Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

Národní plán obnovy

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Předmět: Vybrané kapitoly z věd o Zemi

Vědy o Zemi
Desková tektonika a geologická historie

Mgr. Ing. Jiří Lehejček, Ph.D.

ADAPT UTB: **A**daptabilní, **D**igitální, **A**gilní, **P**rogresivní, **T**ransformace UTB ve Zlíně
reg. č. NPO_UTB_MSMT-16585/2022
Studijní program: Management udržitelného rozvoje

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

„Tento výstup lze užít v souladu s licenčními podmínkami Creative Commons BY 4.0 International (http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode)."

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Cíl předmětu

Cílem předmětu je představit studujícím souvislosti Věd o Zemi. Geneze a vzájemné interakce složek krajinné sféry tvoří základní substrát pro pochopení fungování přírodních zákonitostí planety Země. Tento základ je potom aplikován na environmentální principy udržitelnosti v každém konkrétním tématu a to postupně se vzrůstajícím důrazem v průběhu semestru od geologie až po terminální a více aplikovaná (a aplikovatelná) témata oboru pedologii a krajinnou ekologii. V neposlední řadě budou průřezově diskutovány principy udržitelného rozvoje, tak aby student získal kompetenci je následně nejen prakticky uplatňovat, ale i rozvíjet.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Struktura prezentace

- Litosféra a složení zemského tělesa
- Přeměny hornin
- Desková tektonika

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Vnitřní stavba zemského tělesa - Zemské nitro

- tvar Země – geoid (r ~ 6400 km)
- Jádro – r = 3500 km, složeno ze dvou vrstev – vnější tekuté, vnitřní pevné; chemické složení: Fe + Ni, teplota 2800 – 3100°C, Plášť – mocnost = 2900 km, složení: mafické minerály podobné olivínu (silikát Mg a Fe), horniny podobné peridotitu, teplota 1800 – 2800°C, Zemská kůra: mocnost = 8 – 40 km, složení: vyvřeliny, spodní hranice – Mohorovičičova vrstva diskontinuity (Moho)
- Typy zemské kůry: a. kontinentální, b. oceánská
- **Kontinentální kůra**
- Složení kontinentální kůry:

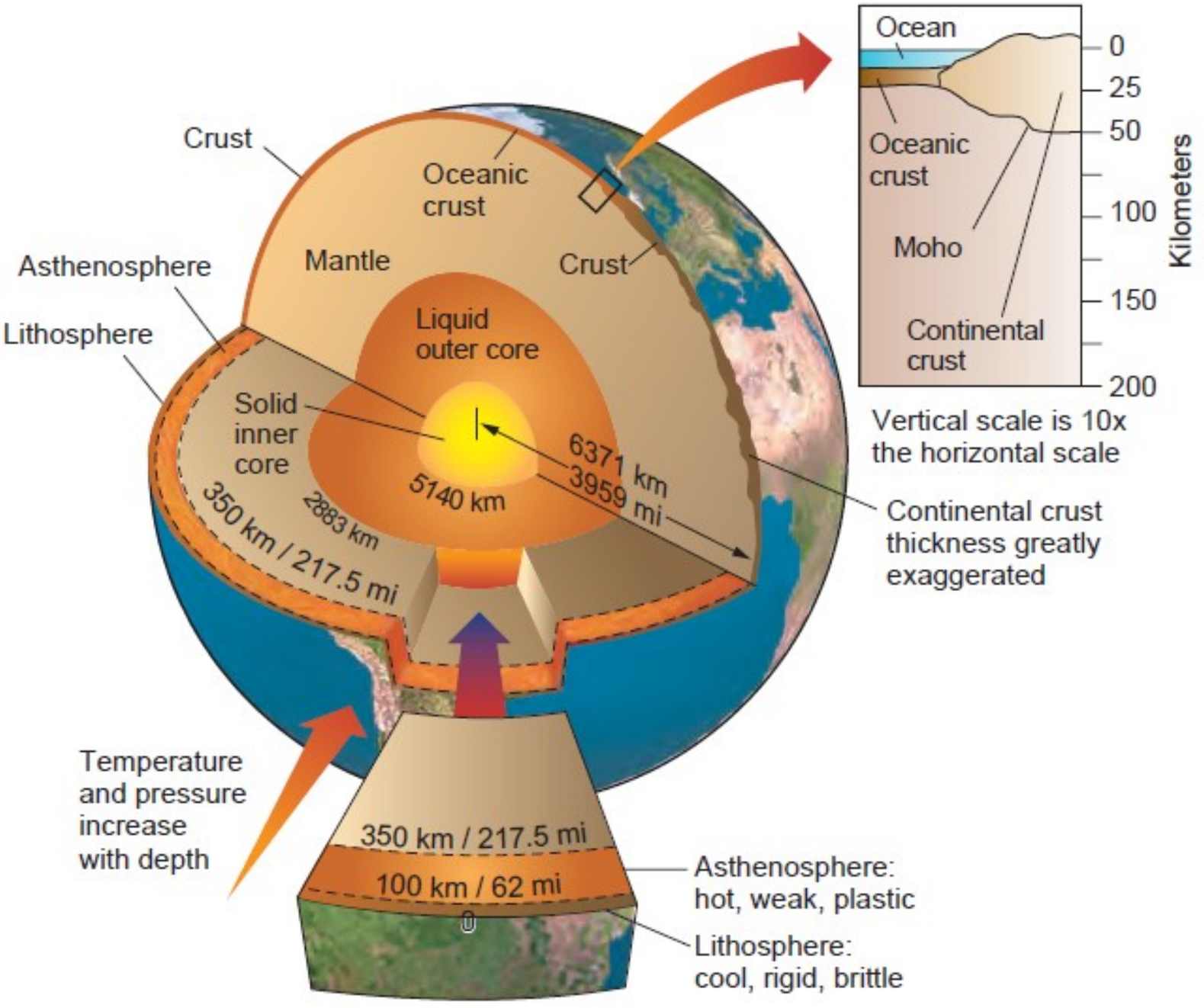
- spodní vrstva – mafické minerály; větší hustota,
- svrchní vrstva – felsické minerály; menší hustota.

- Hustota kontinentální kůry ~ 2700 kg.m-3
- **Oceánská kůra**

⁻Složení kontinentální kůry: mafické horniny gabrového složení + 1 – 2 km mocný plášť sedimentů.

⁻Hustota oceánské kůry ~ 3000 kg.m-3

- Mocnost kůry:
- kontinetální ~35 km, min <30 km, max 70 km
- oceánská ~ 7 km, rozpětí 5 – 10 km

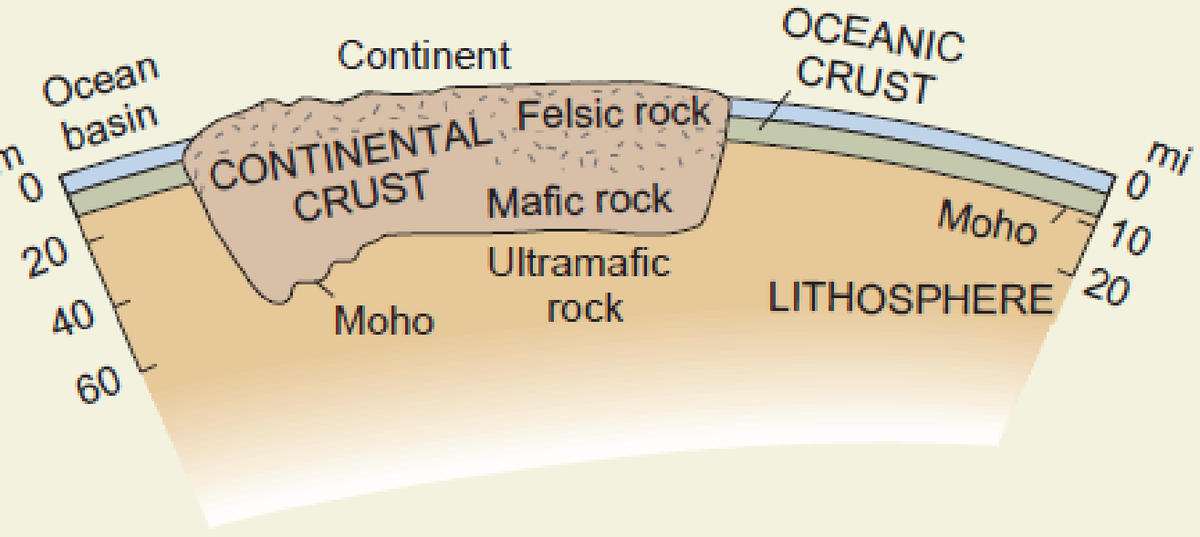

Crust
Oceanic crust
Mantle
Crust
Asthenosphere
Lithosphere
Liquid outer core
Solid inner core
6371 km
3959 mi
5140 km
2883 km
350 km / 217.5 mi
Continental crust thickness greatly exaggerated
Ocean
Oceanic crust
Moho
Continental crust
0
25
50
100
150
200
Kilometers
Vertical scale is 10x the horizontal scale
Temperature and pressure increase with depth
350 km / 217.5 mi
100 km / 62 mi
Asthenosphere: hot, weak, plastic
Lithosphere: cool, rigid, brittle

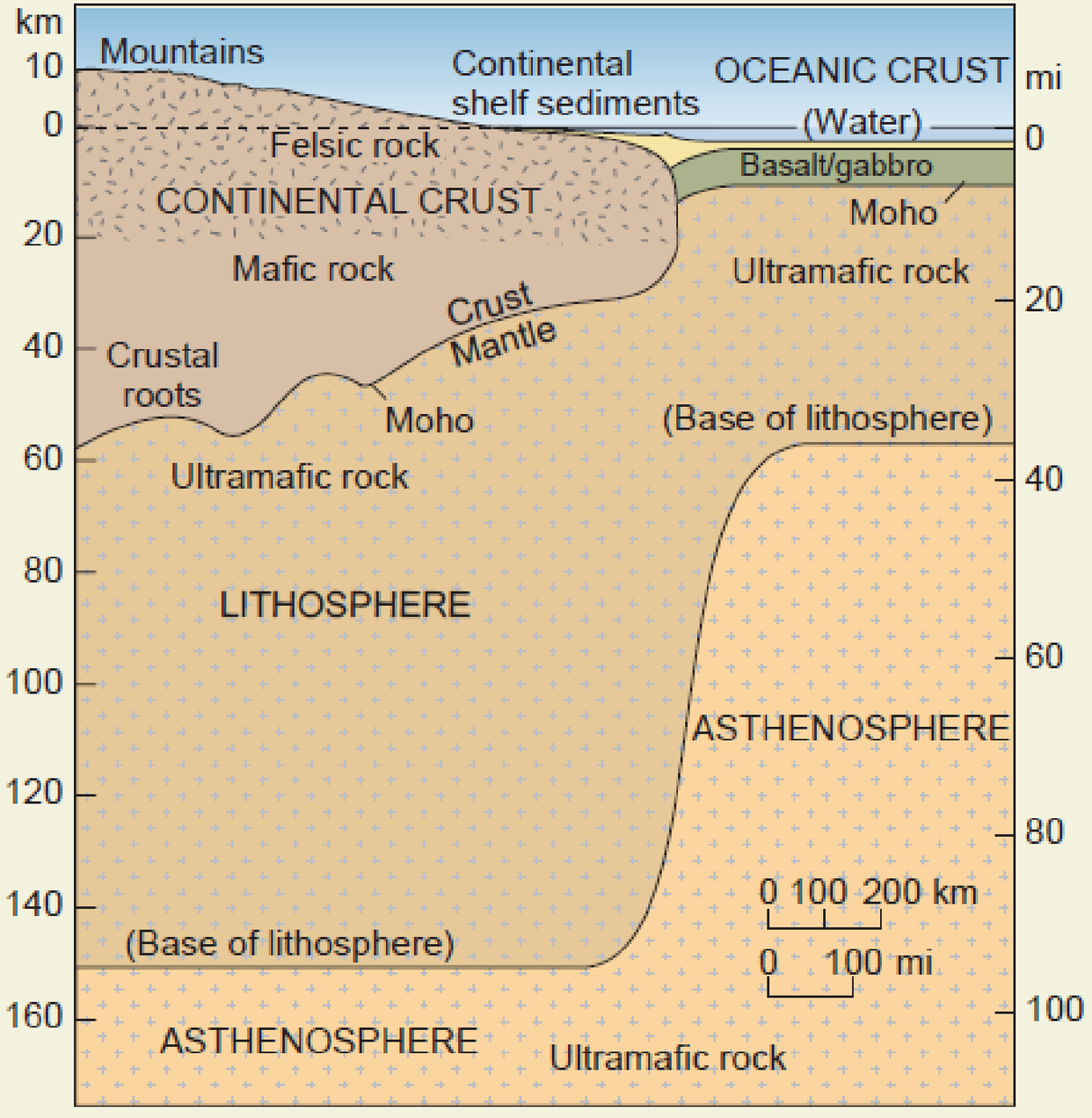
Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Litosféra a astenosféra

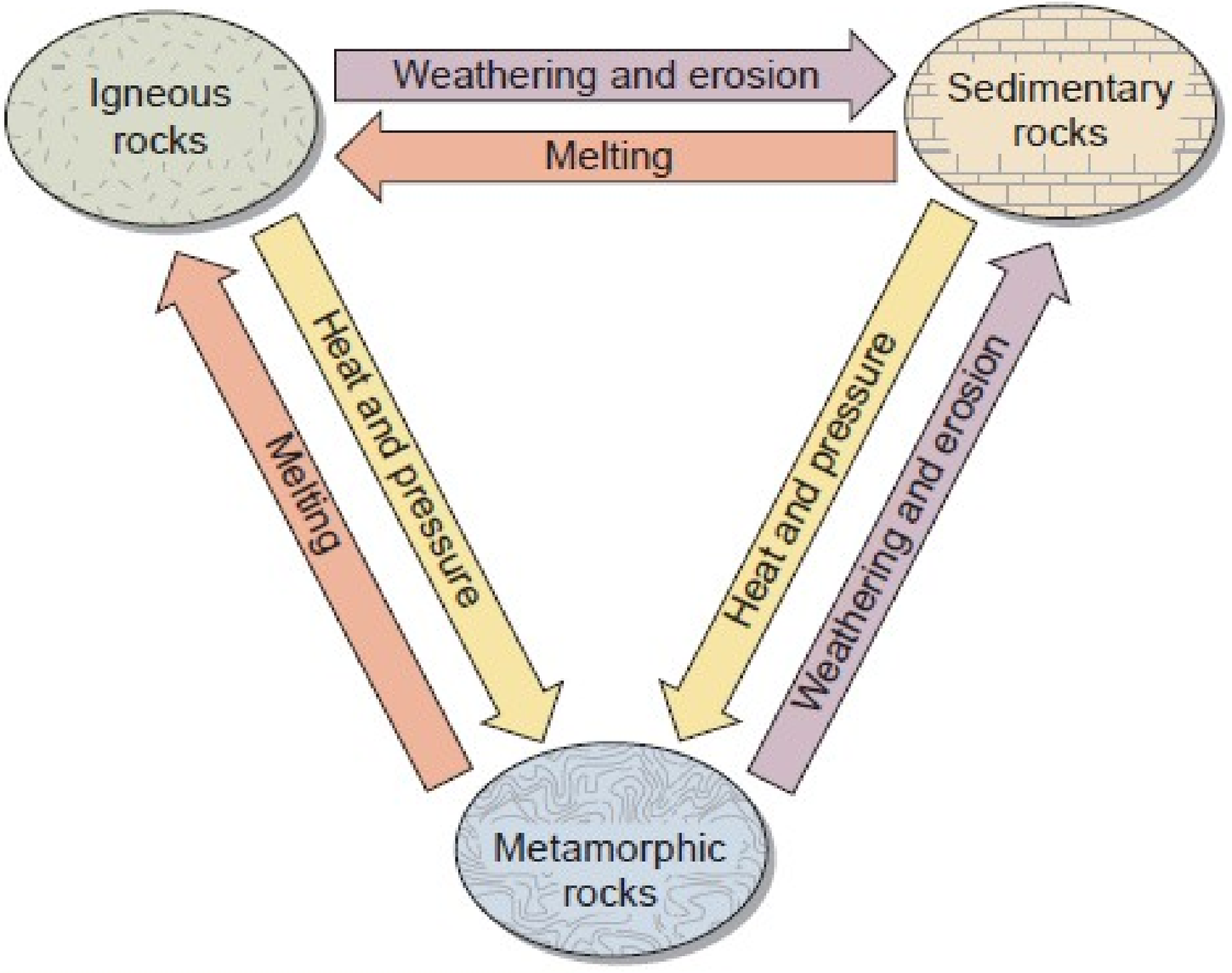
- Litosféra = zemská kůra + svrchní část pláště
- Mocnost: 60 – 150 km; nejmocnější pod kontinenty, nejslabší pod oceány.
- Astenosféra = částečně natavené horniny pláště, hloubka 100 – 300 km, pokles rychlosti seismických vln, teplota 1400°C.
- Litosférické desky – pohyb po plastické astenosféře.

Idealized cross section of the Earth's crust and upper mantle.



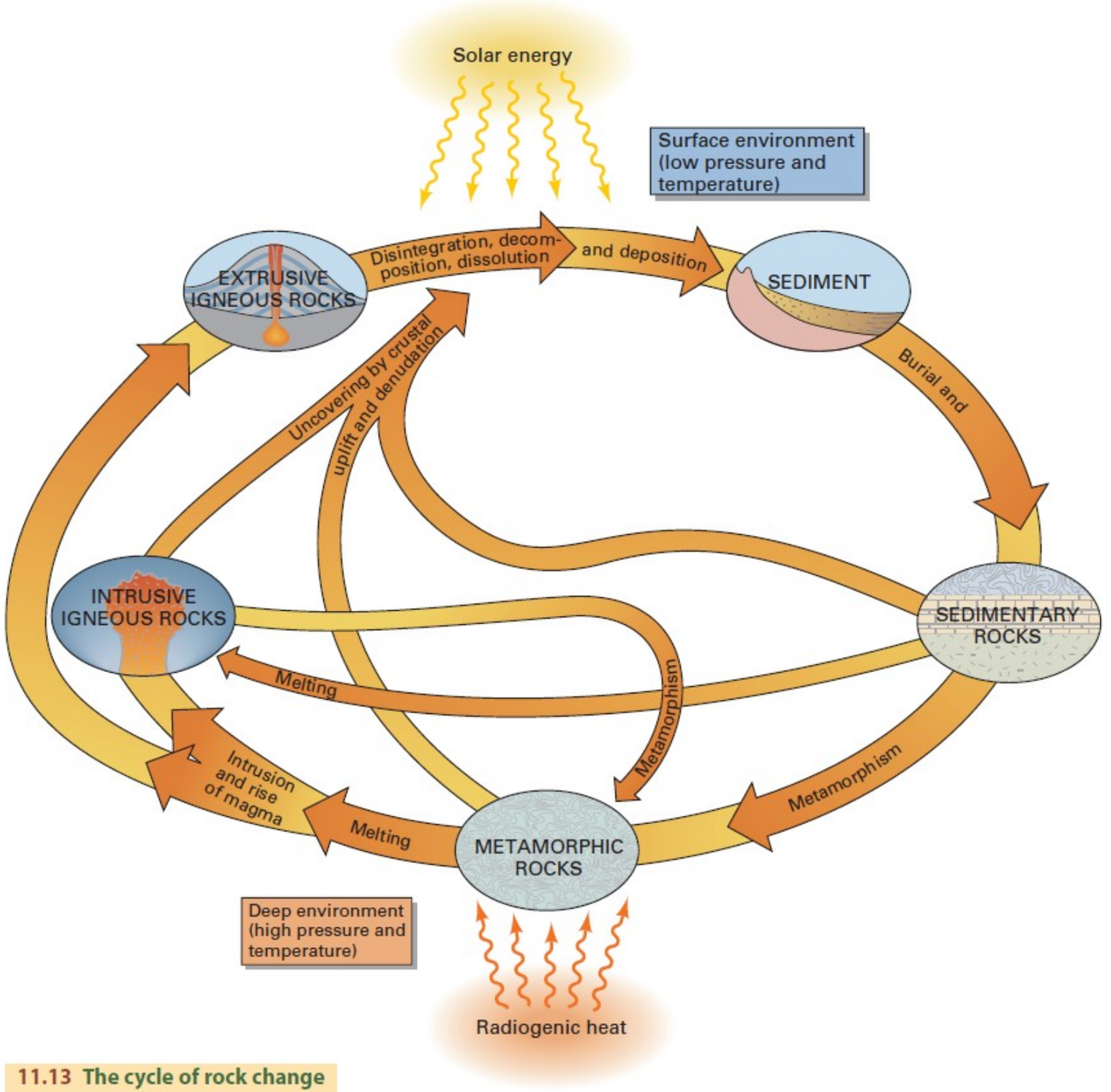


▶ Details of the crust and mantle at the edge of a continent.

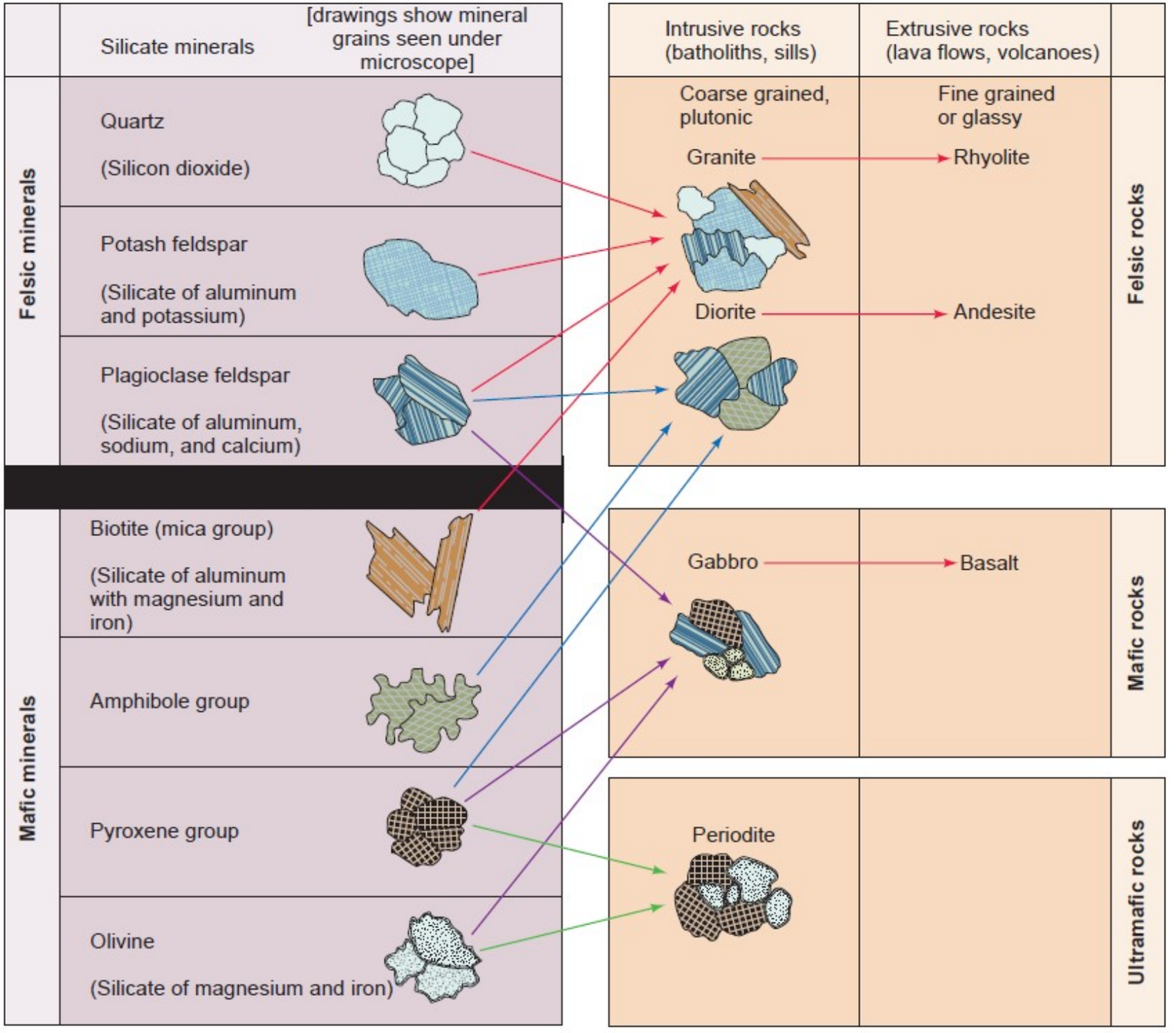


11.3 Rock transformation

The three classes of rock are transformed into one another by weathering and erosion, melting, and exposure to heat and pressure.



11.13 The cycle of rock change


Silicate minerals
[drawings show mineral grains seen under microscope]
Intrusive rocks (batholiths, sills)
Extrusive rocks (lava flows, volcanoes)
Felsic minerals
Quartz
(Silicon dioxide)
Potash feldspar
(Silicate of aluminum and potassium)
Plagioclase feldspar
(Silicate of aluminum, sodium, and calcium)
Coarse grained, plutonic
Fine grained or glassy
Granite
Rhyolite
Diorite
Andesite
Felsic rocks
Mafic minerals
Biotite (mica group)
(Silicate of aluminum with magnesium and iron)
Amphibole group
Pyroxene group
Olivine
(Silicate of magnesium and iron)
Gabbro
Basalt
Mafic rocks
Periodite
Ultramafic rocks

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

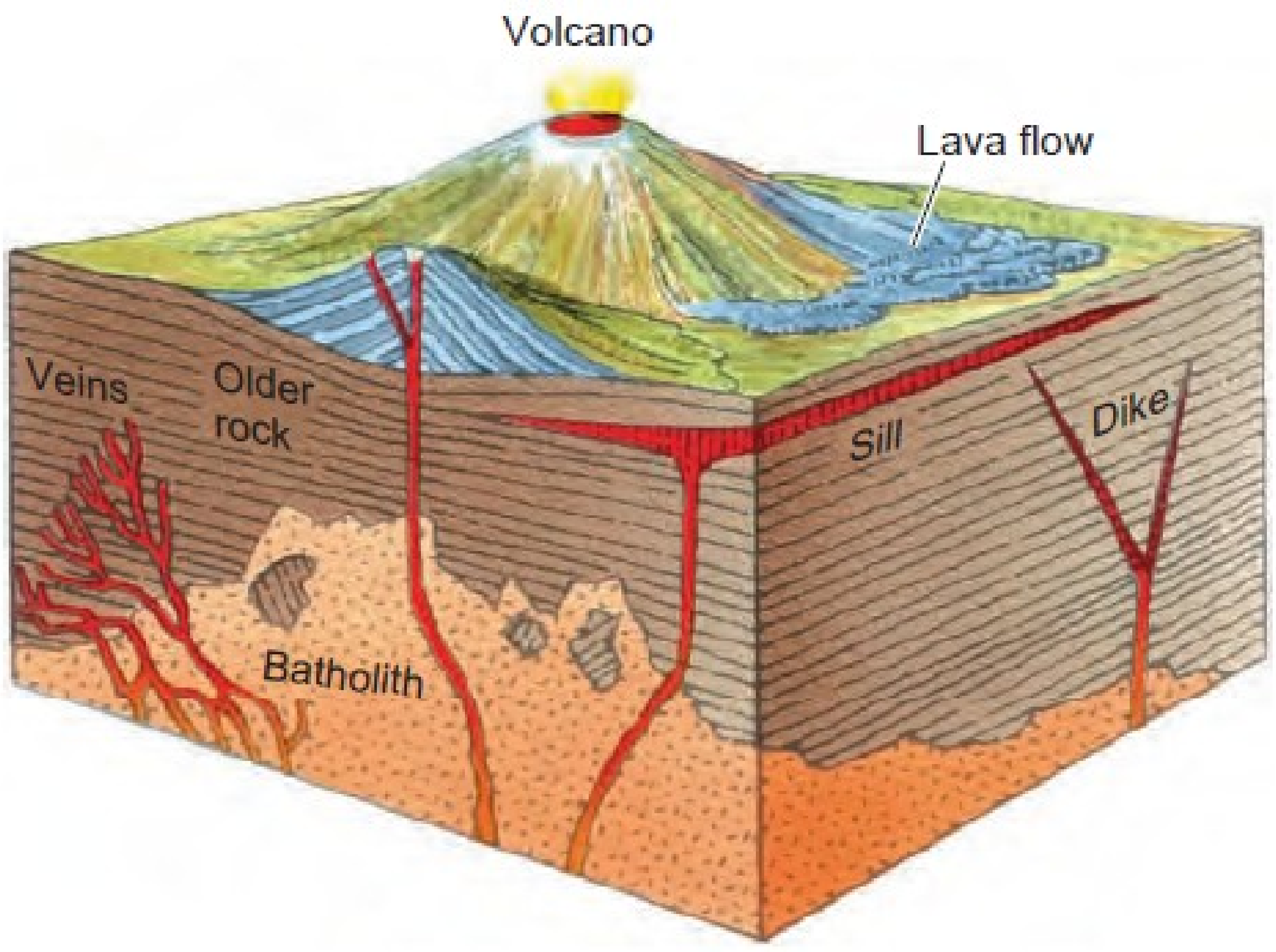
Hlavní rysy reliéfu Země

- Makrotvary zemského povrchu: elevace = kontinenty, deprese = oceánské pánve.
- 29% zemského povrchu – pevnina (včetně kontinentálního šelfu 35%), 71% zemského povrchu – oceány.
- Kontinentální šelf = zaplavené okraje kontinentů, mělká moře s hloubkou do 200 m.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Uspořádání reliéfu kontinentů

- Stavební oblasti kontinentů:
  - aktivní oblasti, tvorba pohoří (orogenní oblasti)
  - neaktivní oblasti, staré horniny (kratony)
- Orogenetické procesy:
  - vulkanizmus: rozsáhlé výlevy magmatu,
  - tektonická aktivita: rozlámání a zvrásnění kůry.


Volcano
Lava flow
Veins
Older rock
Batholith
Sill
Dike

Subclass	Rock Type		Composition
Clastic (composed of rock and/or mineral fragments)	Sandstone		Cemented sand grains
	Siltstone		Cemented silt particles
	Conglomerate		Sandstone containing pebbles of hard rock
	Mudstone		Silt and clay, with some sand
	Claystone		Clay
	Shale		Clay, breaking easily into flat flakes and plates
Chemically precipitated (formed by chemical precipitation from sea water or salty inland lakes)	Limestone		Calcium carbonate, formed by precipitation on sea or lake floors
	Dolomite		Magnesium and calcium carbonates, similar to limestone
	Chert		Silica, a microcrystalline form of quartz
	Evaporites		Minerals formed by evaporation of salty solutions in shallow inland lakes or coastal lagoons
Organic (formed from organic material)	Coal		Rock formed from peat or other organic deposits; may be burned as a mineral fuel
	Petroleum (mineral fuel)		Liquid hydrocarbon found in sedimentary deposits; not a true rock but a mineral fuel
	Natural gas (mineral fuel)		Gaseous hydrocarbon found in sedimentary deposits; not a true rock but a mineral fuel

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Pásemná pohoří alpsko-himalájského typu

- Kontinentální okraje – pásemná pohoří alpsko-himalájského typu, stáří – kenozoikum až recent.
- Hlavní systémy pásemných pohoří světa:

- Cirkum-pacifické orogenní pásmo,
- Eurasijsko-indonéské orogenní pásmo.

-

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Kratony

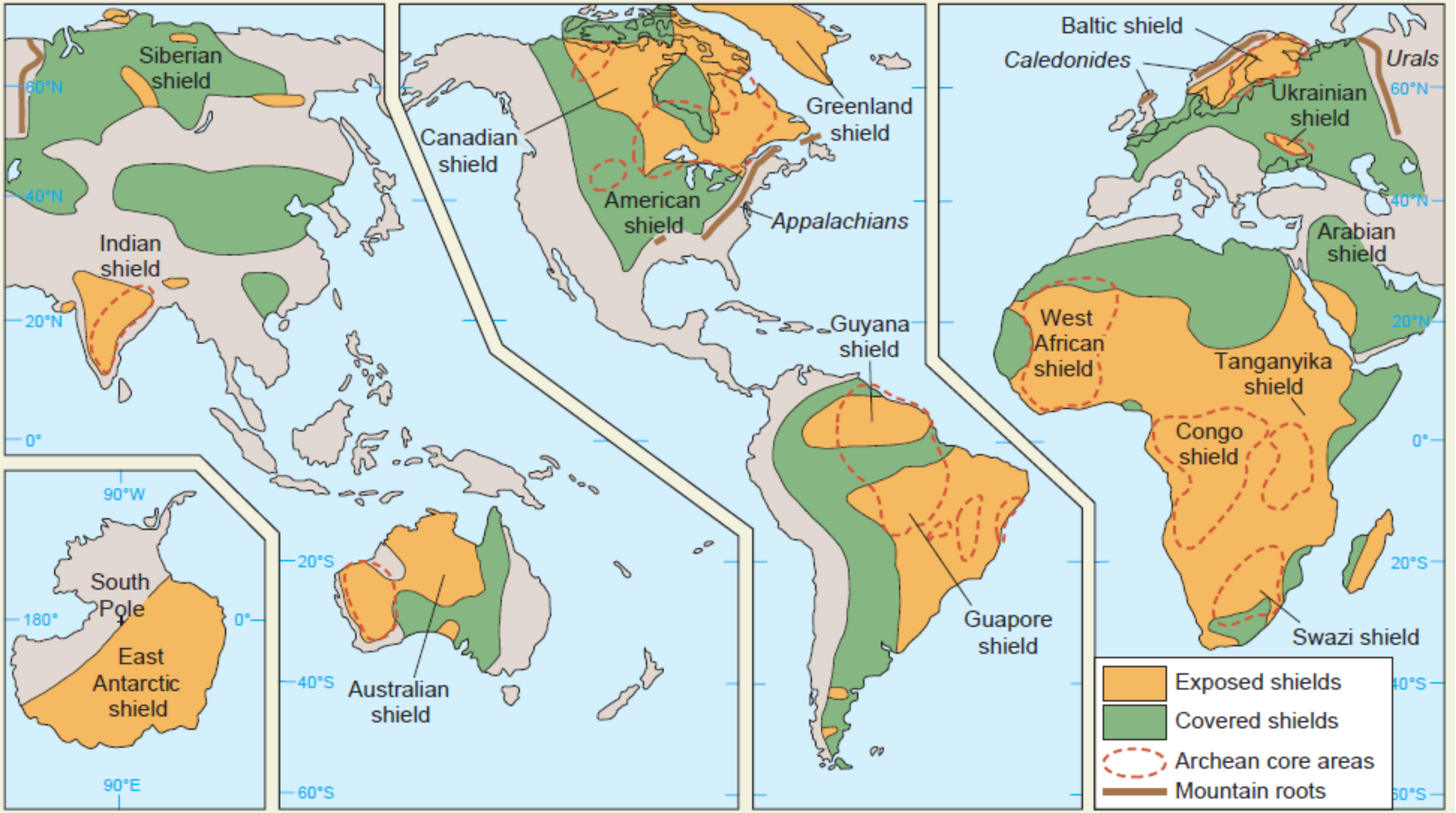
- Stabilní oblasti:
- kratony,
- neaktivní pásemná pohoří.
- Kratony = jádra kontinentů, hluboce denudované vyvřelé a metamorfované horniny.
- Typy kratonů:
- štíty = chybí pokryv sedimentů,
- tabule = sedimentárními pokryv paleozoického až kenozoického stáří.
- Nejstarší horniny štítů – 2,5 až 3,5 mld. let.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Stará pásemná pohoří

- Geologická stavba – paleozoické nebo spodně mesozoické sedimentárními horniny.
- Kaledonské pohoří: paleozoikum (400 mil. let), Skandinávie, Skotsko.
- Apalačské pohoří: konec paleozoika (250 mil. let), Severní Amerika.

11.17 Continental shields



Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Reliéf oceánských pánví

- Oceánské dno – bazalty + tenká vrstva sedimentů.
- Nízké stáří oceánské kůry – většina < 60 mil. let, větší rozlohy rovněž 65 – 135 mil. let, nejstarší Tichý oceán (z.část 200 mil. let).

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

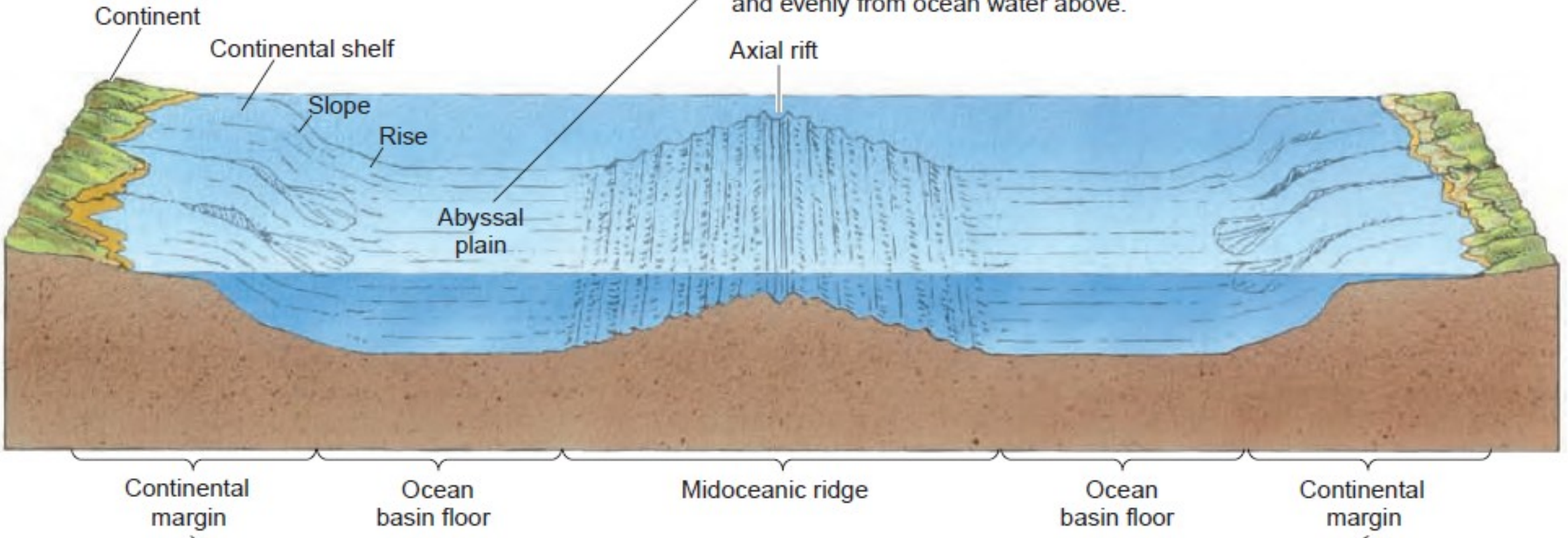
Středooceánské hřbety a oceánské pánve

- Středooceánský hřbet = centrální elevace, kde vzniká nová oceánská kůra.

- Rift = příkopová propadlina v osní části středooceánského hřbetu.
- Oceánské pánve – hloubka ~ 5000 m.
- Abysální rovina = ploché dno oceánských pánví.

▼ These three features—rise, slope, and shelf—form the *continental margin*.

Abyssal plains The broad, deep plains on either side of the midoceanic ridge are known as *abyssal plains*. Their average depth below sea level is about 5000 m (about 16,000 ft). Abyssal plains are extremely smooth because they are built up of fine sediment that has settled slowly and evenly from ocean water above.



Continental margin The *continental margin*, shown on the left and right sides of the figure, is the narrow zone along which oceanic lithosphere and continental lithosphere are in contact. The ocean floor begins sloping gradually upward, forming the *continental rise*, and then steepens greatly on the *continental slope*, until it meets the edge of the *continental shelf*.

11.19 Ocean basins

This schematic block diagram shows the main features of ocean basins. It applies particularly well to the North and South Atlantic oceans.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Kontinentální okraje

- Kontinentální okraj = úzká zóna kde oceánská kůra přechází do kůry kontinentální.
- Kontinetálním úpatí, kontinetální svah
- Kontinentální šelf = mírně ukloněný, mořem zaplavený okraj kontinentu s hloubkou do 200 m.
- Pasivní kontinentální okraj – posledních 50 mil. letech bez vulkanické a tektonické aktivity; oceánská i kontinentální kůra součástí jedné litosférické desky; akumulace terestrických sedimentů (delty řek, turbiditní proudy, podmořské kaňony, podmořské kužely)
- Aktivní kontinentální okraj – lemovány hlubokomořským příkopem, subdukce.
- Hloubka příkopů: 7000 – 10 000 m, max. 11 000 m.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

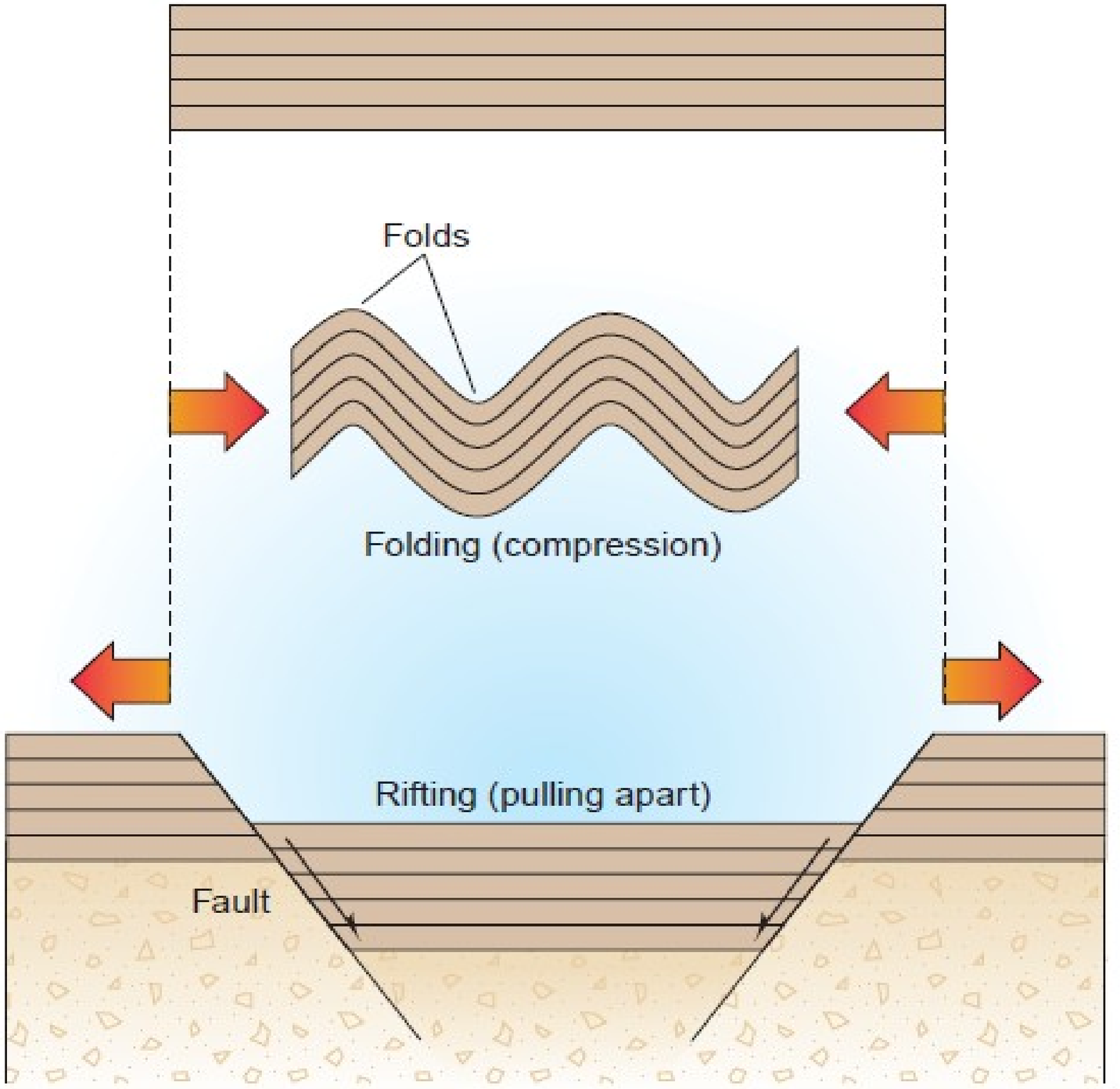
Desková tektonika

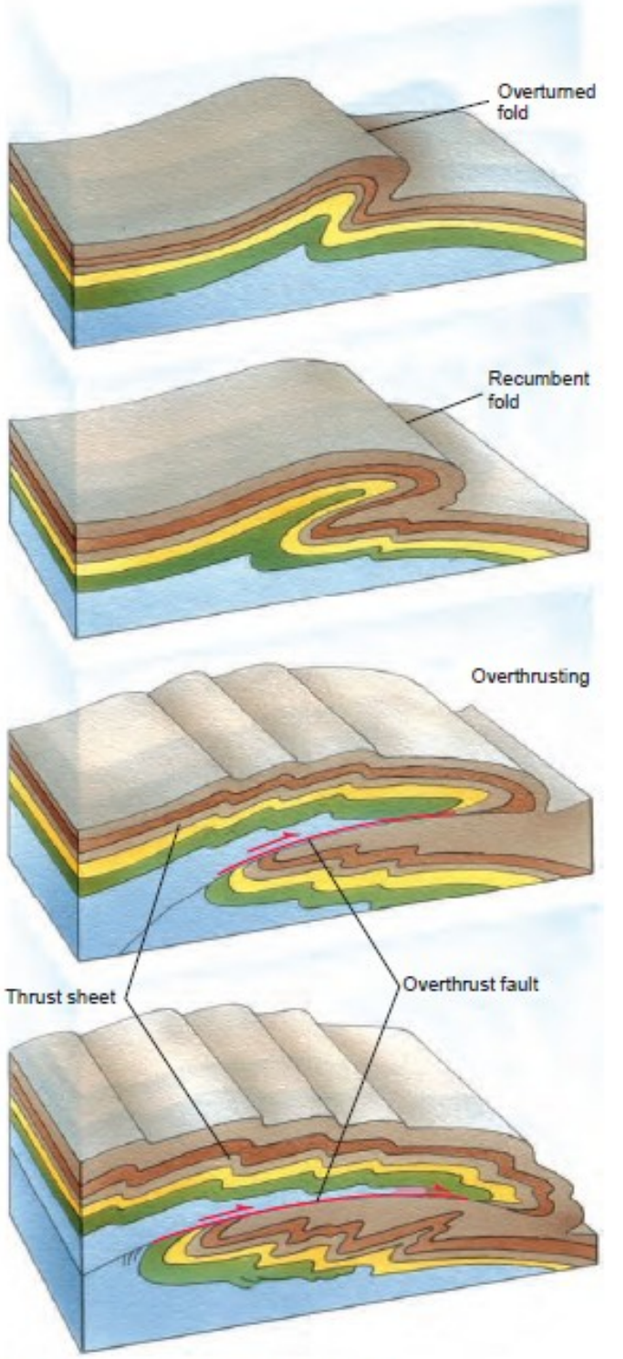
- Tektonika = pochody při kterých dochází k deformaci hornin litosféry; intenzivní zejména na kolizních rozhraních litosférických desek.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tektonické procesy

- Typy namáhání hornin v litosféře:
- - tlakové napětí,
- - tahové napětí.
- Příklady deformačních struktur při vrásnění: překocená vrása, ležatá vrása, přesmyk, vrásový příkrov.
-





11.22 Formation of overthrust faults

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

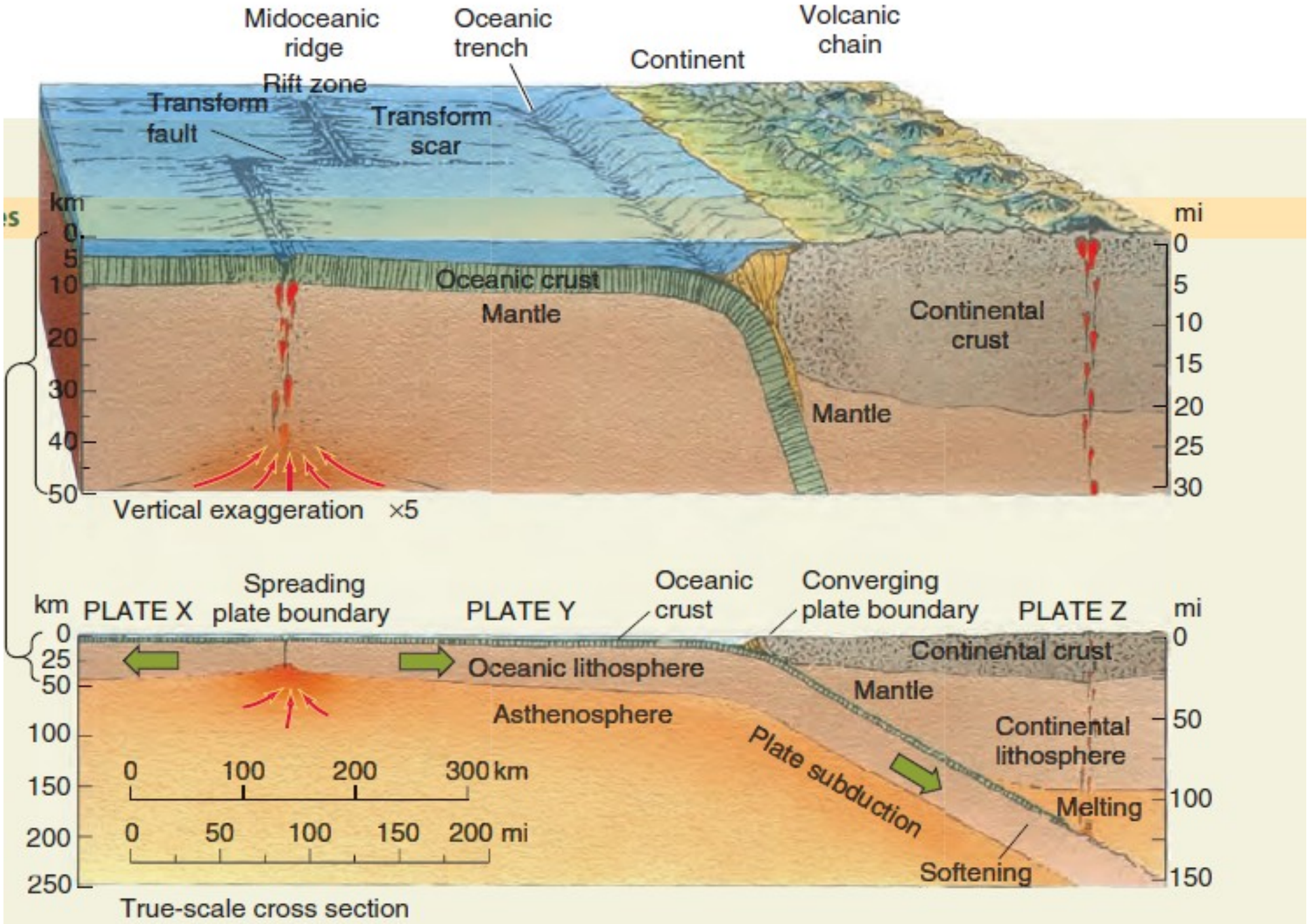
Pohyb a interakce litosférických desek

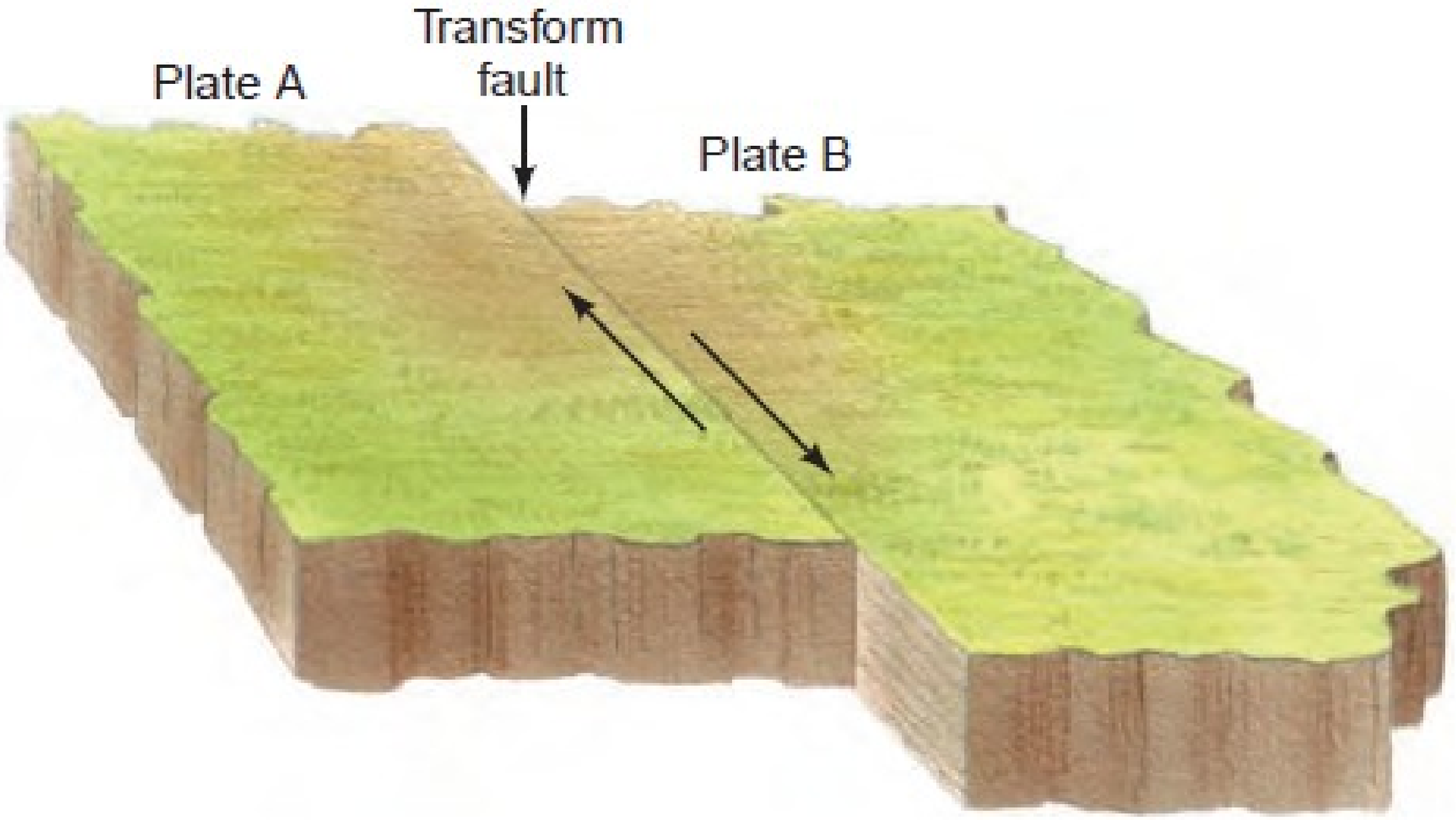
- Typy deskových rozhraní:

- divergentní rozhraní (tvorba oceánské kůry a oddalování desek – spreading),

- konvergentní rozhraní (zánik oceánské kůry a přibližování desek – subdukce),

- transformní rozhraní (horizontální posun desek).


Midoceanic ridge
Oceanic trench
Volcanic chain
Continent
Rift zone
Transform fault
Transform scar
km
0
5
10
20
30
40
50
mi
0
5
10
15
20
25
30
Oceanic crust
Mantle
Continental crust
Mantle
Vertical exaggeration ×5
Spreading plate boundary
Oceanic crust
Converging plate boundary
PLATE X
PLATE Y
PLATE Z
km
0
25
50
100
150
200
250
mi
0
50
100
150
Continental crust
Oceanic lithosphere
Mantle
Asthenosphere
Continental lithosphere
Plate subduction
Melting
Softening
0 100 200 300 km
0 50 100 150 200 mi
True-scale cross section



11.24 Transform fault

Globální systém litosférických desek

- Globální systém litosférických desek se skládá z 6 velkých desek a řady malých desek a subdesek.
-

Velké desky	*Malé desky*
Pacifická	Nazca
Americká	Kokosová
Eurasijská (Perská subdeska)	Filipínská
Africká (Somálská subdeska)	Arabská
Indo-australská	Juan de Fuca
Antarktická	Karolínská
	Bismarckova
	Scotia

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

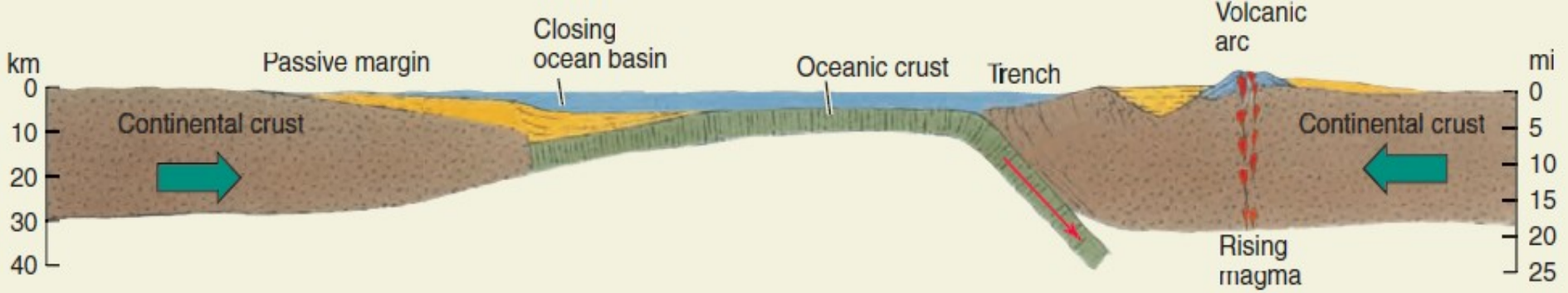
Tektonika subdukčních rozhraní

- Subdukční zóny – intenzivní tektonická a vulkanická aktivita.
- Aktivní kontinentální okraje – subdukce kůry nebo kolize dvou bloků s kontinentální kůrou.
- Zdroje sedimentů subdukčních zón:
  - hlubokomořské jemnozrnné sedimenty,
  - terestrické hrubozrnné sedimenty.
- Akreční klín – deformace a vytlačování sedimentů shrnovaných z oceánské desky; metamorfóza.

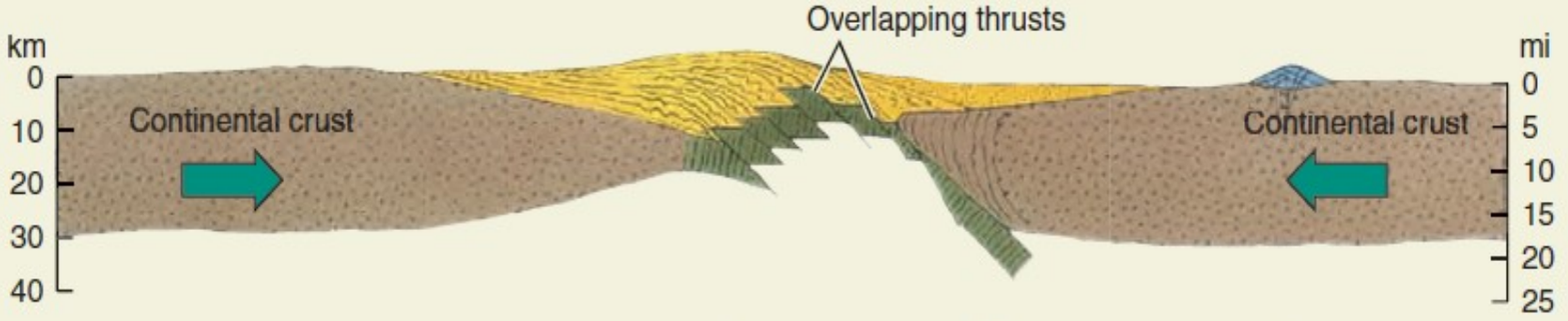
Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Orogeneze typu kontinet - kontinent

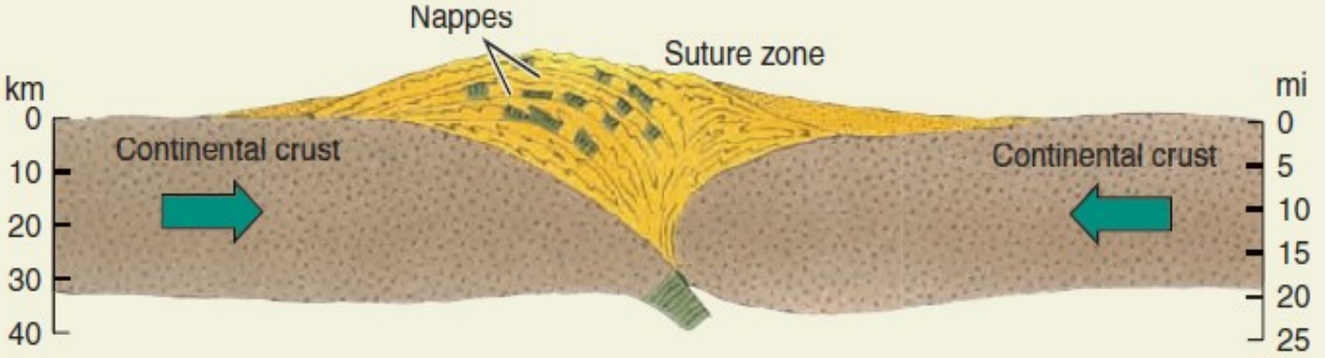
- Kolize hmot se stejnou hustotou a velkou mocností → mocná kůra s malou hustotou nemůže subdukovat; aktivní případ kolize – Himaláje.
- Kontinentální šev (sutura) – vznik po ukončení kolize spojením dvou desek (např. Ural)



▲ The continent on the left has a passive continental margin, while the continent on the right has an active subduction margin.



▲ As the continents move closer, the ocean between the converging continents is eliminated. The oceanic crust is telescoped, creating a succession of overlapping thrust faults, which ride up, one over the other.



▲ As the slices become more and more tightly squeezed, they are forced upward. The upper part of each thrust sheet turns horizontal, forming a nappe, which then glides forward under gravity. A mass of metamorphic rock forms between the joined continental plates, welding them together. This new rock mass is the continental suture.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Riftogeneze a nová oceánská kůra

- Riftogeneze = rozdělení původně souvislé oblasti kontinentální kůry, vznik nového oceánu a pasivních kontinentálních okrajů.
- Transformní zlomy = porušují souvislý průběh středooceánských hřbetů, horizontální pohyb bloků oceánské kůry.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

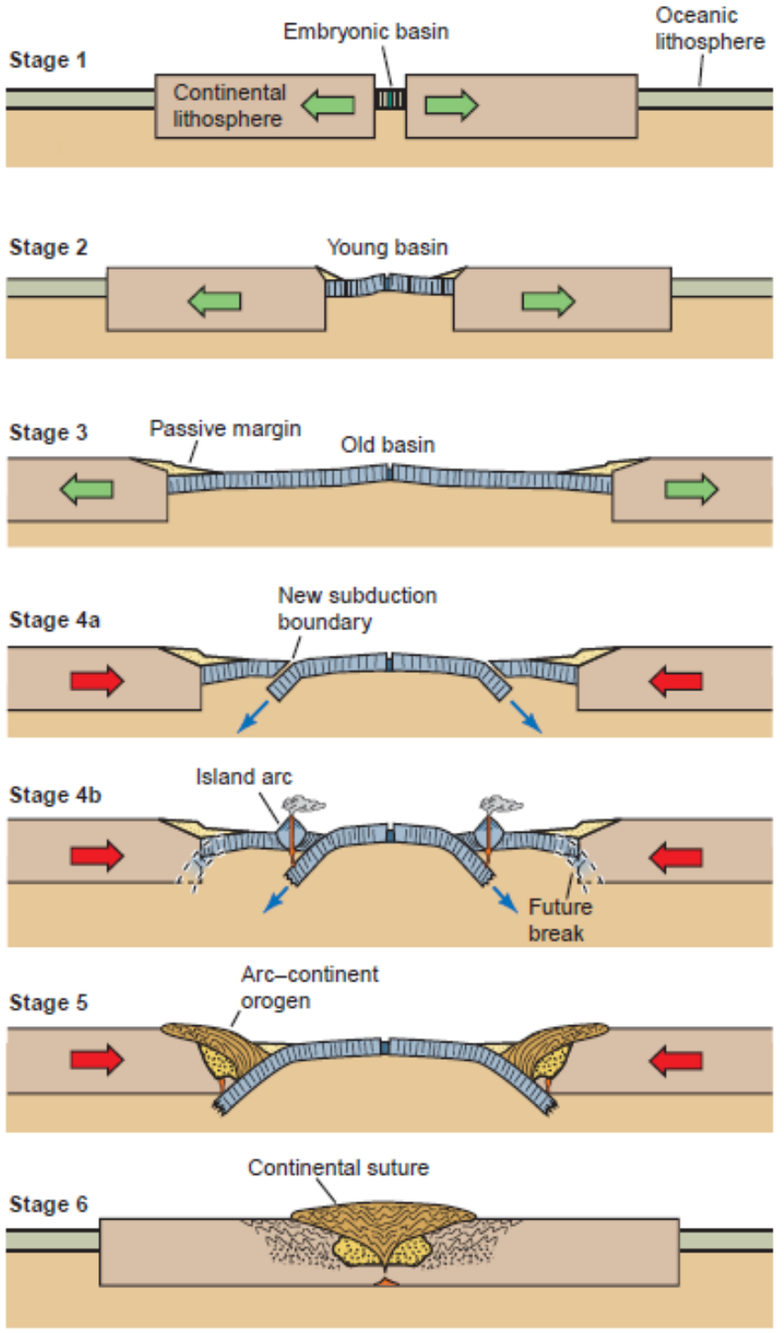
Energetické zdroje pohybu desek

- Radiogenní teplo – důsledek rozpadu radioaktivních izotopů některých prvků (238U, 235U, 232Th, 40K).
- Konvekční proudy = výstupné proudy v plášti, důsledek nerovnoměrné distribuce radiogenního tepla v plášti.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Uspořádání kontinentů v minulosti

- Průměrná rychlost pohybu litosférických desek: 5 – 10 cm/rok
- Rozpad superkontinentu Pangea, který byl obklopen oceánem Panthalassa (perm, 250 mil. let BP)
- Pangea → jižní polokoule – Gondwana (Jižní Amerika, Afrika, Antarktida, Austrálie, Nový Zéland a Madagaskar, Indie); severní polokoule – Laurasie (Severní Amerika, Eurasie).
- Gondwana a Laurasie byly odděleny oceánem Tethys.
- Posuny kontinentů ovlivnily přírodních podmínky (klima, půdy, vegetace).



Stage 1 Embryonic ocean basin The Red Sea separating the Arabian Peninsula from Africa is an active example.

Stage 2 Young ocean basin The Labrador Basin, a branch of the North Atlantic lying between Labrador and Greenland, is an example of this stage.

Stage 3 Old ocean basin Includes all of the vast expanse of the North and South Atlantic oceans and the Antarctic Ocean. Passive margin sedimentary wedges have become wide and thick.

Stage 4a The ocean basin begins to close as continental plates collide with it. New subduction boundaries begin to form.

Stage 4b Island arcs have risen and grown into great volcanic island chains. These are found surrounding the Pacific plate, with the Aleutian arc as an example.

Stage 5 Closing continues Formation of new subduction margins close to the continents is followed by arc-continent collisions. The Japanese Islands represent this stage.

Stage 6 The ocean basin has finally closed with a collision orogen, forming a continental suture. The Himalayan orogen is a recent example, with activity continuing today.

11.30 The Wilson cycle

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Zdroje:

- A. & A. Strahler, Introducing Physical Geography. Wiley, New York
- R. Brázdil, Z. Máčka: Fyzická geografie, Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta MU

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Vědy o Zemi

Geologická činnost exogenních sil a endogenních sil, zvětrávání

Mgr. Ing. Jiří Lehejček, Ph.D.

ADAPT UTB: Adaptabilní, Digitální, Agilní, Progresivní, Transformace UTB ve Zlíně, reg. č.
NPO_UTB_MSMT-16585/2022

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Úvod

- zvětrávání = termín zastřešující všechny procesy vedoucí k fyzikálnímu rozpadu a chemickému rozkladu hornin nacházejících se v blízkosti zemského povrchu.
- zvětrávání probíhá fyzikální, chemickou a biologickou cestou
- svahové pohyby = pohyb půdy, zvětralin, nebo skalního podloží dolů po svahu účinky gravitace.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

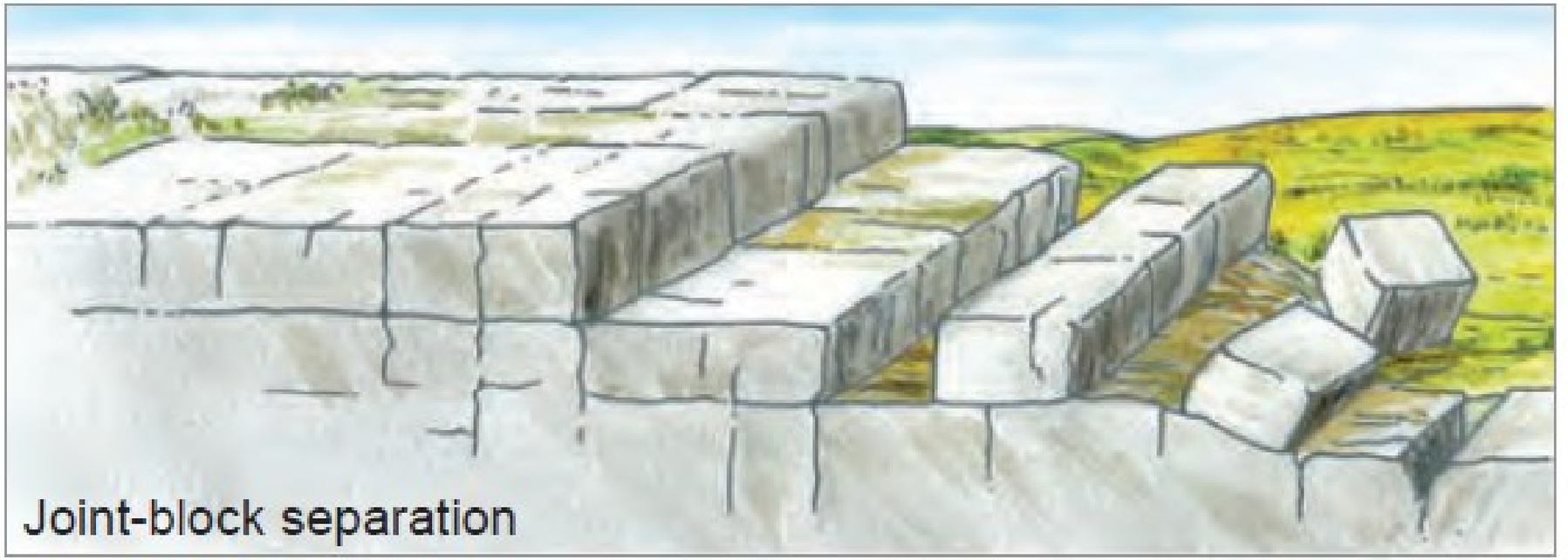
Svahy a zvětraliny

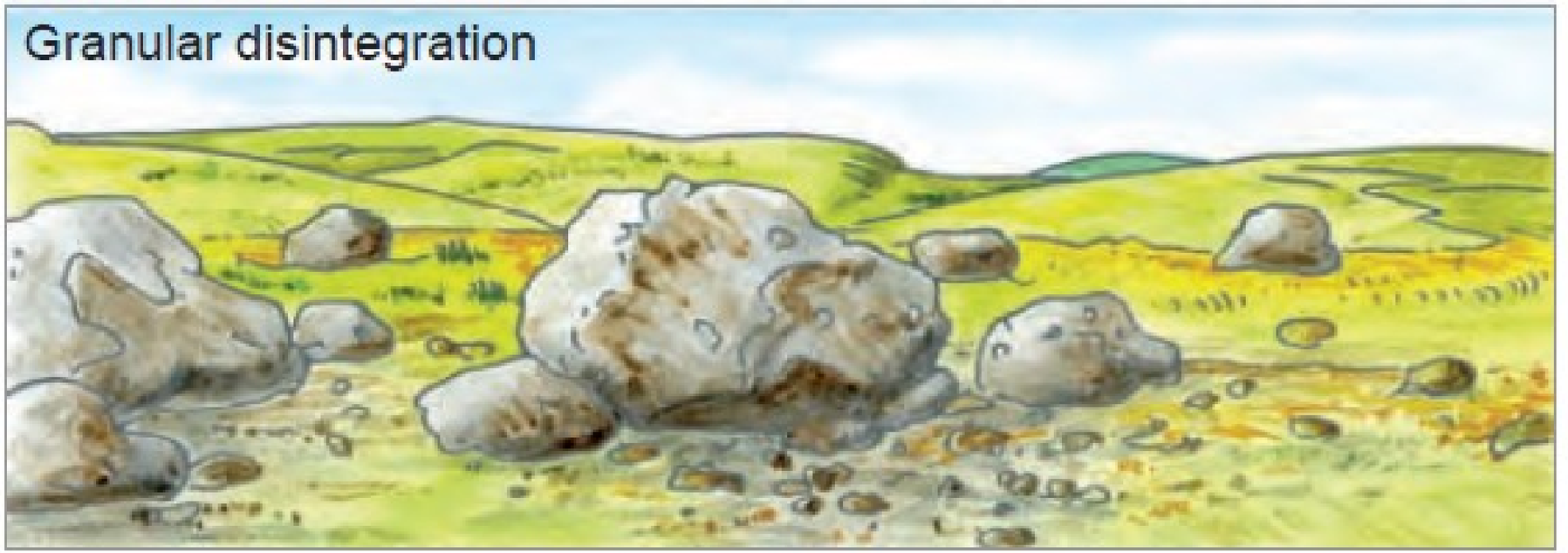
- svah = část zemského povrchu ukloněná vůči horizontální; svahy se vymezují od sklonu 2°, plochy o sklonu 0 – 2° se klasifikují jako plošiny
- většina svahů je pokrytá vrstvou zvětralin – tzv. zvětralinovou kůrou či zvětralinovým pláštěm (regolithem)
- regolith = svrchní vrstva zemské kůry o mocnosti několik dm až desítek m která se zčásti odlišuje svým složením od podložních vrstev – rozdíly jsou způsobeny přeměnou hornin působením různých zvětrávacích procesů
- v podloží regolithu se nachází nezvětralá hornina označovaná jako skalní podloží; skalní horniny vystupují z regolithu v podobě skalních výchozů
- svahovina (deluvium) = sypký materiál kryjící svahy, který se pomalu pohybuje po svahu směrem dolů
- aluvium = uloženina přemisťovaná vodními toky po údolním dně
- reziduální regolith – zvětralina na svahu přemístěná pouze gravitací, transportovaný regolith – zvětralina přemístěná transportním médiem (voda, vítr, led)
- horniny se na zemském povrchu přizpůsobují změněným termodynamickým podmínkám zvětšováním objemu a odevzdáváním tepla

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Fyzikální zvětrávání

- fyzikální zvětrávání (mechanické zvětrávání) = pochod při kterém se původně masivní hornina drobí na různě velké úlomky, ale nemění se její chemické složení
- procesy fyzikálního zvětrávání buď
  - zahrnují objemové změny samotné horniny (exfoliace, insolační zvětrávání)
  - zahrnují objemové změny vyvolané vniknutím cizorodé látky (voda, soli) do pórů a trhlin v hornině (mrazové zvětrávání, solné zvětrávání, tlakové působení kořenů)
- zvětrávání do bloků, zvětrávání na minerální zrna





13.3 Bedrock disintegration

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Exfoliace

- exfoliace = odlupování slupek či desek horniny podél puklin; pukliny vznikají jako důsledek rozpínání při odlehčení horninového tělesa; cibulovitá stavba horniny
- exfoliační klenba

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Insolační zvětrávání

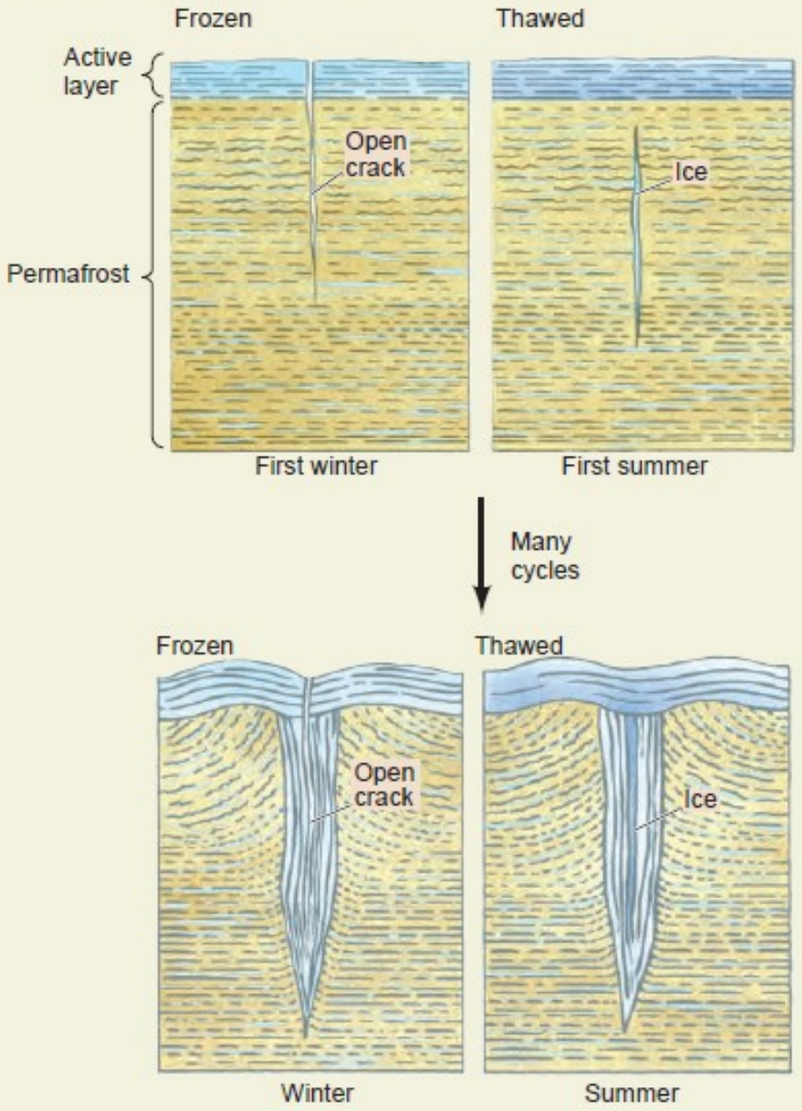
- insolační zvětrávání = pochod při kterém vznikají v hornině trhliny v důsledku objemových změn vyvolaných kolísáním teploty
- v hornině vznikají napětí vyvolaná:
- - silnějším ohřevem povrchu horniny vzhledem k jejím hlubším částem
- - rozdílným koeficient tepelné roztažnosti různých horninotvorných minerálů
- - rozdílným roztahováním a smršťováním minerálů ve směru různých krystalových os
- intenzivní insolační zvětrávání v pouštích – denní výkyvy teploty o amplitudě až 50° C

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Mrazové zvětrávání

- mrazové zvětrávání = pochod při kterém dochází k tříštění horniny tlakem způsobeným růstem ledu (ledových krystalů) v pórech a puklinách
- voda při zmrznutí zvětší objem o 9 %
- faktory intenzity mrazového zvětrávání jsou: a. obsah vody, b. rychlost zmrznutí vody
- intenzivní mrazové zvětrávání probíhá ve vysokých zeměpisných šířkách a ve vysokých horách, kde dochází k častému překročení bodu mrazu
- kamenné moře = nahromadění větších úlomků hornin na temenech vyvýšenin nebo mírných svazích
- osyp = úpatní akumulace horninových úlomků vyvětrávajících ze skalních stěn
- suťový kužel = kuželovitá akumulace horninových úlomků při ústí erozního zářezu
- mrazové vzdouvání = nadzvedávání povrchu terénu růstem ledu ve zvětralinách
- jehlový led
- kamenné polygony = prstence větších úlomků vznikající vytříděním materiálu mrazovým vzdouváním
- mrazové klíny = vznikají v jemnozrnných sedimentech většinou v aluviálních a deltových uloženinách vyplňování kontrakčních trhlin ledem

▼ **Formation of an ice wedge** Ice wedges are thought to originate in cracks that form when permafrost shrinks during extreme winter cold. Surface water enters the crack during the spring melt and then rapidly freezes, widening the crack.



▲ After several hundred winters, the ice wedge has grown and continues to grow as the same seasonal sequence is repeated. The ice wedge thickens until it becomes as wide as 3 m (about 10 ft) and as deep as 30 m (about 50 ft).

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Solné zvětrávání

- solné zvětrávání = pochod vedoucí k rozpadu horniny tlakem vznikajícím při vysrážení a růstu krystalků solí v pórech a trhlinách horniny
- solné zvětrávání je rozšířeno zejména v aridních a semi-aridních
- při solném zvětrávání se uplatňují např. sádrovec, mirabilit, uhličitan vápenatý, halit
- zdroje soli: vítr přináší krystalky solí od moře; soli se tvoří se jako produkty chemického zvětrávání; odnos větrem ze solných kůr na dně periodických jezer aridních oblastí
- úpatní výklenky, skalní brány, dutiny v pískovcích

Financováno Evropskou unií NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tvary vzniklé chemickým zvětráváním

- předpoklady chemického zvětrávání:

- nerosty se tvořili za odlišných termodynamických podmínek než jaké panují na zemském povrchu → snaha zvětšit objem, nakypřit krystalovou mřížku

- nerosty se dostávají do styku s různými sloučeninami

- chemické zvětrávání probíhá několika způsoby:

- rozpouštění (hydratace)

- hydrolýza

- oxidace-působení kyselin

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Hydratace

- faktory podmiňující rozpouštěcí schopnost vody: a. čas působení, b. teplota, c. obsah agresivních příměsí
- rozpustnost různých minerálů: nejrozpustnější jsou chloridy (např. NaCl – halit) a sírany (např. CaSO4.nH2O - sádrovec), méně jsou rozpustné karbonáty (CaCO3 – vápenec, MgCO3 – dolomit), nejméně jsou rozpustné silikáty, takřka nerozpustný je křemen a muskovit
- hydratce = dipóly vody jsou přitahovány některým svým koncem k elektricky nabitému iontu na povrchu krystalu a vytváří kolem něj hydratační obal → dochází k narušování krystalové mřížky

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Oxidace

- oxidace = do trhlin v krystalu vniká kyslík, který se váže na ionty krystalové mřížky
- rychle oxidovány jsou zejména na dvojmocné ionty Fe a Mn (minerály biotit, augit, amfibol, …)
- při oxidaci dochází k uvolňování tepla a dalšímu nakypřování krystalové mřížky
- oxidačně-hydratační přeměna Fe primárních minerálů vede ke vzniku nových nerostů s hnědou barvou (např. goetit, limonit) – hnědá barva je indikátorem pokročilosti zvětrávání

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Hydrolýza

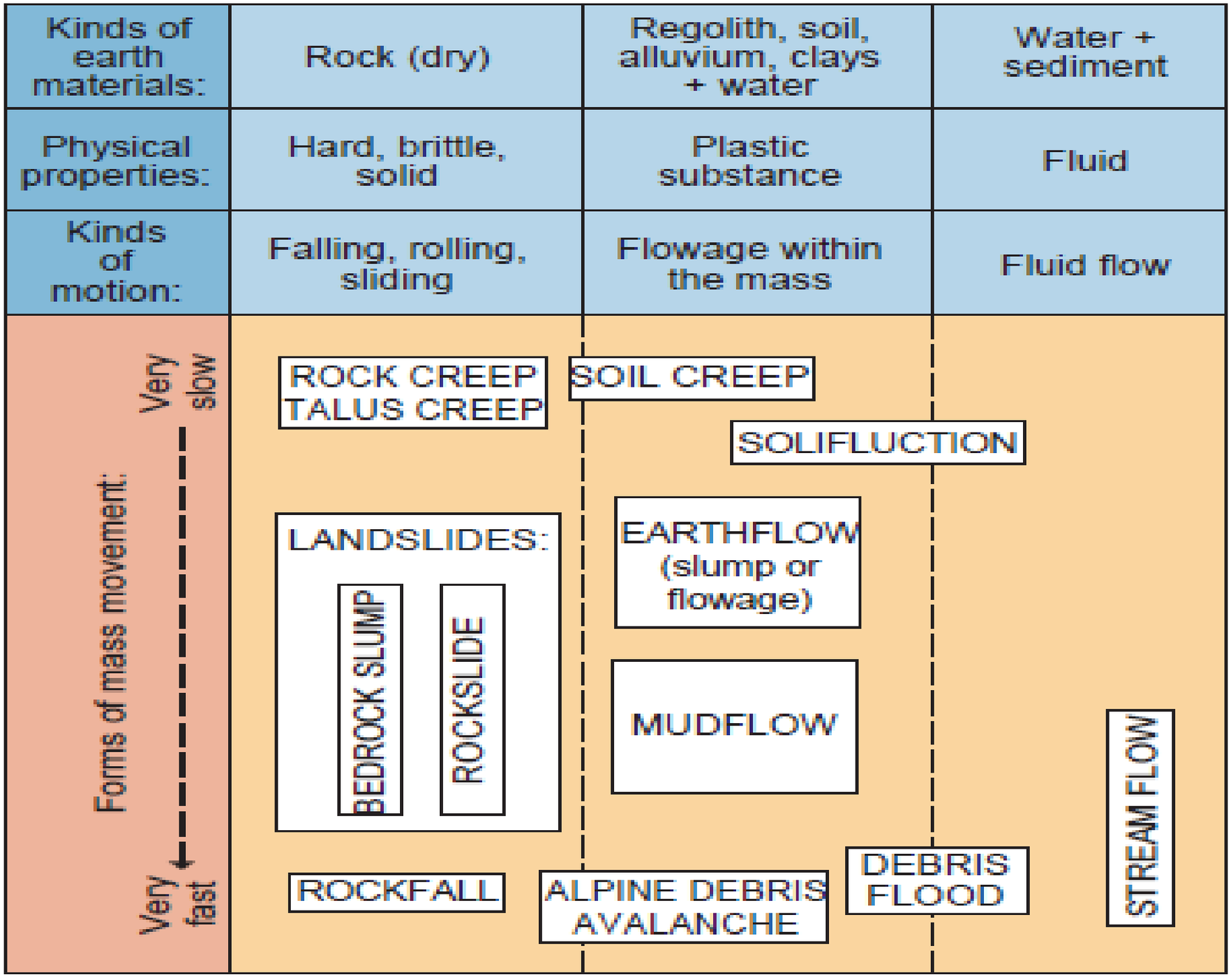
- hydrolýza = rozklad minerálů vlivem iontů H+ a OH-
- dalším zdrojem vodíkových iontů je disociace kyseliny uhličité (H_2CO_3) na H+ a HCO_3^-
- vodíkové ionty vytlačují z krystalové mřížky jiné prvky; nejsnáze jsou vytlačovány ze silikátů kationty Na, K, Ca, Fe a Mn

Působení kyselin

- z anorganických kyselin se uplatňuje zejména kyselina uhličitá (H_2CO_3), která se vytváří rozpouštěním CO_2 ve vodě
- k působení H_2CO_3 jsou náchylné zejména vápence, dolomity a mramory → výsledkem je vznik krasových jevů (tvarů)
- škrapy = systémy žlábků a hřbítků, které vznikají rozpouštěním na obnažených vápencových površích
- chemické zvětrávání je zesilováno působením člověka (emise S a NOx, kyselé deště)
- charakter zvětrávání a mocnost regolithu závisí na několika faktorech:
- - organická aktivita ve zvětralinách a půdách
- - klima
- - stupeň nasycení roztoku
- - minerální složení hornin vystavených zvětrávání
- - reliéf
- - čas
- mocnost půdy a regolithu:
- - půda: zpravidla ne více než 1 – 2 m
- - regolith: zasahuje do hloubek 5 – 100 m
- v našich podmínkách hloubka regolithu řádově v dm, maximálně několik m; vlhké tropy až desítky m

Svahové pohyby

- transport zvětralin se děje:
  - gravitací
  - transportním médiem (voda, vítr, ledovec)
- kritéria třídění svahových pohybů:
  - rychlost pohybu
  - charakter pohybu
  - druh přemisťovaného materiálu
- hlavní formy svahových pohybů:
  - ploužení
  - tečení
  - sesouvání
  - řícení

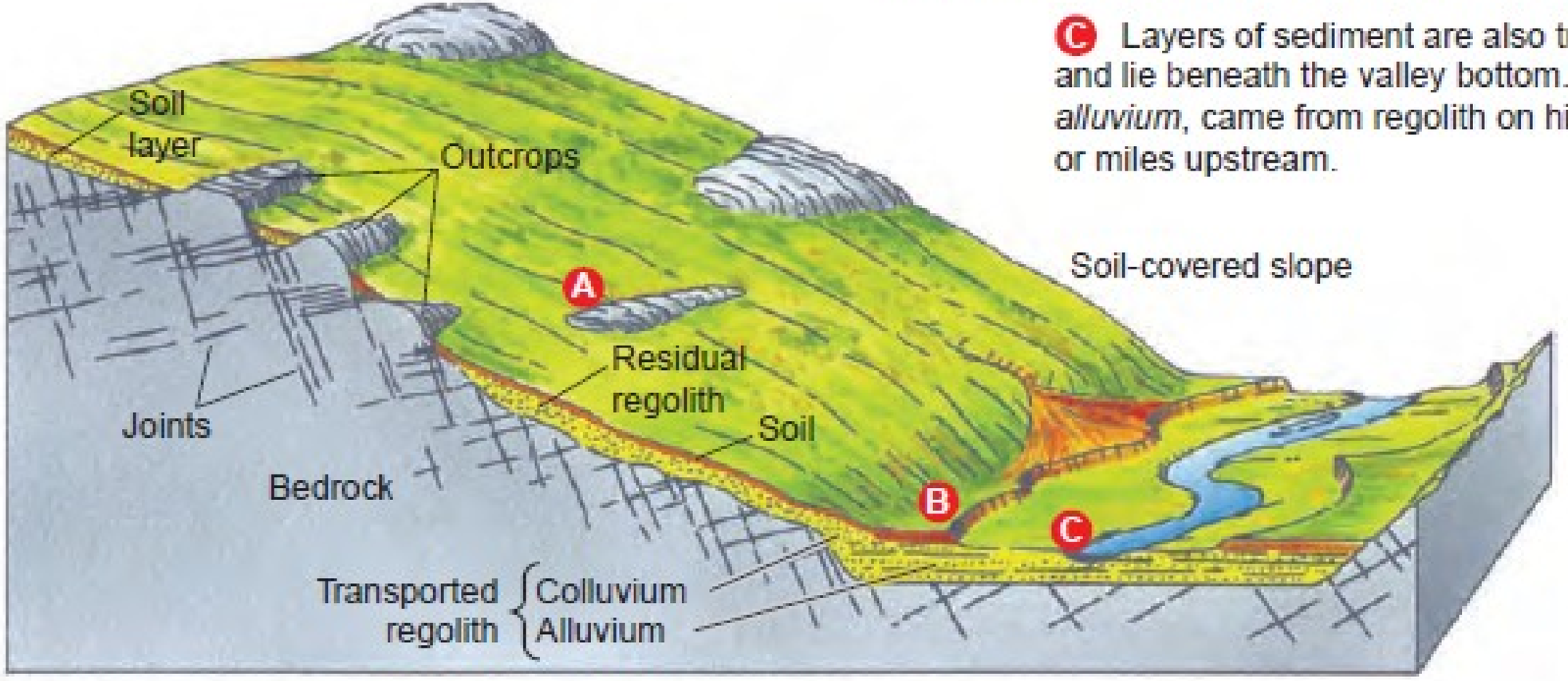


13.10 Processes and forms of mass wasting

A Soil and regolith blanket the bedrock, except in a few places where the bedrock is particularly hard and projects in the form of *outcrops*.

B Residual regolith, formed from the rock beneath, moves very slowly down the slope toward the stream and accumulates at the foot of the slope. This accumulation is called *colluvium*.

C Layers of sediment are also transported by the stream and lie beneath the valley bottom. This sediment, called *alluvium*, came from regolith on hillslopes many kilometers or miles upstream.

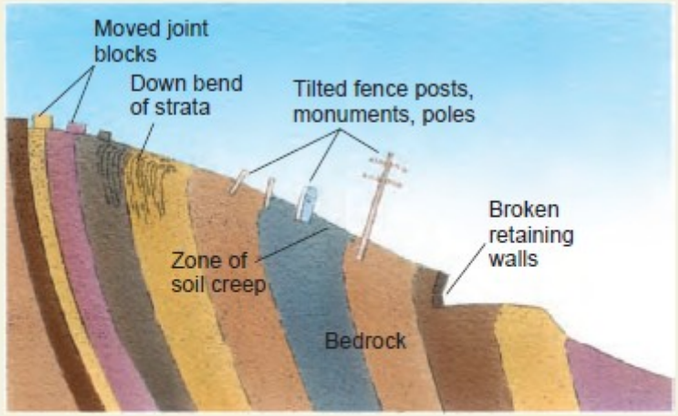


13.11 Soil, regolith, and outcrops on a hillslope

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Ploužení (creep)

- ploužení = velmi pomalý pohyb hornin, zvětralin nebo půd po svahu dolů
- projevy ploužení: posuny úlomků po svahu dolů, hákování vrstev, opilé stromy, narušování statiky staveb
- creep je vyvolán řadou jevů ve zvětralinách: střídavé zamokřování a vysušování, růst jehlového ledu, zahřívání a ochlazování, působení živočichů, zemětřesné pohyby, … → tyto jevy způsobují tzv. vzdouvání
- půdní creep, suťový creep, mrazový creep
- rychlost creepu závisí na několika faktorech:
  - sklon svahu
  - obsah jílových minerálů
  - zrnitost svahoviny



▲ The slow, downhill creep of soil and regolith shows up in many ways on a hillside. Joint blocks of distinctive rock types can be found far downslope from the outcrop.

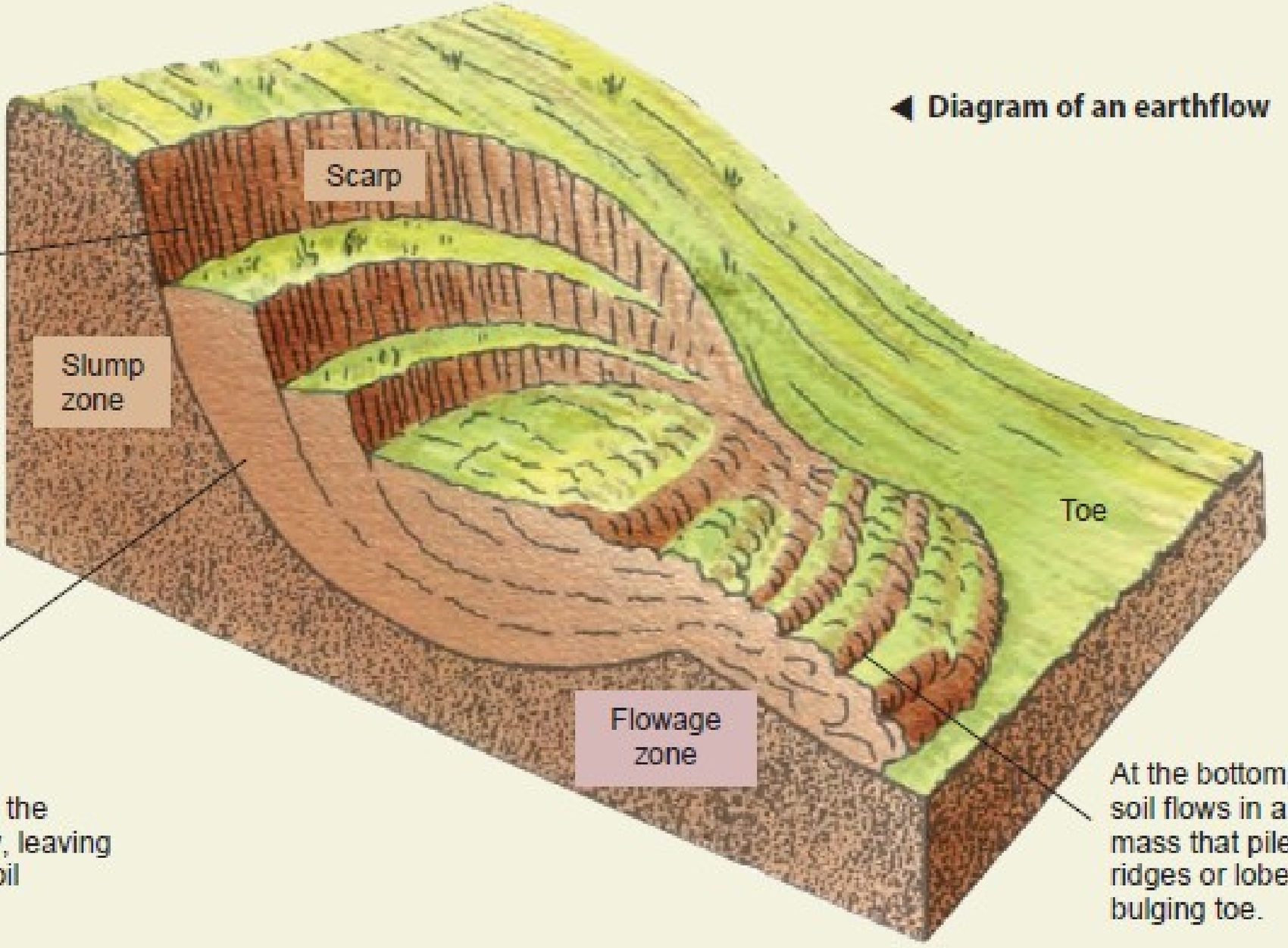
Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tečení

- tečení = svahový pohyb při které dochází ke stékání materiálu po svahu, nejčastěji v podobě proudu, v důsledku nasycení svahovin vodou; při tečení dochází k turbulentnímu proudění částic; zpravidla se jedná o rychlý pohyb
- klasifikace tečení podle materiálu který postihuje:
- - laviny
- - blokovo-bahenní proudy
- - zemní proudy
- - bahnotoky
- soliflukce = nejpomalejší typ tečení; jedná se o velmi pomalý pohyb vodou nasycených svahovin, který postihuje i velmi mírné svahy (o sklonu kolem 1°); aktivní zejména v chladných oblastech s výskytem permafrostu (trvale zmrzlá půda)
- tečení má nejen transportní, ale i erozní účinky

13.13 Earthflow

◀ **Diagram of an earthflow**



At the top, the material slumps away, leaving a curved, wall-like scarp.

Often the soil farther from the scarp moves more rapidly, leaving a series of steps as the soil mass slips downward.

At the bottom, the sodden soil flows in a sluggish mass that piles up in ridges or lobes to form a bulging toe.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Sesouvání

- sesouvání = pohyb svahových hmot podél smykové plochy; částice se pohybují v bloku jako jeden celek
- sesuv
- sesuvy se dělí podle tvaru smykové plochy na: a. laterální (rovná smyková plocha), b. rotační (konkávně prohnutá smyková plocha)
- morfologie sesuvu: smyková plocha, odlučná hrana, sesuvná akumulace, čelo; odlučná, transportní a akumulační část
- mělké sesuvy postihují pouze svahoviny (hloubka 2 – 3 m), hluboké sesuvy postihují i skalní podloží

Financováno Evropskou unií NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Řícení

- řícení = svahový pohyb při kterém dochází k volnému pádu úlomku horniny bez kontaktu s terénem
- nejvíce se odehrává na skalních stěnách vysokých horských svahů (tzv. skalní řícení)
- suťová lavina = podobá se blokovo-bahennímu proudu, ale není saturovaná vodou
- odsedání = řítivý pohyb zahrnující rotační složku; postihuje skalní stěny porušené vertikálními puklinami nebo svislé říční břehy podemílané boční erozí

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Antropogenně podmíněné svahové pohyby

- svahové pohyby mohou být urychleny nebo vyvolány působením člověka
- antropogenní transformace reliéfu (ATR) = působení člověka na reliéf zahrnující vznik nových tvarů nebo ovlivnění geomorfologických procesů
- rozlišujeme tři základní způsoby jak vznikají:

- záměrné vytváření nových tvarů reliéfu technickými prostředky – přímé ATR

- neplánované vytváření nových povrchových tvarů – vyvolané nepřímé ATR

- přímé nebo nepřímé ovlivňování přirozených geomorfologických procesů – modifikační nepřímé ATR

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Technogenní přemisťování horninového materiálu

- nejmarkantnějším projevem přemisťování hornin je povrchová těžba nerostných surovin → vznikají různé přímé ATR: povrchové uhelné doly, jámové a stěnové lomy, hliníky, pískovny, štěrkovny
- po ukončení těžby se provádí rekultivace (též renaturalizace, revitalizace), jejímž cílem je těžbou narušenou krajinu alespoň částečně uvést do původního stavu

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU
Národní plán obnovy
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Zdroje:

- A. & A. Strahler, Introducing Physical Geography. Wiley, New York
- R. Brázdil, Z. Máčka: Fyzická geografie, Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta MU