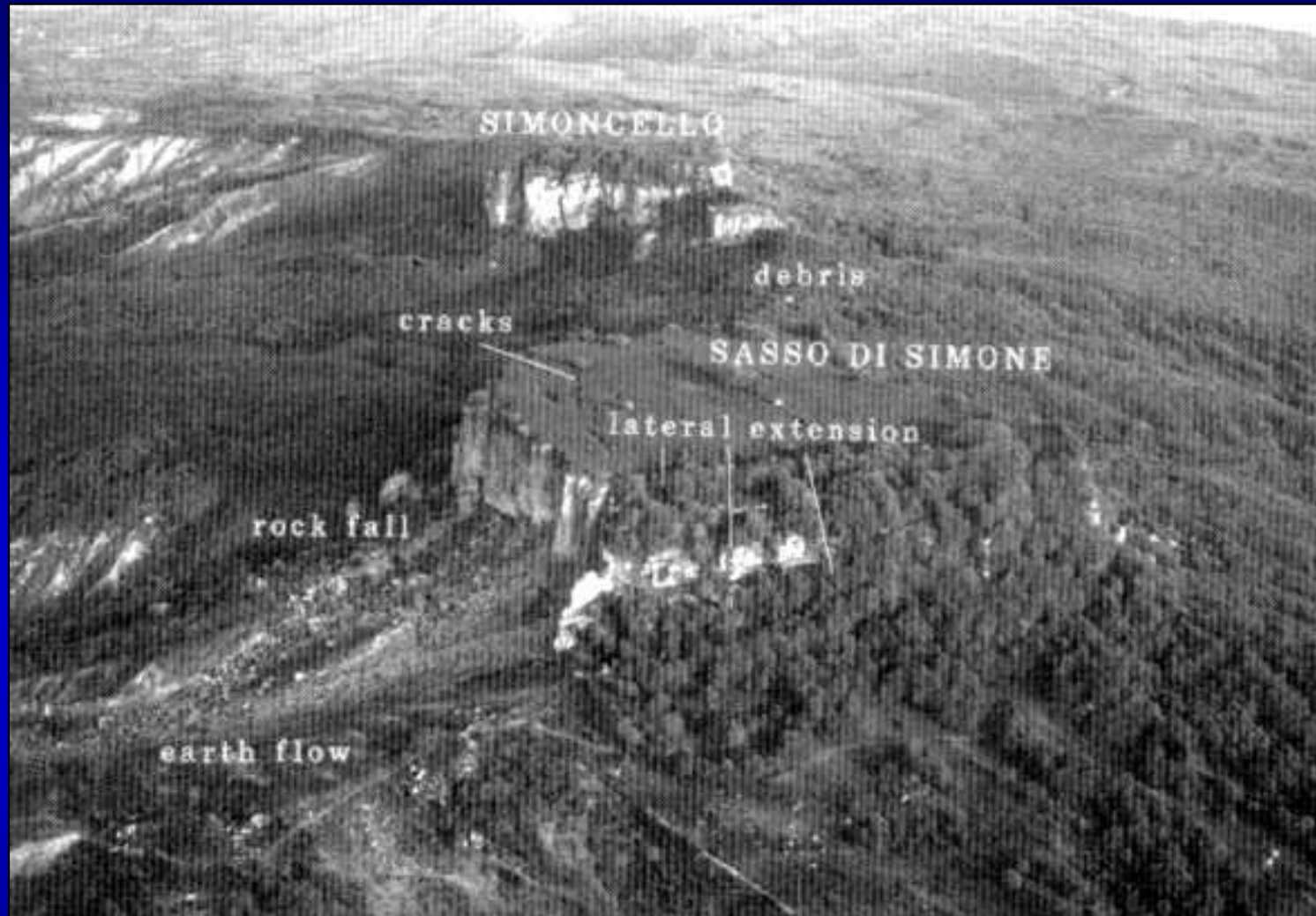


Svahové deformace: spread / rozvolnění (Dikau et al. 1996)

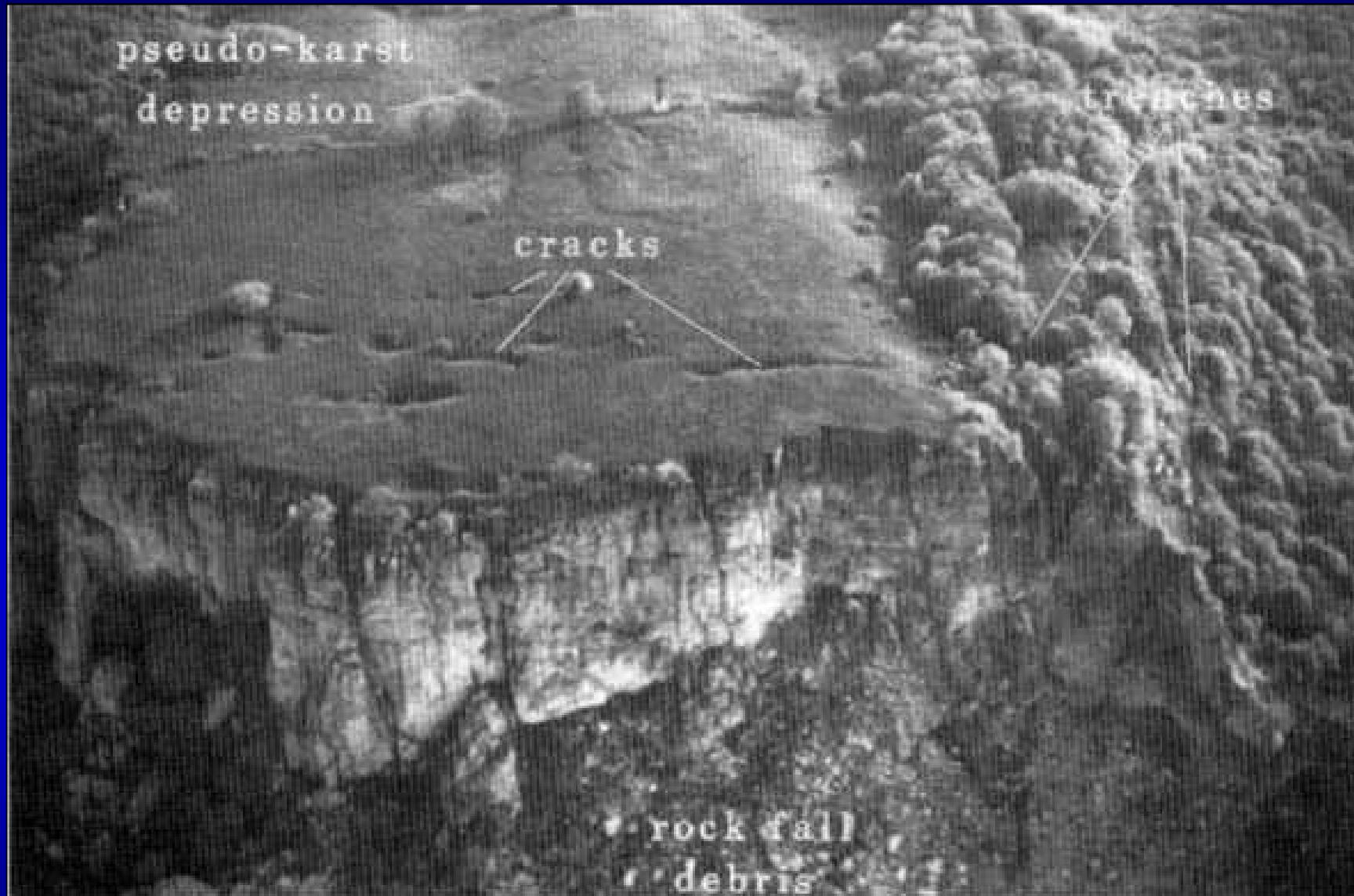




Svahové deformace: spread / rozvolnění (Dikau et al. 1996)



Svahové deformace: spread / rozvolnění (Dikau et al. 1996)





## Kopce slope failure



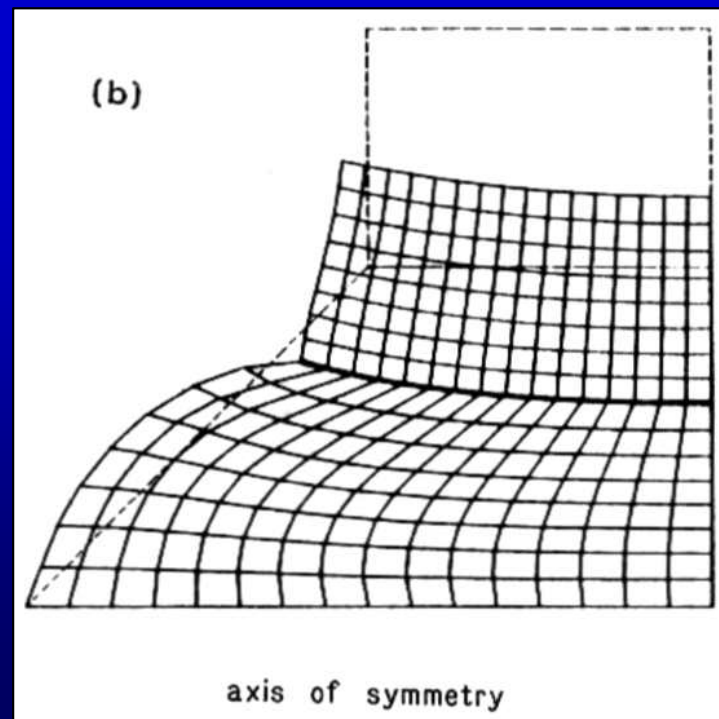
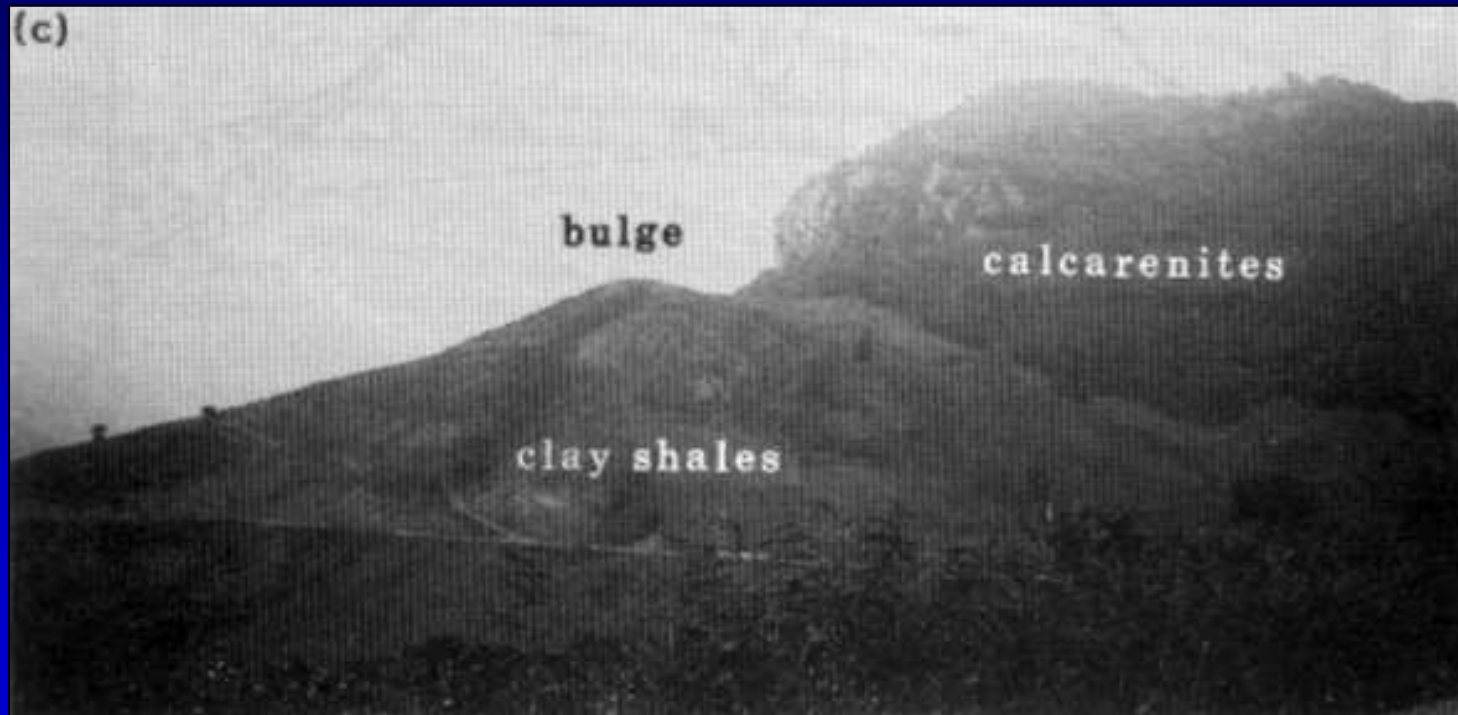


# Kopce slope failure



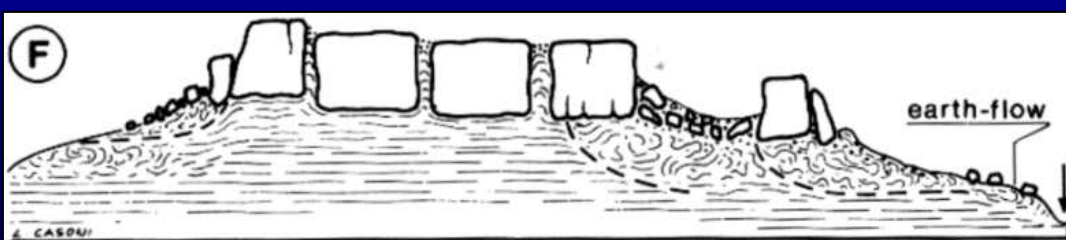
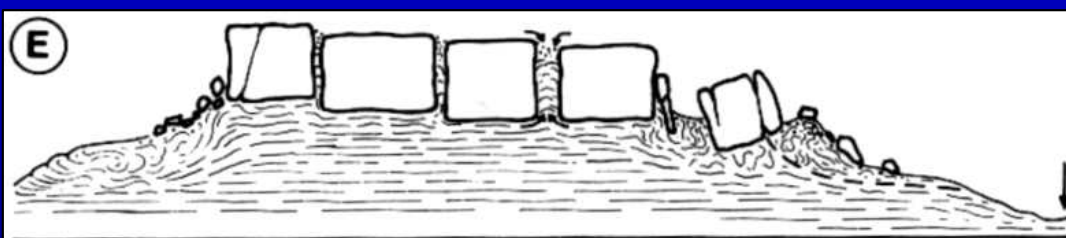
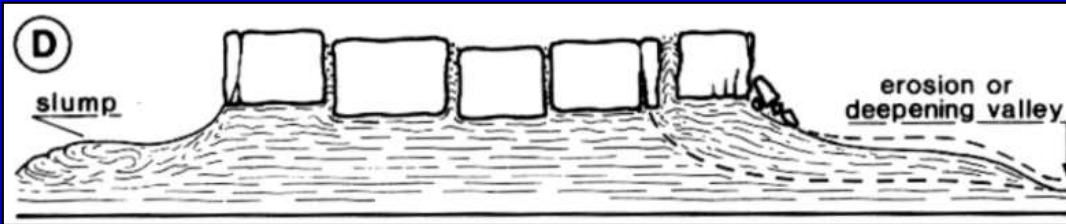
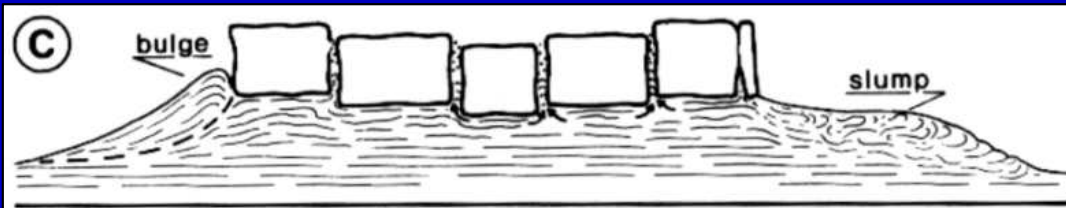
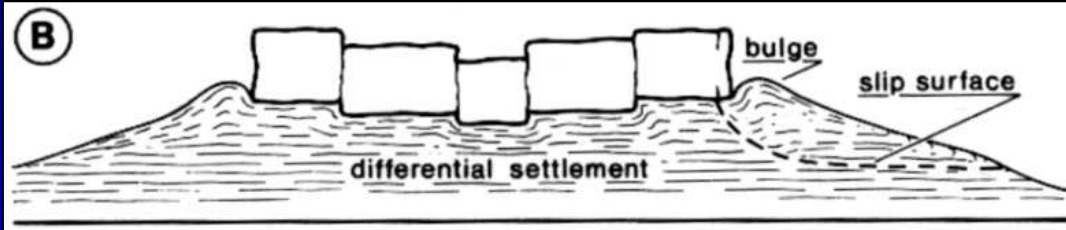
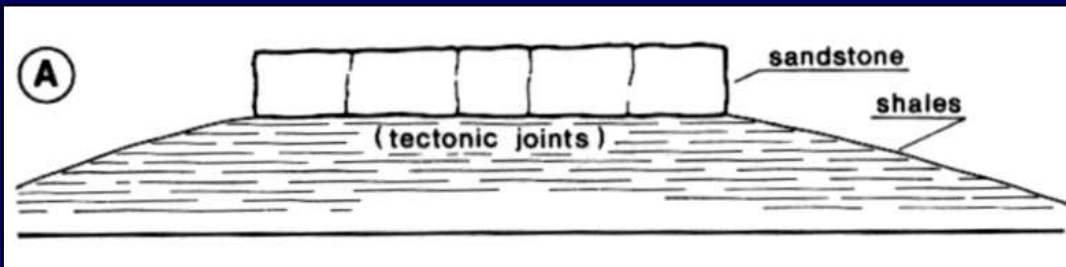
Naděje cave

Svahové deformace: spread / rozvolnění (Dikau et al. 1996)





Svahové deformace:  
spread / rozvolnění (Dikau et al. 1996)

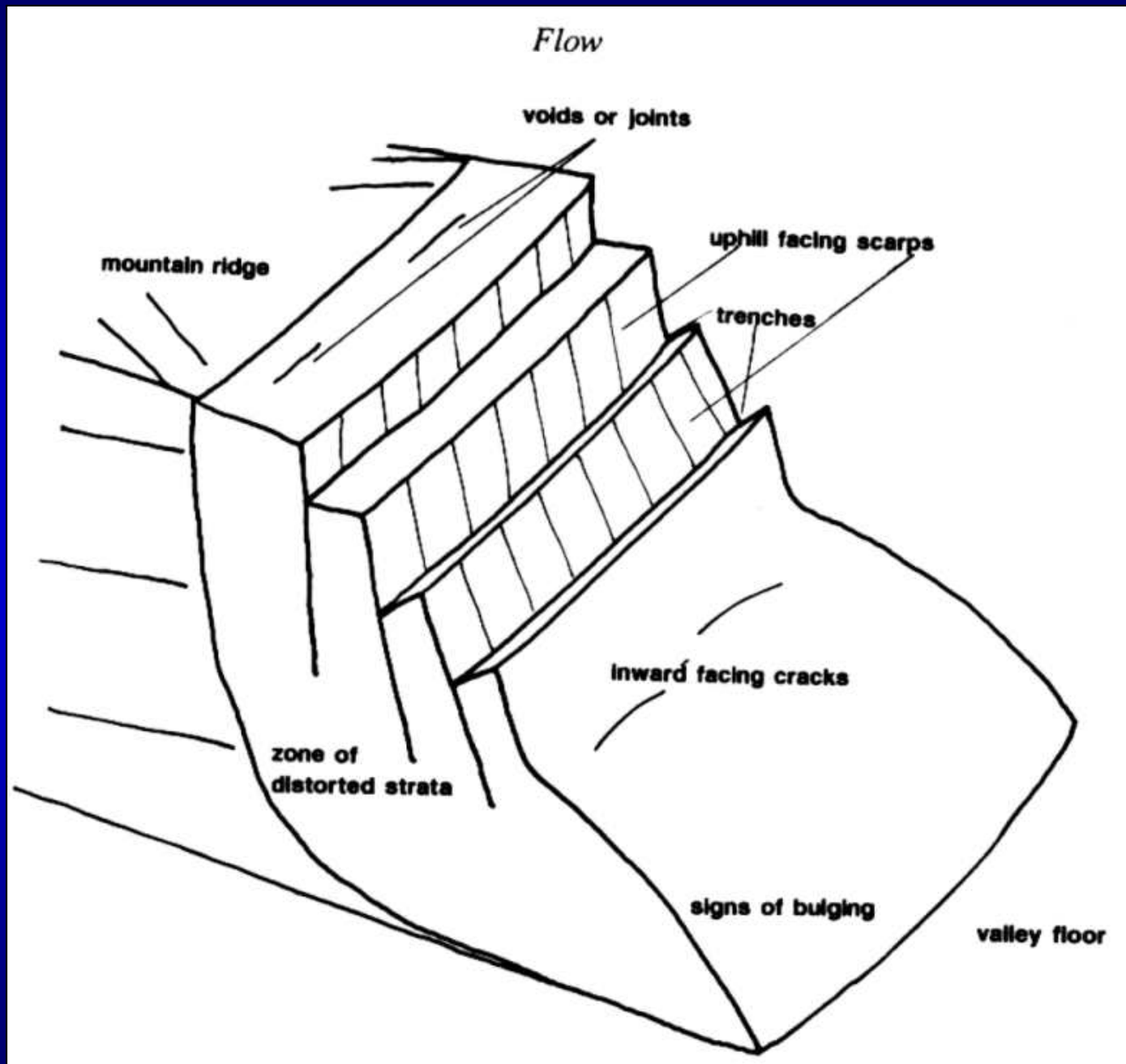




Svahové deformace: skalní proudy / rock flows - sagging (Diaku et al. 1996)

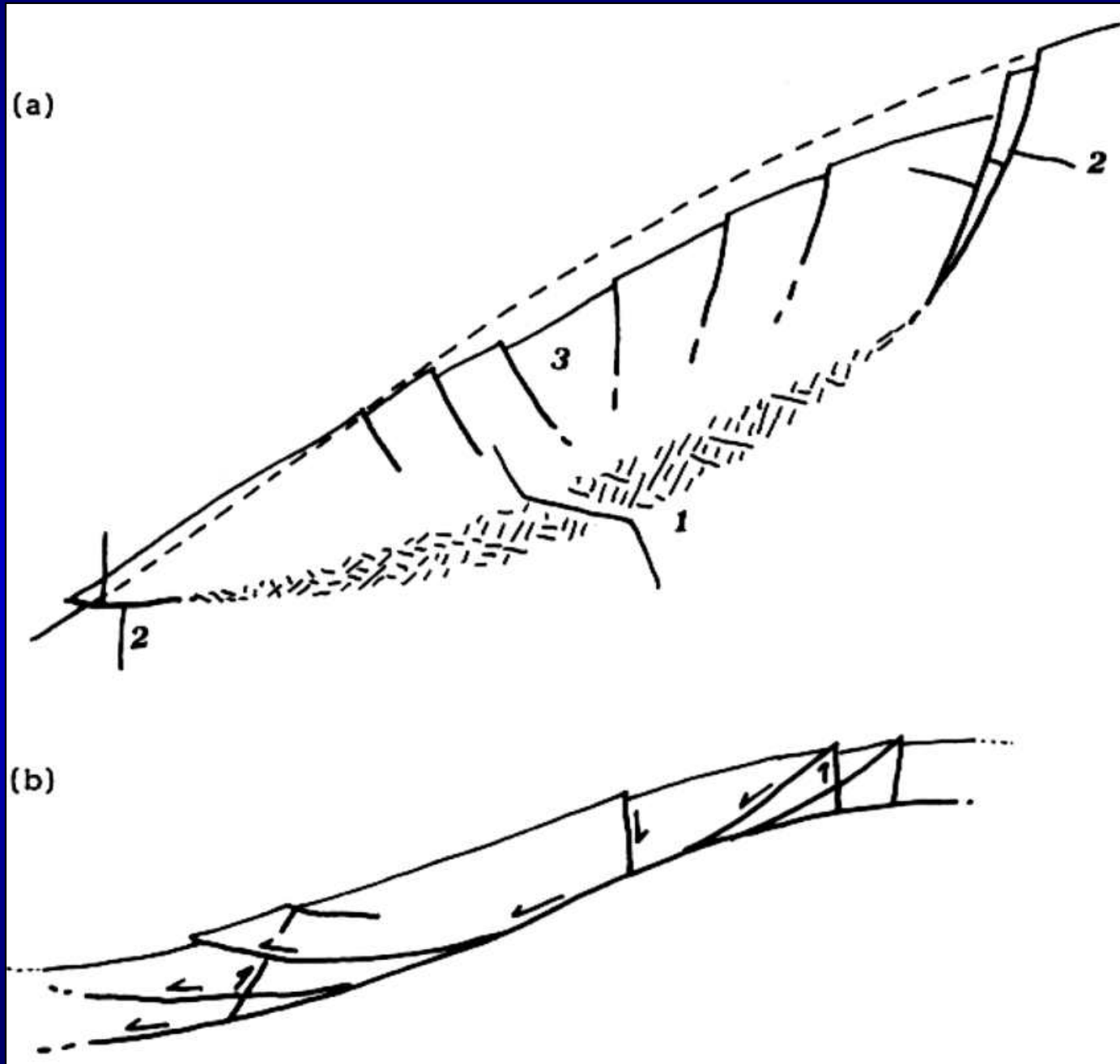


Svahové deformace: skalní proudy / rock flows - sagging (Dikau et al. 1996)



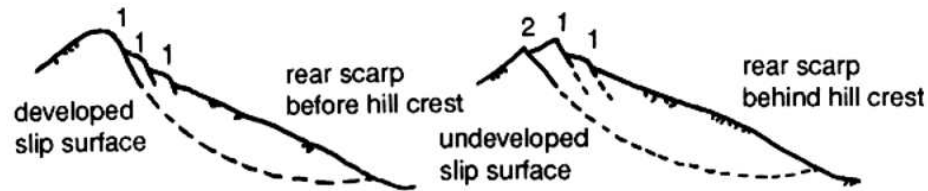


Svahové deformace: skalní proudy / rock flows - sagging (Dikau et al. 1996):



# Svahové deformace: skalní proudy / rock flows - sagging (Dikau et al. 1996):

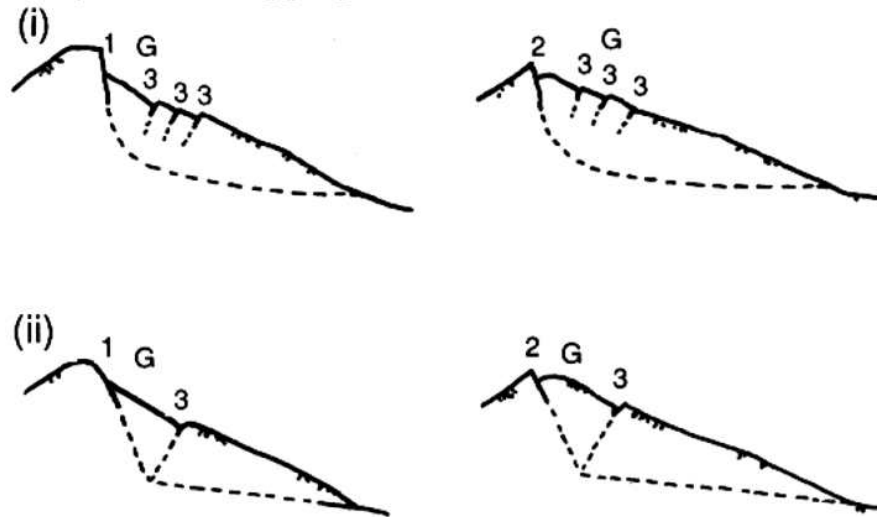
(a) Rotational - sagging



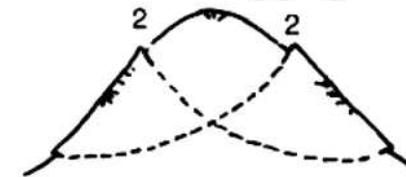
(c) Double - sided compound - sagging



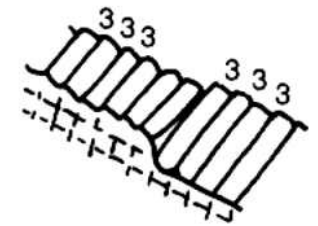
(b) Compound - sagging



(d) Double - sided rotational - sagging



(e) Topple - sagging

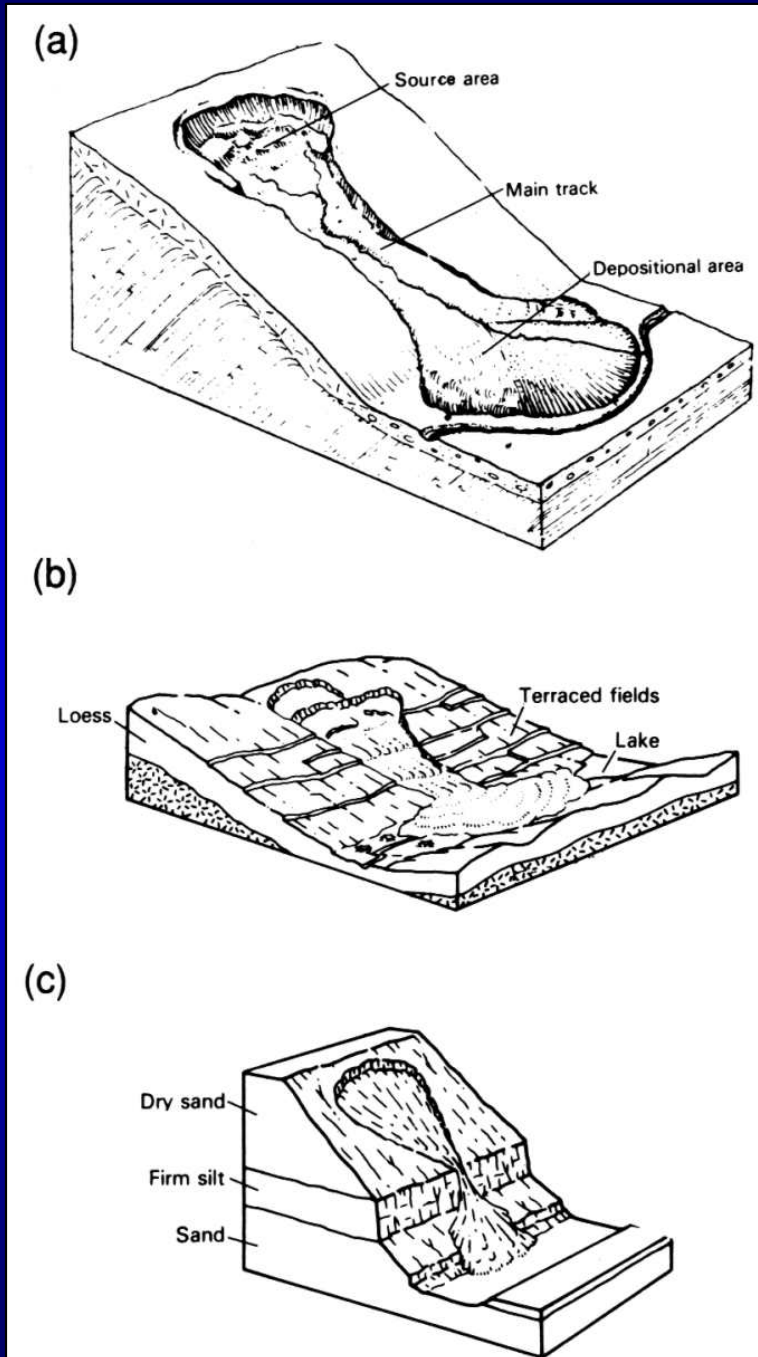


Svahové deformace: bahenní proudy / mud (soil) flows (Dikau et al. 1996)





# Svahové deformace: bahenní proudy / mud (soil) flows (Dikau et al. 1996)

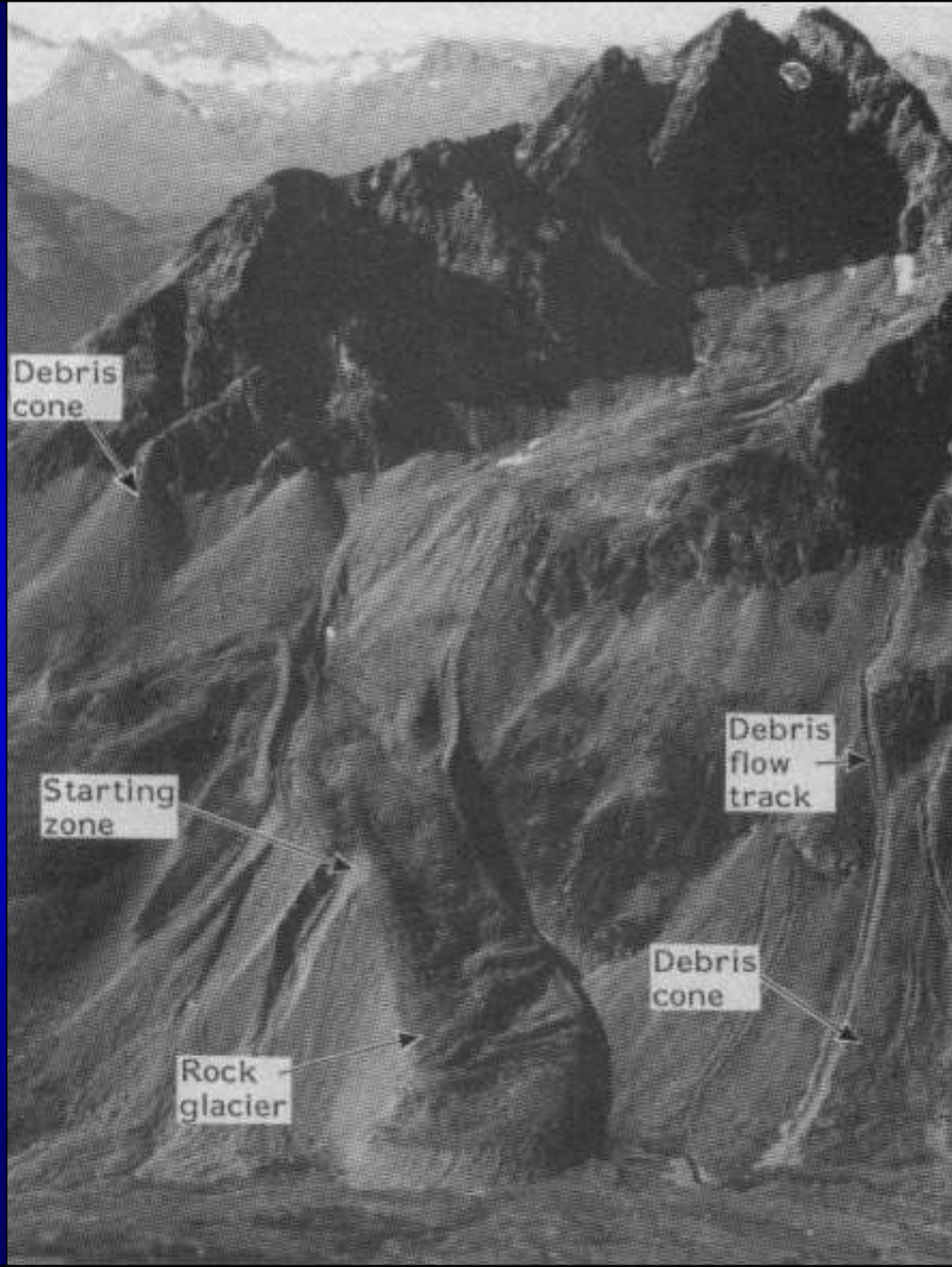


pomalé zemní proudy

zemní proudy ve spraších

zemní proudy v suchých píscích

Svahové deformace:  
suťové proudy / debris flows  
(Dikau et al. 1996)



Svahové deformace: sut'ové proudy / debris flows (Dikau et al. 1996):

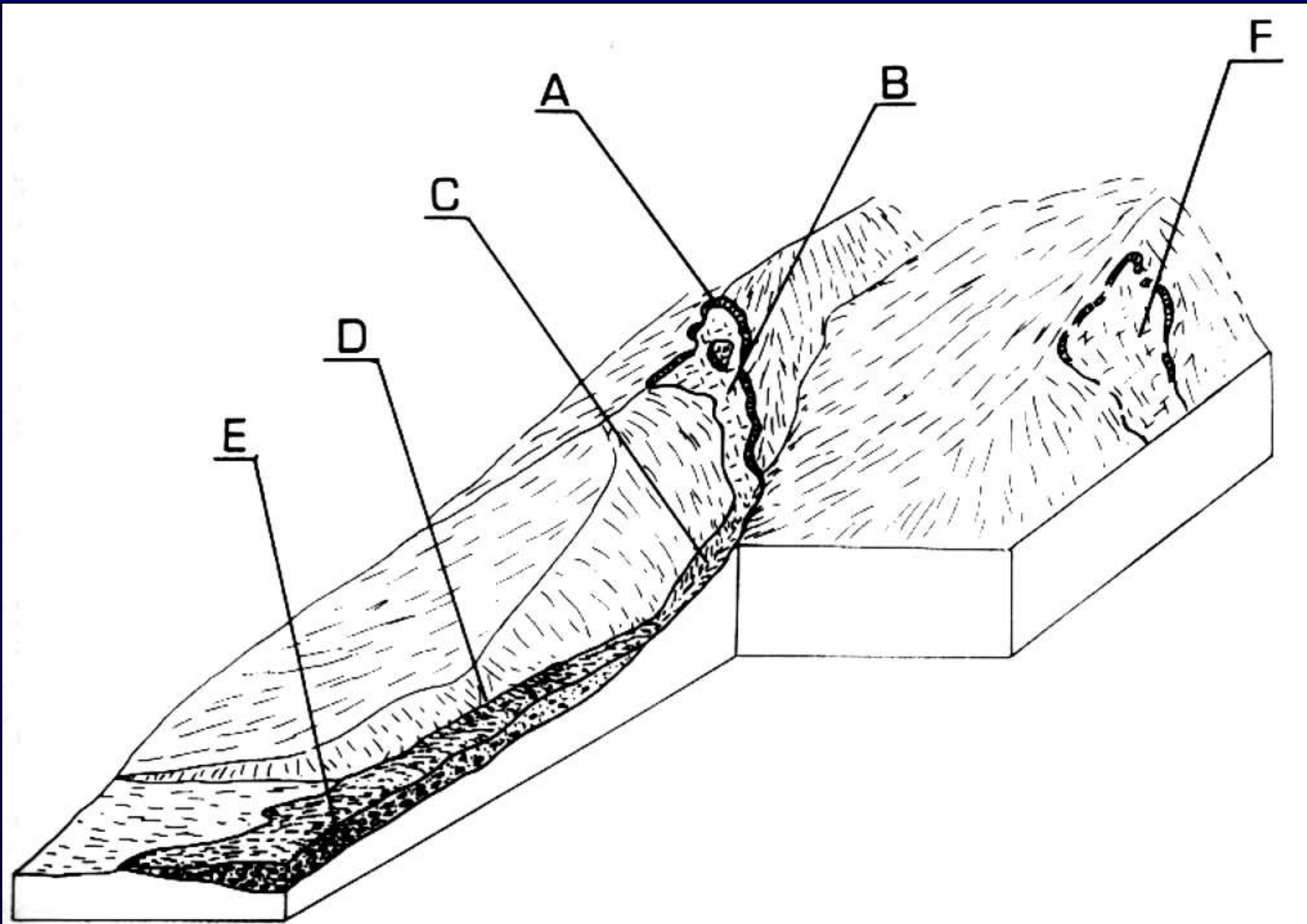


FIGURE 7.3.2 Interpretative block diagram of a debris flow showing morphological features: A, scarp; B and F, surface of rupture; C, channel of erosion; D, levee; E, deposit



Suťové proudy / debris flows v oblasti Ocotepeque (Hondúras) v r. 1934



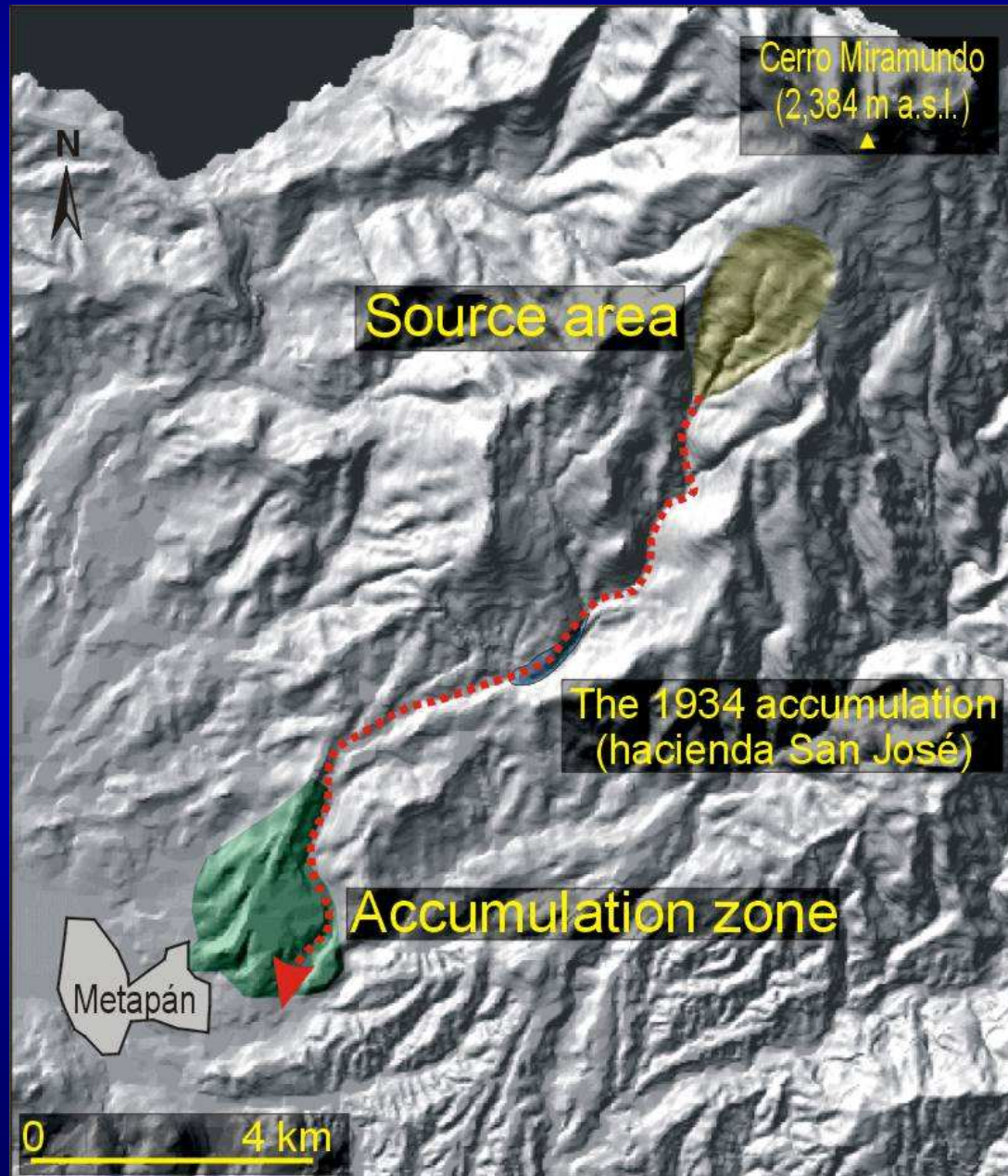
0 0.5 km

0 0.5 km

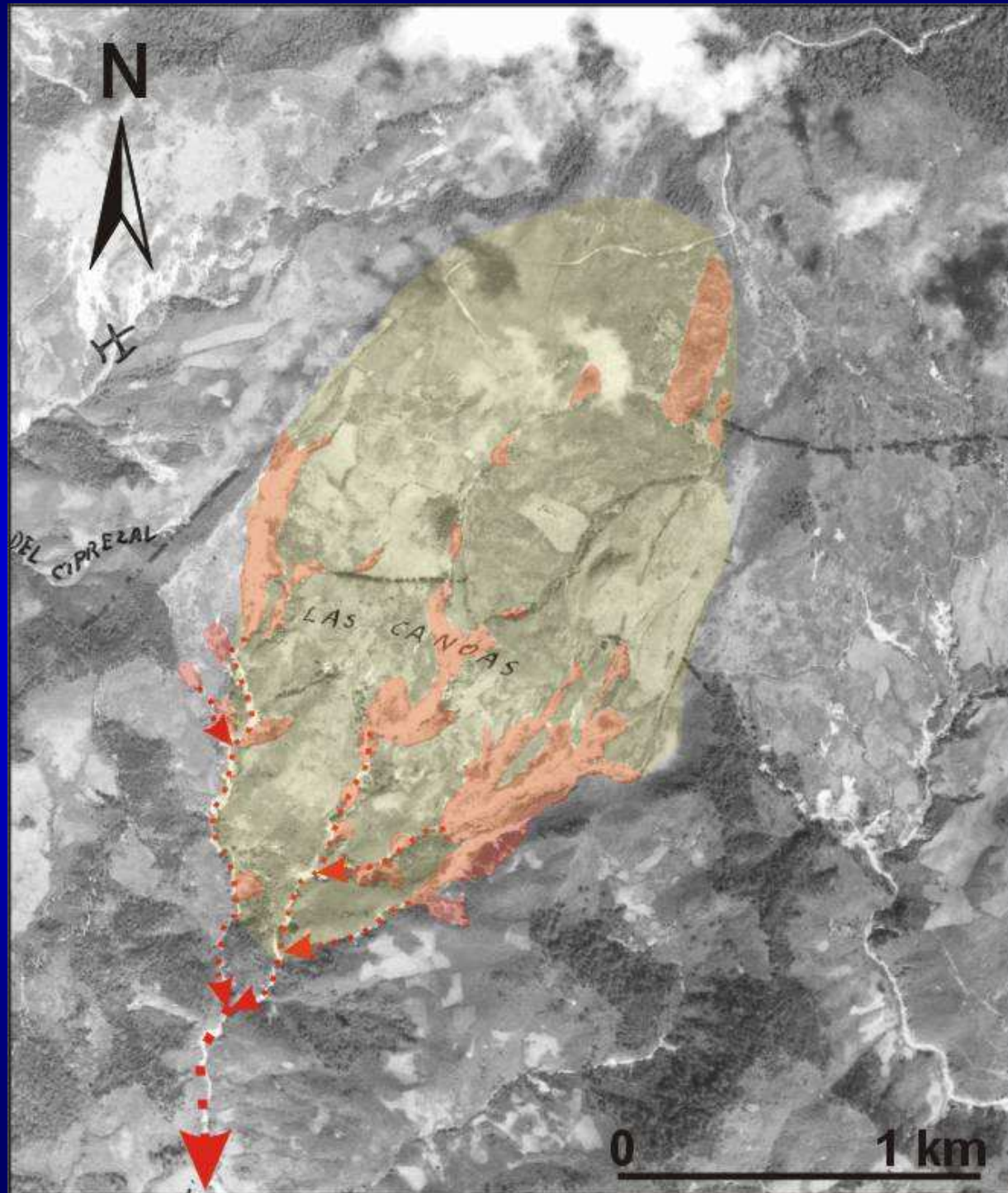
7 km



- II. Peligros exogeodinámicos:
- originate on the slopes of Montechristo (out of the study area)
  - rapid movement (the last event in 1934);
- Flujos de escombros:
- **high hazard** in the eastern part!



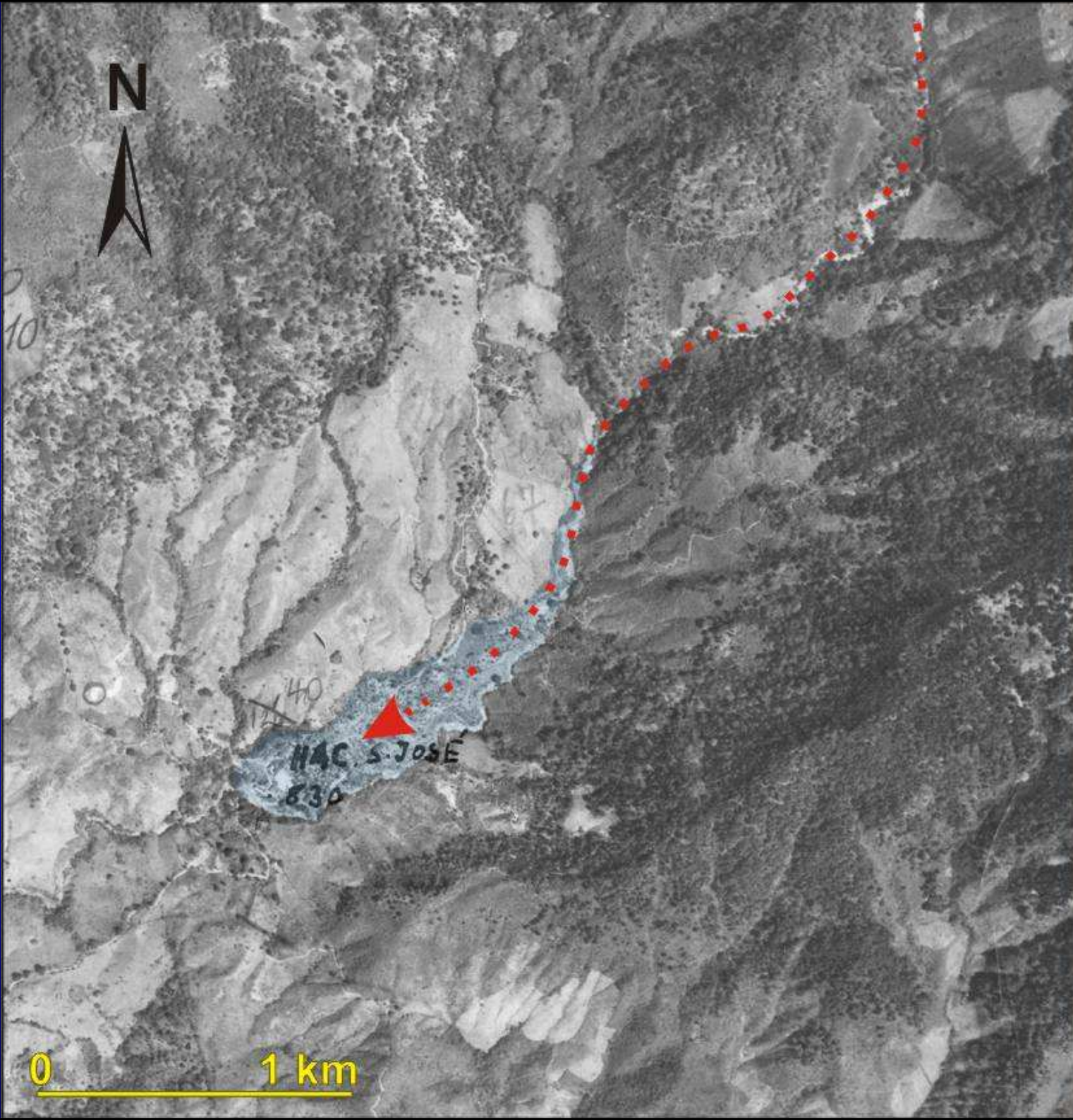
## Flujos de escombros cerca de Metapán:



### Source of the past and future avalanches:

- large deep-seated slope failure in tuffs and ignimbrites on S slopes of Mt. Miramundo;
- length = **2650 m**, width = **1350 m**, elevation = **750 m**, max. expected depth of failure = **375 m**;
- several smaller slope failures superimposed on the main one, source of the debris avalanche in 1934, which destroyed hacienda San José and killed several hundreds of people;
- in case of reactivation of the whole area movement of mass **702,5 mil. m<sup>3</sup>** large (formula of *Turner&Schuster 1996*);
- **30 000 inhabitants of Metapán endangered!**





## II. Peligros exogeodinámicos:

### Flujos de escombros cerca de Metapán:

