

SEDIMENTNE STIJENE

- SEDIMENT (SEDIMENTNA STIJENA) - akumulacija čvrstog materijala nastala na površini ili pri samoj površini Zemlje određenim geološkim, fizikalnim, kemijskim i biološkim procesima.
- 85 do 90% svih mineralnih sirovina u svijetu dobiva se iz sedimentnih stijena (samo 10 do 15 % potječe iz magmastkih i metamorfnih). Sedimentnog su postanka i pojavljuju se samo u sedimentima sva mineralna goriva: nafta, prirodni plin, ugljen i naftni šejlovi. Mnoge sedimentne stijene izravno se upotrebljavaju kao sirovina za dobivanje cementa (lapori), stakla (kvarcni pijesci), keramike i porculana (gline), građevnog materijala poput betona (agregat vapnenaca, dolomita, pješčenjaka, šljunka) te opeka i crijepa (glina). Sedimentnog su porijekla i sva mineralna fosfatna, nitratna i kalijeva gnojiva te mineralne soli (halit, kizerit, karnalit) kao i gips i anhidrit.

Neke od karakteristika tipičnih za sedimentne stijene:



Horizontalna slojevitost u pješčenjacima i šejlovima, Utah.



Kosa slojevitost u pješčenjacima nastala migracijom pješčanih dina (transport vjetrom).



Pukotine isušivanja



^A Fosilizirana riba

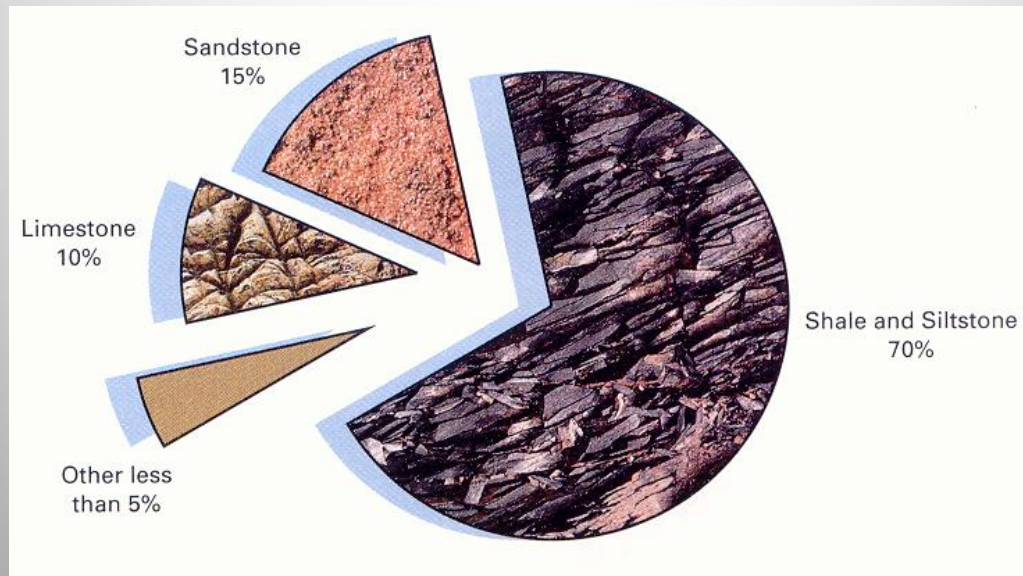


Trag dinosaura u šejlu

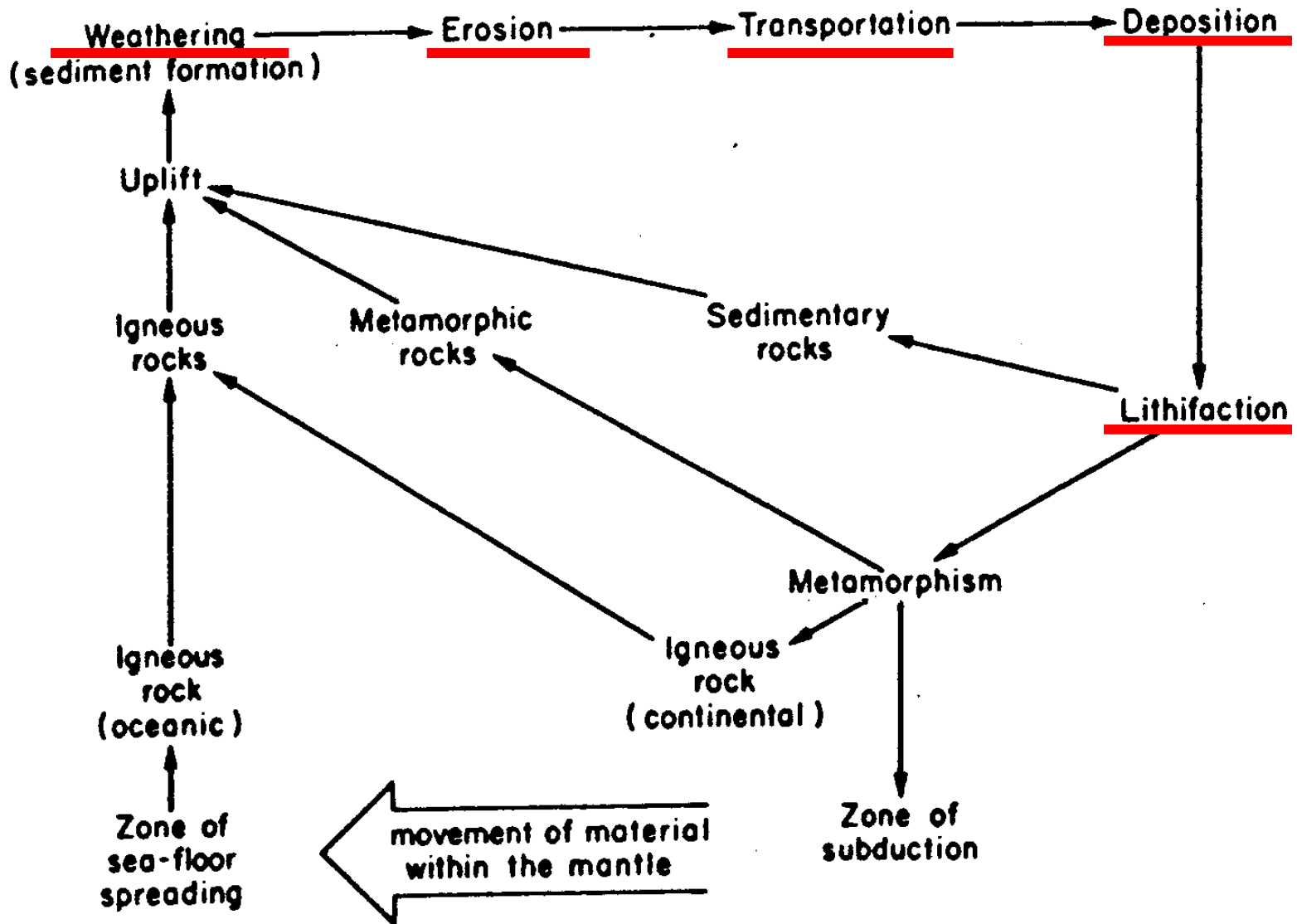
KLASIFIKACIJA SEDIMENATA

-Prema načinu postanka i dominantnim procesima u njihovom nastajanju možemo izdvojiti pet osnovnih genetskih klasa sedimenata:

- KLASTIČNI (TERIGENI) – šljunak i konglomerati, kršje i breče, pijesci i pješčenjaci, muljevi i muljnjaci, siltovi i siliti, šejlovi, gline i glinjaci
- BIOGENI, BIOKEMIJSKI I ORGANSKI – vapnenci, rožnjaci, fosfati, ugljeni
- KEMIJSKI – evaporiti, željezoviti sedimenti, oloviti sedimenti
- VULKANOKLASTIČNI – tufovi, vulkanski pepeo, ignimbriti...
- REZIDUALNI – boksiti, lateriti



SEDIMENTNI CIKLUS (procesi postanka sedimenata i sedimentnih stijena)



TROŠENJE [TROŠENJE](#) (video poveznica)

-Destruktivni procesi koji mijenjaju fizikalna i kemijska svojstva stijena na površini ili pri samoj površini Zemlje

-MEHANIČKO TROŠENJE – dezintegracija čvrste stijene bez promjena u mineraloškom i kemijskom sastavu (pucanje usljed popuštanja pritiska, smrzavanje-otapanje, abrazivno djelovanje vode, vjetra i leda, termalna ekspanzija i kontrakcija, organska aktivnost)

- KEMIJSKO TROŠENJE – agensi iz atmosfere, hidrosfere i biosfere (biološko,biokemijsko trošenje) kemijski reagiraju sa stijenom i mijenjaju njezin mineraloški i kemijski sastav (otapanje, hidroliza, oksidacija). Minerali se pritom postupno mijenjaju dok ne postignu ravnotežu s uvjetima koji vladaju u okolišima na površini Zemlje - stvaraju se nove, za površinske uvjete, stabilnije mineralne faze. Drugim riječima, minerali se prilagođavaju novonastalim uvjetima.

MEHANIČKO TROŠENJE

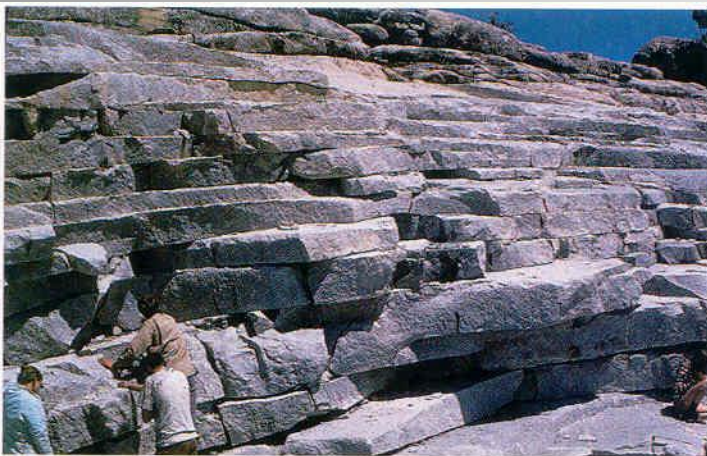
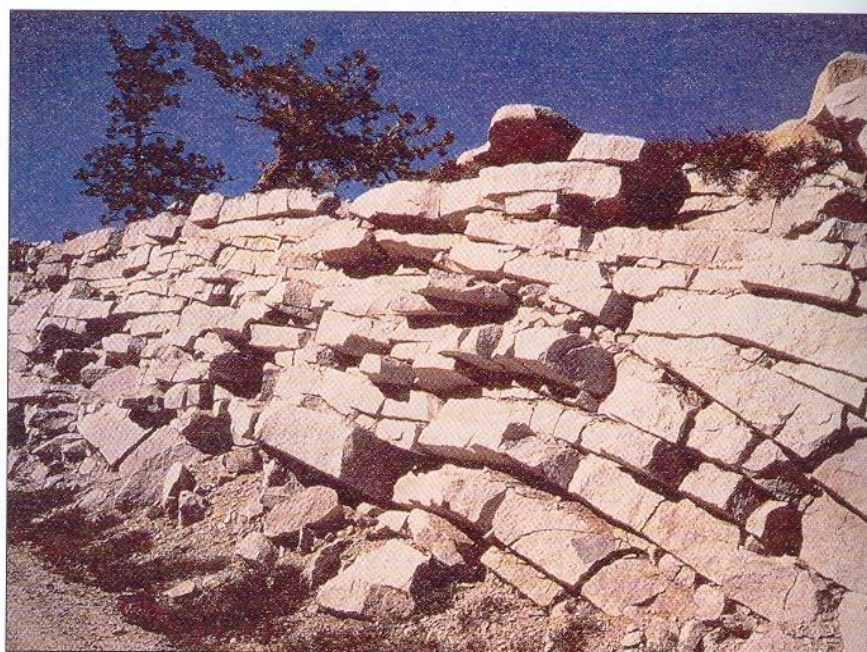


Figure 5.10

Sheet joints in a granite outcrop near the top of the Sierra Nevada, California. The granite formed several kilometers below the surface, and expanded outward when it was exposed by uplift and erosion. Note that the sheet joints are closer together near the top of the outcrop, where the pressure release is the greatest.



Preuzeto iz Thompson & Turk (1999): Earth Science

Preuzeto iz Plummer, Mcgeary & Carlson (2001): Physical Geology

Pucanje usljed popuštanja pritiska

Kada stijene, nastale pod utjecajem povišenog tlaka u dubljim dijelovima Zemljine kore, usljed tektonskog izdizanja ili erozije pokrovnih sedimenata dođu na površinu, one se prilagođavaju novim uvjetima sniženog tlaka (relaksiraju se, ekspaniraju). Pri toj njihovoj prilagodbi novim uvjetima, tzv. relaksaciji, stvaraju se pukotine koje olakšavaju daljnju dezintegraciju stijene drugim procesima.

MEHANIČKO TROŠENJE - pucanje usljed popuštanja pritiska

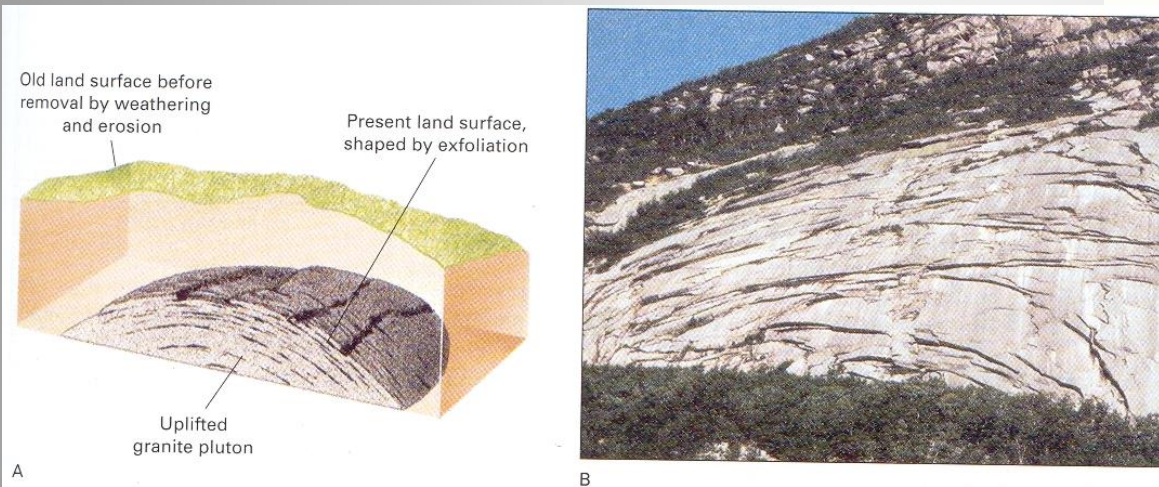


Figure 9-12 (A) Exfoliation occurs when concentric rock layers fracture and become detached from a granite outcrop. (B) Exfoliation has fractured this granite in Pinkham Notch, New Hampshire.

eksfolijacija

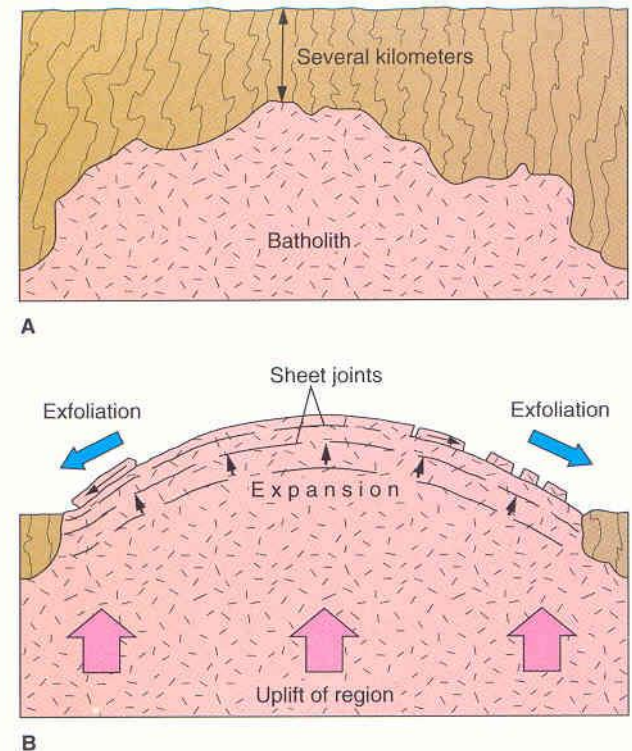


Figure 5.9

Sheet joints caused by pressure release. A granite batholith is exposed by regional uplift followed by the erosion of the overlying rock. Unloading reduces pressure on the granite and causes outward expansion. Sheet joints are closely spaced at the surface where expansion is greatest. Exfoliation of rock layers produces rounded exfoliation domes.

MEHANIČKO TROŠENJE

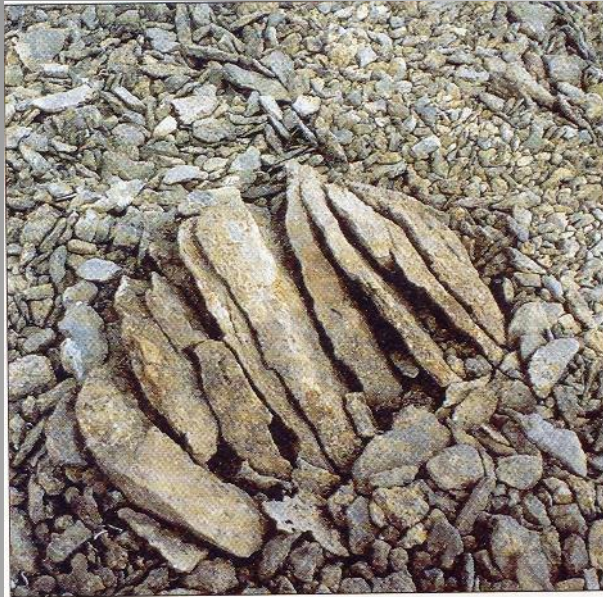
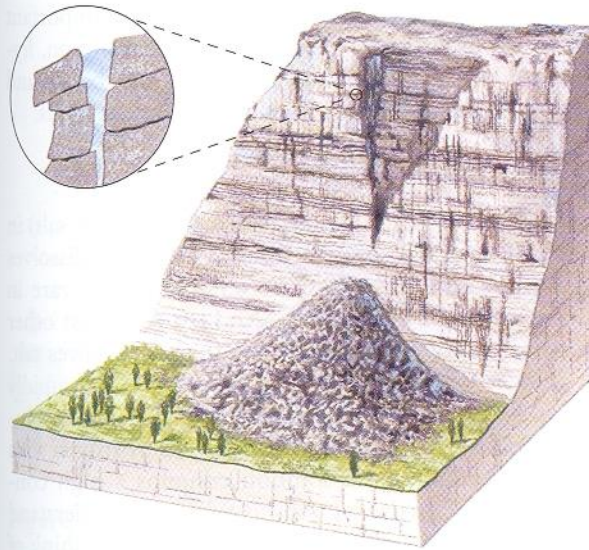
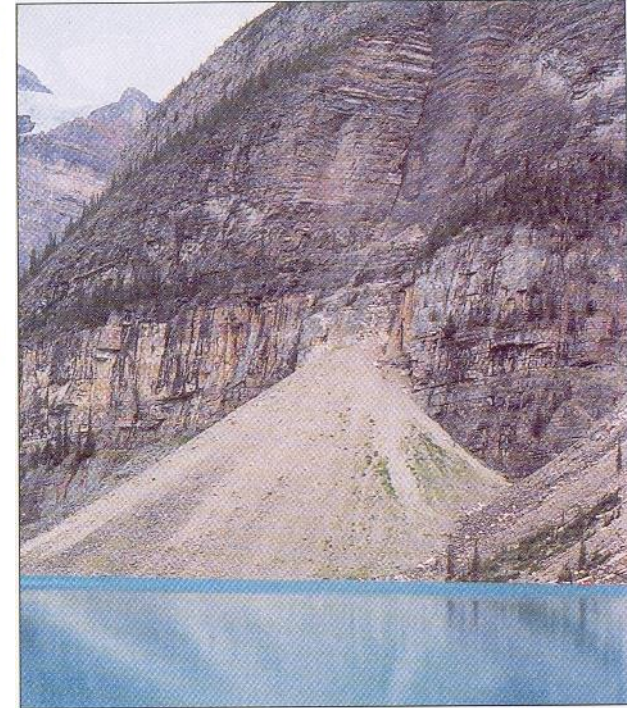


Figure 9-1 Weathering processes are breaking this boulder into smaller fragments. Erosion has not removed the fragments, so the original shape of the boulder is still visible.



A

Figure 9-4 (A) Frost wedging dislodges rocks from cliffs and creates talus slopes. (B) Frost wedging produced this talus cone in the Valley of the Ten Peaks, Canadian Rockies.



B

Preuzeto iz Thompson & Turk (1999): Earth Science

Smrzavanje - otapanje

U umjerenim klimatskim područjima i na visokim planinama tijekom zime u stijenama natopljenim vodom, smrzavanje uzrokuje, zbog povećanja volumena leda u odnosu na volumen vode, velika naprezanja i tlak. Takva naprezanja mogu razarati i najčvršće stijene. Procesom „smrzavanje-otapanje” osobito su podložne stijene visoke poroznosti (bilo primarne međučestične ili sekundarne npr. pukotinske).

MEHANIČKO TROŠENJE

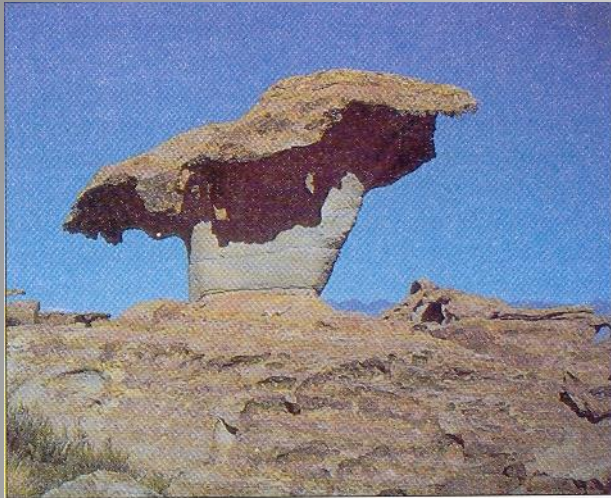


Figure 9-6 Wind abrasion selectively weathered and eroded the base of this rock in Lago Poopo, Bolivia, because windblown sand moves mostly near the ground surface.

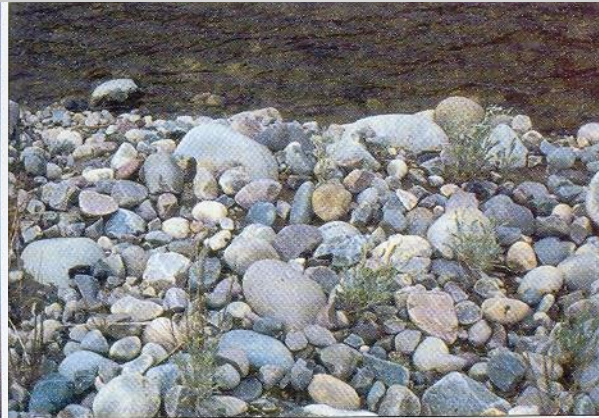


Figure 9-5 Abrasion rounded these rocks in a stream bed in Yellowstone National Park, Wyoming.

abrazija

Preuzeto iz Thompson & Turk (1999): Earth Science

Abrazivno djelovanje vode, vjetra i leda -

- npr. udaranjem visokih valova o stjenovitu obalu stijene se razaraju, ne samo zbog snage same vode, nego i zbog toga što se zrak koji voda sabije u šupljine stijene širi eksplozivnom brzinom i snagom i pri tom razara stijene u smjeru svog širenja
- premještanjem velike količine stijenskog materijala u nekom vodenom toku, zbog međusobnog sudaranja i sudaranja s podlogom, dolazi do njihovog usitnjavanja i zaobljavanja
- led pri svom kretanju izrazito abrazivno djeluje na podlogu po kojoj se kreće

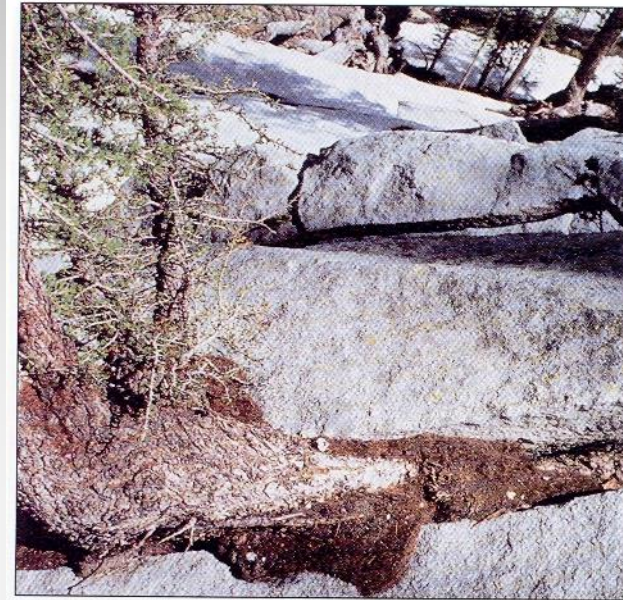


Figure 9-7 As this tree grew from a crack in bedrock, its growing roots widened the crack.

organska aktivnost

Stijene mogu biti razarane i djelovanjem organizama npr. korijenje biljaka može u toku rasta prodirati u pukotine stijenske podloge i vrlo aktivno sudjelovati u njezinoj dezintegraciji, odnosno mehaničkom trošenju.

KEMIJSKO TROŠENJE - otapanje

Glavni činitelj (agens) kemijskog trošenja je voda. Njezina "snaga" leži u činjenici da joj molekule imaju dipolni karakter, disocira se (u maloj mjeri, ali i to je dovoljno) na pozitivno nabijene H^+ i negativno nabijene OH^- ione i u njoj je, gotovo redovito, otopljeno nešto CO_2 (nastaje slaba ugljična kiselina). Na površinama kristala ioni imaju nezasićene valencije i kada kristal dođe u kontakt s vodom dipolne molekule vode spajaju se s nabijenom površinom kristala. Privlačne sile dovode do polarizacije dipolne molekule vode, ona se disocira na H^+ i OH^- ione. H^+ se veže na negativne ione, a OH^- na katione. H^+ može i zamijenjivati katione na njihovim pozicijama na površini kristala. Dolazi do rušenja strukture minerala i ioni iz kristaliziranog stanja prelaze u otopljeno stanje. Prisutnost otopljenog CO_2 u vodi, što rezultira stvaranjem slabe ugljične kiseline, samo povećava agresivnost vode i pospješuje otapanje minerala.

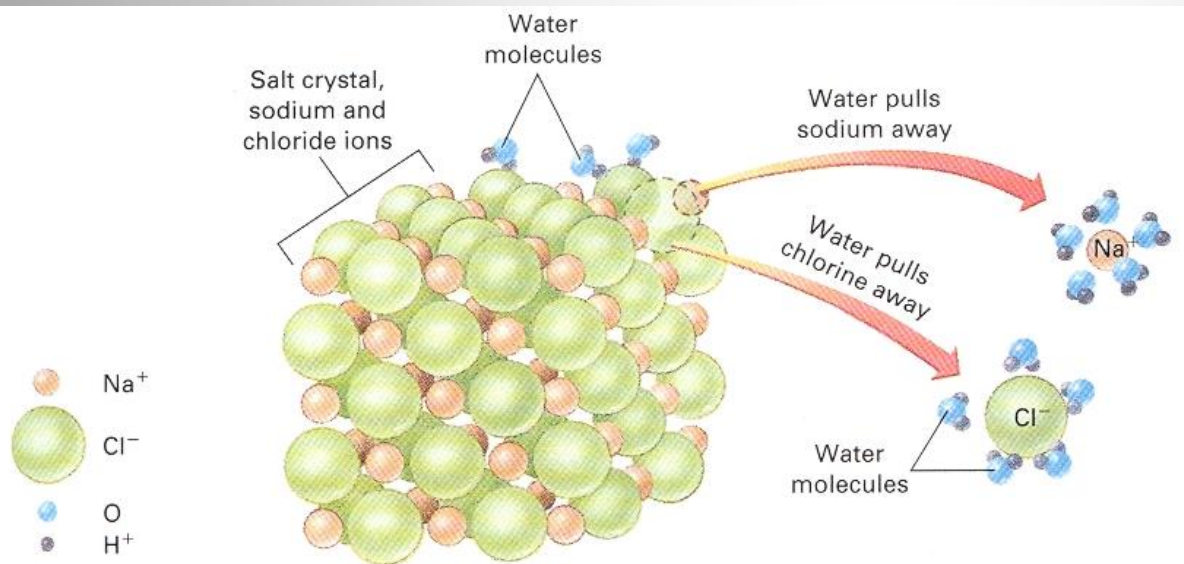


Figure 9-8 Halite dissolves in water because the attractions between the water molecules and the sodium and chloride ions are greater than the strength of the chemical bonds in the crystal.



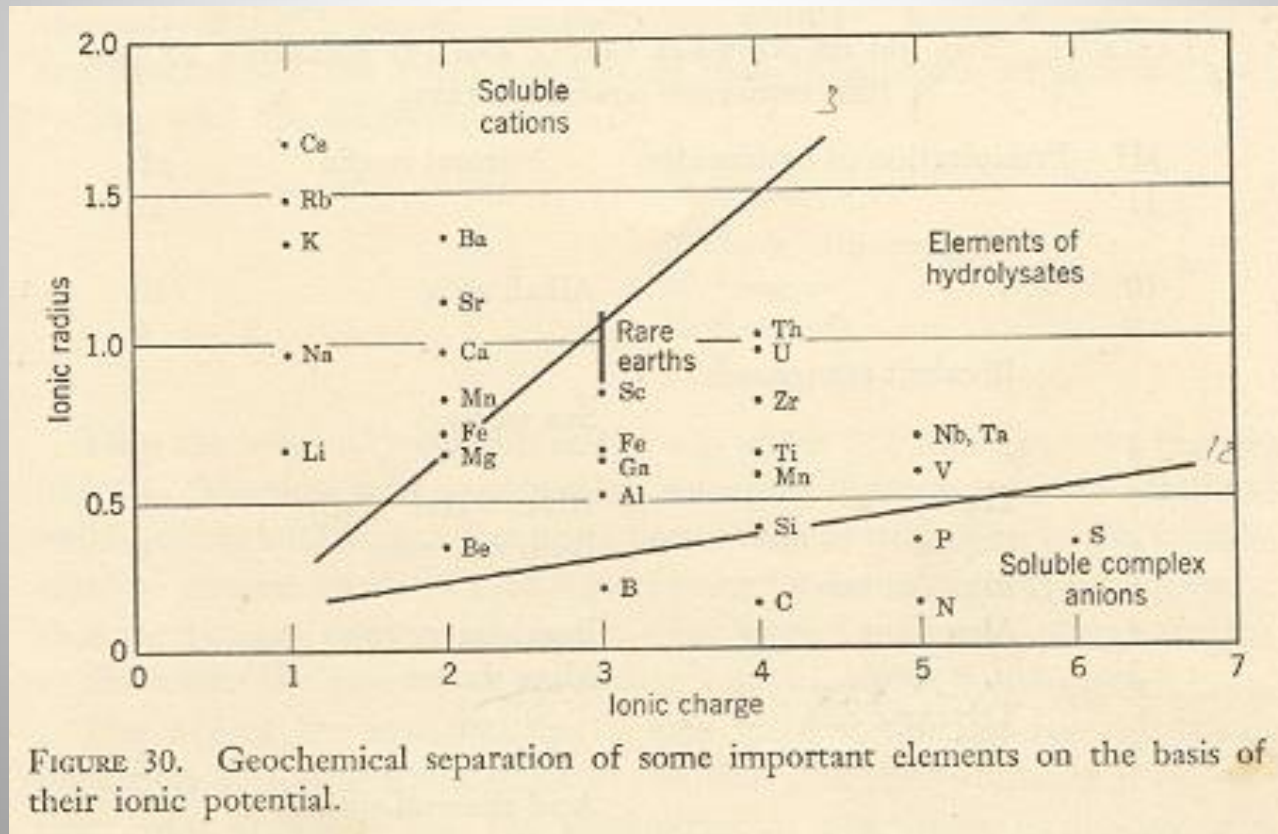
Figure 9-9 Caverns form when ground water dissolves limestone. (Hubbard Scientific Co.)

KEMIJSKO TROŠENJE

Budući da je prevladavajuća masa litosfere silikatna treba promatrati utjecaj vode u zoni trošenja na te minerale. Kemijsko trošenje silikata djelovanjem vode očituje se u slijedećem:

- rušenju strukture primarnih minerala i istovremenog oslobađanja kationa (uloga H^+ iona)
- odstranjivanje određenih kationa u otopljenom stanju (kako će se pojedini kationi ponašati u vodenj otopini ovisi o njihovom ionskom potencijalu)
- stvaranje sekundarnih minerala (gljine, lateriti, boksiti)

(ponašanje iona u vodenj otopini –ionski potencijal)



KEMIJSKO TROŠENJE

Ako se usredotočimo na one elemente koji su najzastupljeniji u silikatima (Si, Al, K, Na, Ca, Mg, Fe, Ti) i promotrimo njihovu poziciju na dijagramu ionskog potencijala s prethodnog slajda (slajd 15) uvidjet ćemo slijedeće:

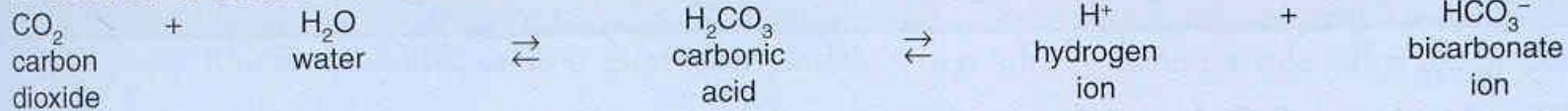
- K, Na, Ca, Mg, Fe^{2+} - spadaju u topljive katione. Oni lako odlaze u otopinu, stabilni su u vodenj otopini i mogu se u otopljenom (ionskom) stanju prenositi na velike udaljenosti
- Si, Fe^{3+} , Ti, Al - spadaju u hidrolizatne katione. Oni nisu stabilni u vodenj otopini, vežu se s vodom i stvaraju teško topive hidrokside ili hidratizirane okside i kao takvi ostaju na mjestu trošenja (nisu mobilni), te su stoga rezidualni sedimenti obogaćeni na njima (lateriti, boksiti)

Mobilities of the Common Cations

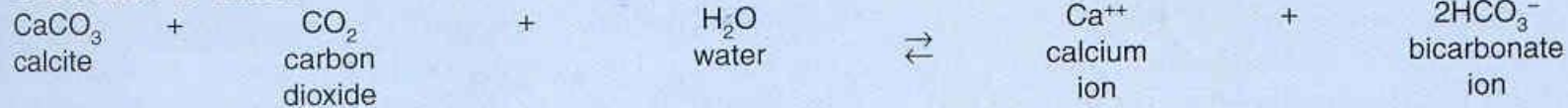
- ↑ Increasing rate of loss from the environment
1. Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{+} —readily lost under leaching conditions
 2. K^{+} —readily lost under leaching conditions but rate may be retarded through fixation in the illite structure
 3. Fe^{++} —rate of loss dependent on the redox potential and degree of leaching
 4. Si^{4+} —slowly lost under leaching conditions
 5. Ti^{4+} —may show limited mobility if released from the parent mineral as $\text{Ti}(\text{OH})_4$; if in the TiO_2 form, immobile
 6. Fe^{3+} —immobile under oxidizing conditions
 - ↑ 7. Al^{3+} —immobile in the pH range of 4.5–9.5

KEMIJSKO TROŠENJE (procesi i produkti)

A. Solution of Carbon Dioxide in Water to Form Acid



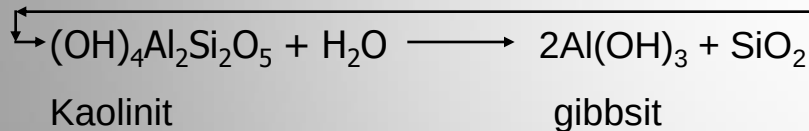
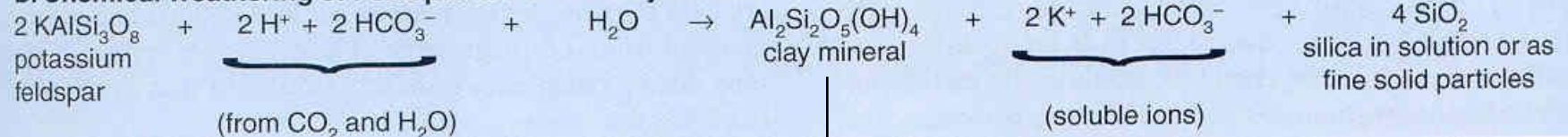
B. Solution of Calcite



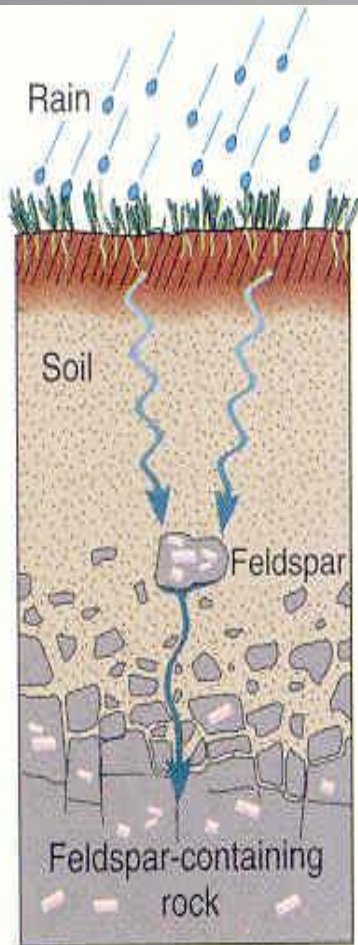
C. Solution of Calcite



D. Chemical Weathering of Feldspar to Form a Clay Mineral



Original Mineral	Under Influence of CO ₂ and H ₂ O	Main Solid Product		Other Products (Mostly Soluble)
Feldspar	→	Clay mineral	+	Ions (Na ⁺ , Ca ⁺⁺ , K ⁺), SiO ₂
Ferromagnesian minerals (including biotite mica)	→	Clay mineral	+	Ions (Na ⁺ , Ca ⁺⁺ , K ⁺ , Mg ⁺⁺), SiO ₂ , Fe oxides
Muscovite mica	→	Clay mineral	+	Ions (K ⁺), SiO ₂
Quartz	→	Quartz grains (sand)		
Calcite	→	—		Ions (Ca ⁺⁺ , HCO ₃ ⁻)



Rain picks up CO_2 from the atmosphere and becomes acidic

Water percolating through the ground picks up more CO_2 from the upper part of the soil, becoming more acidic

A rock containing a feldspar crystal, loosened from the rock below, slowly alters to a clay mineral as it reacts with the acidic water

The water carries away soluble ions and SiO_2 to the ground-water supply or to a stream

Figure 5.17

Chemical weathering of a feldspar. Water percolating through the soil alters the feldspar to a clay mineral and carries away soluble ions and silica.

Kemijsko trošenje feldspata

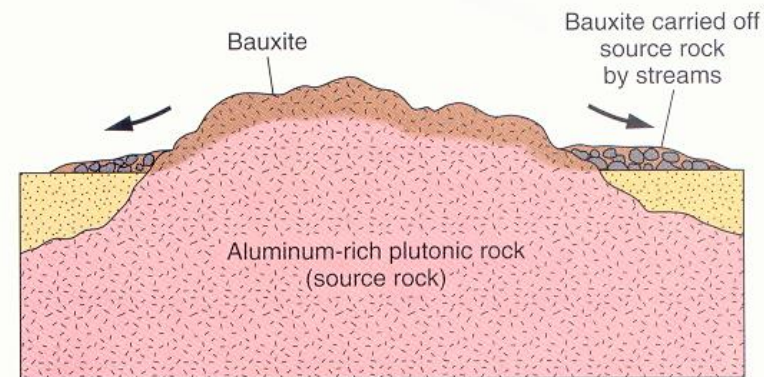


Figure 5.26

Bauxite forms by intense tropical weathering of an aluminum-rich source rock.

Kemijsko trošenje - oksidacija

Oksidacija je vrlo važan činitelj kemijskog trošenja stijena. Kao što se željezni predmeti ostavljeni na zraku oksidiraju (kisik iz zraka u prisustvu vode), odnsono prelaze u hrđu, tako se i stijena koja sadrži minerale koji u svom sastavu imaju željezo oksidacijom mijenja, odnosno troši. Oksidirani dio stijene mijenja boju (smečkasto-crvenkasto obojenje), postaje mekši i lako se mrvi.

Oksidacijskim procesima, dakle, mijenjaju se primarna boja, poroznost, volumen i mineralni sastav stijene. Kisikom, koji je uzročnik oksidacijskih procesa, obogaćene su samo oborinske vode koje u dubinu prodiru kroz pore stijena. U dubljim dijelovima vode postupno gube kisik, sve se više zasićuju otopljenim kationima i anionima i gube oksidacijsko djelovanje.

Učinak oksidacijskih procesa na promjenu boje stijena najljepše se može promatrati na svježe otvorenim izdancima tamnosivih sedimenata duž tektonskih pukotina i ili otvorenih slojnih ploha. Tu se duž pukotina po kojima je cirkulirala oborinska voda obogaćena kisikom vidi promjena boje stijene: tamnosiva boja prelazi u žućkasto-smeđu.

Od mineralnih sastojaka najlakše se oksidiraju sulfidi, a od ostalih sastojaka stijena organska tvar.

Na slici se jasno razlikuju rubni, oksidacijom izmijenjeni dio uzorka (žućkasto-smeđa boja) i svježi, neizmijenjeni tamno sivi, središnji dio uzorka.



KEMIJSKO TROŠENJE- intenzitet

Najvažniji pojedinačni faktor koji određuje intenzitet kemijskog trošenja i nastajanje specifičnih sekundarnih produkata (minerala glina, boehmita, dijaspora, gibbsita, goethita...) je intenzitet izluživanja, odnosno odnošenja topivih konstituenata (ispiranjem kišom ili dizanjem i spuštanjem vode temeljnice) Stalno odnošenje, odstranjivanje topivih komponenata s mjesta gdje se dešava trošenje omogućava potpunije i intenzivnije trošenje. Ako bi se kojim slučajem to izluživanje zaustavilo, prekinulo bi se i trošenje. Glavni okolišni faktori koji imaju direktan utjecaj na jačinu izluživanja, a time i na intenzitet kemijskog trošenja su klima i reljef.

Klima i intenzitet kemijskog trošenja (slide 24) – količina padalina direktno kontrolira količinu vlage potrebne za kemijske reakcije, odgovorna je za odstranjivanje topivih komponenata, a temperatura znatno utječe na brzinu reakcija (za svakih 10°C povećanja temp, brzina kemijskih reakcija povećava se za faktor 2-3). Evo dva primjera koji to najbolje pokazuju:

-uvjeti, procesi i produkti trošenja u pustinjskim predjelima (slide 24, slika A)– suha klima, evaporacija prevladava nad precipitacijom (padaline), voda, za vrijeme kratkotrajnih kišnih razdoblja, prodire u podlogu i odnosi topive komponente, ali za vrijeme dugih sušnih perioda, usljed evaporacije, ona se diže prema površini kapilarnim crpljenjem, isparava se i iz nje se precipitiraju neki novi minerali (evaporiti) koji u sada u svoju strukturu ugrađuju prije izlužene ione. Topive komponente (ioni) na taj način ostaju, odnosno nisu odstranjene s mjesta trošenja i kemijsko trošenje se zaustavlja. Karakteristike takvih okoliša su: dosta neizmjenjenih primarnih stijena, prisutnost soli (npr. gips, karbonati...), alkalni pH (7,5-9,5), odsustvo vegetacije, odsustvo organske materije (oksidira se), oksidativni uvjeti (Fe u obliku Fe^{3+} - smeđe obojenje na površini stijena), karakteristični sekundarni produkti (montmorilonit, ilit, kloriti)

KEMIJSKO TROŠENJE- intenzitet

- uvjeti, procesi i produkti u vlažnim, tropskim područjima (slide 24, slika C) – primarne stijene su jako izlužene kontinuiranim kretanjem (cirkuliranjem) vode (visoka temperatura, puno padalina), topive komponente odstranjivane su prema dolje do nivoa vode temeljnice i onda sistemom dreniranje dalje. Zbog velike količine padalina, nivo vode temeljnice je obično vrlo plitko, tako da je većina zone trošenja stalno natopljena, uronjena u vodu (reduktivni uvjeti). Izrazita vegetacija dovodi do akumulacije organske materije, pH je 3,5-5,5. Pod tim uvjetima kemijsko trošenje se ubrzano nastavlja, topive komponente, pa i one manje topive (Si npr.) se izlužuju, odlaze u otopinu, a rezidualni talog se obogaćuje na teško topivim kationima (Al, Fe^{3+}) i sastoji se od kaolinita, boehmita gibbsita, goethita (boksiti, lateriti)
- *Reljef i intenzitet kemijskog trošenja (slide 25)–*
 - a) na vrlo strmim padinama površinski tok vode je izrazito jak, a prodiranje u pore stijene je smanjeno. Kemijsko trošenje je time prigušeno, dok je, zbog izrazitog jakog površinskog toka, mehanička dezintegracija stijena u podlozi naglašena
 - b) u nizinskim, potpuno zaravnjenim predjelima infiltracija vode u pore je maksimalna. Međutim u takvim okolišima dreniranje, odnosno odstranjivanje topivih sastojaka je neznatno, što zaustavlja daljnje kemijsko trošenje
 - c) idealni okoliši za intenzivno kemijsko trošenje su na blagim kosinama, gdje površinsko tečenje vode nije pretjeranog intenziteta, a dreniranje je konstantno omogućeno. U takvim okolišima, zone trošenja mogu dostići i do 100m debljine.

KEMIJSKO TROŠENJE – stvaranje tla

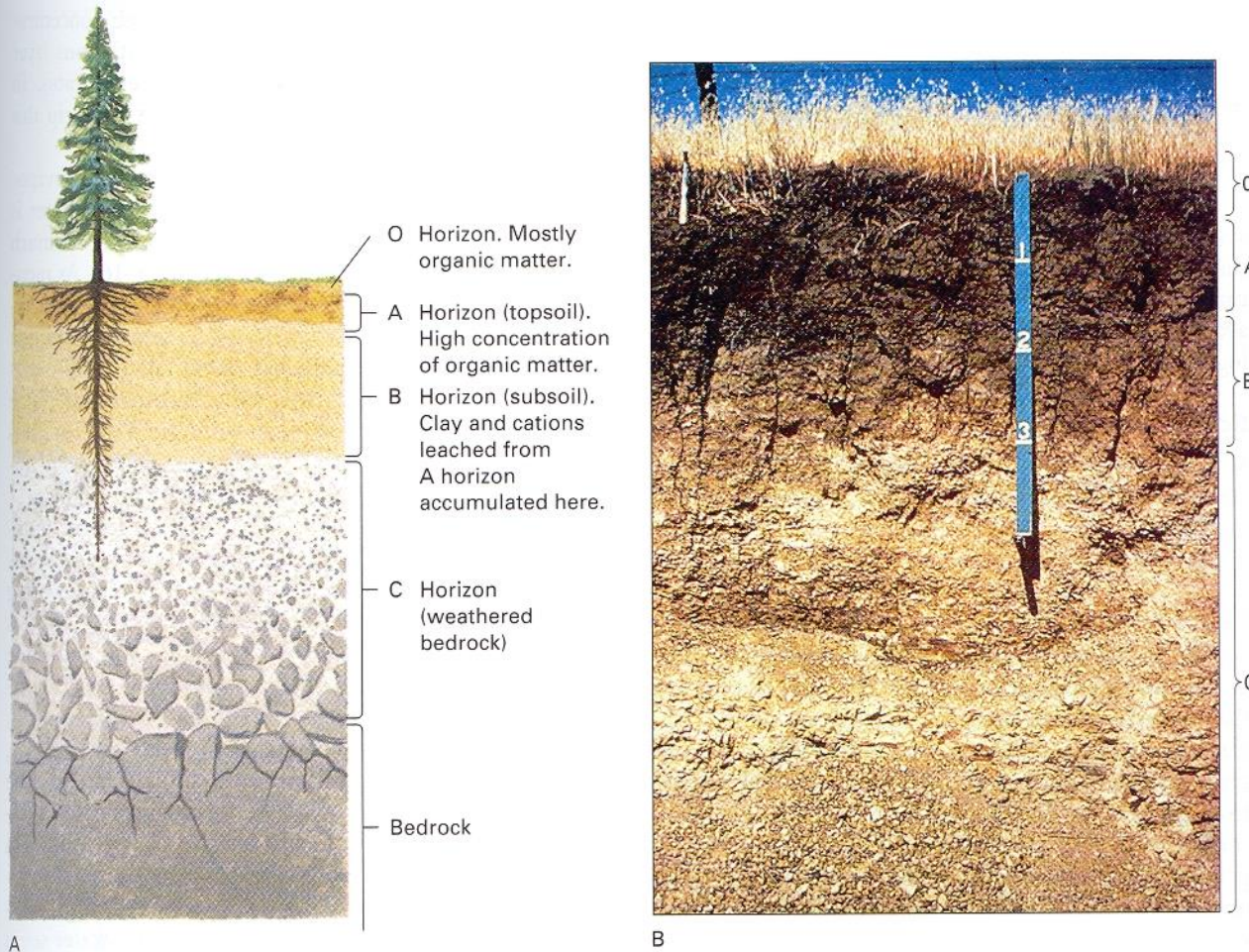
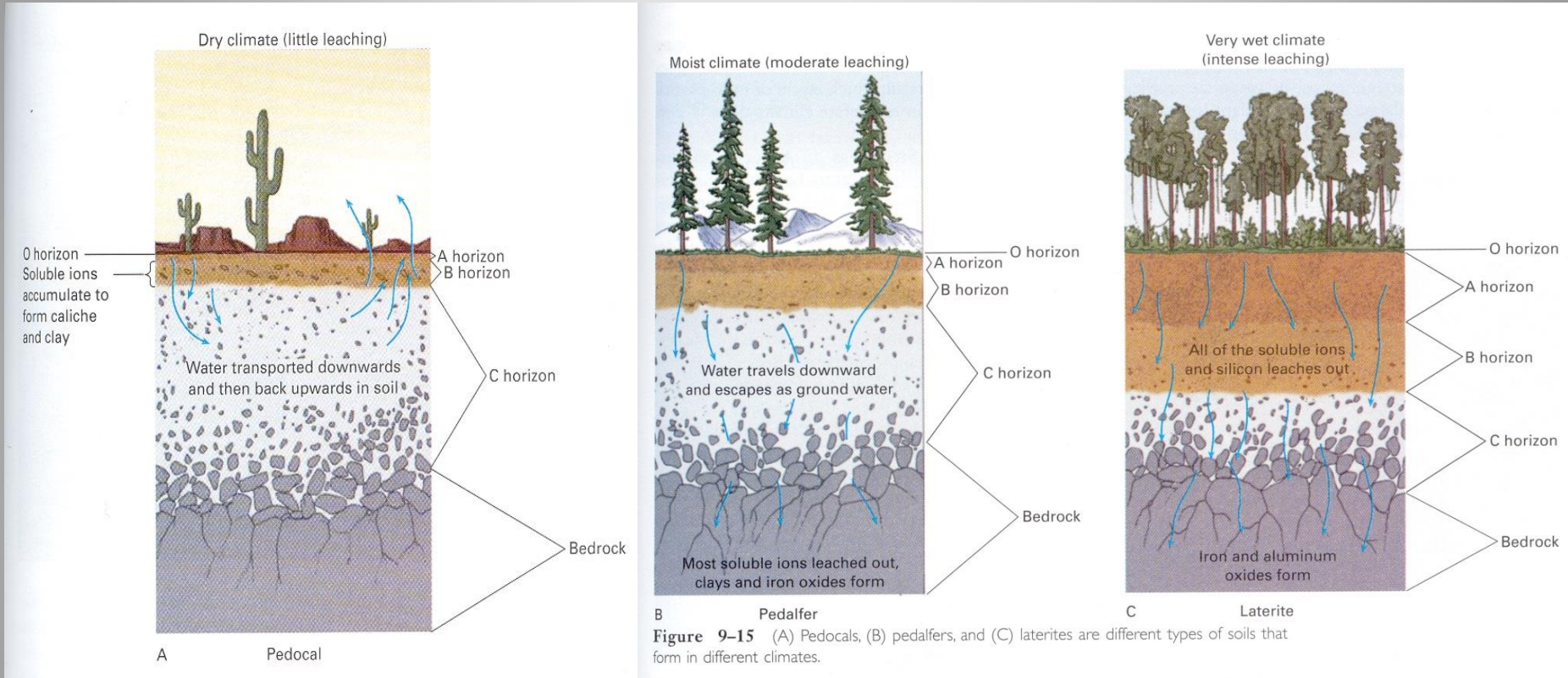


Figure 9-14 (A) A typical soil consists of several horizons, distinguished by color, texture, and chemistry. (B) In this soil, the darkest uppermost layer is the O horizon; the A horizon is less dark; the whiter layer is the B horizon. The B horizon grades downward into the weathered bedrock of the C horizon. The scale is in feet. (U.S. Department of Agriculture)

REGOLIT – označava bilo koji trošni i nekonsolidirani površinski sediment koji se nalazi iznad neke stijene.

TLO – vršni dio regolita, bogat organskom tvari, koji podražava rast biljaka

Klima i intenzitet kemijskog trošenja



Preuzeto iz Thompson & Turk (1999): Earth Science

Intenzitet kemijskog trošenja s obzirom na reljef i dužinu izloženosti procesima

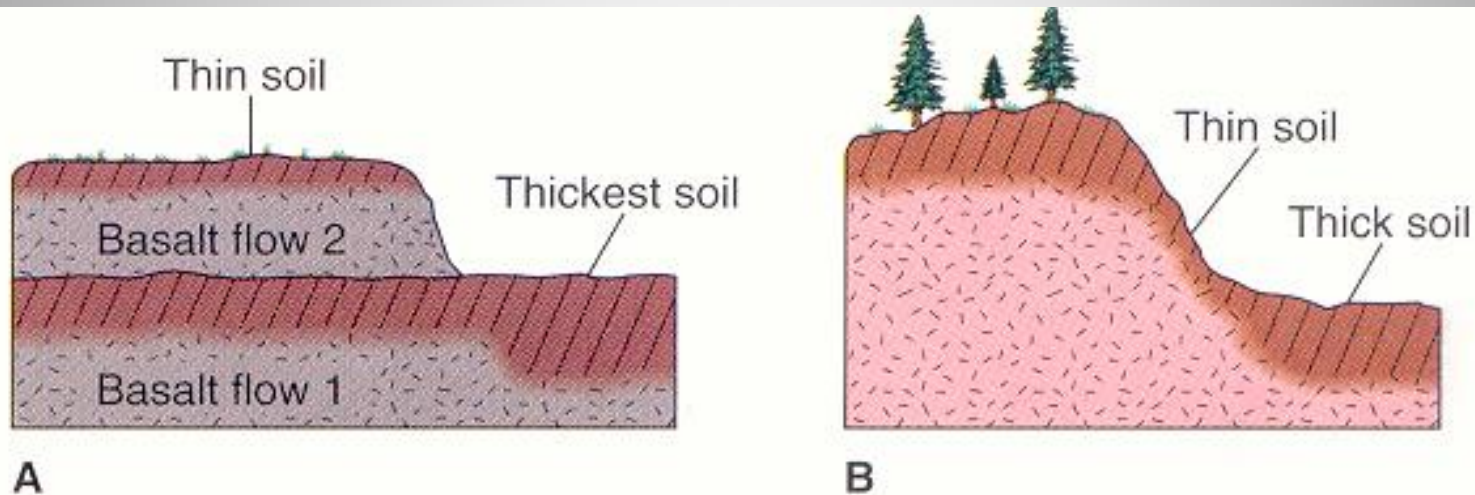


Figure 5.22

Soil thickness. (A) Soil thickens with time. Basalt flow 1 was exposed to soil-forming processes for a longer time than flow 2. The soil developed below flow 2 is an example of a buried soil. (B) Steep slopes have thin soil.

KEMIJSKO TROŠENJE- intenzitet

Osim okolišnih faktora, klime i reljefa, na intenzitet kemijskog trošenja veliki utjecaj maju i karakteristike ishodišnog, primarnog materijala (stijene u podlozi). Tu se prvenstveno misli na strukturne karakteristike i sastav.

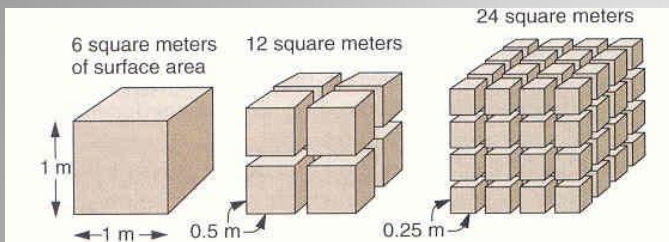
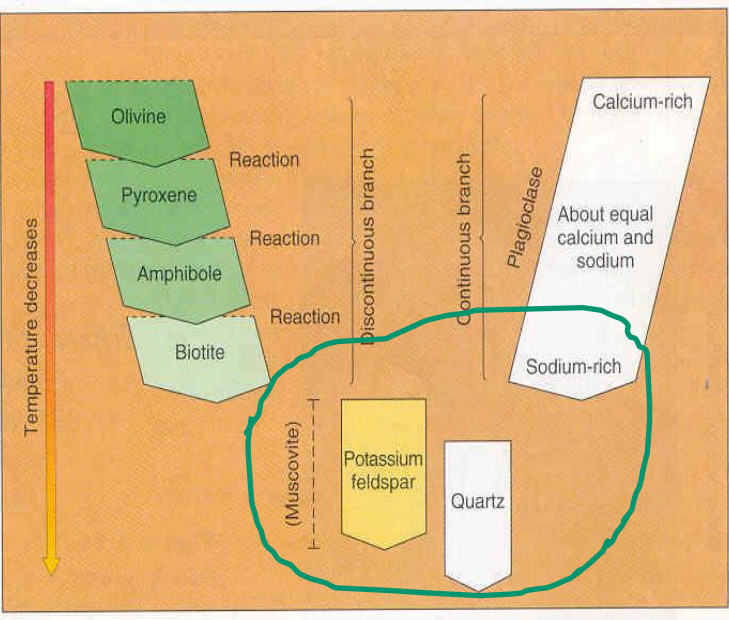


Figure 5.13

Mechanical weathering can increase the surface area of a rock, increasing the rate of chemical weathering. As a cube breaks up into smaller pieces, its volume remains the same but its surface area increases.

- Strukturne karakteristike - mehaničko trošenje može povećati reaktivnu površinu stijene, a time i pospješiti njeno izluživanje, odnosno kemijsko trošenje → usitnjena i mehaničkim trošenjem fragmentirana stijena jače će se kemijski trošiti od one monolitne.

- Sastav ishodišne stijene – svi petrogeni minerali nisu jednako otporni na kemijsko trošenje. Na slici lijevo (Bowenov niz kristalizacije magme) zaokruženi su minerali koji su najstabilniji u zoni trošenja (kvarc, K-feldspati; kiseli plagioklasi, muskovit) i oni su najzastupljeniji u sedimentnim stijenama (npr. siliciklastitima). Olivina, piroksena, amfibola, bazičnih plagioklase pak praktički i nema kao sastojaka u sedimentnim stijenama, jer su izrazito nestabilni u uvjetima na površini Zemlje, odnosno u zoni trošenja. To konkretno znači da će npr. kisele magmatske stijene, sastavljene od stabilnijih minerala, biti puno otpornije na kemijsko trošenje od npr. bazičnih i ultrabazičnih stijena, odnosno da će se, u istim klimatskim i reljefnim uvjetima, bazalt jače trošiti i intenzivnije mijenjati od granita.



Karbonatni minerali su otporni prema kemijskom trošenju samo toliko dugo dok je voda u ravnoteži s atmosferskim CO₂. Međutim, čim voda primi više CO₂, stvara se slaba kiselina koja lako otapa karbonate.

Transport i taloženje

Produkti mehaničkog i kemijskog trošenja erozijom se odvoje od podloge (matične stijene) i prenose se do mjesta taloženja u krutom ili otopljenom stanju. Prijenos materijala vrši se vodom, vjetrom, ledom (gravitacija djeluje na fluid koji onda svojim kretanjem prenosi čestice) i sedimentno-gravitacijskim tokovima (gravitacija djeluje direktno na čestice, npr. na strmim liticama, padinama i t. sl.). Voda je najvažnije sredstvo prijenosa materijala i jedini medij koji može prenositi materijal i u krutom i u otopljenom stanju. U uvjetima u kojima se vrši transport vrši se taloženje, tako da ta dva procesa treba promatrati kao jednu cjelinu.

PHYSICAL SEDIMENT TRANSPORT PROCESSES ON EARTH															
WIND-PRESSURE-GRADIENT FLOWS		WATER GRAVITY FLOWS		ICE GRAVITY FLOWS	SEDIMENT GRAVITY FLOWS				ROCK GRAVITY FLOWS		VOLCANIC-EJECTA GRAVITY FLOWS				
Air	Water	Moon-Sun Gravity	Earth Gravity												
Suspended Load	Bed Load	Suspended Load	Bed Load	Push Load	Fluidized Flow	Grain Flow	Turbidity Flow	Debris Flow	Slide / Slump	Rock Fall	Rock Slide	Rock Avalanche	Dust Load	Proximal Air Fall	Pyroclastic Flow

Transport i taloženje – jednosmjerni vodeni tokovi

Materijal (čestice, klasti) se u vodenom mediju može prenositi uz podlogu („bedload”) i to vučenjem, kotrljanjem i poskakivanjem i u suspenziji („suspended load”). O tome kako će se neka čestica kretati ovisi o njenoj veličini i o snazi (brzini) toka. No, općenito gledano, sitnozrnati klastični materijal (npr. glinovito-siltozni) prenosit će se uglavnom u suspenziji („suspended load”), krupnozrnati (npr. šljunak) uglavnom uz podlogu („[bedload](#)”), dok će se srednjezrnati (npr. pijesak) prenositi i uz podlogu i u suspenziji, ovisno o brzini i snazi toka. Na slici ispod shematski su prikazani spomenuti načini kretanja čestica u vodenom mediju. Sastojci kemijskih i biokemijskih sedimenata transportirani su kao ioni u otopljenom stanju.

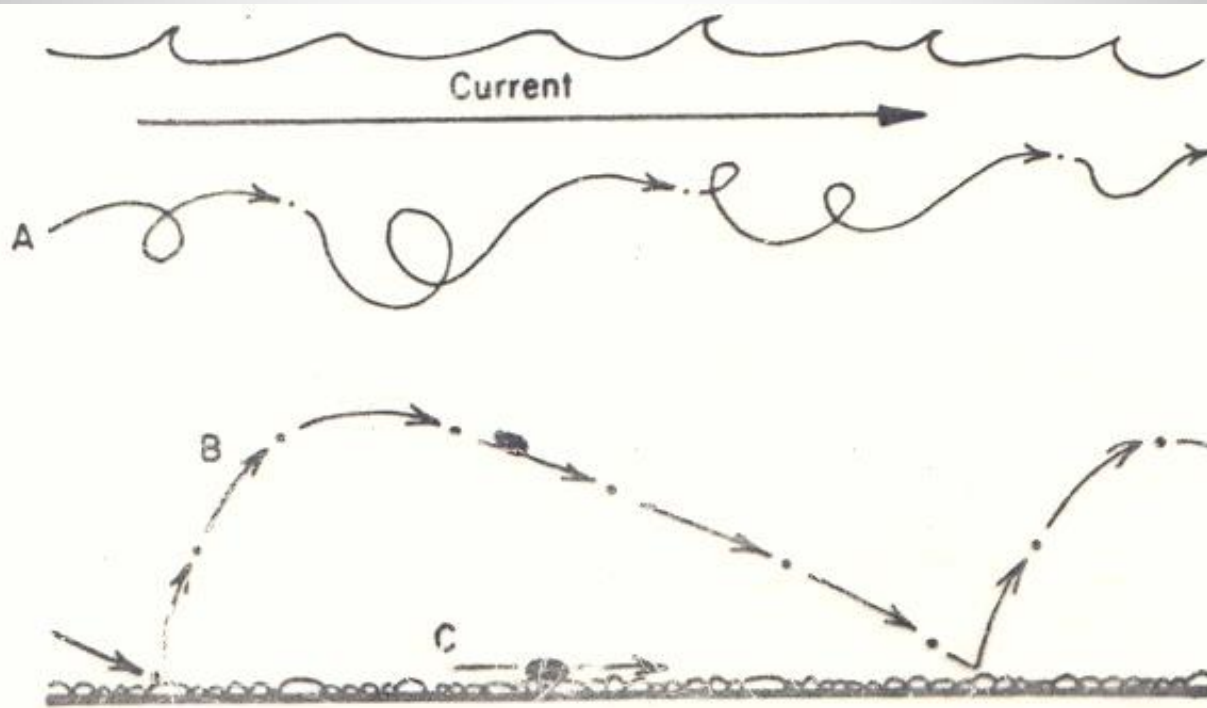
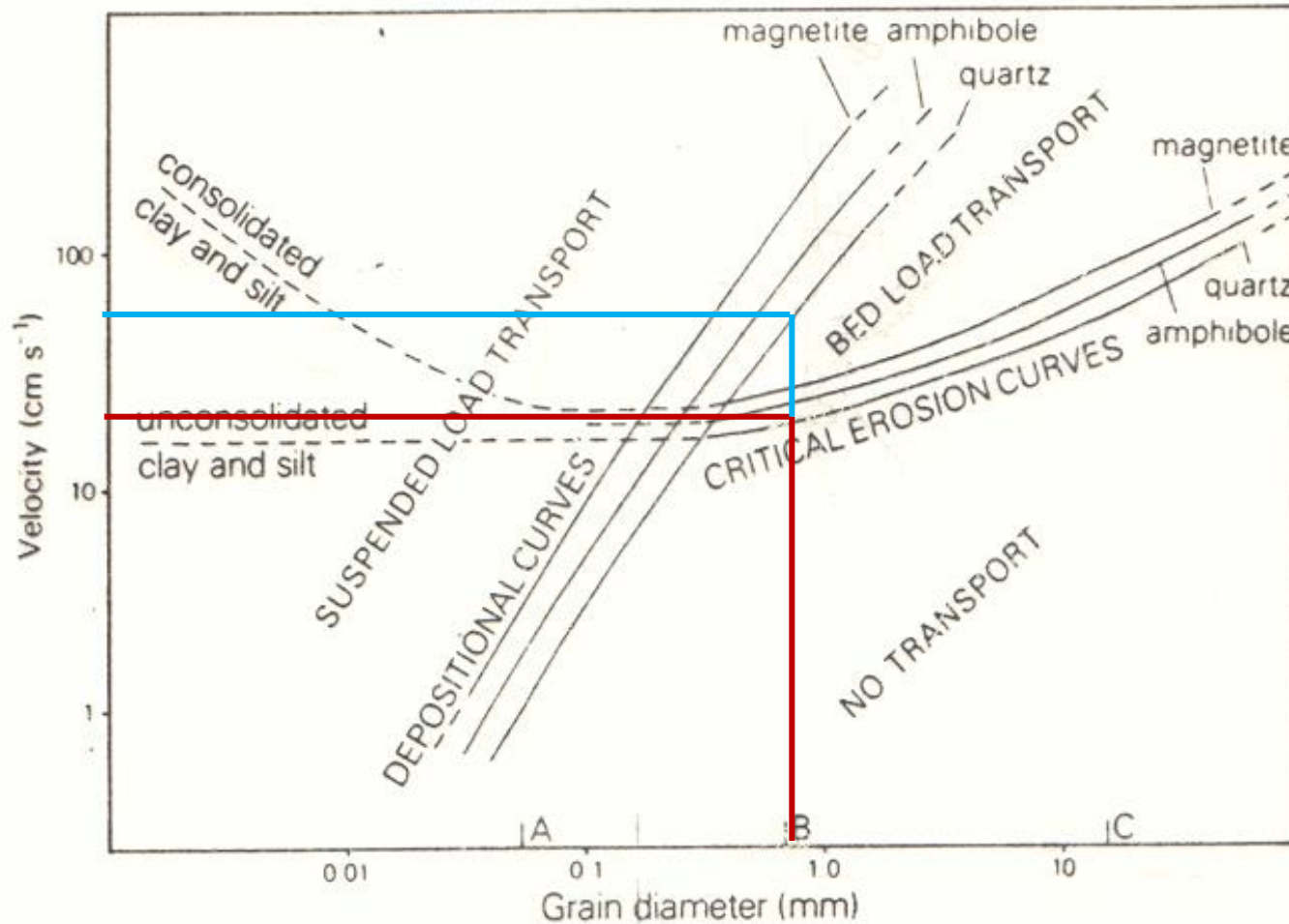


Fig. 60. The mechanics of particle movement. A: suspension; B: bouncing (saltation); C: rolling.

Dijagram pokazuje povezanost brzine toka i veličine čestica s određenim načinom transporta. Npr. ako pogledamo česticu B, vidjet ćemo da ta čestica miruje tako dugo dok se ne postigne kritična brzina erozije. Za česticu kvarca veličine B to je brzina koju označuje crvena horizontalna linija. (primjetite da je za česticu veličine C ta brzina veća, odnosno, drugim riječima, da bi se čestica C pokrenula potrebna je veća brzina toka). Nakon što se čestica B pokrenula počinje njezin transport uz podlogu („bedload transport”) vučenjem, kotrljanjem, poskakivanjem, a kod brzine označene plavom linijom čestica B prelazi u suspenziju. Dijagram pokazuje i da će čestica veličine A (puno sitnija od čestice B) odmah nakon pokretanja otići u suspenziju.



Taloženje možemo promatrati i interpretirati kao proces koji se dešava u suprotnom smjeru. Čestica B koja je u suspenziji (znači, brzine toke iznad plave linije), padom brzine toka pada na podlogu (poskakuje, kotrlja se, vuče po podlozi) i na kraju se, kada brzina padne ispod crvene linije, zaustavi.

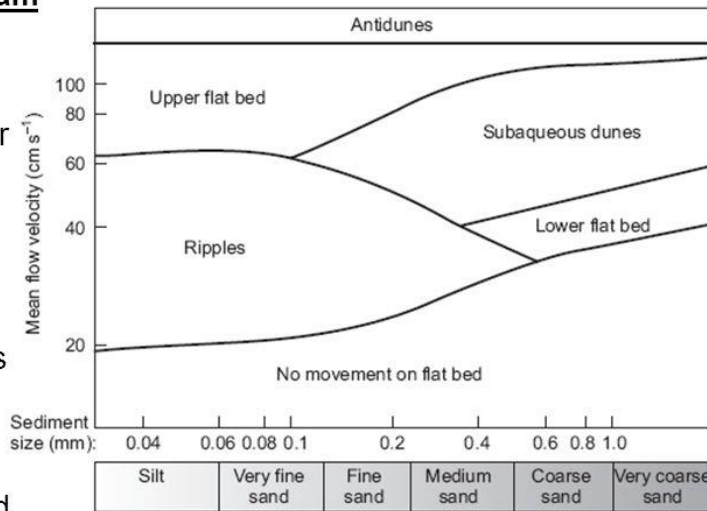
Transport i taloženje -jednosmjerni vodeni tokovi

Određeni način kretanja i taloženja čestica utječe na samu površinu sedimenta na taj način da se počinju stvarati određene forme. Te forme na površini sedimenta se mijenjaju ovisno o brzini toka, njegovoj dubini i veličini čestica i to određenim redoslijedom (slike ispod).

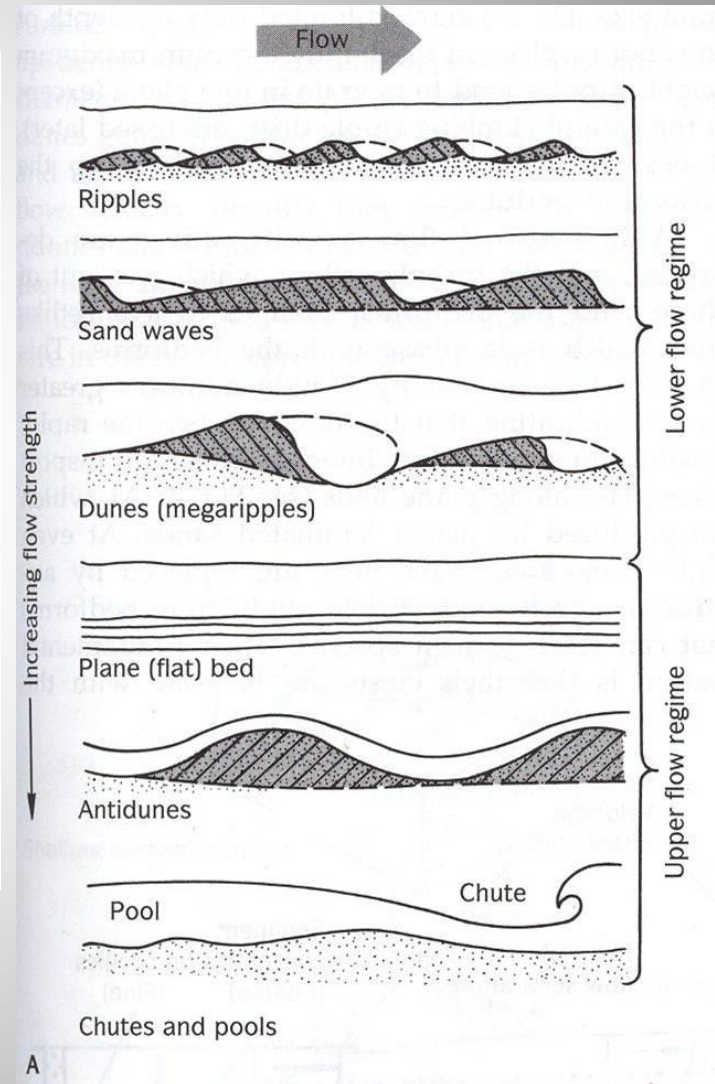
Bedform stability diagram

This bedform stability diagram indicates the bedform that will occur for a given grain size and velocity and has been constructed from experimental data.

Two general flow regimes are recognised: a lower flow regime in which ripples, dunes and lower plane beds are stable and an upper flow regime where plane beds and antidunes form.



A bedform stability diagram which shows how the type of bedform that is stable varies with both the grain size of the sediment and the velocity of the flow.



Građa i postanak strujnih riplova, megariplova-dina

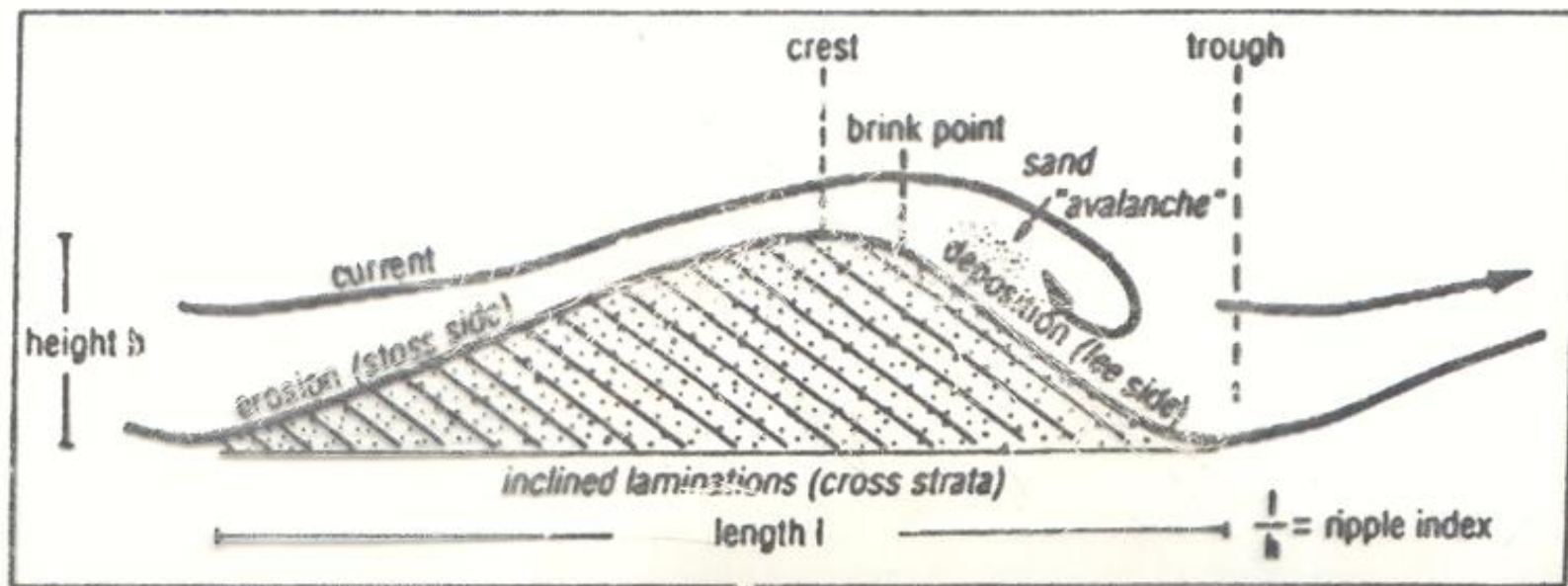


Fig. 3.6. Formation and characteristics of an asymmetrical ripple

Asimetrični (strujni) riplovi imaju svoju duljinu i visinu (vidi sliku). Mali riplovi npr. visine su do 5 cm, a forme visine veće od 5 cm zovemo megariplovima ili dinama. Rippl ima svoj krestu i korito (vidi na slici). Kreste mogu biti ravne ili sinusoidalne (slide 41). Zbog svoje asimetričnosti na njima možemo razlikovati priklonu (blaže nagnuta strana) i zaklonu stranu (strmija strana). Priklona strana nagnuta je uzvodno, zaklona nizvodno. To je vrlo važna karakteristika koja se koristi kod određivanja smjera paleotokova. Riplovi (megariplovi/dine) su migrabilne forme – one se kreću u prostoru. To se dešava na slijedeći način (pojednostavljeno): materijal se erodira na priklonoj strani, transportira se do kreste ripla i poput lavine se istaloži na strmijoj, zaklonoj strani. S obzirom da je priklona strana mjesto erozije, ona u pravilu nije sačuvana. Sačuva se zaklona strana. Rezultat migracije malih asimetričnih (strujnih) riplova je kosa laminacija, a migracije megariplova/dina kosa slojevitost (slide 42). Riplovi su forme koje nastaju uglavnom transportom uz dno („bedload”) i vezane su većinom za pješčane (srednjezrnate sedimente). Podsjetimo se: sitnozrnati materijal transportira se u suspenziji („suspended load”) (slide 38), pa stoga u njemu ne nalazimo riplove, odnosno kosu laminaciju.

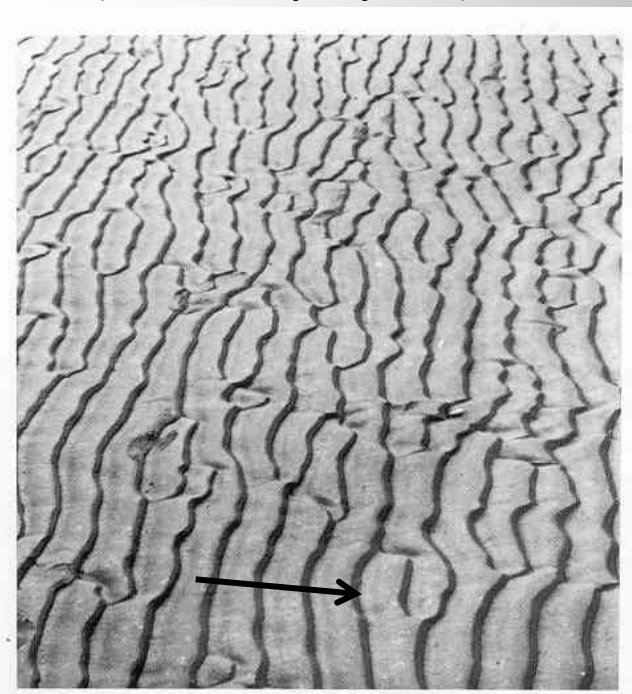
Transport vodom (taložne teksture na gornjim slojnim površinama)



Niži strujni režim – veće forme-megariplovi (podvodne dine) koje na svojim priklonim (blaže nagnutim stranama) imaju male, parazitske sinusoidalne riplove.



Asimetrični riplovi s relativno ravnim krestama (strelica označuje smjer toka)



Asimetrični riplovi sa sinusoidalnim krestama

Kosa laminacija (slojevitost) - [migracija riplova \(dina\)](#)

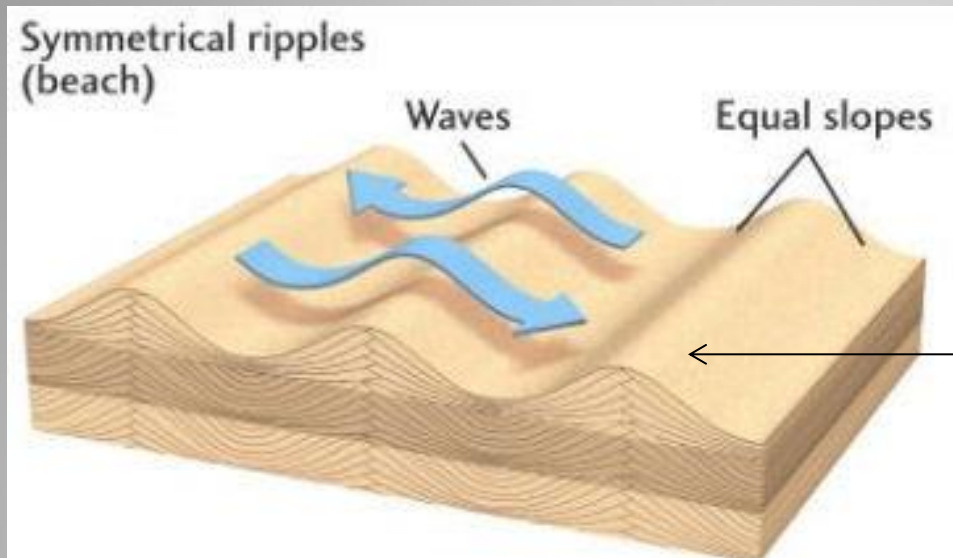


Kosa slojevitost kao rezultat migracije pješčanog pruda

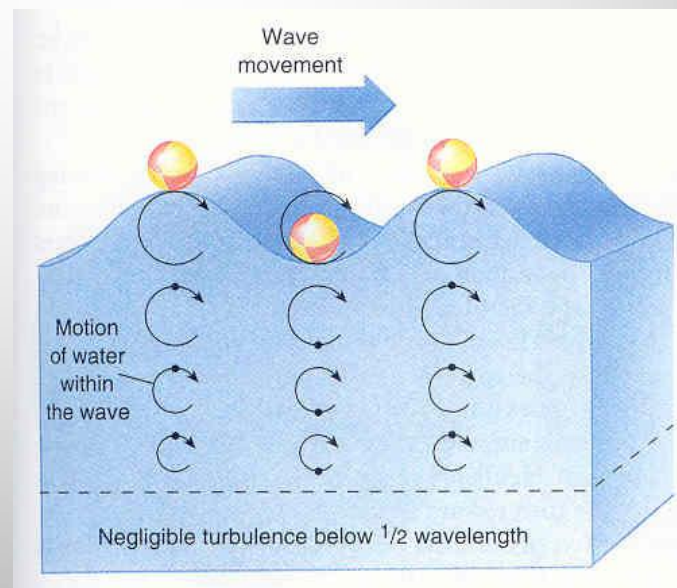
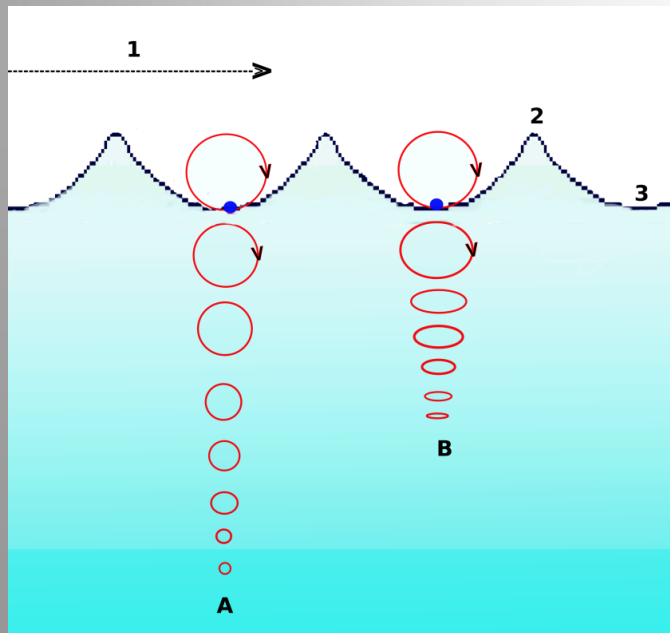
Koso slojeviti setovi različitih debljina. Lijepo se vidi tangencijalno povijanje lamina u donjem dijelu jednog seta.



Transport i taloženje – valovi (oscilatorni tokovi)

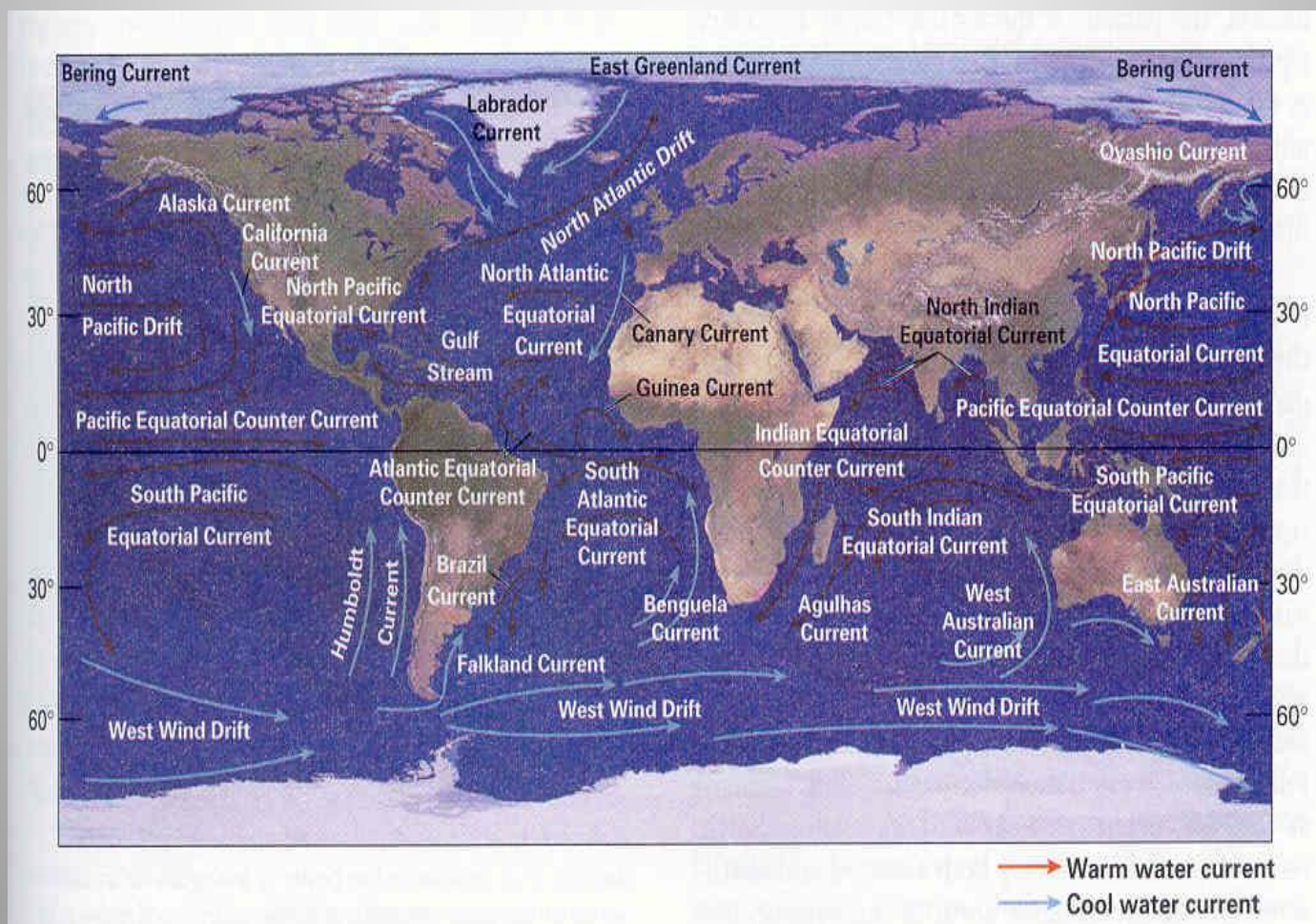


Istovremeno dok se valovi kreću u jednom smjeru po cijeloj površini mora, čestice (molekule) vode kreću se u malim kružnim putanjama. Idući dublje ispod površine ta kružna kretanja polako prerastaju u eliptična, da bi se konačno pretvorila u pravocrtna kretanja „amo-tamo”. Zbog toga su valni riplovi (forme na površini sloja koje nastaju djelovanjem valova) simetričnog vanjskog oblika. Na dubinama koje iznose pola valne duljine i više, ne osjeća se djelovanje valova. To znači zaronimo li dovoljno duboko izbjeći ćemo gibanje valova. Nitko ne dobiva morsku bolest u podmornici.



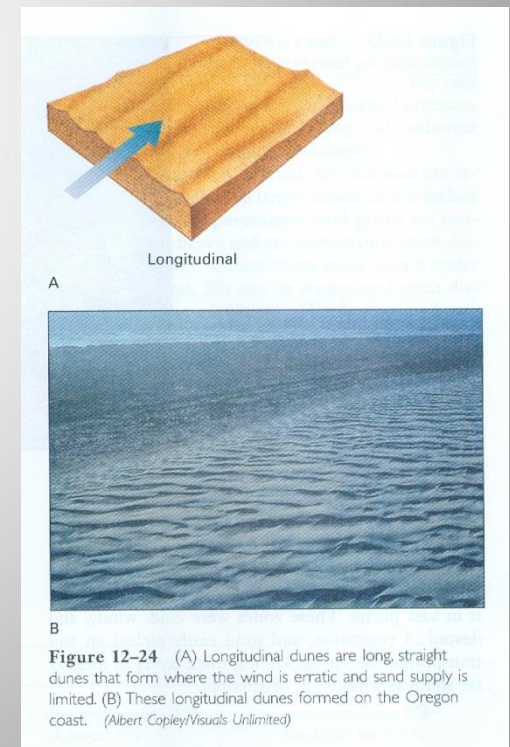
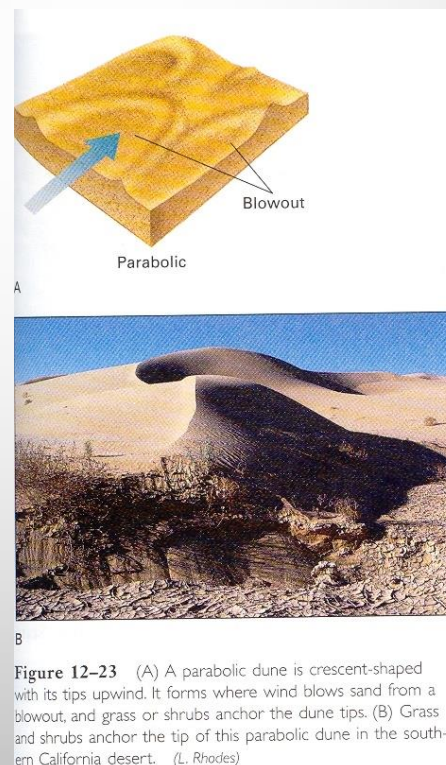
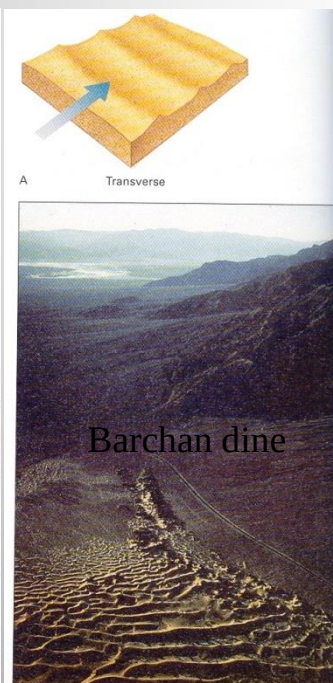
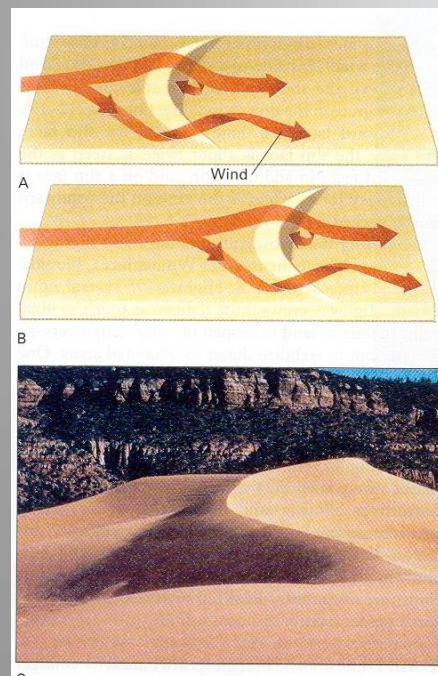
Transport i taloženje – morske struje

Morske struje predstavljaju kontinuirani, jednosmjerni tok vode u oceanima, vrlo sličan onome u rijekama. Nastaju kada vjetar konstantno, u dužem vremenskom periodu, puše iznad površine mora u istom smjeru. Razlika u odnosu na rijeke je u tome što su rijeke omeđene svojim koritima i što teku pod utjecajem gravitacije, dok su morske struje primarno pokretane vjetrom i nisu ograničene veličinom i oblikom korita. Kada se površinske morske struje spuste u dubinu mogu djelovati na podlogu i prenositi sediment.



Transport vjetrom

Vjetar može prenositi goleme količine materijala sitnih dimenzija (uglavnom čestice dimenzije praha) na velike udaljenosti, osobito u uvjetima suhe, aridne klime (npr. pustinje). Pješčana zrna vjetar ne nosi daleko po zraku, jer samo najsnažniji vjetrovi mogu pokrenuti krupnija pješčana zrna. Vrlo se rijetko vjetrom zahvaćena pješčana zrna podižu više od 1m uvis. Premještanjem pijeska vjetrom nastaju pješčane dine. Principi postanka dina i njihove migracije u prostoru su donekle slični megariplovima u vodenim tokovima, ali su im dimenzije različite. Forme nastale transportom vjetrom su puno većih dimenzija. Najsitniju prašinu (čestice dimenzije praha) vjetar može pak podići tisuće metara visoko u zrak i nositi je stotine kilometara daleko od mjesta gdje je bila podignuta. Kad se takva prašina istaloži nastaje eolski nanos poznat pod nazivom les ili prapor.



Transport vjetrom

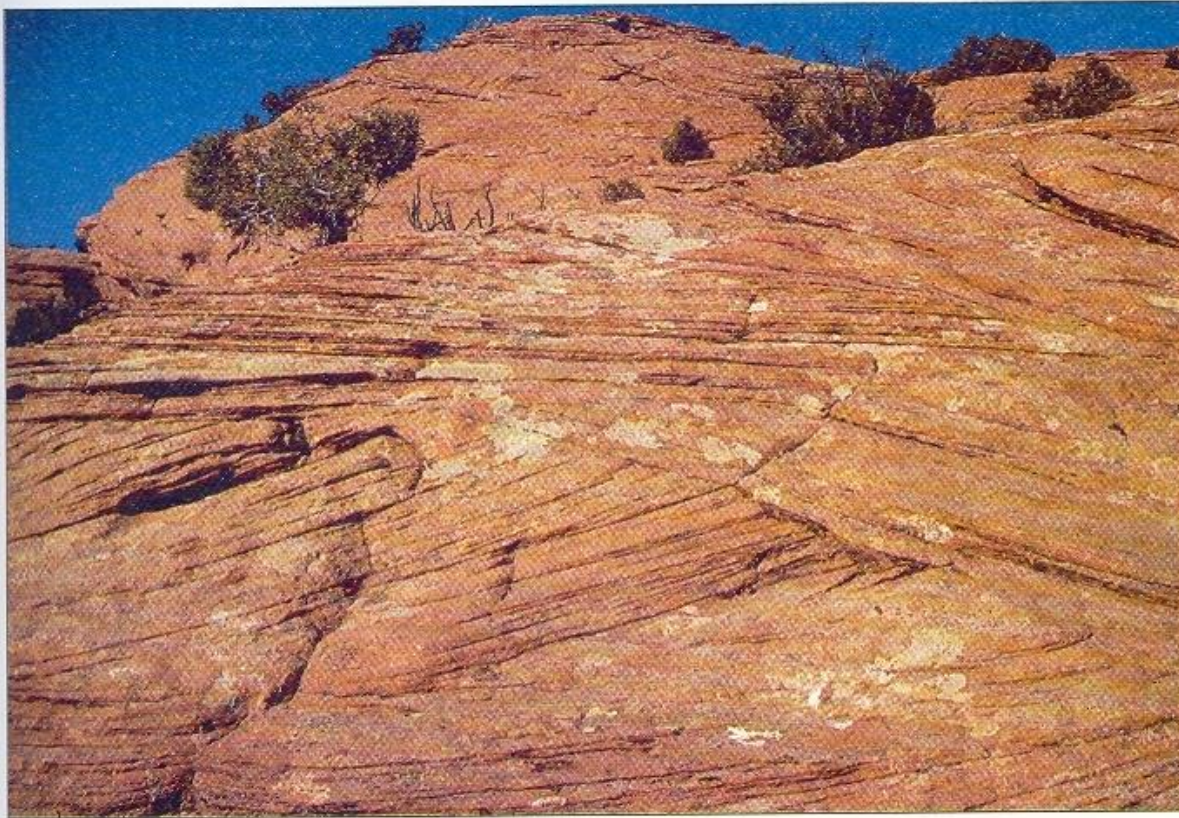


Figure 12-20 Cross-bedded sandstone in Zion National Park preserves the sedimentary bedding of ancient sand dunes.

Kosa slojevitost u pješčenjacima nastala migracijom prastarih pješčanih dina (transport vjetrom).

Transport ledenjacima

Mnogo puta za vrijeme Zemljine povijesti, ledenjaci su pokrivali velike dijelove Zemlje, da bi se potom rastalili i nestajali. Prije najrecentnije glacijacije, koja je počela prije otprilike 100.000 godina, svijet je, izuzev visokih planina i polarnih krajeva (Antarktika, Grenland), bio bez ledenjaka. Tada je u relativno kratko vrijeme (možda u nekoliko tisuća godina) došlo do zahlađenja. Zimski snijeg se nije kompletno rastalio tokom ljeta, pa su polarne ledene kape rasle i širile se u niže geografske širine (kontinentalni tip ledenjaka), a istovremeno su se formirali i ledenjaci na vrhovima planinskih lanaca koji su se spuštali (tekli) u niže dijelove, u doline (alpski tip ledenjaka), čak i u blizini ekvatora. Prije 18.000 godina ledenjaci su dosegli svoj maksimum (prekrivali su 1/3 kontinenata).



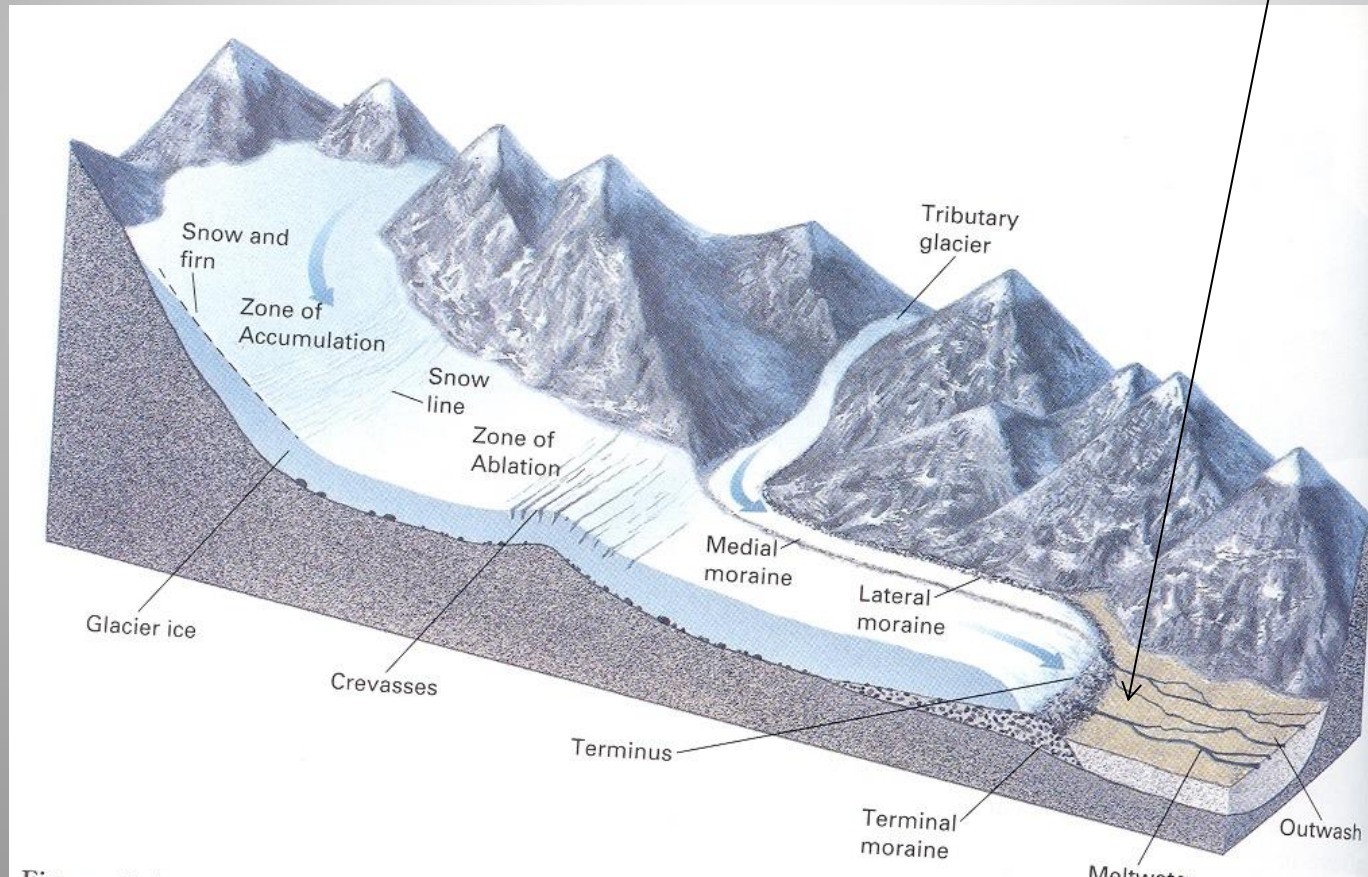
An alpine glacier flows from the Lyell Icefield in the Canadian



Figure 11-3 The Beardmore glacier is a portion of the Antarctic ice sheet. (Kevin Killelea)

Transport ledenjacima

Stvaranje ledenjaka –gomilanjem snijega iz godine u godinu, njegovi se stariji dijelovi zbijaju i zaleđuju u zrnatu masu zvanu „neve” (smrznuti snijeg), koja se poslije, istiskivanjem sveg zraka, pretvori u snježnik ili „firn”. Zbog sile teže takva se masa pomoće niz padinu, postaje ledenjak koji erodira svoju podlogu i bokove i pri tome u sebe uklapa veliku količinu stijenskog kršja i sitnog detritusa koji na taj način prenosi u niže predjele. Otapanjem ledenjaka na čelima morena nakupljeni materijal se dalje može prenositi vodom koja potječe od otapanja leda. Takvi tokovi imaju visoku energiju i mogu snažno erodirati podlogu i usitnjavati materijal koji prenose.



Transport ledenjacima

Ledenjaci mogu prenositi velike količine materijala, i to, za razliku od vjetra, vrlo različitih dimenzija, od najsitnijih čestica gline pa do blokova metarskih dimenzija. Materijal koji pritom nastaje je izrazito nesortiran, raznolikog sastava i uglatih fragmenata (til, tilit). Pojedini veći fragmenti pokazuju glacijalne strije. Najpoznatiji oblici glacijalnih sedimentnih tijela su morene, morenski jezici drumlini...

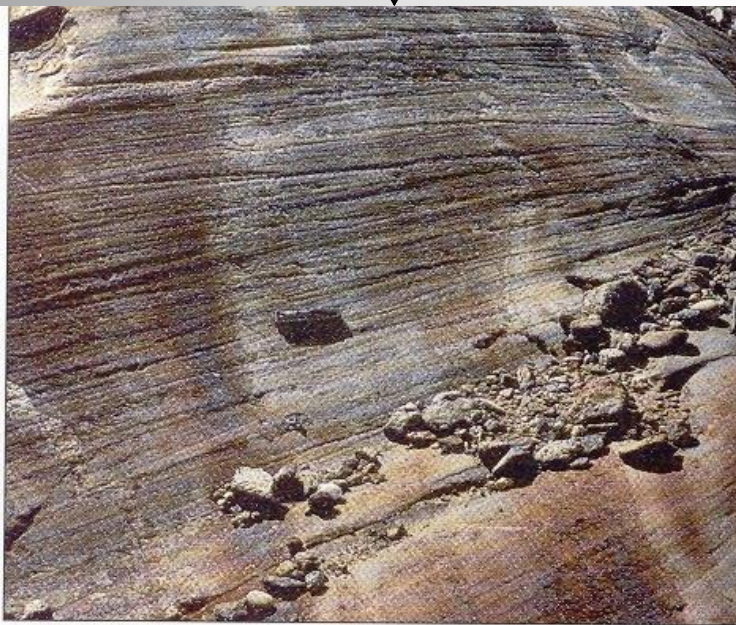


Figure 11-11 Stones embedded in the base of a glacier gouged these striations in bedrock in British Columbia.

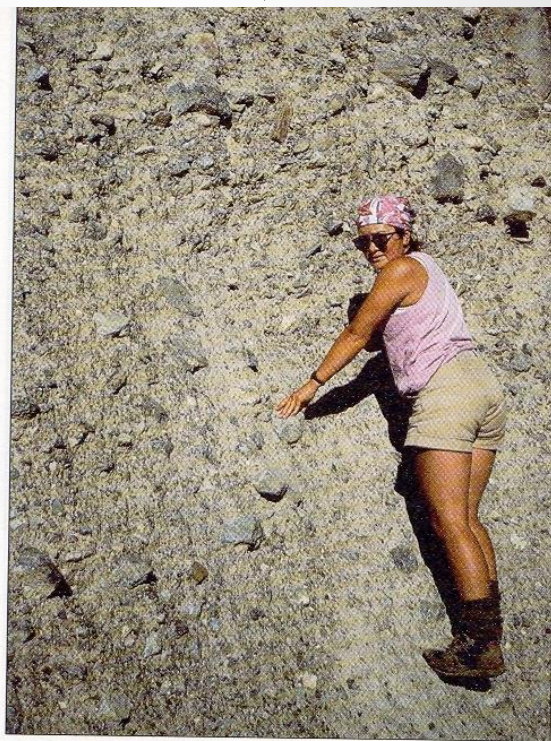


Figure 11-20 Unsorted glacial till. Note that large cobbles are mixed with smaller sediment. The cobbles were rounded by stream action before they were transported and deposited by the glacier.

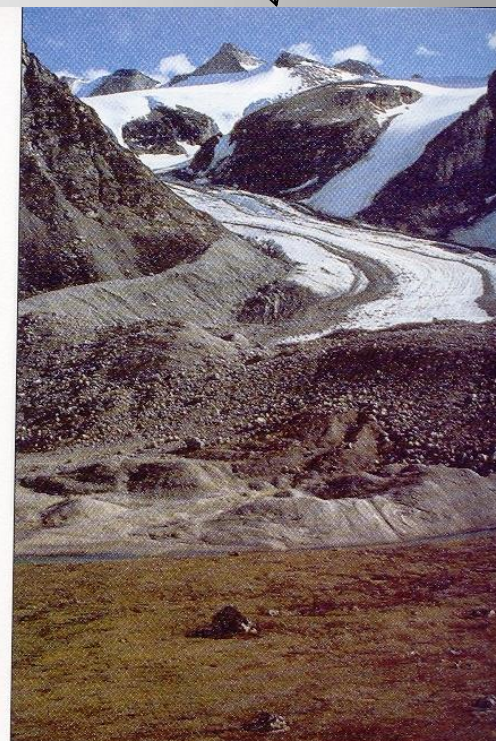


Figure 11-21 The end moraine of an alpine glacier on Baffin Island, Canada, in mid-summer. Dirty, old ice forms the lower part of the glacier below the snow line, and clean snow higher up on the ice in the zone of accumulation.

Gravitacijski tokovi

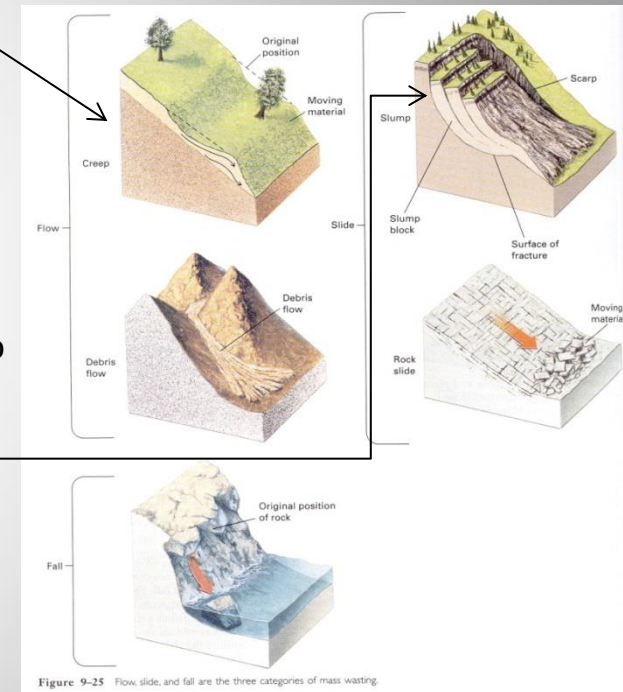
Najveće količine sedimenata u morskim (posebice u dubokomorskim okolišima, u blizini i na kontinentalnim padinama) i jezerskim taložnim prostorima prenošene su gravitacijskim kretanjima velikih masa sedimenata. Kod gravitacijskih tokova gravitacija djeluje direktno na sediment, odnosno pojedine čestice („sediment gravity flows”) i/ili na samu stijenu („rock gravity flows”)(slide 36). Razlikuju se slijedeći gravitacijski mehanizmi transporta i taloženja: **kretanje masa litificiranih, vezanih stijena; puzanja, klizanja i slampiranja mekih do poluočvrstnutih sedimenata; fluidizacijski, zrnski, debritni i turbiditni tokovi** (slide 36).

Puzanje sedimenta („creep of sediment”) –

proces polaganog puzanja i spuštanja sedimenta niz padinu. Pri puzanju, u talogu koji puzi niz padinu, ne nastaju nikakve unutarnje deformacije. Takvo puzanje može trajati od samo nekoliko sati pa do tisuću godina. Pri većim brzinama puzanje postupno prelazi u klizanje ili slampiranje.

Klizanje sedimenta („sliding”) – kretanje slabo očvrstnutih ili poluvezanih, vodom natopljenih taloga po čvrstoj podlozi duž padine, pri čemu nastaju samo manje unutarnje deformacije.

Slampiranje – kretanje taloga niz padinu, po udubljenim (konkavnim) smičnim površinama pri kojem nastaju jake unutarnje deformacije.



Preuzeto iz Thompson & Turk (1999): Earth Science

Puzanjem, klizanjem i slampiranjem se, u usporedbi s drugim gravitacijskim tokovima, mase sedimenta prenose na razmjerno kratke udaljenosti i akumuliraju se na blagim padinama ili neposredno uz stopu padine.

Gravitacijski tokovi

Fluidizacijski tokovi uključuju urušavanje (kolaps) nestabilne strukture taloga zbog istiskivanja porne vode naviše (npr. kod naglog taloženja). To su vrlo kratkotrajni tokovi i obično su udruženi s drugim gravitacijskim tokovima (npr. obično se zbivaju u završnoj fazi taloženja iz turbiditnih tokova).

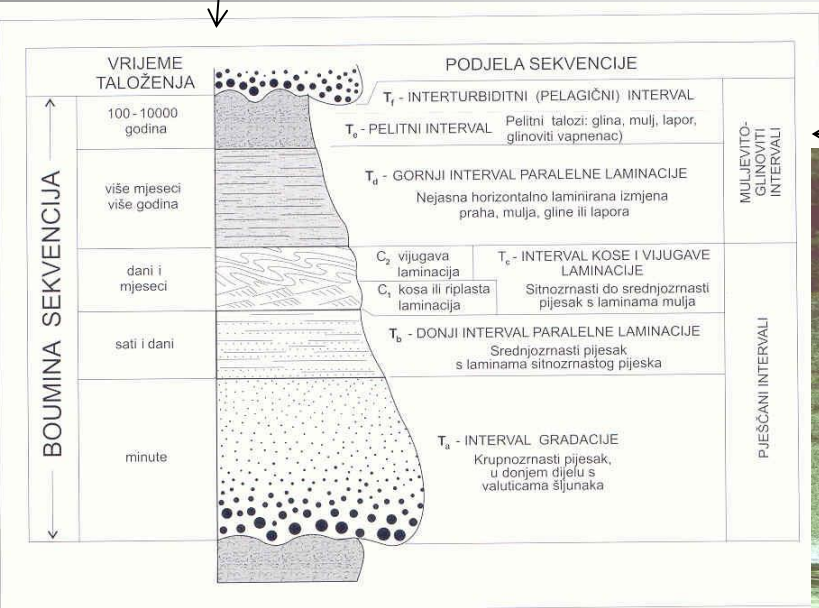
Zrnski tokovi se sastoje od čistog pijeska i pojavljuju se samo na površinama koje imaju nagib veći od 18° (npr. na strmim padinama pješčanih dina).

Debritni tokovi obuhvaćaju brzo kretanje, guste mase loše sortiranog materijala (s vodom izmješanog stijenskog kršja, pijeska, mulja i gline). Veći klasti plivaju u glinovito-muljevitom matriksu i zbog toga imaju matriksnu potporu.

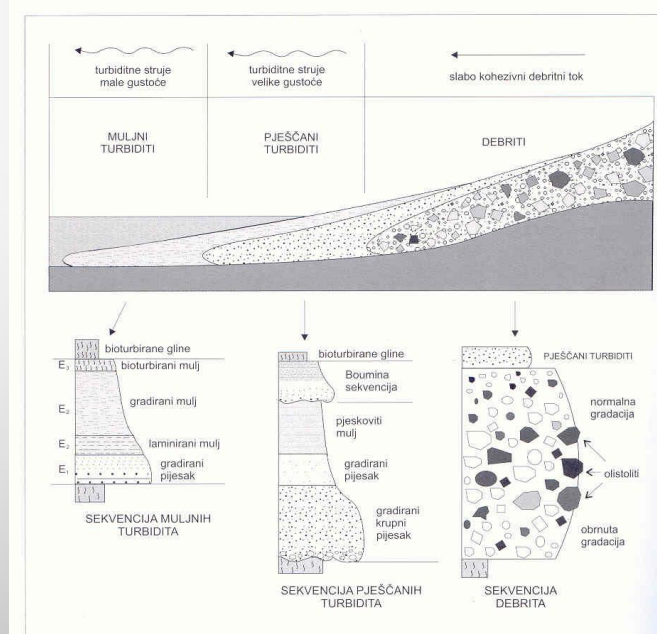
Turbiditni tokovi obuhvaćaju gravitacijske tokove u kojima su klasti podržavani u toku jakom turbulencijom fluida, pa se mogu prenositi na vrlo velike udaljenosti niz dugačke padine. Turbiditni tokovi nastaju samo u dubljevodnim okolišima, ispod donje granice utjecaja valova (i onih olujnih), na donjim dijelovima podmorskih i jezerskih padina. Nagomilani detritus (npr. na rubu šelfa, gdje šelf prelazi u kontinentalnu padinu) u jednom trenutku klizne niz padinu (zbog prekoračenja kuta stabilnosti, potresa ili tsunamija) (slide42). Pokrenuta masa materijala klizi niz padinu, postaje sve više turbulentna i suspendirana u vodi. Ako je nagib dovoljno dugačak i dovoljno strm dolazi do potpune suspenzije detritusa u vodi i njegovog granulometrijskog razvrstavanja. Kako se krupnija zrna kreću brže od sitnijih čestica, ona se sve više odvajaju i nakupljaju u prednjem dijelu toka (čelo toka) i pri njegovom dnu, a sitnija sve više zaostaju i u suspenziji se dižu iznad dna (rep toka). Granulometrijsko razvrstavanje nastupilo je i po horizontali i po vertikali (slide 41). Na kraju, kada se tok zaustavi slijedi dugotrajno taloženje najsitnijih zrnaca praha i gline iz repa turbiditnog toka. Cjelokupni prostor koji zauzima materijal istaložen iz turbiditne struje naziva se turbiditna lepeza (slide 42), jer je oblik sedimentnog tijela sličan lepezi, a kompletna taložna jedinica nastala taloženjem iz jedne turbiditna struje *Boumina sekvencija* (slide 41).

Gravitacijski tokovi - turbiditi

Boumina sekvencija odlikuje se jasno određenim slijedom unutar kojeg se razlikuje pet turbiditnih intervala točno definiranog granulometrijskog sastava i teksturno-strukturnih značajki (graduiranje, horizontalna i kosa slojevitost, erozivne teksture na donjim slojnim plohami ...).



Granulometrijsko razvrstavanje čestica istaloženih iz turbiditne struje nastupilo je i po vertikalni i po horizontalni.



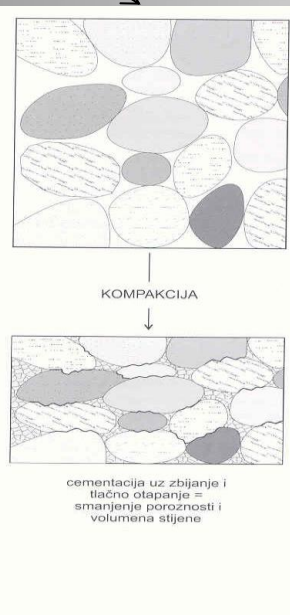
Slika 20-1 Idealizirani prikaz horizontalnog i vertikalnog rasporeda debritnih i turbiditnih facijesa na padini i dijelu bazenske ravnice nastalih taloženjem iz gravitacijskih tokova. Boumina turbiditna sekvencija podrobnije je prikazana na sl. 20-3; E_1 do E_5 su jedinice Piperovih muljnih ili sitnozrnastih turbidita pobliže prikazanih na sl. 20-10.

Dijageneza

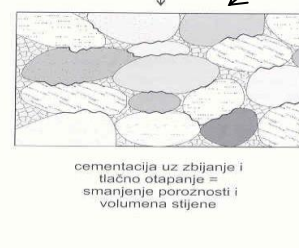
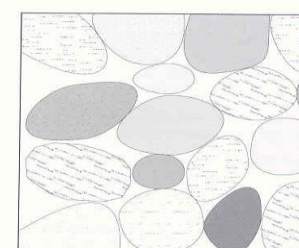
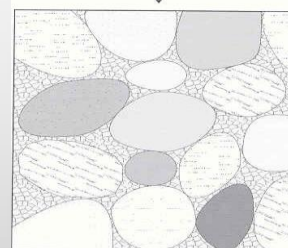
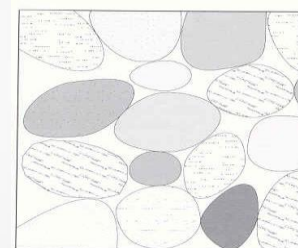
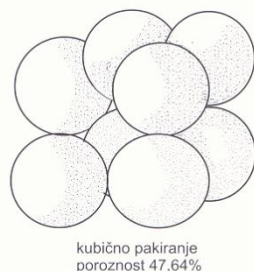
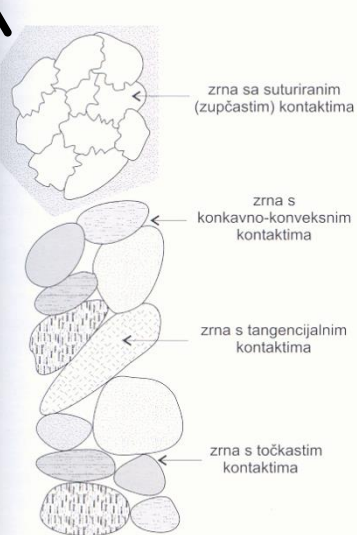
Dijageneza obuhvaća sve mehaničke i kemijske promjene koje se događaju u sedimentu od njegova taloženja pa do početka metamornih procesa. To su procesi koji od rahlih, nevezanih, vodom natopljenih taloga stvaraju čvrste stijene (procesi litifikacije). U osnovi se razlikuju mehanička i kemijska dijageneza.

Mehanička dijageneza uključuje procese zbijanja (**kompakcije**) koji dovode do smanjenja poroznosti i volumena taloga, te istiskivanja porne vode zbog tlaka nadslojeva.

Kemijska dijageneza obuhvaća procese otapanja, cementacije, autigeneze, rekristalizacije, potiskivanja. **Otapanje** pojedinih mineralnih sastojaka zbiva se u sedimentu ili pod utjecajem povišenog tlaka na kontaktima zrna (tzv. tlačno otapanje) ili pod djelovanjem vode. **Cementacija** je proces izlučivanja novih minerala u porama i pukotinama pri čemu se talog očvršćuje i smanjuje mu se poroznost.



Povećanje stupnja kompaktije - smanjenje ukupne poroznosti



Autigeneza je proces tvorbe novih minerala. **Rekristalizacijom** se mijenja samo veličina kristala, bez promjena mineralnog sastava. **Potiskivanje** je proces istodobnog otapanja nekog minerala i na njegovom mjestu izlučivanja novog, u datim uvjetima stabilnijeg minerala (npr. potiskivanje kvarca kalcitom).

Dijageneza

Svi dijagenetski procesi koji se zbivaju u još nevezanim, vodom natopljenim **talozima nazivaju se ranodijagenetski procesi**, a oni koji se zbivaju u već očvrnutim stijenama kasnodijagenetski procesi.

Dijagenetski procesi mogu biti izokemijski ili alokemijski. **Izokemijski** su oni kod kojih se ne mijenja kemijski sastav stijena (npr. Rekristalizacija), a **alokemijski** su oni kod kojih je došlo do promjene kemizma stijene (npr. olomitizacija, silicifikacija ...)

Dijagenetski okoliši



KLASTITI – sedimentni ciklus

Na slici ispod možemo u pojednostavljenom obliku objasniti sedimentni ciklus nekog klastičnog sedimenta:

1. Trošenjem se oslabljaju kvarcna zrna koja su bila sastavni dio granita
2. Kvarcna zrna se erozijom ispiru u tokove
3. Vodenim tokom (prvo planinske rijeke, pa zatim nizinske) zrna kvarca se transportiraju do mjesta taloženja
4. Tok više nema snagu prijenosa čestica i dolazi do njihovog taloženja (na obalama, deltama ...)

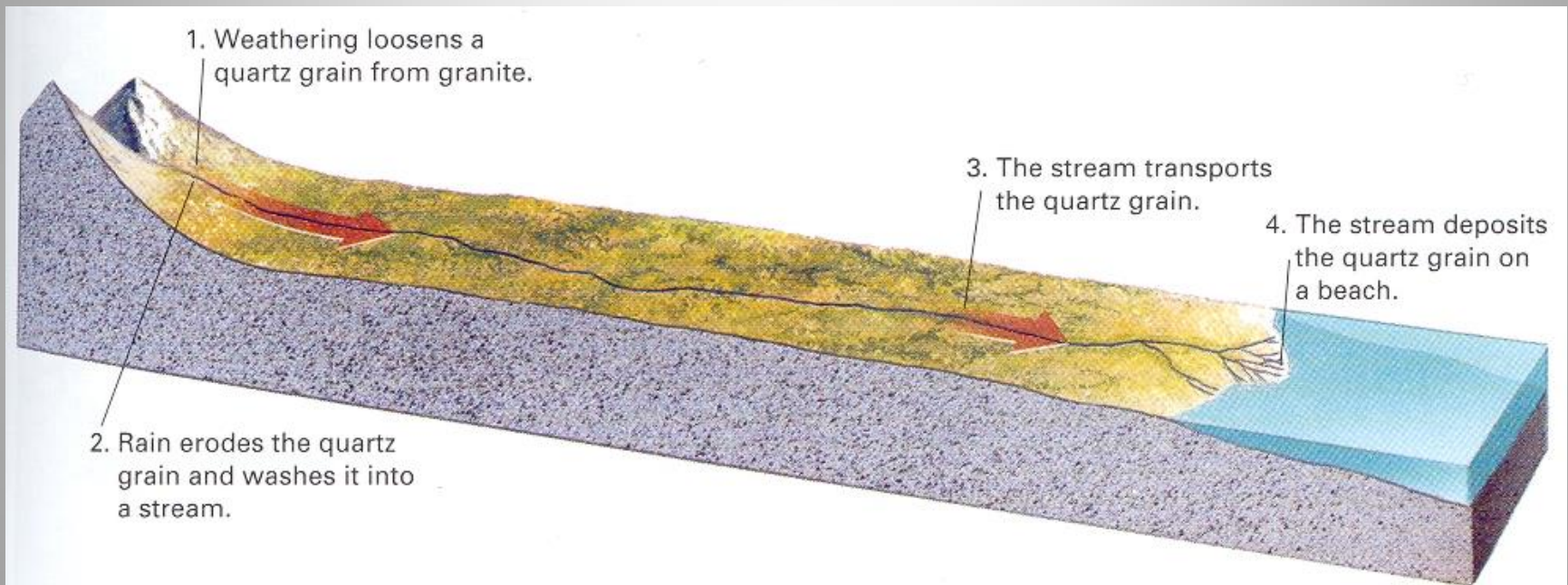


Figure 9–2 Weathering loosens a quartz grain from granite. Rain erodes the grain, washing it into a stream. The stream transports it and finally deposits the grain on a beach.

Preuzeto iz Thompson & Turk (1999): Earth Science

KLASTITI

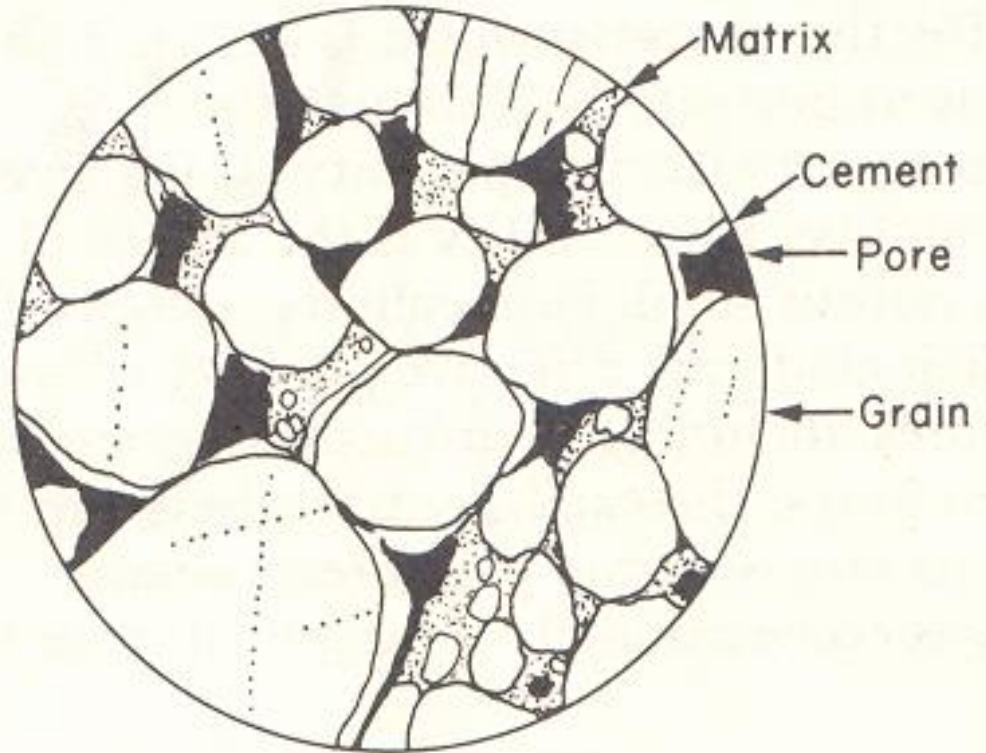
Građa klastita (klastična struktura)

ZRNA – su detritični sastojci – klasti – koji su prošli sedimentni ciklus (trošenje, transport, taloženje). Zrna čine osnovni skelet, konstrukciju stijene. Ona mogu biti mineralna zrna, odlomci stijena, skeleti ili ljušture (cijeli ili fragmentirani).

MATRIKS – je sitni detritus koji je također prošao sedimentni ciklus, a nalazi se u međuprostorima zrna. Kod pješčenjaka matriks je obično glinovito-siltozni, kod konglomerata može biti i pješčani.

CEMENT – je mineralna tvar precipitirana (kristalizirana) u porama između zrna ili bilo kojim šupljinama u sedimentu nakon njihova taloženja. Cement nije detritus, on je precipitat nastao u diagenezi.

PORE – su slobodni prostori među zrnima i/ili unutar zrna (npr. ljušturice puževa) koje nisu ispunjene matriksom niti je u njima iskristalizirao cement.



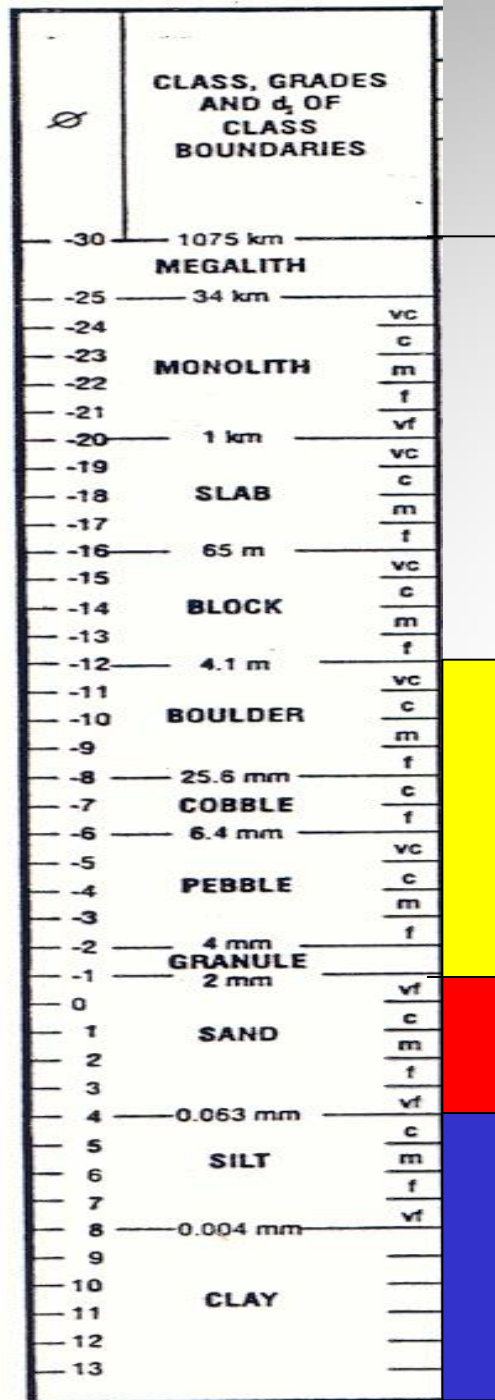
PODJELA KLASTITA – na bazi veličine čestica

Udden-Wentworthova skala je u milimetrima i ona je logaritamska po bazi 2 (... 1, 2, 4, 8,...).

Krumbeinova skala je u tzv. ϕ jedinicama i ona je aritmetička (...1, 2, 3, 4,...)

$\phi = -\log_2 d$
“phi” - vrijednosti

d-veličina zrna u milimetrima

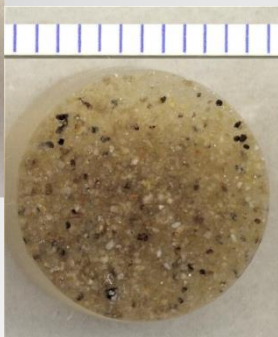
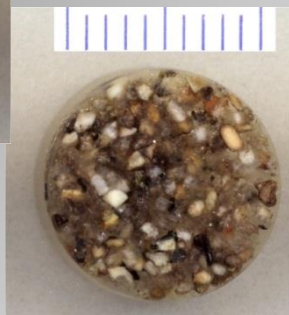
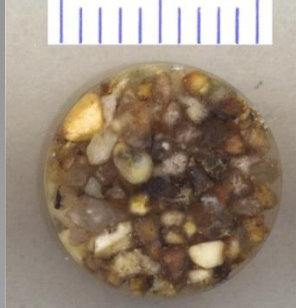


Megakonglomerati

Krupno-zrnati klastiti (ruditi)-
konglomerati (šljunak); breče (kršje)

Srednje-zrnati klastiti (areniti)-
pješčenjaci (pijesci)

Sitno-zrnati klastiti (lutiti)- siltiti (silt);
glinjaci (glina); muljnjaci (mulj), šejlovi

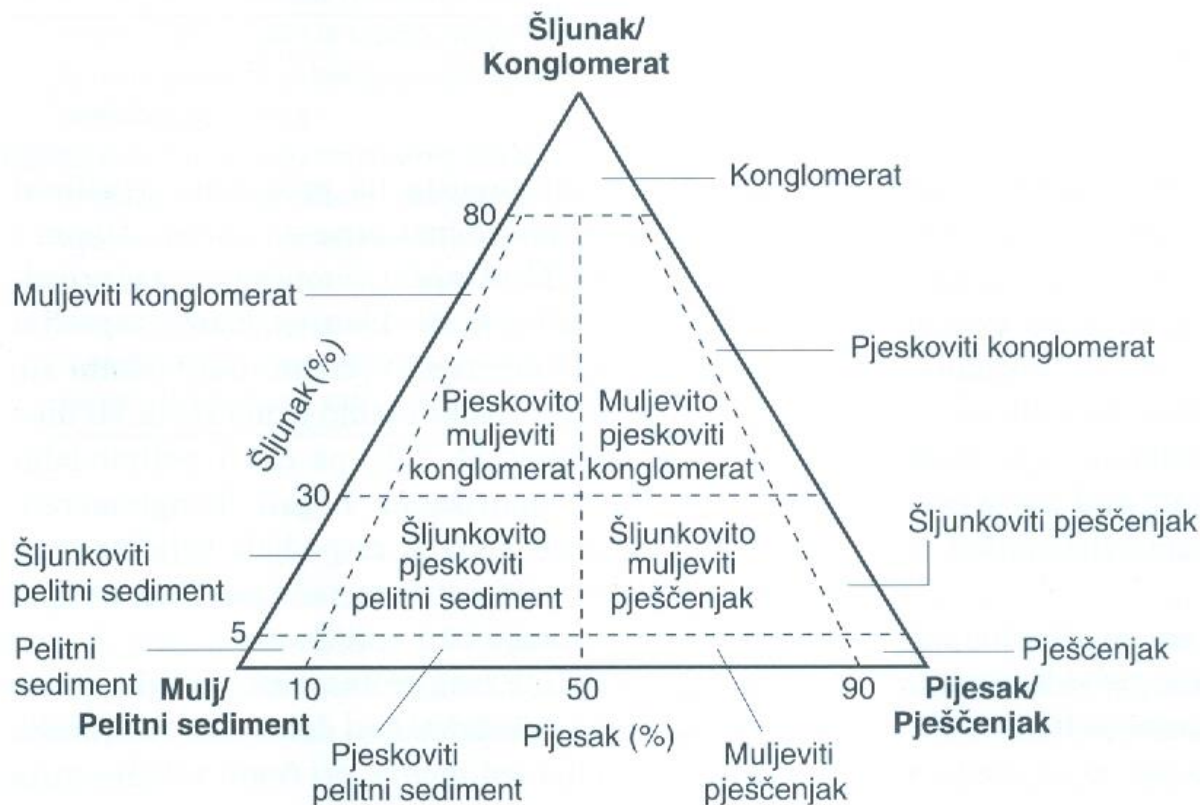


KLASTITI - struktura

Veličina čestica

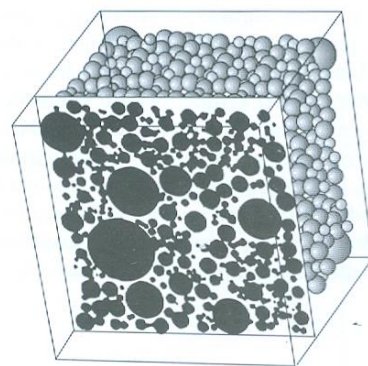
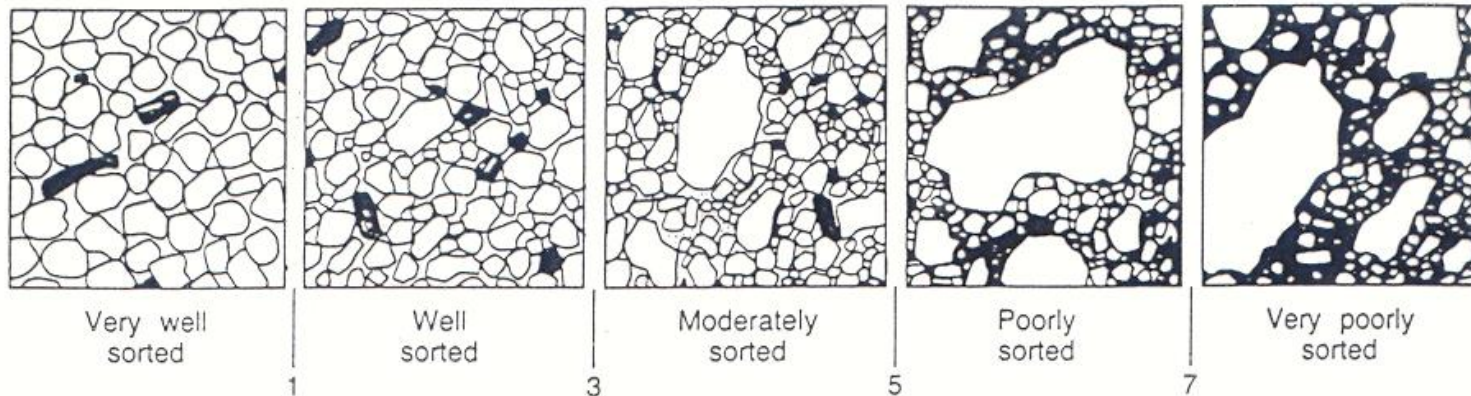
4096	-12	very coarse	Boulder	Gravel	Conglomerate
2048	-11	coarse			
1024	-10	medium			
512	-9	fine			
256	-8	coarse	Cobble		
128	-7	fine			
64	-6	very coarse	Pebble		
32	-5	coarse			
16	-4	medium			
8	-3	fine			
4	-2		Granule		
2	-1				
1	0	very coarse	Sand	Sand	Sandstone
0.50	1	coarse			
0.25	2	medium			
0.125	3	fine			
0.063	4	very fine	Silt		
0.031	5	coarse			
0.015	6	medium			
0.008	7	fine			
0.004	8	very fine	Clay ↓ ?	Mud	Mudstone or Shale
0.002	9				
0.001	10				
0.0005	11				
0.0002	12				
0.0001	13				

PODJELA KLASTITA – na bazi udjela čestica šljunka, pijeska i mulja

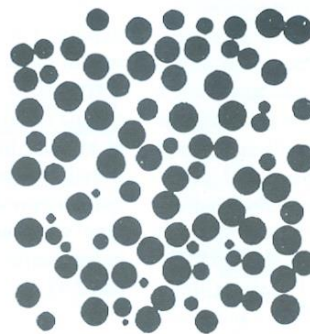


Sl. 2.1 Shematski prikaz klasifikacije smjese pijesak–šljunak–mulj, zajedno s nazivima za sediment i stijenu (prema Udden–Wentworthu, i Blairu & McPhersonu (1999)).

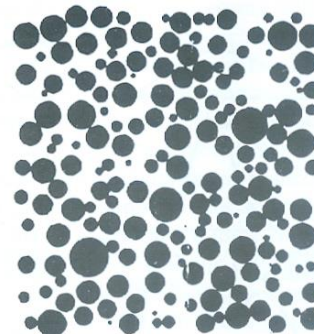
KLASTITI - struktura



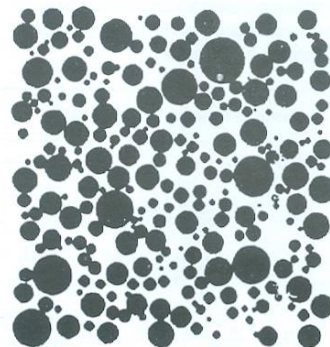
Trodimenzijski prikaz



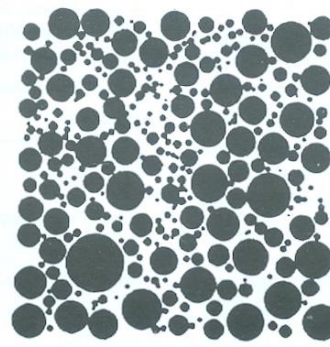
Vrlo dobro sortirano $\phi = 0.0$



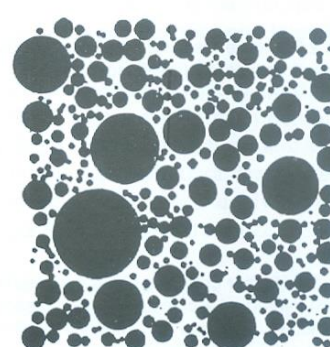
Dobro sortirano $\phi = 0.36$



Umjereno dobro sortirano $\phi = 0.67$



Umjereno sortirano $\phi = 0.74$



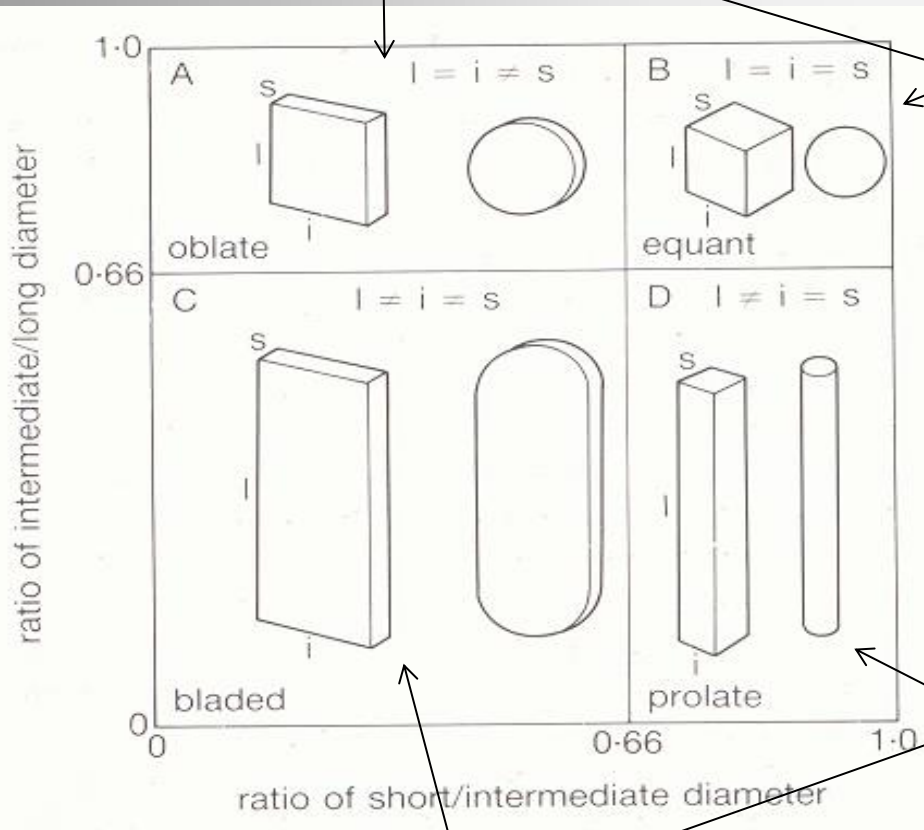
Slabo sortirano $\phi = 1.15$

Sortiranje – parametar koji proizlazi iz analize veličina čestica. Loše sortirani materijal je onaj kod kojeg su prisutne čestice velikog raspona veličina (npr. od čestica dimenzije glina do ruditnih čestica (veće od 2mm)). Takvi su obično naglo istaloženi sedimenti (npr. olujni sedimenti, sedimenti istaloženi iz debritnih, muljnih tokova) ili pak glacijalni talozi. Vrlo dobro sortirani sediment je pak onaj koji je prevladavajuće sastavljen od čestica jedne veličinske klase (npr, sedimenti transportirani vjetrom ili vodom).

KLASTITI – struktura

Oblik zrna

diskoidalni



pločasti

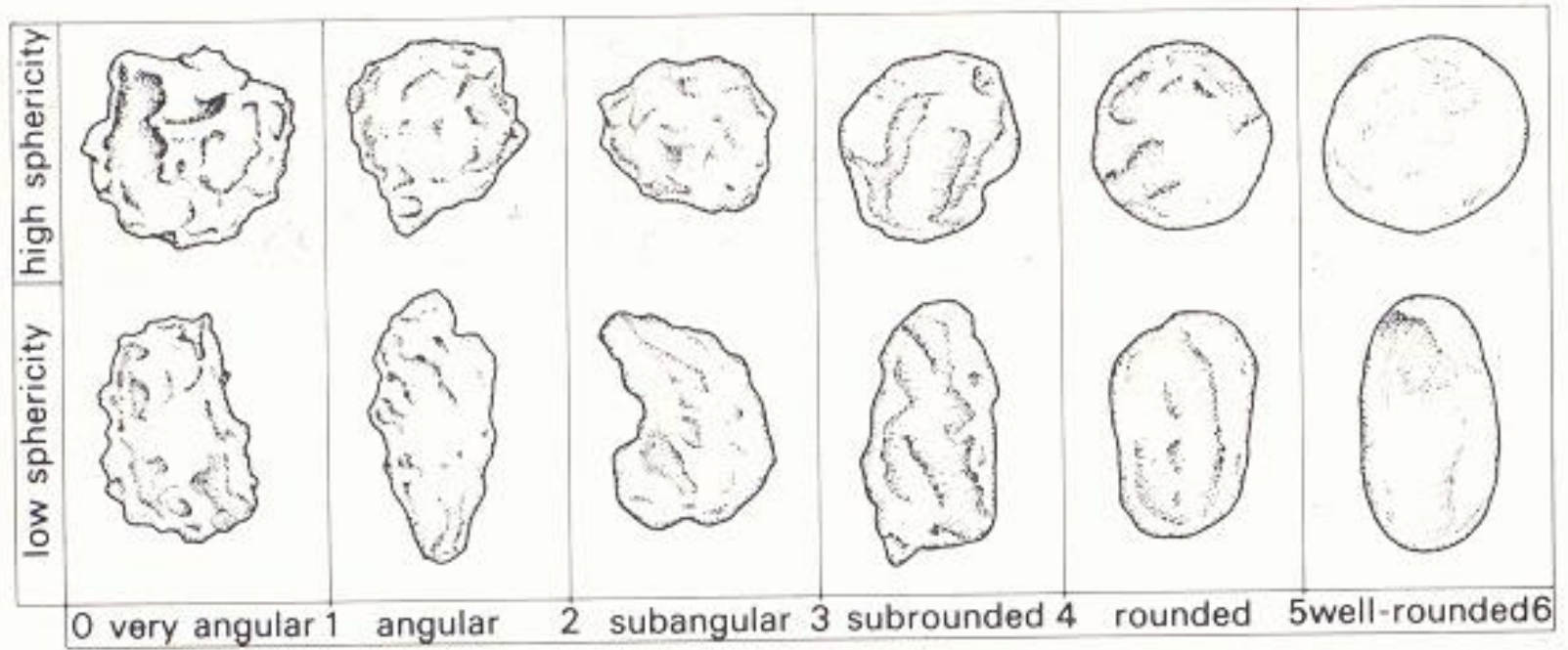
sferični,
ekvidimenzionalni



vretenasti

KLASTITI - struktura

Zaobljenost i sferičnost



breča



konglomerat



KLASTITI- utjecaj transporta na strukturne karakteristike

Veličina čestica smanjuje se kako opada kompetencija (snaga) toka. Zaobljenost i sortiranje se uglavnom poboljšavaju s dužinom transporta.

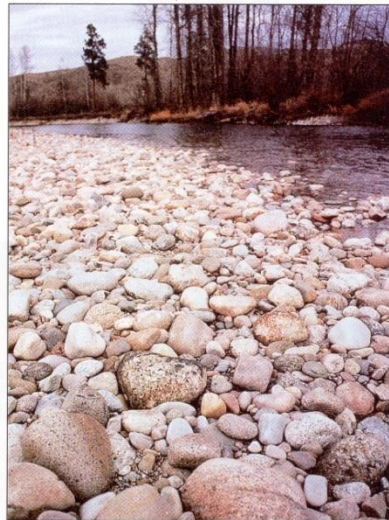
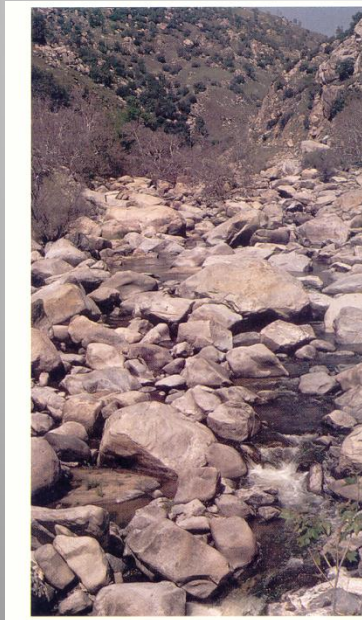
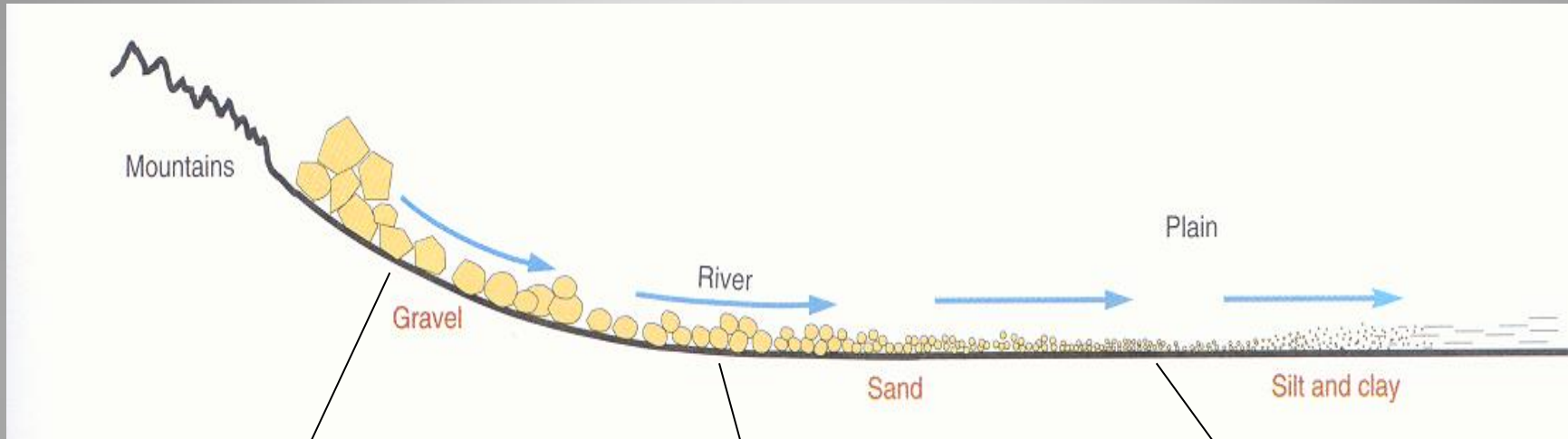


Figure 3-14 Boulders and cobbles collide as they move downstream. The collisions abrade the sharp edges, producing rounded rocks.



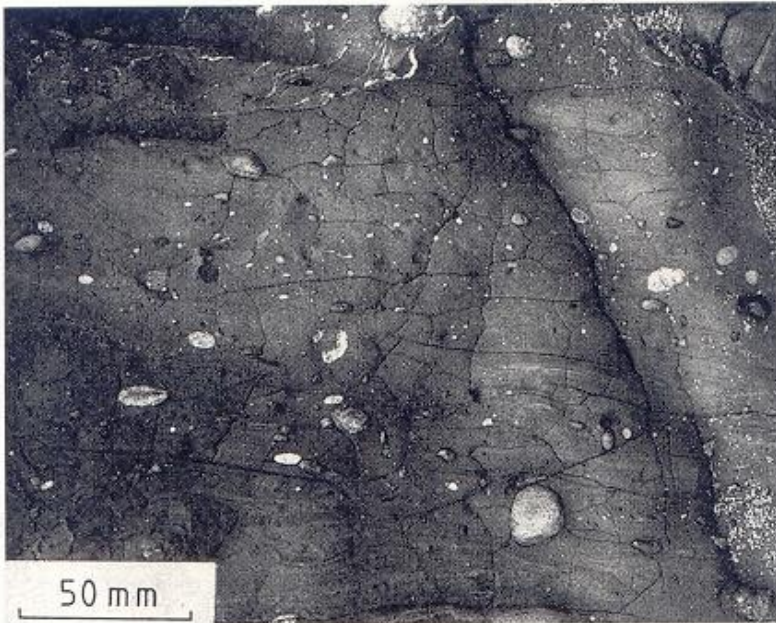
KLASTITI - struktura → PAKIRANJE

Pakiranje podrazumijeva orijentaciju, raspored zrna i prirodu kontakata (slide 43) među njima. Pakiranje ima velik utjecaj na poroznost i propusnost sedimenta. Postoje dva osnovna tipa: pakiranje zrnate potpore i pakiranje matriksne potpore.

ZRNATA POTPORA –klasti (zrna) imaju međusobnu potporu zrno-na-zrno, a između njih se nalazi matriks, cement i/ili prazan prostor. Zrna su se transportirala individualno (npr. transport vjetrom, vodom).



MATRIKSNA POTPORA – klasti (zrna) nemaju međusobnu potpru, tj. nemaju kontakte zrno-na-zrno , već „plivaju” u matriksu. Zrna se nisu transportirala individualno, već se kretala cijela masa sedimenta zajedno (neki maseni, gravitacijski tokovi, npr. debretni i/ili muljni tokovi).



KLASTITI - struktura

PONOVIMO!

Što sve treba opisati i odrediti da bismo definirali strukturu
klastičnog sedimenta?
(veličinu, oblik, zaobljenost, pakiranje i orijentaciju čestica)

KLASTITI – teksturne karakteristike

Sedimentne teksture odražavaju određene načine transporta i taloženja, erozijske procese, postsedimentacijske deformacije, dijagenetske procese, djelovanje organizama, dakle odražavaju fizičke procese prije, tijekom i nakon sedimentacije ili su pak rezultat kemijskih procesa. To su obilježja većih dimenzija. Mnoge se teksture istražuju, bilježe i mjere neposredno na terenu, jer su im dimenzije od desetak centimetara do nekoliko desetaka metara, pa i više (npr. pješčane dine). Mogu se izdvojiti četiri glavne grupe tekstura: erozijske, taložne, post-taložne/djagenetske, biogene teksture. Sedimentne teksture, posebno one nastale tijekom sedimentacije, koriste se u razne svrhe npr.:

- za tumačenje taložnog okoliša u smislu procesa, dubine vode, jačine vjetrova, itd.
- za utvrđivanje taložne orijentacije (ispravnog, tj. primarnog položaja sloja npr. unutar slijeda naslaga koje su intenzivno borane)
- za donošenje zaključaka o paleotransportu i paleogeografiji

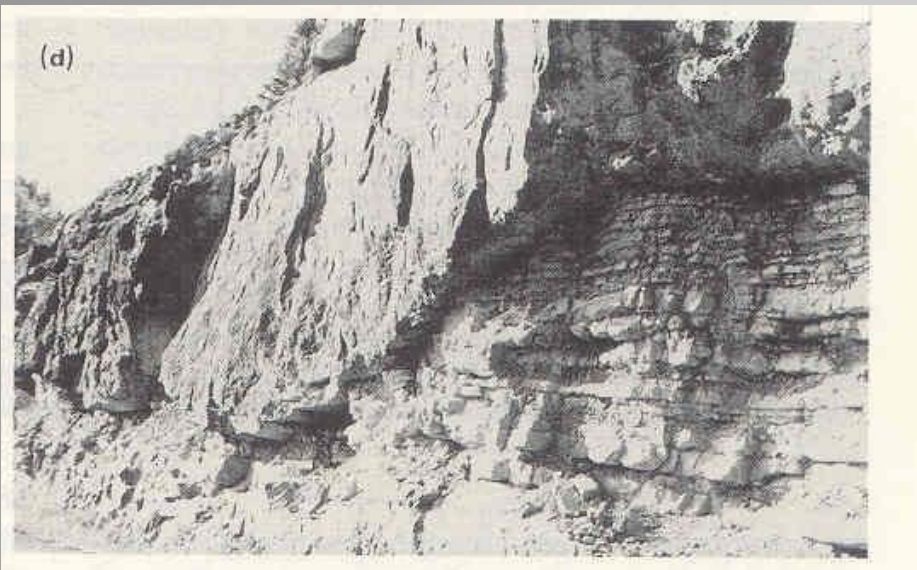
Erozijske teksture – većina ovih tekstura nastala je erozijom tokovima i erozijom čestica koje su tijekom transporta udarale o površinu sedimenta. Najpoznatije su one sačuvane na donjim slojnim plohama (tragovi tečenja, tragovi vučenja, erozijski žljebovi, tragovi udaraca), te one većih dimenzija kao što su kanali/korita (npr. riječna korita).

Taložne teksture – rezultat su različitih procesa transporta, odnosno taloženja (slajdovi 24-42). Tu spadaju: slojevitost (sedimentna jedinica debljine veće od 1 cm) i laminacija (slojevitost milimetarskih dimenzija). Većina slojeva istaloži se unutar vremenskog raspona od nekoliko sati do nekoliko dana (turbiditi, olujni slojevi), a godinama, desecima godina ili čak i dulje talože se slojevi mnogih marinskih šelfnih pješčenjaka ili vapnenaca. Evo nekih primjera najčešćih taložnih tekstura: horizontalna laminacija/slojevitost, kosa laminacija/slojevitost, riplovi, dine, graduirana slojevitost, masivna slojevitost...

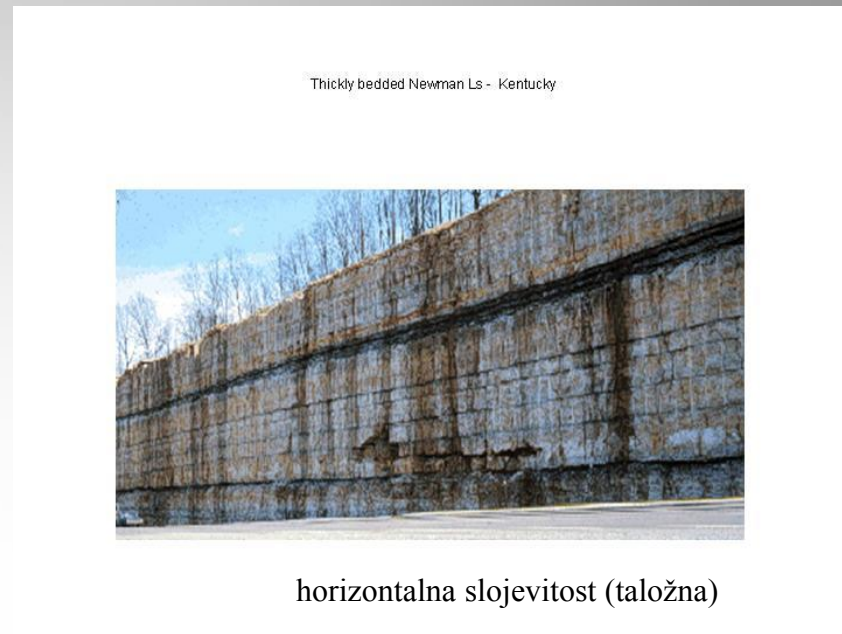
Post-taložne teksture – uglavnom su to razne deformacije primatnih tekstura, npr. Tragovi utiskivanja, savijena (konvolutna laminacija/slojevitost, klizanje/slampiranje, pukotine isušivanja...

Biogene teksture – teksture nastale radom, djelovanjem organizama. To mogu biti pojedinačni tragovi u/na sedimentu, ali i u potpunosti izrovani (bioturbirani) sedimenti. Važni su jer pružaju informacije o taložnom okolišu, npr. vrsti podloge, dubini, brzini sedimentacije... Razlikuju se : tragovi odmaranja, puzanja, ispaše, obitavanja, hranjenja, bježanja.

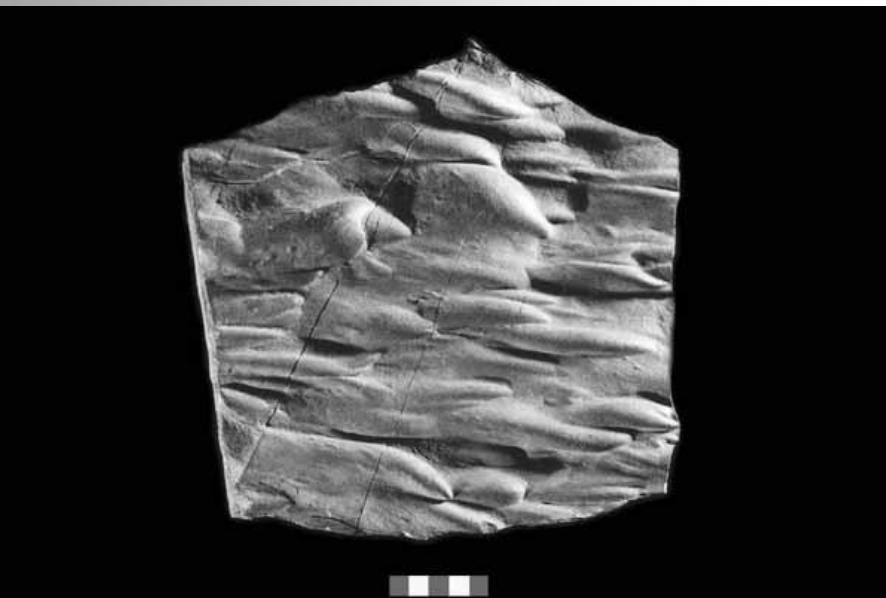
TEKSTURE - primjeri



kanalna forma (erozivna)



horizontalna slojevitost (taložna)



tragovi tečenja (erozivna)



horizontalna i kosa laminacija (taložna)

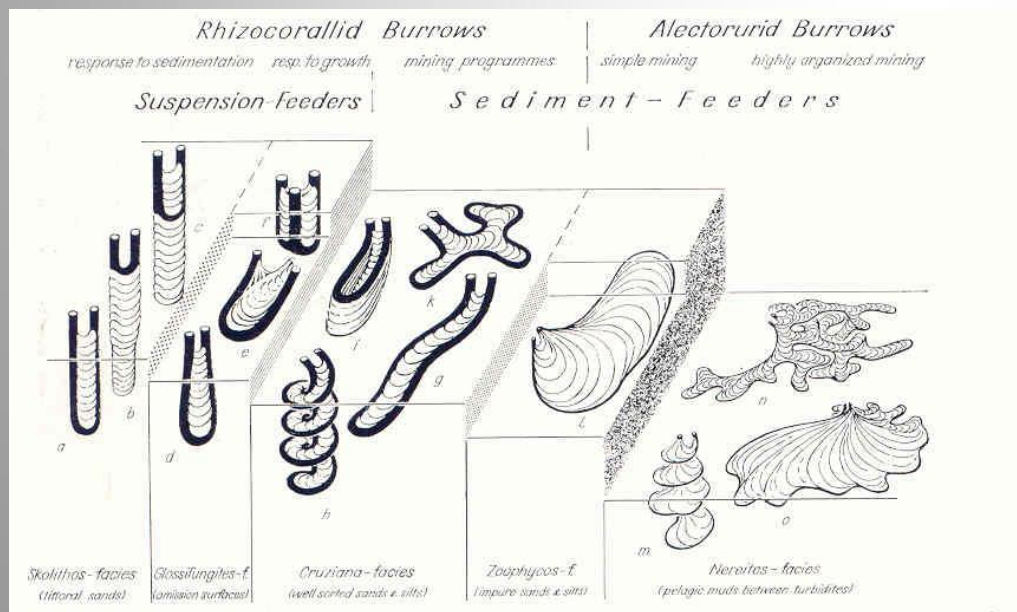
TEKSTURE - primjeri



Normalno graduiranje (taložna)



tragovi ispaše (biogena)



odnos biogenih tekstura i dubine



tragovi nastanjivanja (biogena)

TEKSTURE - primjeri

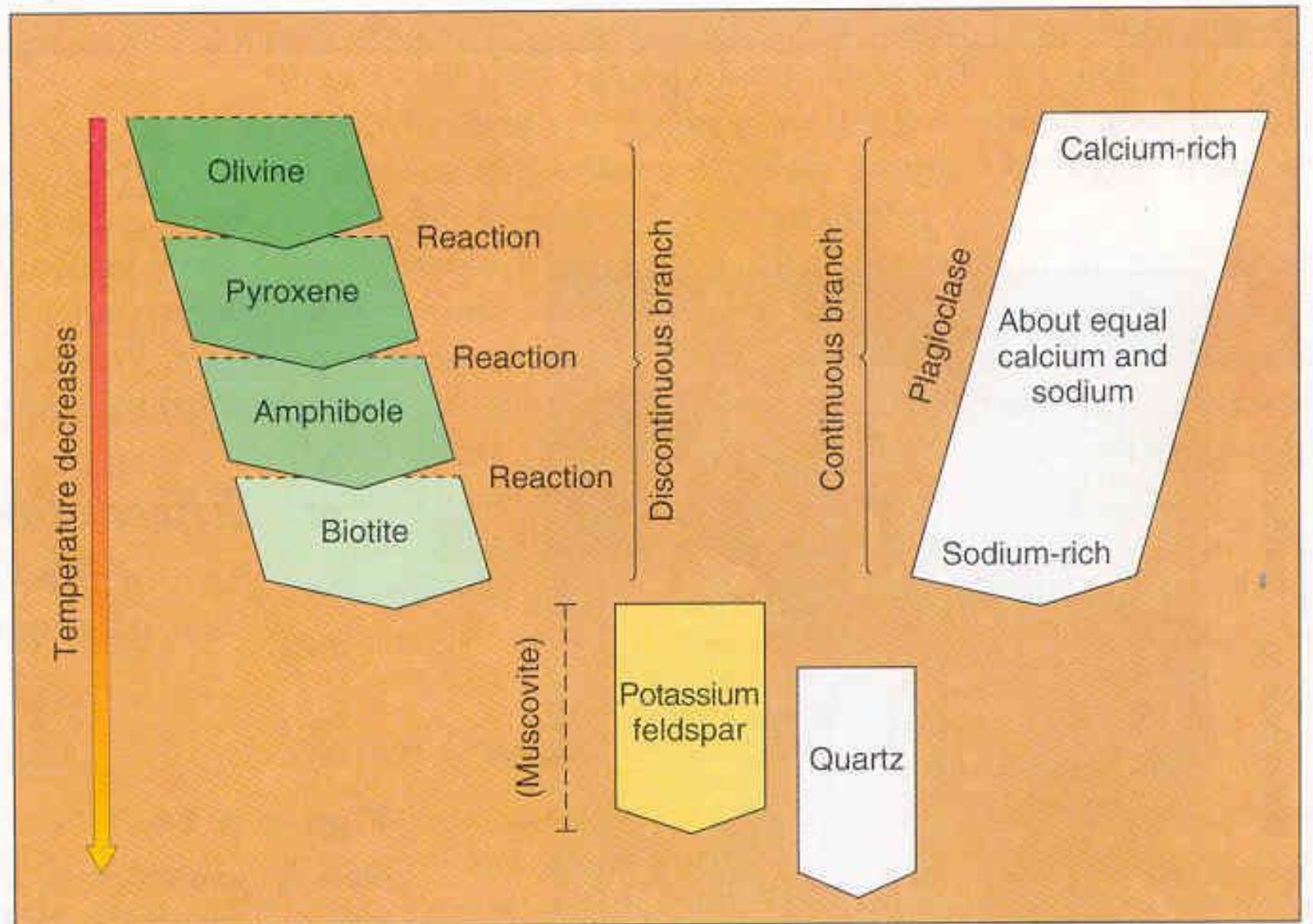
Savijena (konvolutna)
laminacija (post-taložna)

Kosa laminacija
(taložna)

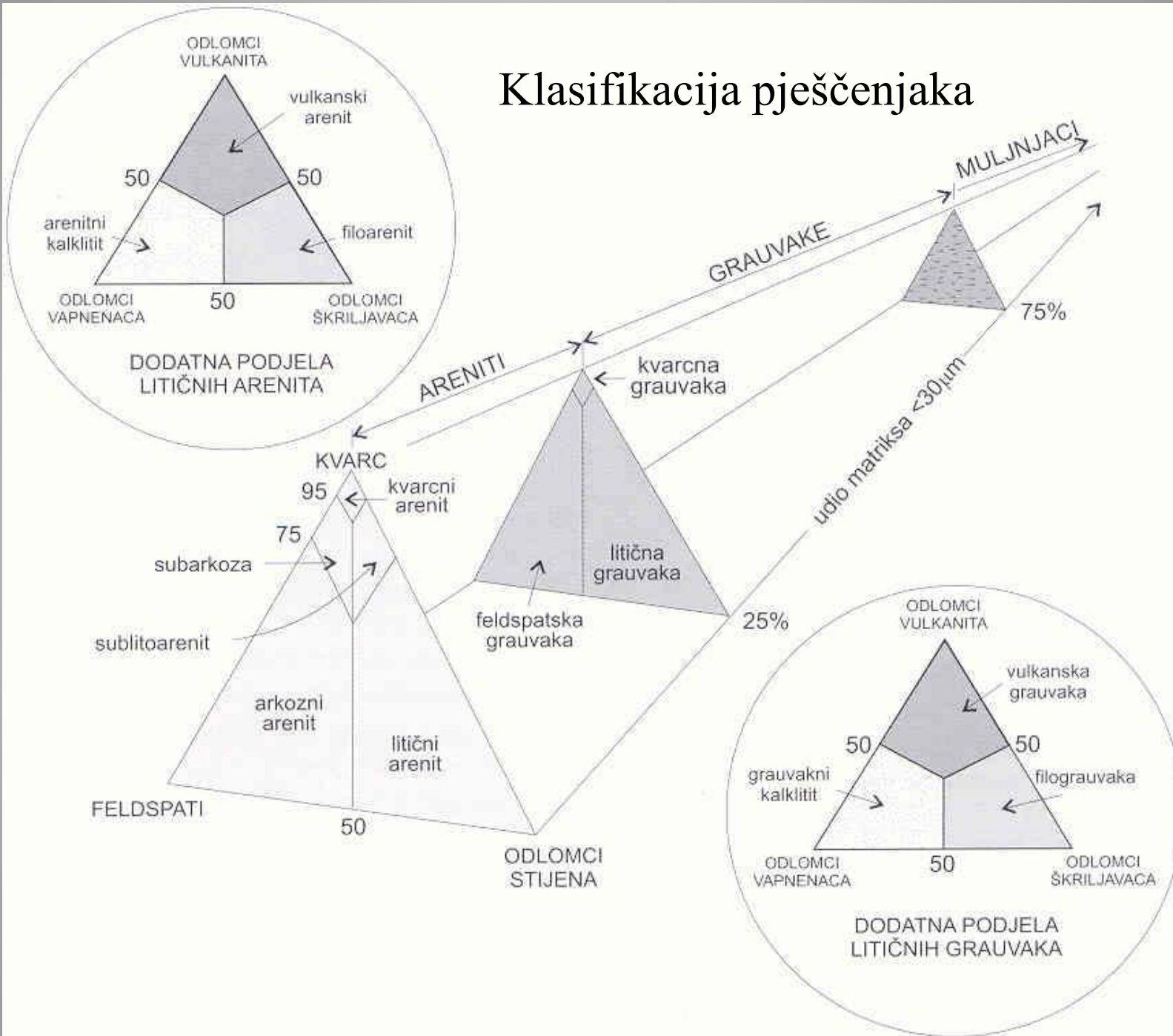
horizontalna
laminacija (taložna)



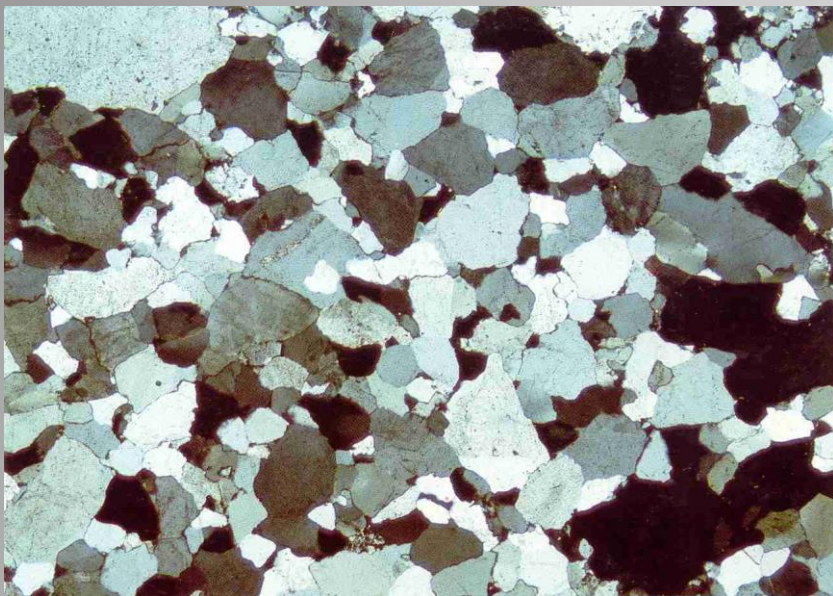
Sastav klastita



Klasifikacija pješčenjaka

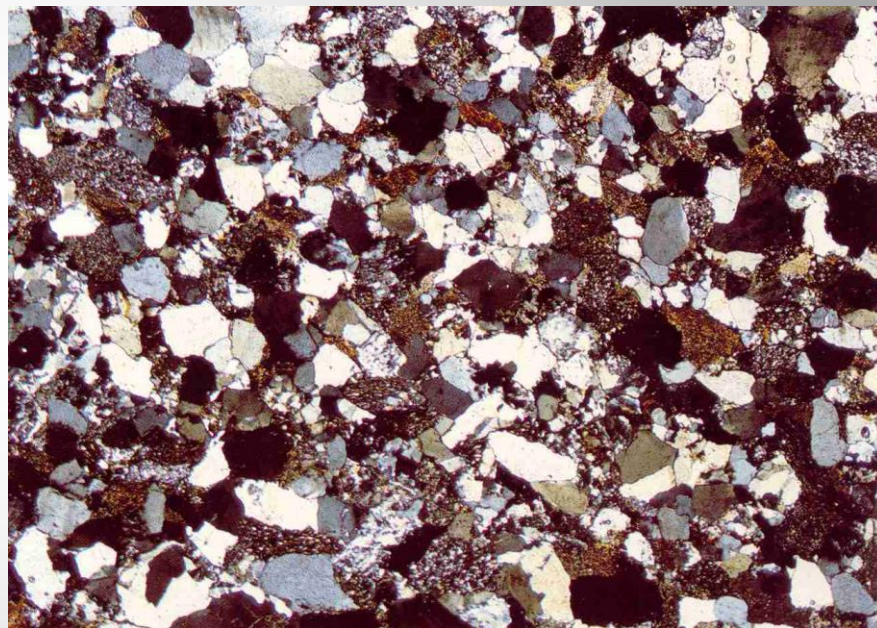


Kvarcni arenit

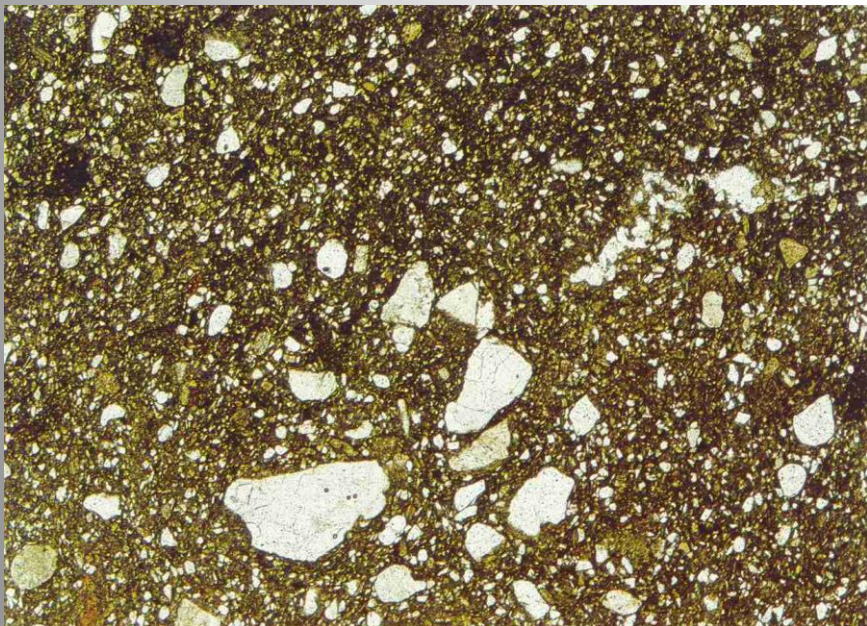


Klasifikacija pješčenjaka

Litični arenit



Grauvaka



KARBONATNI SEDIMENTI

U karbonatne sedimentne stijene ubrajaju se vapnenci, dolomitični vapnenci i dolomiti. Postoje svi međusobni prijelazi od vapnenaca u dolomite. Mineraloški gledano, vapnenci se dominantno sastoje od kalcita, Mg-kalcita i/ili aragonita, dolomitični vapnenci od kalcita i dolomita, a dolomiti od dolomita. Uglavnom nastaju biološkim i biokemijskim procesima, a samo manjim dijelom i čisto kemijskim procesima, anorganskim izlučivanjem. Osim prevladavajućih karbonatnih minerala, karbonatni sedimenti mogu sadržavati i varijabilni udio siliciklastičnog materijala dimenzija silta, pijeska i gline, te neke autigene minerale (kvarc, opal, kalcedon, anhidrit, gips, ...).

VAPNENCI

Vapnenaca ima posvuda u svijetu u svim geološkim razdobljima od kambrija naovamo. Oni svjedoče o promjenjivoj sudbini beskralježnjaka karbonatnog skeleta, i to kroz njihovu evoluciju i izumiranje. Prekambrijskih karbonata ima također u obilnim količinama, ali to su uglavnom dolomiti, većinom stromatolitnog postanka. Vapnenci mogu nastajati gotovo svugdje, budući da organizmi karbonatnih skeleta žive posvuda u svjetskim morima i oceanima. Postoji nekoliko faktora koji reguliraju taloženje vapnenaca, a najvažniji su temperatura, salinitet, dubina vode i sedimentacija terigenih siliciklastita. Mnogi organizmi karbonatnog skeleta uspijevaju samo u toploj vodi (npr. grebenotvorni koralji, mnoge vapnenačke zelene alge...), pa stoga glavnina vapnenaca nastaje u tropsko-suptropskom pojasu, približno 30° sjeverno i južno od ekvatora. Nadalje, biološka proizvodnja karbonata najveća je u morskoj vodi normalnog saliniteta, u plitkom (dubine manje od 10 m), uzburkanom dijelu fotičke zone (dubina do koje dopire svjetlost, cca 100-200 m), te u okolišu koji nije „onečišćen” donosom siliciklastičnog materijala. Vapnenci mogu nastajati i u slatkoj vodi (slatkovodni, kontinentalni vapnenci), u područjima viših geografskih širina, te u dubljevodnim okolišima, ali je njihova produkcija u tim okolišima znatno slabija. Ekonomski značaj vapnenaca danas se ponajviše odnosi na njihov rezervoarski kapacitet (sadrže približno polovicu svjetskih rezervi nafte), u njima su smještena neka sulfidna ležišta olova i cinka, koriste se u razne kemijske i industrijske svrhe (npr. proizvodnja cementa).

VAPNENCI

- Mineralni sastav

U recentnim vapnenačkim talozima, kao glavni mineralni sastojci, pojavljuju se **kalcit i aragonit**. To su polimorfne modifikacije kalcijevog karbonata. Ovisno o sadržaju magnezija postoje dvije vrsta kalcita: niskomagnezijski kalcit s manje od 4 mol% MgCO_3 i visokomagnezijski kalcit s više od 4 mol% MgCO_3 , najčešće raspona 11-19 mol.% MgCO_3 . Za usporedbu, aragonit ima vrlo nizak sadržaj Mg (manje od 5000 ppm), ali zato može sadržavati i do 10000 ppm (1%) stroncija (Sr) koji zamjenjuje kalcij. Mineralni sastav recentnih vapnenačkih taloga ovisi većinom o prisutnim skeletnim i neskeletnim česticama. Karbonatni skeleti organizama imaju specifičan mineralni sastav ili smjesu minerala.

Organizam	Mineralni sastav			
	Aragonit	Nisko-Mg kalcit	Visoko-Mg kalcit	Aragonit + kalcit
Mekušci				X
školjkaši	X	X		X
puževi	X			
pteropodi	X		(X)	
glavonošci	X			
Ramenonošci		X	(X)	
Koralji				
skleraktinijski	X		X	
rugozni + tabulatni		X		
Spužve	X	X	X	
Mahovnjaci	X		X	X
Bodljikaši			X	
Ostrakodi		X	X	
Foraminifere			X	
bentičke	(X)	X		
pelagičke				
Alge		X		
kokolitoforidi			X	
Rhodophyta	X			
Chlorophyta	X	X		
Charophyta				

Tablica 4.3 Mineralni sastav karbonatnih skeleta (X, prevladavajući mineral; (X), manje zastupljen mineral). Tijekom dijageneze, ovi minerali mogu se izmijeniti ili biti zamijenjeni drugim mineralima; to se osobito odnosi na aragonit koji je metastabilan i uvijek ga zamjenjuje kalcit, a visokomagnezijski kalcit gubi svoj magnezij.

Vapnenac može biti i dolomitiziran, pri čemu dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ zamjenjuje CaCO_3 minerale. U nekarbonatne minerale u vapnencima ubrajaju se terigeni kvarc i glina, te pirit, hematit. Evaporitni minerali, osobito gips i anhidrit, čestu su tijesno povezani s vapnencima.

! Aragonit je nestabilnija modifikacija kalcijevog karbonata, a visokomagnezijski kalcit s vremenom gubi svoj Mg. Zbog toga tijekom dijageneze svi karbonatni sedimenti primarno miješanog mineralnog sastava prelaze u niskomagnezijski kalcit!

VAPNENCI

- Fizikalni, kemijski i biološki uvjeti postanka vapnenaca

Kao što je već spomenuto, optimalni uvjeti, odnosno okoliši, za postanak vapnenaca jesu plitka mora s visokom temperaturom vode, malim donosom terigenog materijala i povoljnim ekološkim uvjetima za život organizama koji svoje skelete i ljuštore izgrađuju od karbonatnih minerala. U dubljem moru je produkcija karbonata mnogo slabija jer izravno ovisi o stupnju zasićenosti vode Ca-hidrogenkarbonatom, koja se porastom dubine smanjuje. Dubina vode na kojoj je topljivost karbonata jednaka njihovu izlučivanju naziva se kalcitna kompenzacijska dubina – CCD (*Calcite Compensation Depth*). Ispod te dubine Ca-karbonati su nestabilni, otapaju se, te se ne mogu izlučivati. U današnjim svjetskim morima CCD granica varira u ovisnosti o geografskoj širini, temperaturi i salinitetu. Između 40° sjeverne i 40° južne zemljopisne širine ona se u Atlantskom oceanu nalazi između 4400 i 4900 m, dok je primjerice u područjima između 40° i 50° ona puno pliće, na dubini od 1000 do 2000 m. Kompenzacijska dubina aragonita (ACD) bitno je plića od CCD-granice - između 40° sjeverne i 40° južne zemljopisne širine ona se u Atlantskom oceanu nalazi između 1700 i 1800 m.

Izlučivanje Ca-karbonata iz otopine prezasićene s Ca-hidrogenkarbonatom zbiva se prema slijedećoj reakciji: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Izlučivanje aragonita pospješeno je:

- visokim molarnim odnosom Mg/Ca
- višom temperaturom vode (20 do 30° C)
- povećanom pH vrijednosti
- prisutnošću iona Sr, Mg, Ba, Pb
- prisutnošću nekih organskih komponenata u vodi

Izlučivanje kalcita pospješeno je:

- niskim molarnim odnosom Mg/Ca
- niskom temperaturom vode (oko 10° C)
- nižom pH vrijednosti (ali ne manje od 7,8)
- prisutnošću SO_4 aniona, NaCO_3 i $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
- prisutnošću organskih spojeva u vodi kao što su Na-citrati i Na-malonati

VAPNENCI

Izolirana karbonatna platforma – jedan od okoliša s optimalnim uvjetima za intenzivnu produkciju karbonata (plitko, toplo, uzburkano more, bez donosa materijala s kopna, povoljno za život organizama koji svoje skelete grade od Ca-karbonata)



VAPNENCI

- Sastojci vapnenaca

Sastojci vapnenaca mogu se podijeliti u četiri grupe: neskeletne čestice, skeletne čestice, mikrit i sparit.

- Neskeletne čestice – to su one komponente vapnenaca koje ne sadrže skelete ili kršje skeleta ili ljuštura. U njih spadaju ooidi, onkoidi, pizoidi, peloidi i peleti, intraklasti.

Ooidi – su kuglasto do jajolika zrna sastavljena od jezgre i oko nje koncentrično raspoređenih ovojnica.

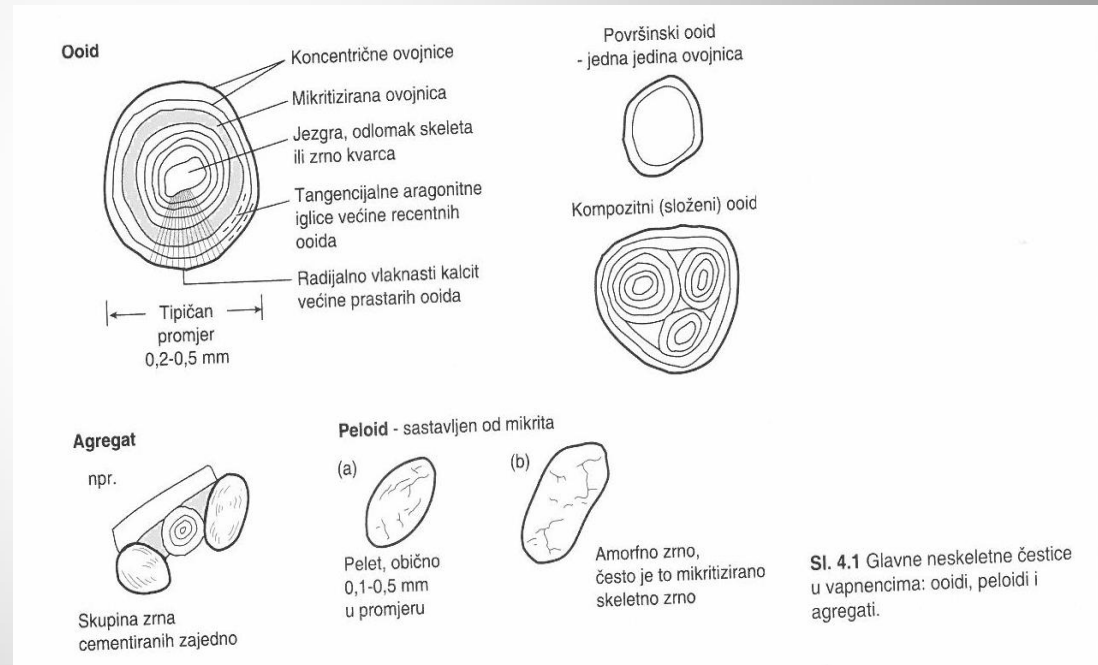
Promjera su do 2 mm.

Pizoidi – po građi slična zrna ooidima, samo su većih dimenzija.

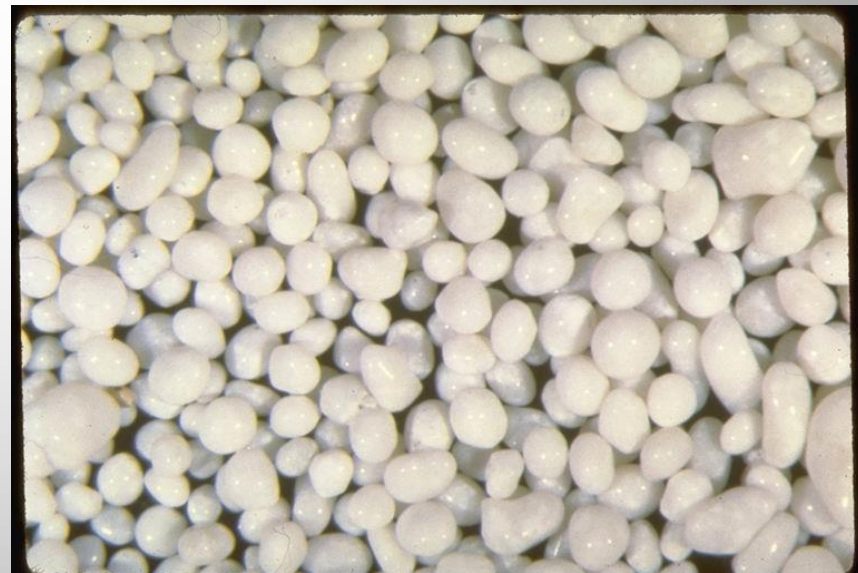
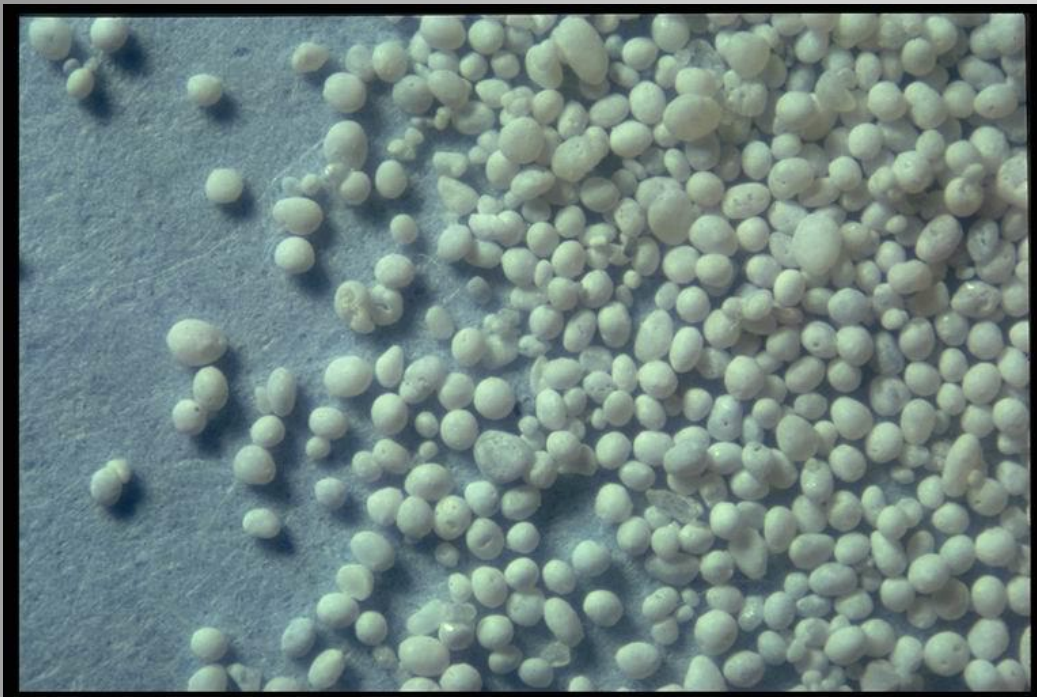
Onkoidi – zrna obavijena mikrobnim ovojnicama, nastala biogenim oblaganjem, djelatnošću cijanobakterija.

Peleti i peloidi – kuglasta, elipsoidalna do vretenasta zrna, pretežno promjera 0,5 mm, mikritne građe

Intraklasti – karbonatna zrna nastala unutar sedimentacijskog prostora erozijom karbonatnih taloga neposredno nakon njihova taloženja



Ooidi – ooidni pijesak



Ooidi-unutrašnja građa (mikroskopski preparat)



Onkoidi



Figure 58—Cross section of an oncolite developed around a gastropod-shell nucleus from Ore Lake, Michigan. Concentric layering is the result of annual couplets of porous and dense laminae (Jones and Wilkinson, 1978). Bar = 2 cm. Photograph by Bruce H. Wilkinson.

Figure 61—Oncolites in outcrop of the Flagstaff Member (Paleocene-Eocene), of the Green River Formation, near Red Narrows, Utah County, Utah. Light Area in center = Approx. 5 mm (Weiss, 1969).

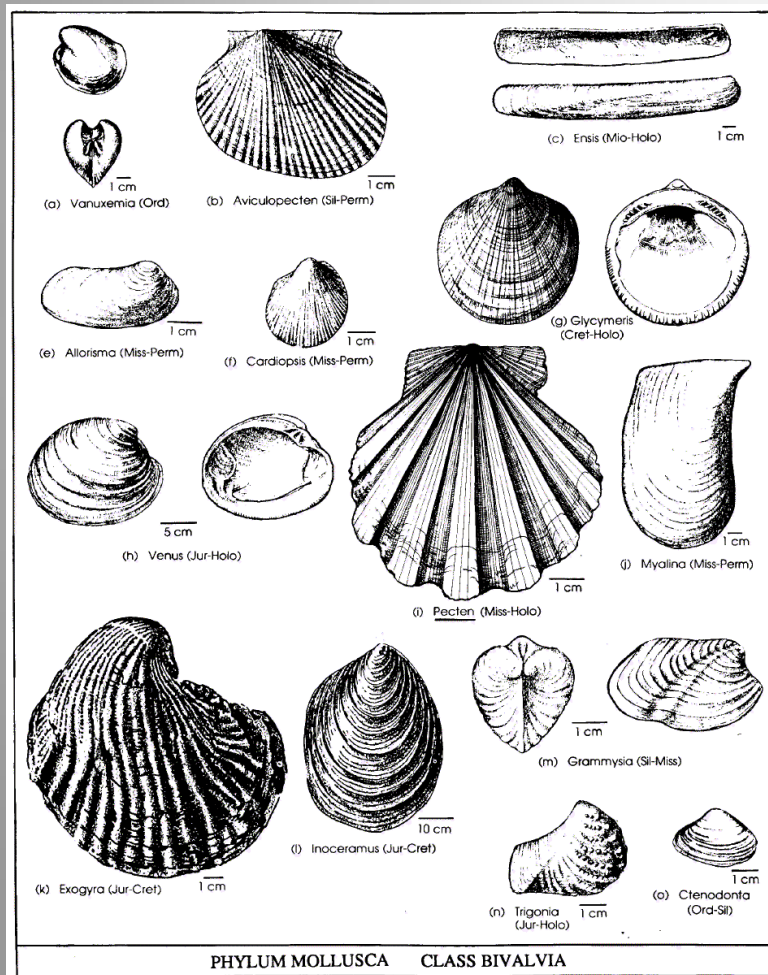


VAPNENCI

- Sastojci vapnenaca

Skeletne čestice – to su u cijelosti sačuvani ili fragmentirani skeleti ili ljuštore vapnenačkih organizama. Glavni organizmi čiji su skeleti doprinijeli taloženju vapnenaca su slijedeći: *školjkaši*, *puževi*, *glavonošci*, *ramenonošci*, *koralji*, *bodljikaši*, *mahovnjaci*, *foraminifere*, *spužve*, *alge*.

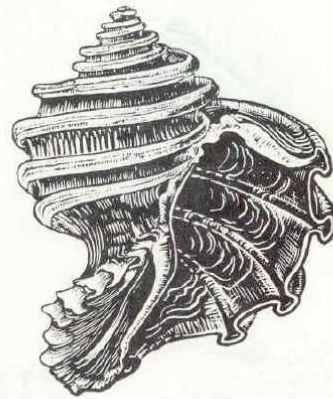
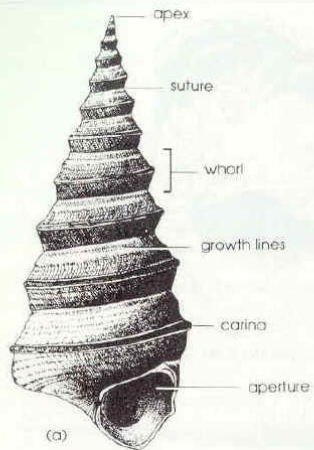
Školjkaši



Fragmenti školjkaša (mikroskopski preparat)

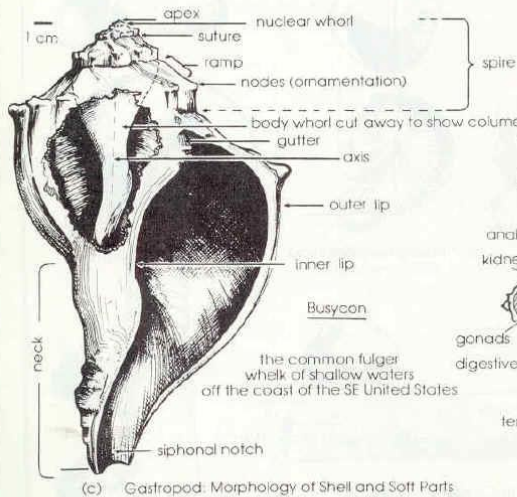


Puževi

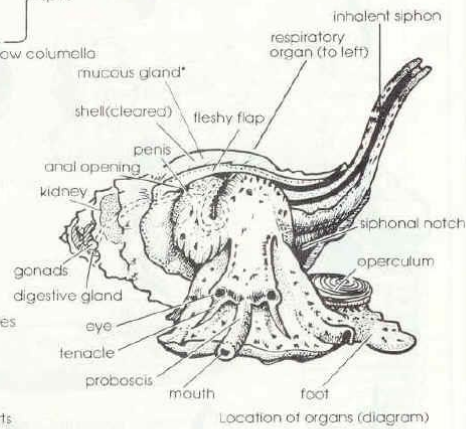


(b) *Ecphora* (Filiac.)

1 cm



(c) Gastropod: Morphology of Shell and Soft Parts



(d) Generalized gastropod, anterior view

PHYLUM MOLLUSCA CLASS GASTROPODA

Koralji





Figure 40b—Crinoid-bryozoan grainstone
from Mississippian strata of
southeastern Missouri.

Bodljikaši



Foraminifere

Zelene alge (Codiacea)



Zelena alga (Halimeda)



Prevlake cijanobakterija (stromatoliti)



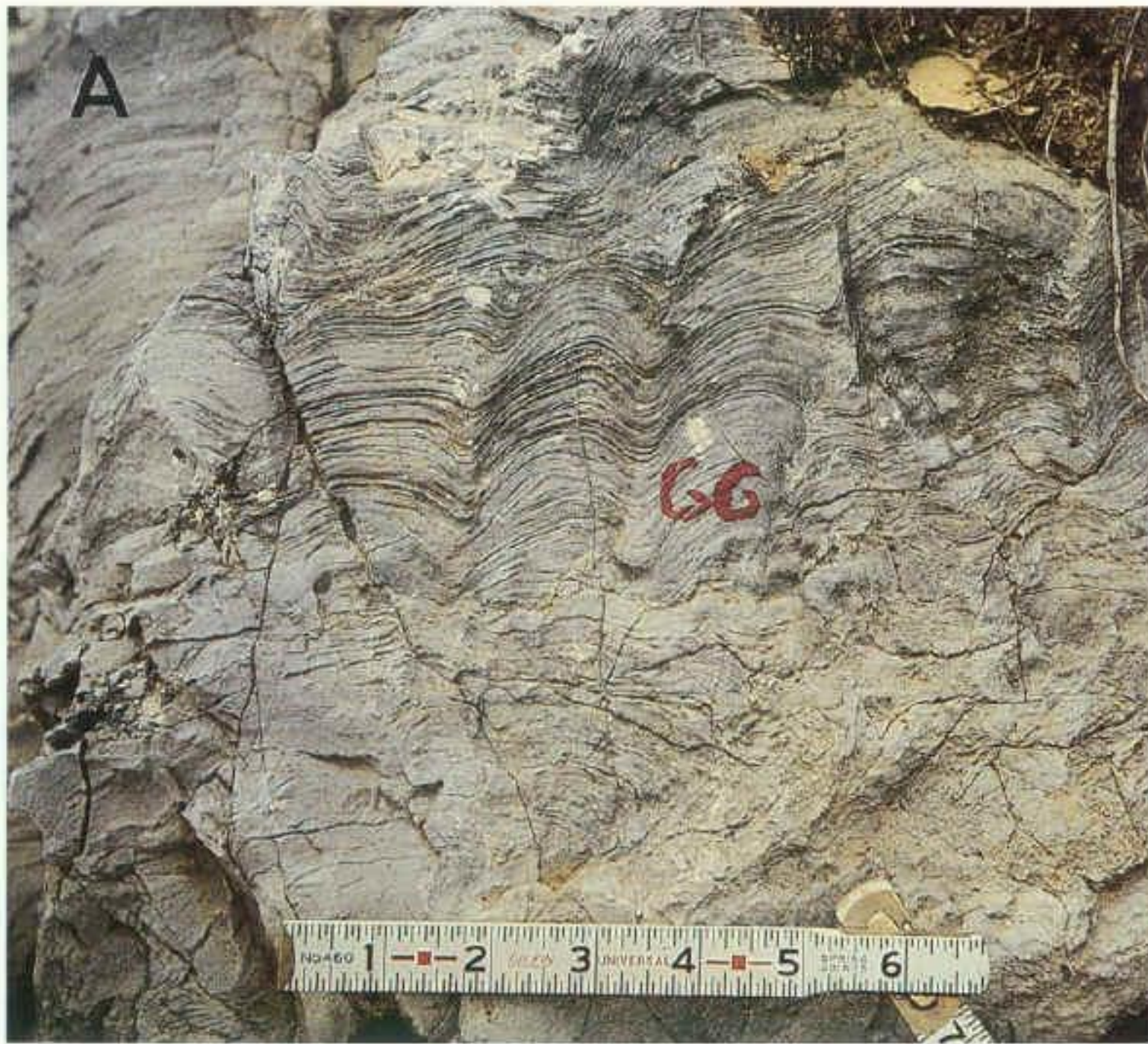
Stromatolitni sediment s pukotinama isušivanja



Laminacija u stromatolitnom sedimentu



Stromatoliti u
vapnencu



VAPNENCI

-Sastojci vapnenaca

Mikrit – mikrokristalinični kalcit, čija su zrna manja od $4\mu\text{m}$ - litificirani karbonatni mulj - uglavnom predstavlja matriks u mnogim zrnatim vapnencima, a može biti i glavni i jedini sastojak u sitnozrnatim vapnencima. Glavni proces postanka mikrita je **raspadanje vapnenačkih zelenih algi**. Na taj način nastaju ogromne količine sitnih, primarno aragonitnih čestica, koje kasnije u djagenezi prelaze u mikrokristalinični kalcit (mikrit). Osim dezintegracijom vapnenačkih algi, mikrit može nastati i **bioerozijom**, kojom organizmi, kao što su spužve bušaći, mikrobi, napadaju karbonatna zrna i podlogu; **mehaničkim raspadanjem skeletnih čestica** radom valova i struja; **biokemijskim izlučivanjem** direktno iz otopine.

Sparit – obuhvaća bistre, prozirne kristaliće kalcita promjera većeg od $10\mu\text{m}$ koji su se izlučili kao cement u porama vapnenačkog taloga. Osim precipitacijom, sparit može nastati i rekristalizacijom.

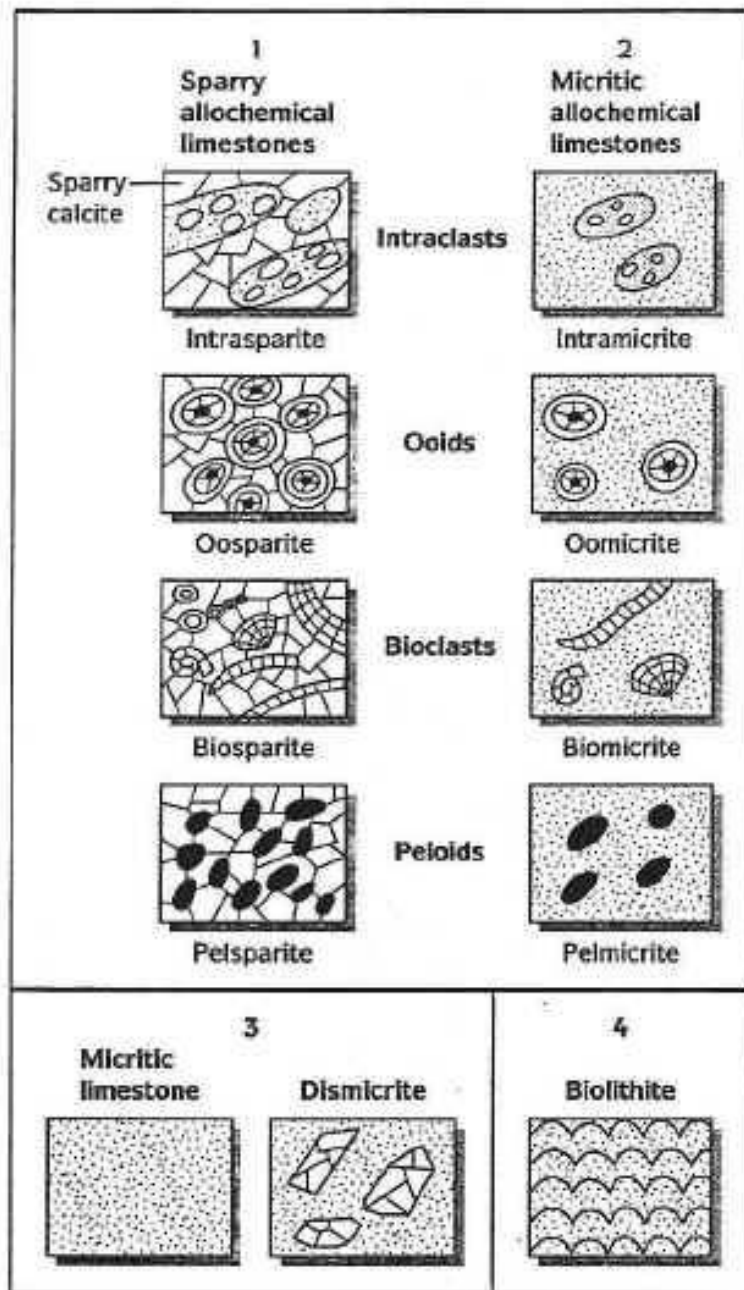


Figure 11.1

(A) R. L. Folk's (1959, 1962) classification of limestones, which uses prefixes to indicate the framework grains present (*bio-* for fossils, *pel-* for peloids, *oo-* for ooids, and *intra-* for intraclasts) and stems to indicate whether the interstitial calcite is micritic or sparry. If the rock is originally bound together (as in a reef rock), it is a *biolithite*. (B) Textural maturity classification of limestones proposed by Folk (1962). Textural maturity classes are based on the percentage of allochems present, their degree of sorting, and the extent of rounding (a function of abrasion history). (After Folk, 1962, *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 1*; reprinted by permission of the American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Okla.)

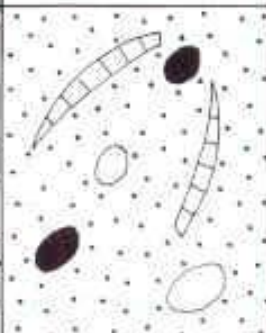
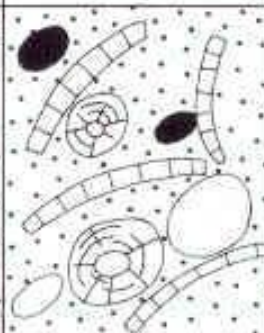
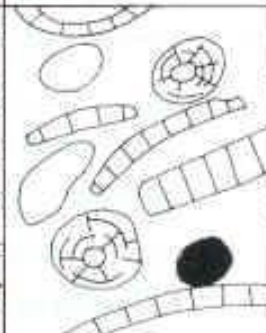
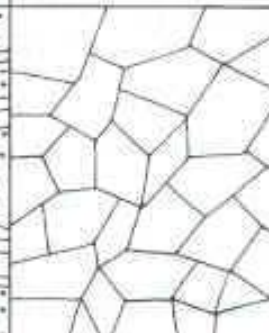
Depositional texture recognizable					Depositional texture not recognizable
Original components not bound together during deposition				Original components were bound together	
Contains mud (clay and fine silt-size carbonate)			Lacks mud and is grain supported		
Mud-supported		Grain-supported			
Less than 10% grains	More than 10% grains				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline
					

Fig. 1.16 *Dunham's (1962) classification of limestones with schematic diagrams of each rock type.*

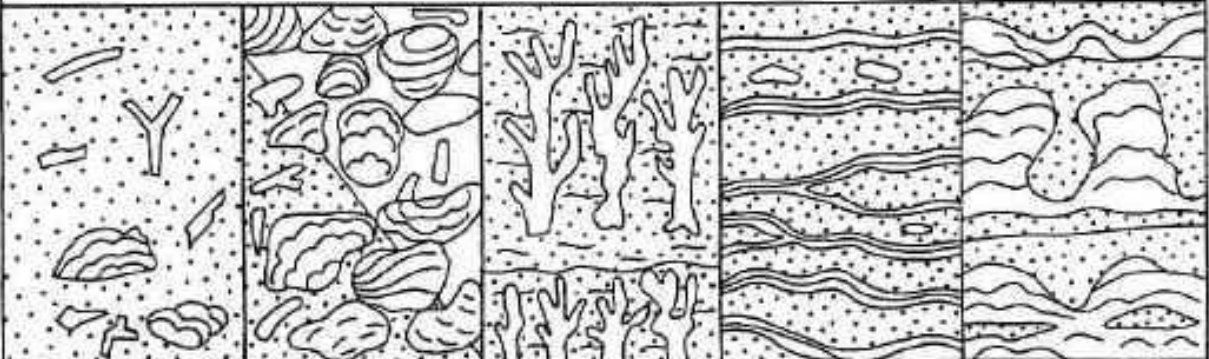
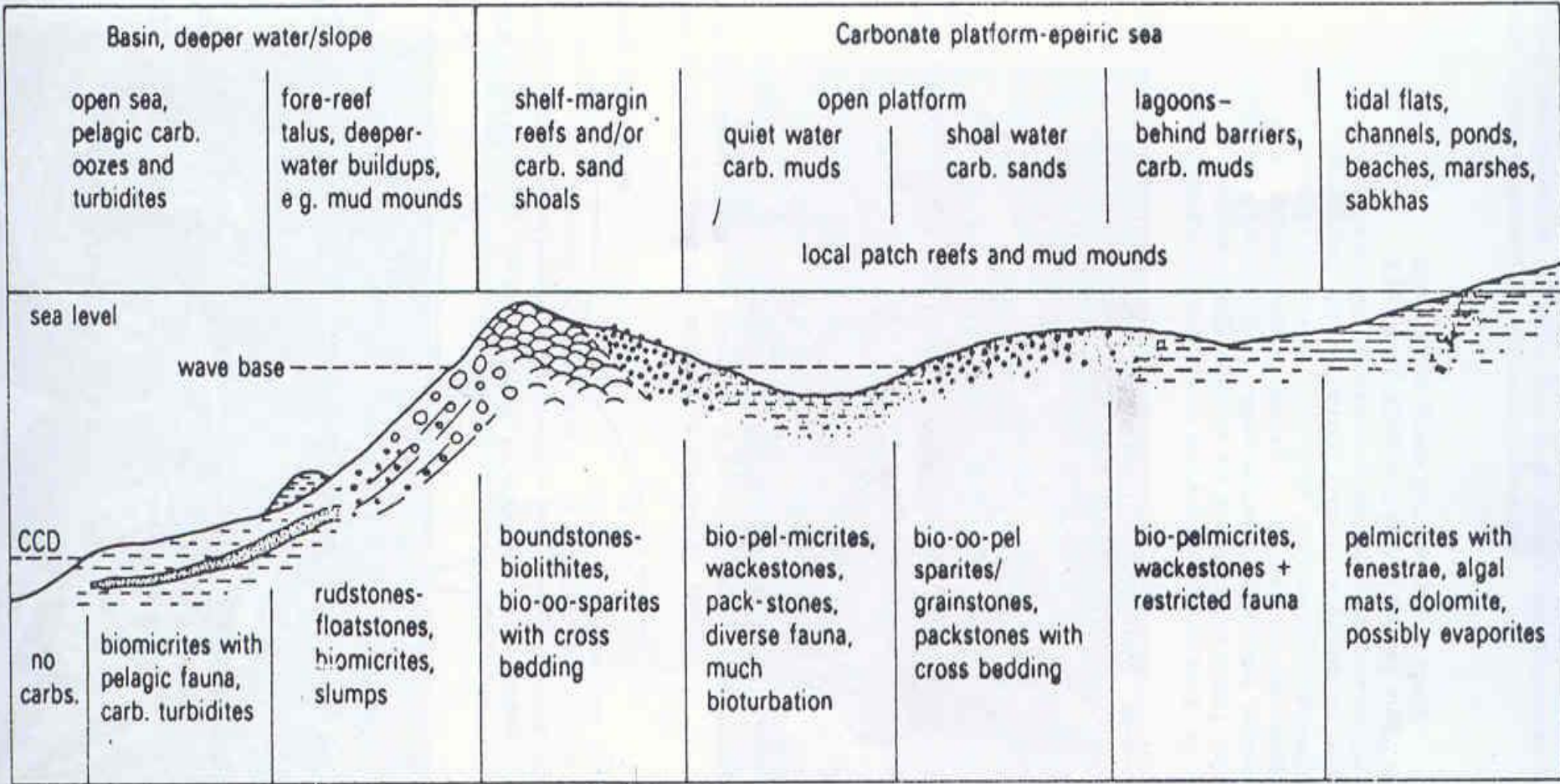
Allochthonous		Autochthonous		
Original components not organically bound during deposition		Original components organically bound during deposition		
>10% grains >2mm				
Matrix supported	Supported by >2mm component			
		By organisms which act as baffles	By organisms which encrust and bind	By organisms which build a rigid framework
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone
				

Fig. 4.94 Textural classification of reef limestones. Based on Embry & Klovan (1971) and James (1984b).



SILICIJSKI SEDIMENTI

U silicijske sedimente ubrajamo stijene pretežno sastavljene od krypto- do mikrokristalastog kvarca, kalcedona i/ili opala. Silicijski sedimenti mogu nastati kao primarne stijene (uglavnom su tada slojeviti), akumulacijom biogeno ili anorganski izlučenih spomenutih silicijskih minerala ili silicifikacijskim procesima iz već postojećih taloga ili sedimentnih stijena (vapnenaca, dolomita, lapora, tufova) (tada su uglavnom nodularni). Najvažniji organizmi koji svojim opalnim skeletima sudjeluju u stvaranju silicijskih sedimenata jesu dijatomeje, radiolarije, spikule spužvi kremenjašica (silicispongija) i silikoflagelati.

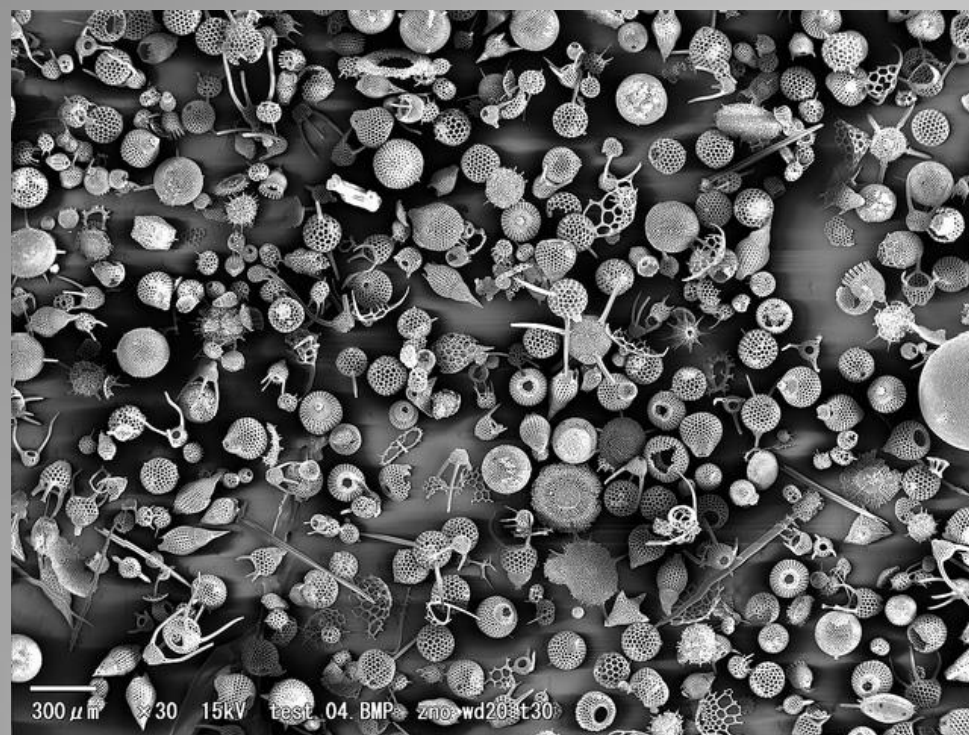
U ovisnosti o stupnju litifikacije i poroznosti razlikuju se tri osnovna tipa: muljevi; porozne, poluočvrnute zemlje; čvrsto litificirane stijene

Tablica 11-1. Podjela i klasifikacija silicijskih sedimenata

prevladavajući Si-sastojak	nevezani talog taložen na dnu sedimentacijskog bazena	slabo do umjereno litificirani sedimenti s visokom poroznošću	izrazito čvrsta gusta stijena bez poroznosti
dijatomeje	DIJATOMEJSKI MULJ	DIJATOMEJSKA ZEMLJA (Kieselgur)	DIJATOMIT
radiolarije	RADIOLARIJSKI MULJ	RADIOLARIJSKA ZEMLJA	RADIOLARIT (LIDIT)
spikule spužvi	SPIKULNI MULJ	POROZNI SPIKULIT	SPIKULIT
autigeni kriptokristalasti do mikrokristalasti kvarc, kalcedon ili opal	–	TRIPOLI, PORCULANIT, GEJZIRIT	SLOJEVITI ROŽNJAK, NODULARNI ROŽNJAK, FLINT

SILICIJSKI SEDIMENTI

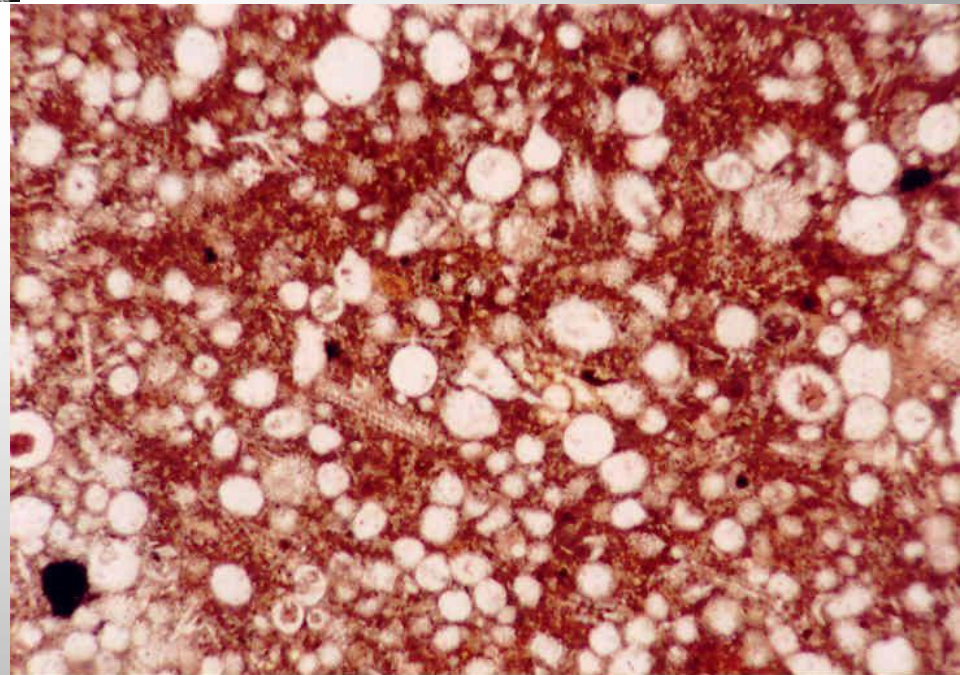
Uslojeni silicijski muljevi prvenstveno se talože u abisalnim područjima, gdje dubine premašuju kalcitnu kompenzacijsku dubinu (CCD) (4500m). Ima ih osobito tamo gdje je velika proizvodnja organske tvari u pripovršinskim vodama. Dijatomeje prevladavaju u silicijskim muljevima u Južnom oceanu oko Antarktike i u sjevernom dijelu Tihog oceana. Muljeva bogatih radiolarijama ima u ekvatorskim područjima Tihog i Indijskog oceana. Kompenzacijska dubina opala (OCD) je približno 6000m.

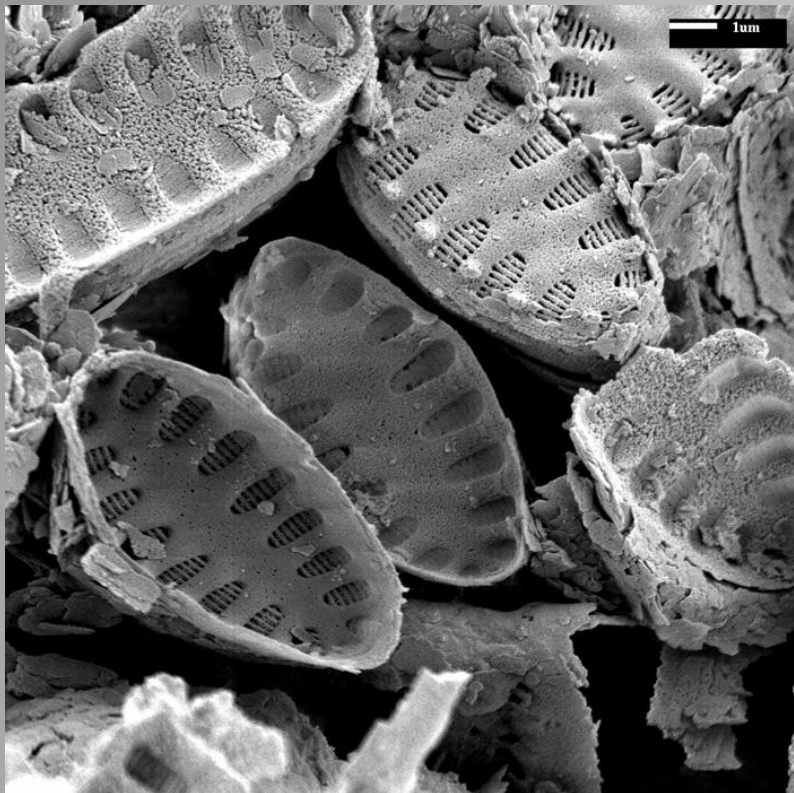


radiolarije

Neki slojeviti rožnjaci pojavljuju se zajedno s vulkanskim stijenama. Oni su uglavnom istaloženi unutar ili iznad jastučastih lava. Slojeviti rožnjaci s kojima nema vulkanita, obično su u zajednici s pelagičkim vapnencima, te siliciklastičnim i karbonatnim turbiditima

radiolarijski rožnjak





dijatomeje

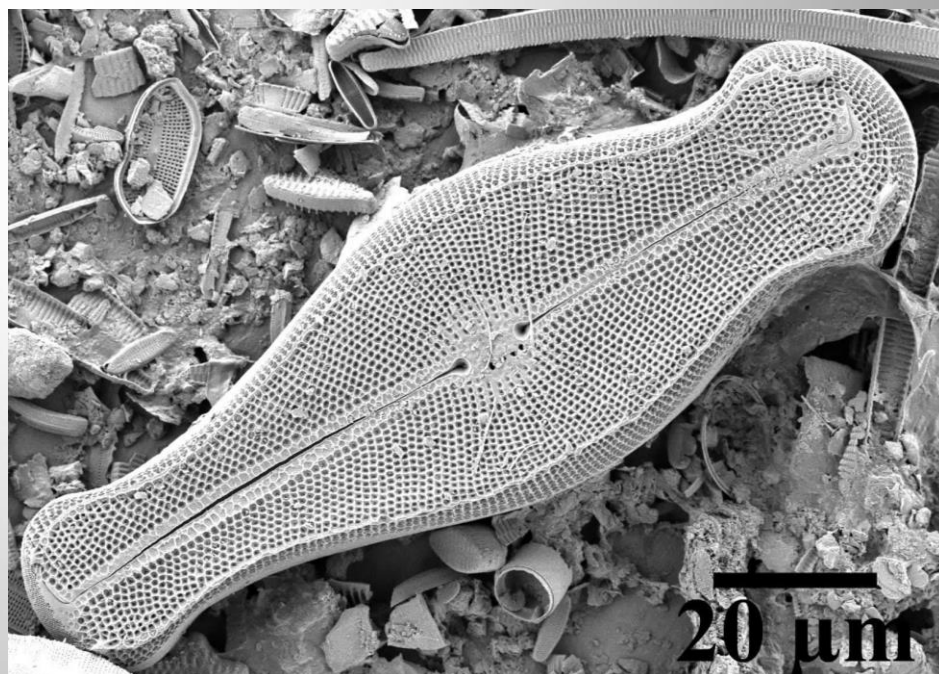
Postanak rožnjaka – dva su opća gledišta o postanku rožnjaka:

1. Prema jednom, rožnjaci su u cijelosti biogenog postanka, bez ikakve veze s magmatskom aktivnošću
2. Prema drugom, rožnjaci su produkt podmorskog vulkanizma, bilo da se radi o izravnim procesima anorganskog izlučivanja iz podvodnih magmi i hidrotermalne aktivnosti ili je pak riječ o neizravnim procesima cvjetanja planktona izazvanog podmosrkim vulkanizmom

SILICIJSKI SEDIMENTI

Nodularnih rožnjaka ima najviše u karbonatnim stijenama „domaćinima”. To su manje do veće, približno kuglaste do nepravilne nodule, obično koncentrirane duž određenih slojnih ploha. Česti su u šelfnim vapnenacima. Nodularni rožnjaci posjeduju dosta dokaza o dijagenetskom porijeklu (npr. sačuvana, silicificirana vapnenačka zrna). Raspršena biogena silika otapa se i ponovno izlučuje kao opalna supstancija u ishodištima nodula. Opal prvo ispunjava porni prostor, a zatim zamjenjuje karbonatne čestice i matriks. Njegovo dozrijevanje u mikrokvarc ili kalcedon širi se iz središta nodula prema van.

dijatomeje

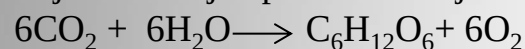


Ugljen, naftni šejlovi, nafta

Organska tvar u recentnim i prastarim sedimentima rezultat je njezina primarnog unosa i kasnijih procesa dijageneze. Veći dio organske tvari, međutim, razgradi se pomoću kisika u ugljikov dioksid i vodu, a budući da je većina prirodnih okoliša oksična (bogata kisikom) većina sedimentnih naslaga sadrži vrlo male količine organske tvari. Pješčenjaci prosječno sadrže 0,05%, vapnenci približno 0,3%, a sitnozrnati sedimenti 2% organske tvari. Organska tvar ostaje najbolje sačuvana u anoksičnim uvjetima, kakvi vladaju u ustajalim jezerima i stratificiranim marinskim bazenima, močvarama, te tamo gdje se tijekom rane dijageneze uspostave anoksični uvjet. i U uvjetima niskih koncentracija kisika razgradnja organske tvari je nepotpuna. U procesu razgradnje, koji je aktivan u većini kopnenih i mnogih podvodnih okoliša, najviše sudjeluju bakterije i drugi mikrobi.

Fotosinteza je osnovni proces proizvodnje biljne organske tvari i zapravo je sami temelj sveg života na Zemlji. Njome biljke proizvode ugljikovodike iz ugljikovog dioksida i vode, koristeći sunčevo svjetlo kao energiju i klorofile kao katalizator.

Pojednostavljen prikaz reakcije fotosinteze:



Razgradnja organske tvari u oksičnom okolišu odvija se posredstvom kisika i u biti je obrnuti proces fotosinteze.

Truljenjem u anoksičnim uvjetima, kada kisika ima vrlo malo ili ga uopće nema, nastaju ugljikovodici i drugi složeniji organski spojevi.

Recentne naslage organske tvari: humus (svježa organska tvar u procesu truljenja u gornjim profilima tla; s vremenom se većina humusa oksidira i ne tvori znatnije količine fosilnih organskih naslaga), treset (gusta masa od *in situ* nastalih biljnih ostataka drveća, lišća, mahovina, šaša, koja se akumulira u močvarnim područjima gotovo na svim geografskim širinama; od njih nastaju različiti tipovi ugljena) i sapropel (organski materijal koji se transportira i akumulira iz suspenzije u plitkim i dubokim marinskim bazenima, lagunama i jezerima; organska tvar potječe od fitoplanktona i zooplanktona).

Nazivi koji se koriste za organski materijal u sedimentnim stijenama su sljedeći:

- Fitoklast – prepoznatljivi biljni fragmenti (drvo, list ...)
- Bitumen – tekući ili kruti ugljikovodici topljivi u organskim otapalima
- Asfalt – kruti ili polukruti bitumen koji potječe od nafte bogate cikloparafinskim ugljikovodicima
- Kerogen – organske tvari netopljive u organskim otapalima
- Nafta – sastoji se od zemnih ulja u kojima mogu biti otopljeni plinovi (metan, etan, propan, butan); u većini slučajeva je migrirala iz matičnih stijena u porozne rezervoarne stijene.

EVAPORITI

Evaporiti su poglavito kemijski sedimenti izlučeni iz vode nakon što se isparavanjem povećala koncentracija otopljenih soli. Glavni evaporitni minerali su:

Marinski evaporitni minerali		Nemarinski evaporitni minerali	
halit	NaCl	halit, gips, anhidrit	
silvit	KCl	epsomit	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
carnallit	$\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	trona	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
kainit	$\text{KMgClSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	mirabilit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
anhidrit	CaSO_4	thenardit	NaSO_4
gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	bloedit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
polihalit	$\text{K}_2\text{MgCa}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	gaylussit	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
kieserit	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	glauberit	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$

Razlikuju se dva glavna načina taloženja evaporita:

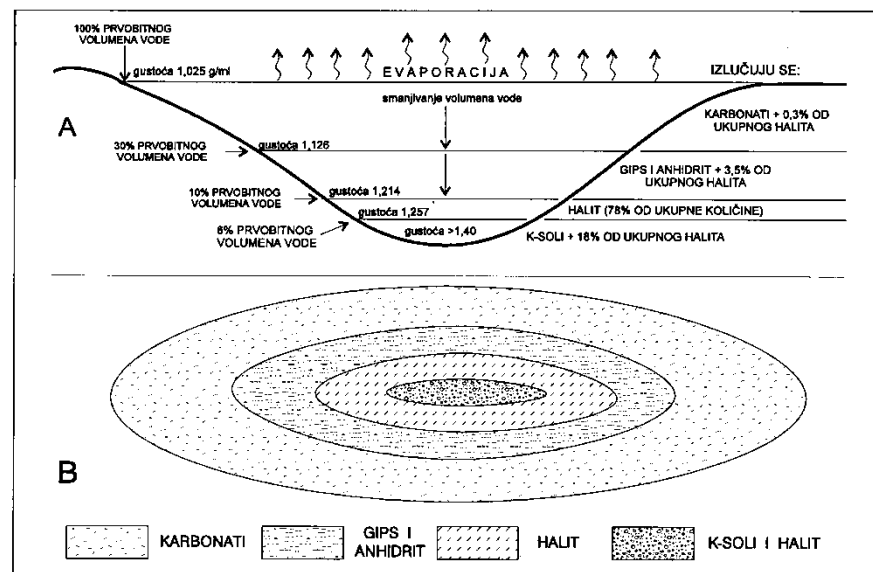
- Podvodno izlučivanje, u plitkim do dubokim vodenim tijelima malih (jezero/laguna) do velikih (intrakratonski/riftni bazeni) dimenzija
- Kopneno izlučivanje, unutar sedimenta (sabkha) ili u vrlo plitkim do isušanim „slanim tavama”

Podvodno izlučivanje evaporita u osnovi je jednostavan proces „kipućeg lonca”, pri čemu evaporitni minerali nastaju na granici voda-zrak, kao i nukleacijom na površini sedimenta (rast na dnu). U marinskim uvjetima potrebna je neka barijera koja omogućuje isparavanje do visokih saliniteta, ali i povremeno nadopunjavanje tog rasola (slanice) svježom vodom.

EVAPORITI

Evaporitna ležišta obično su ciklična. Vrlo debela slana ležišta intrakratonskih bazena uglavnom se sastoje od gipsa-anhidrita, halita, te tankog, vršnog sloja vrlo topljivih gorkih soli (kalijevi i magnezijevi kloridi i sulfati). Ovaj ciklus može se opetovano ponavljati

MINERAL	POVEĆANJE KONCENTRACIJE MORSKE VODE
Ca-karbonati i ranodijagenetski dolomit	< 3,5 puta
gips	3,5-4,8 puta
anhidrit	4,8-9,5 puta
halit	9,5-11 puta
K-Mg kloridi	> 60 puta

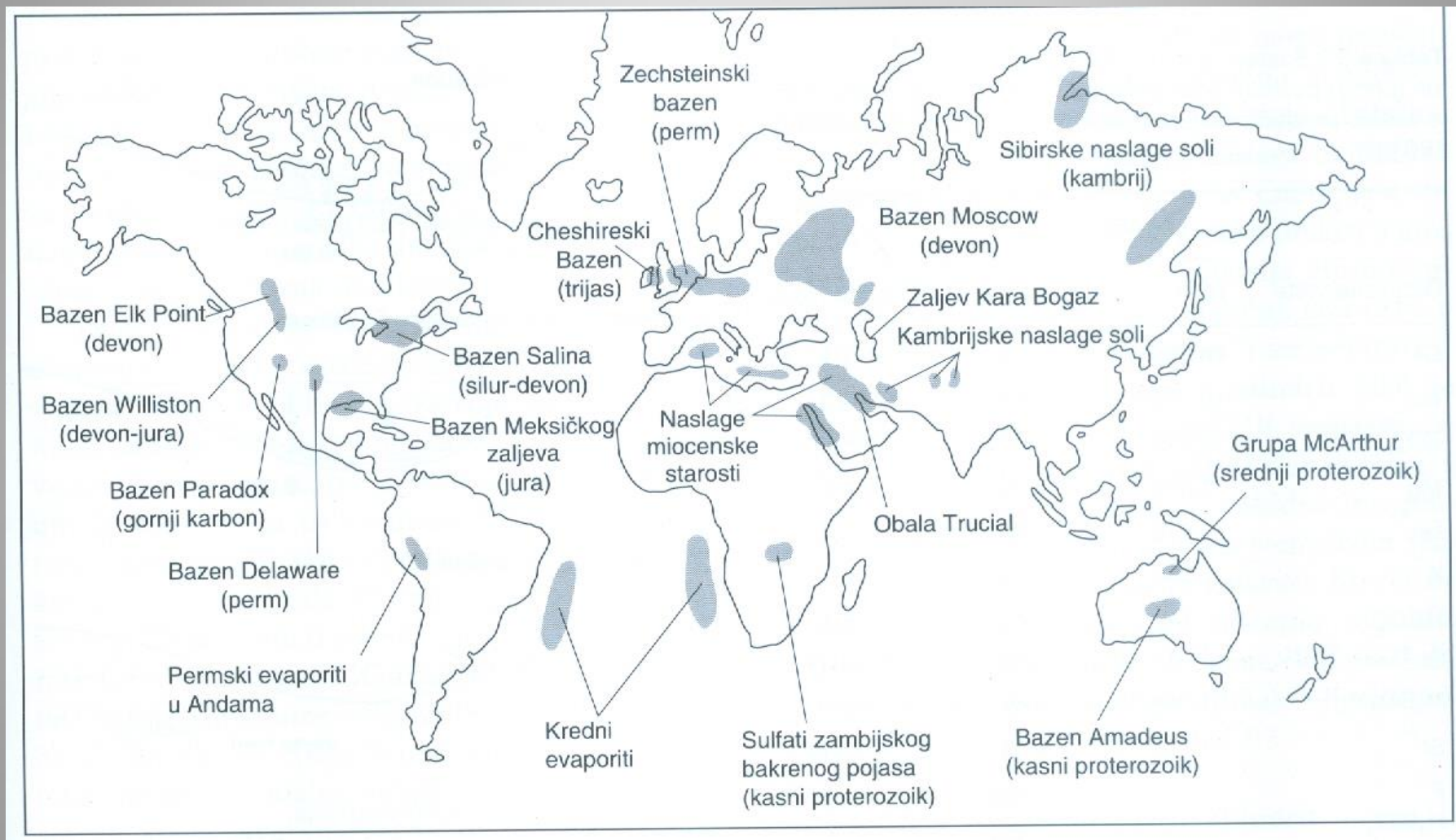


Slika 9-5 Shematski prikaz redoslijeda izlučivanja evaporitnih taloga (A) i rasporeda pojedinih facijesa (B) pri isparavanju morske vode u zatvorenom taložnom sustavu u ovisnosti od smanjenja početnog volumena morske vode normalnog saliniteta i porasta njezine gustoće. Izlučivanje halita zbiva se unutar svake pojedine faze (facijesa) i prikazano je u postocima ukupno izlučenog halita. K-soli se izlučuju tek kad je evaporacijom volumen vode smanjen na <6% od prvobitnog volumena, a njezina gustoća povećana na >1,257 g/cm³ (modificirano prema Einsele, 1992).

Evaporiti imaju veliki ekonomski značaj i široku primjenu. Njihovi slojevi čine ključnu komponentu mnogih naftnih polja u svijetu, tvoreći „kape” karbonatnih rezervoara ili čineći strukturne zamke zahvaljujući solnom dijapirizmu. Geološki gledano, evaporiti su korisni u paleoklimatološkim istraživanjima jer su uglavnom vezani za sušna područja niskih geografskih širina, gdje su temperature vrlo visoke, relativna vlažnost niska, a isparavanje daleko nadmašuje bilo koju količinu padalina.

EVAPORITI

Karta s lokalitetima glavnih svjetskih ležišta evaporita



VULKANOKLASTITI

VELIČINA FRAGMENTATA I ČESTICA	VRSTA KLASTA	NAZIV TALOGA (TEFRE)	KONSOLIDIRANA STIJENA
>64 mm	blokovi, vulkanske bombe	aglomerat	aglomerat, vulkanska breča
2–64 mm	lapili	lapilna tefra	lapilni tuf (<i>lapilstone</i>)
0,063–2 mm	krupni vulkanski pepeo	krupnozrnasti vulkanski pepeo	krupnozrnasti tuf
<0,063	sitni vulkanski pepeo	sitnozrnasti vulkanski pepeo	sitnozrnasti tuf (pelitni tuf)

Tablica 8–1 Granulometrijska klasifikacija piroklastičnog materijala (Schmid, 1981).

VRSTA STIJENE	UDIO MATERIJALA PIROKLASTIČNOG PODRIJETLA	UDIO MATERIJALA SEDIMENTNOG PODRIJETLA
AGLOMERATI, VULKANSKE BREČE I TUFOVI	>90%	<10%
TUFITI	50–90%	10–50%
TUFITIČNI SEDIMENTI (tufitični pješčenjaci, šejlovi, lapori, vapnenci i dolomiti)	10–50%	50–90%
SLABOTUFITIČNI SEDIMENTI	<10%	>90%

Tablica 8–2 Podjela i terminologija sedimenata sastavljenih od smjese piroklastičnog i sedimentnog materijala klastičnog, kemijskog i biokemijskog podrijetla (Konta, 1973).

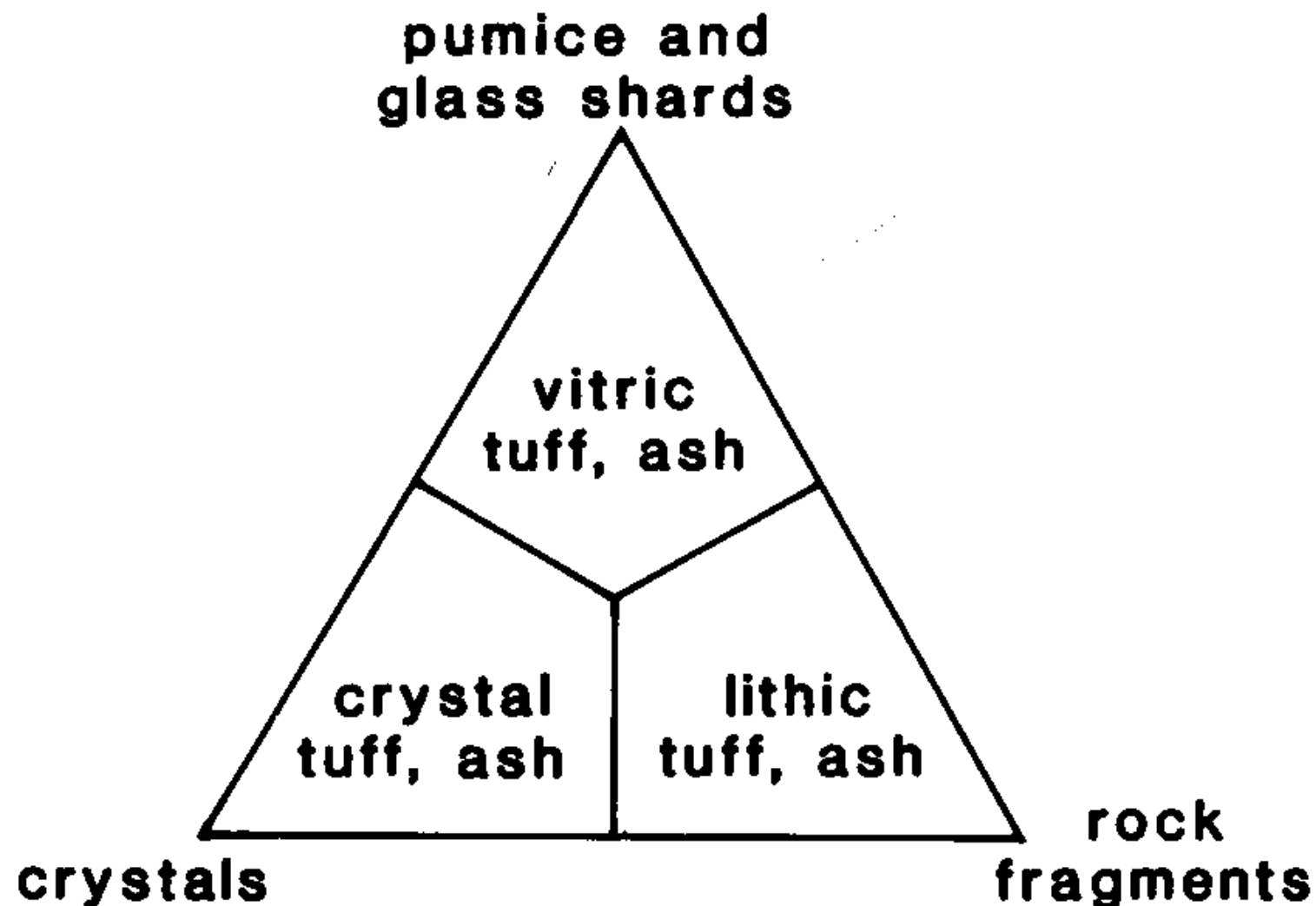


Fig. 10.3 Classification of pyroclastic tuffs on basis of nature of components. After Pettijohn *et al.* (1987).

Tipovi vulkana

Characteristics of Different Types of Volcanoes

Type of Volcano	Form of Volcano	Size	Type of Magma	Style of Activity	Examples
Basalt plateau	Flat to gentle slope	100,000–1,000,000 km ² in area; 1–3 km thick	Basalt	Gentle eruption from long fissures	Columbia River plateau
Shield volcano	Slightly sloped, 6° to 12°	Up to 9000 m high	Basalt	Gentle, some fire fountains	Hawaii
Cinder cone	Moderate slope	100–400 m high	Basalt or andesite	Ejections of pyroclastic material	Parícutin, Mexico
Composite volcano	Alternate layers of flows and pyroclastics	100–3500 m high	Variety of types of magmas and ash	Often violent	Vesuvius, Mount St. Helens, Aconcagua
Caldera	Cataclysmic explosion leaving a circular depression called a caldera	Less than 40 km in diameter	Granite	Very violent	Yellowstone, San Juan Mountains

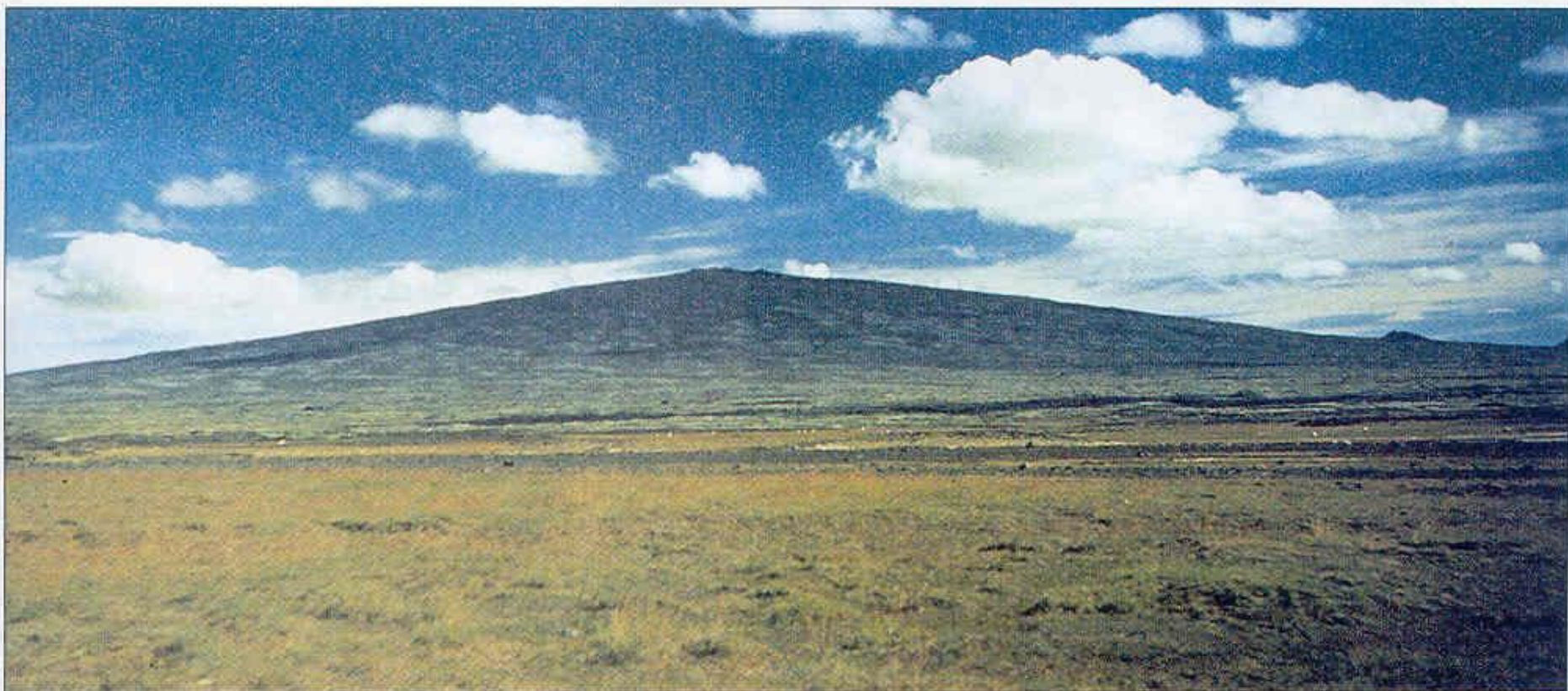


Figure 7-21 Mount Skjoldbreidier in Iceland shows the typical low-angle slopes of a shield volcano. (Science Graphics, Inc./Ward's Natural Science Establishment, Inc.)

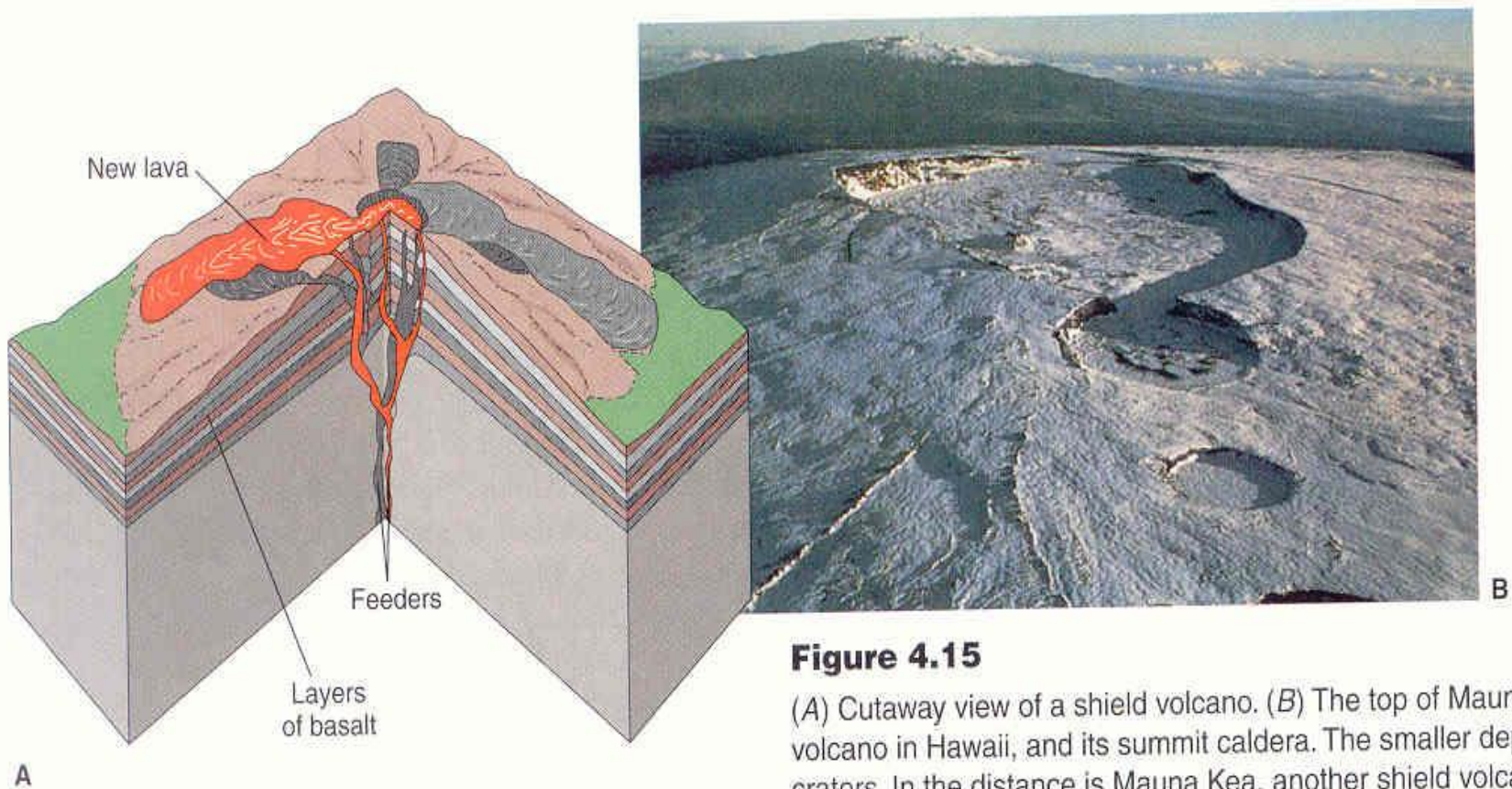


Figure 4.15

(A) Cutaway view of a shield volcano. (B) The top of Mauna Loa, a shield volcano in Hawaii, and its summit caldera. The smaller depressions are pit craters. In the distance is Mauna Kea, another shield volcano that last erupted about 3,000 years ago.

Photo by D. W. Peterson, U.S. Geological Survey



Figure 4.16

Pahoehoe from a 1972 eruption in Hawaii.

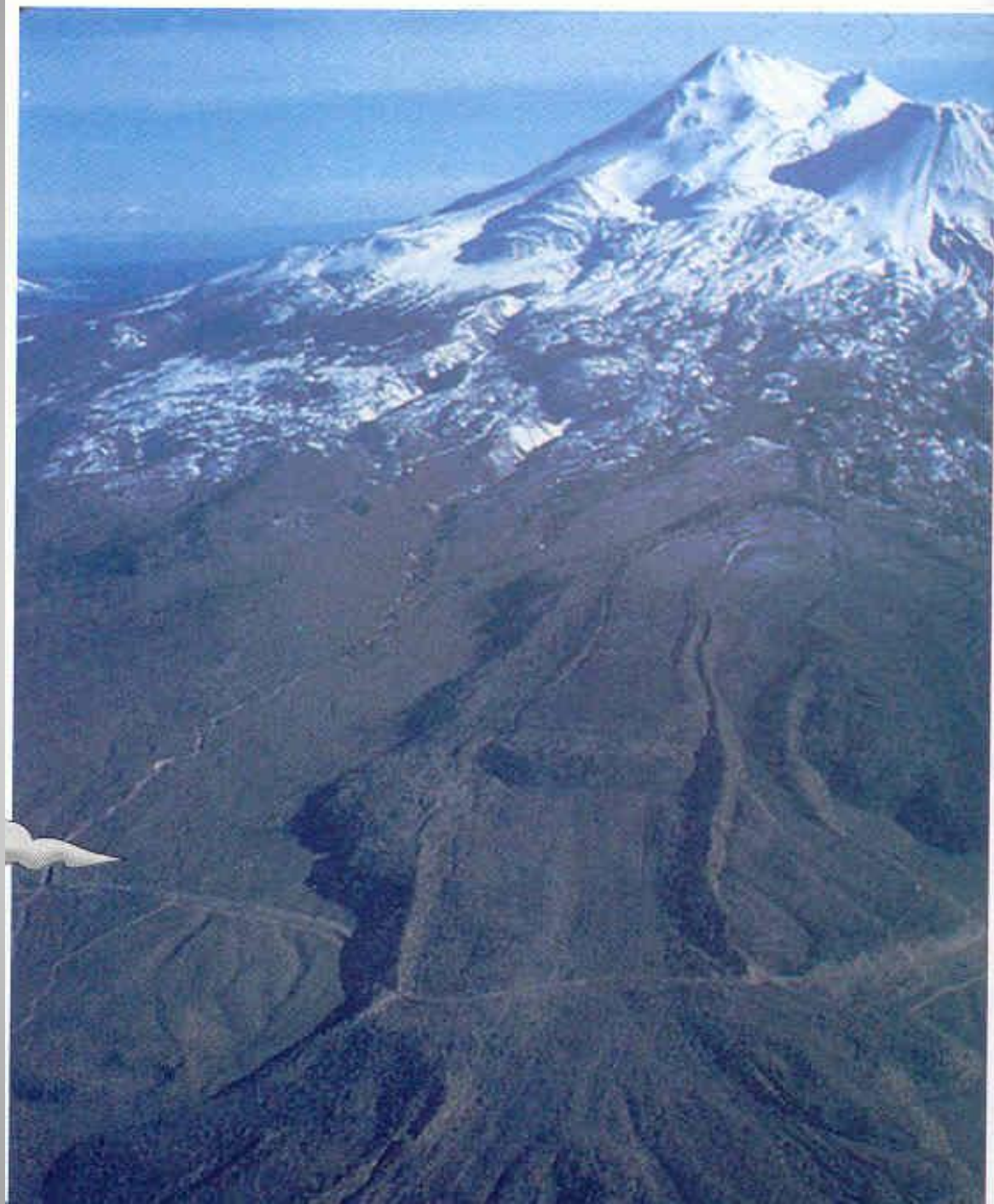
Photo by D. W. Peterson, U.S. Geological Survey



Figure 4.17

An aa flow in Hawaii, 1983.

Photo by J. D. Griggs, U.S. Geological Survey



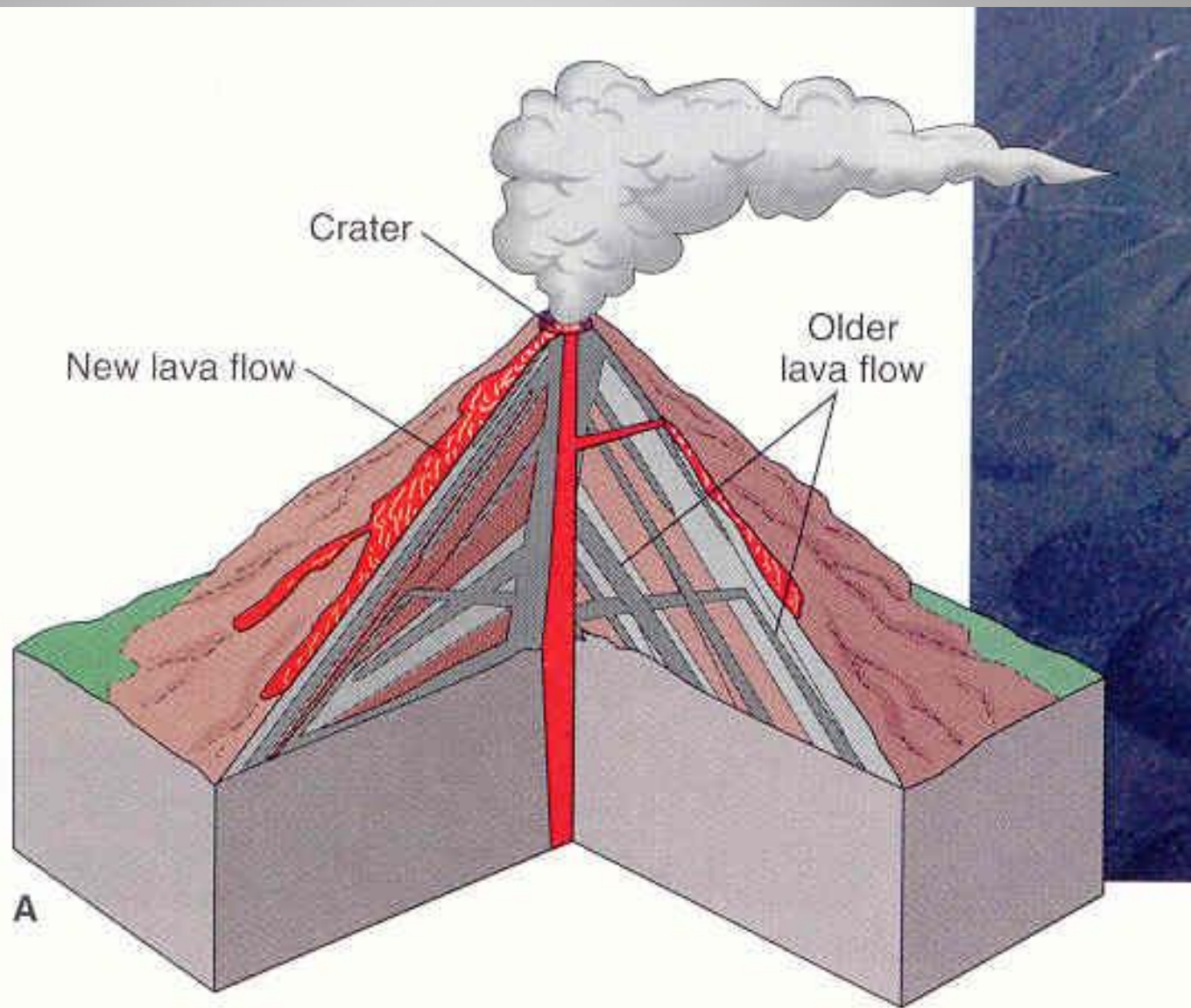
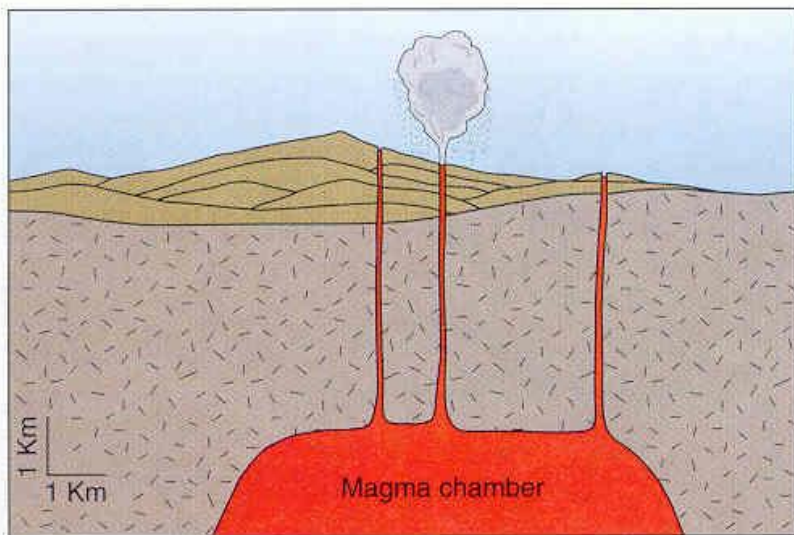




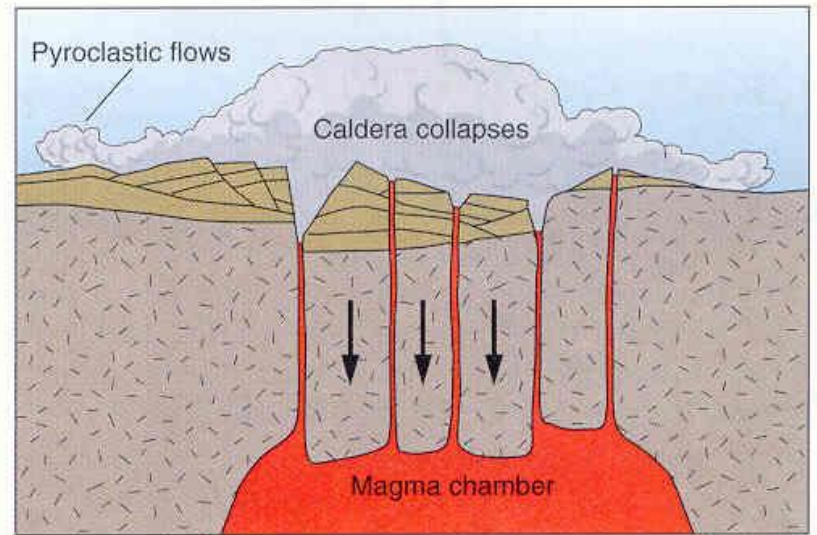
Figure 4.3

Crater Lake, Oregon. Figure 4.4 shows its geologic history.

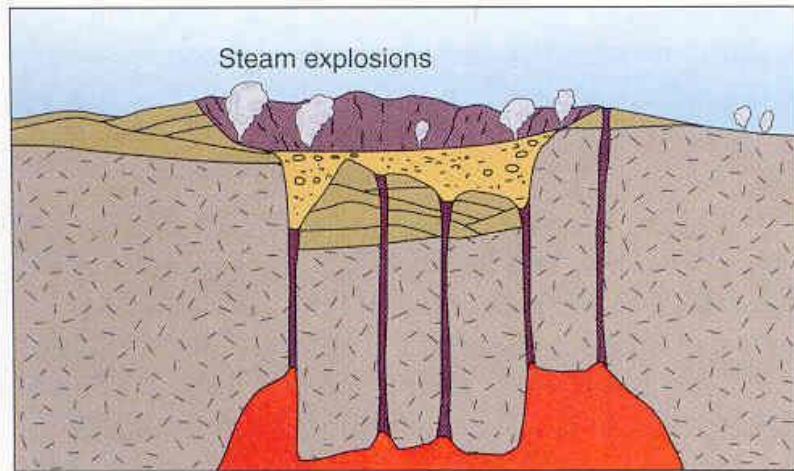
Photo by © Greg Vaughn/Tom Stack & Associates



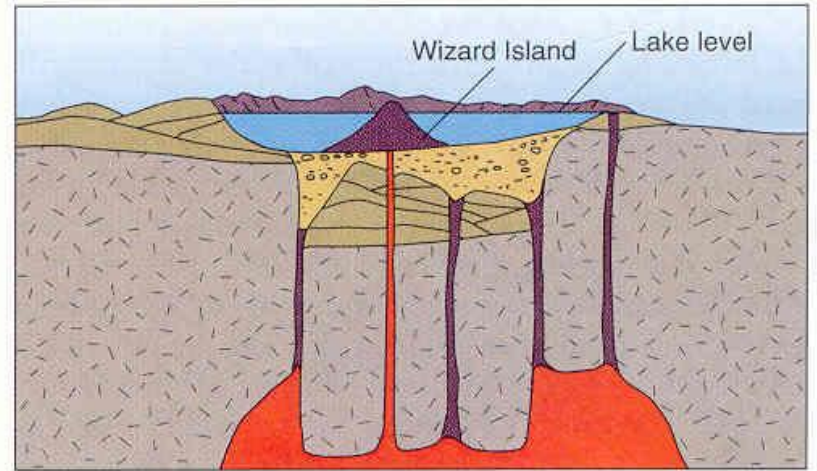
A



B



C

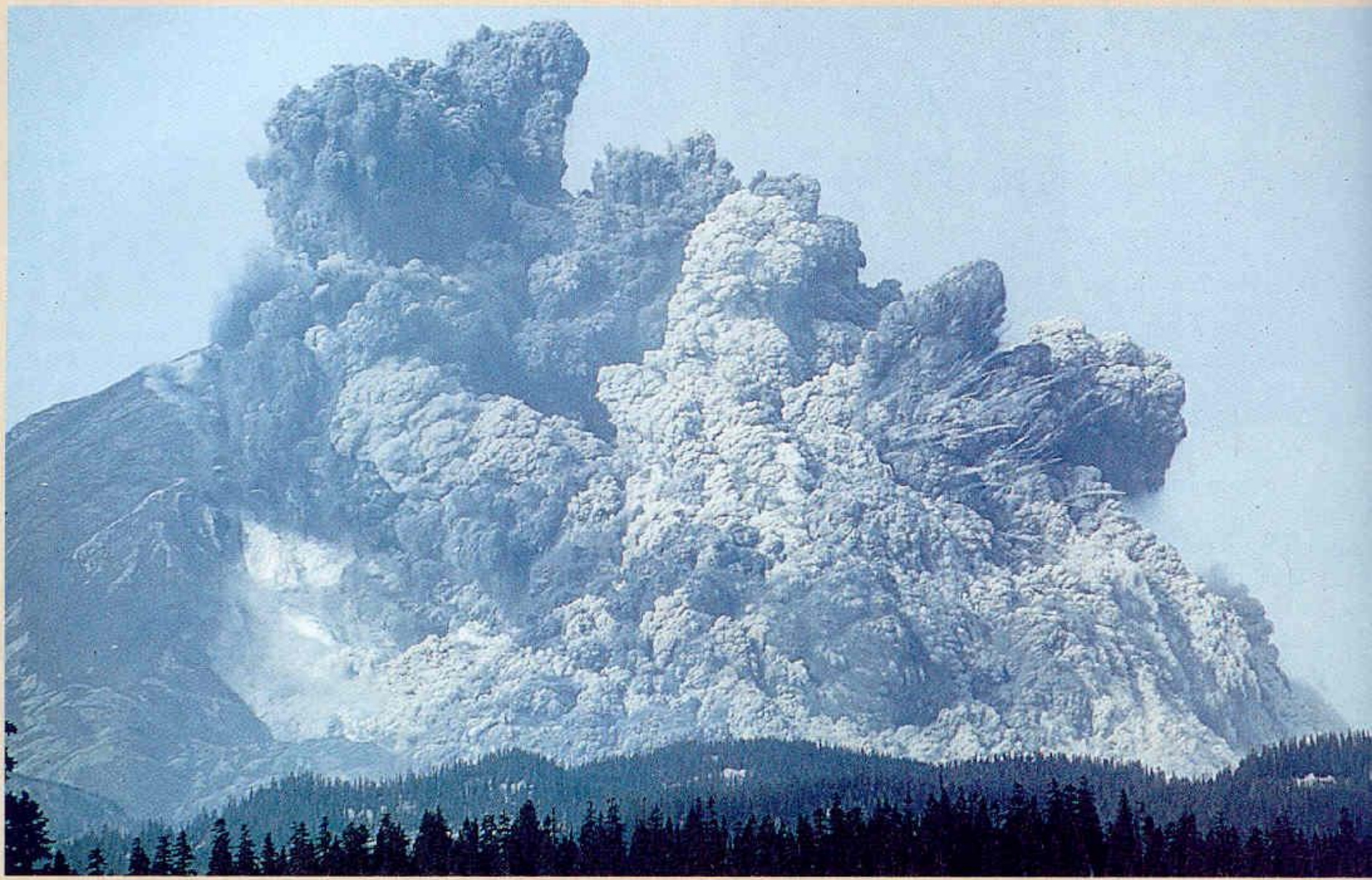


D

Figure 4.4

The development of Crater Lake. (A) Cluster of overlapping volcanoes form. (B) Collapse into the partially emptied magma chamber is accompanied by violent eruptions. (C) Volcanic activity ceases, but steam explosions take place in the caldera. (D) Water fills the caldera to become Crater Lake, and minor renewed volcanism builds a cinder cone (Wizard Island).

After C. Bacon, U.S. Geological Survey



Box 4.1 Figure 3

May 18, 1980. The side of the volcano has been blasted away as magmatic explosions continue.

© 1980 Keith Ronnholm

Table 10.2 Main types of volcanoclastic deposit

A *Autoclastic deposits*

Sediment generation during lava flow

B *Pyroclastic-fall deposits*

Formed of tephra ejected from vent

C *Volcanoclastic-flow deposits* (and type of flow)

(a) Ignimbrites (pyroclastic flows)

(b) Surge deposits (pyroclastic surges)

(c) Lahar deposits (volcanic mudflows)

D *Hydroclastites*: fragmented lava through contact with water

(a) Hyaloclastites (non-explosive)

(b) Hyalotuffs (explosive)

E *Epiclastic deposits*: volcanic material reworked by currents, waves, wind, gravity flows, etc.



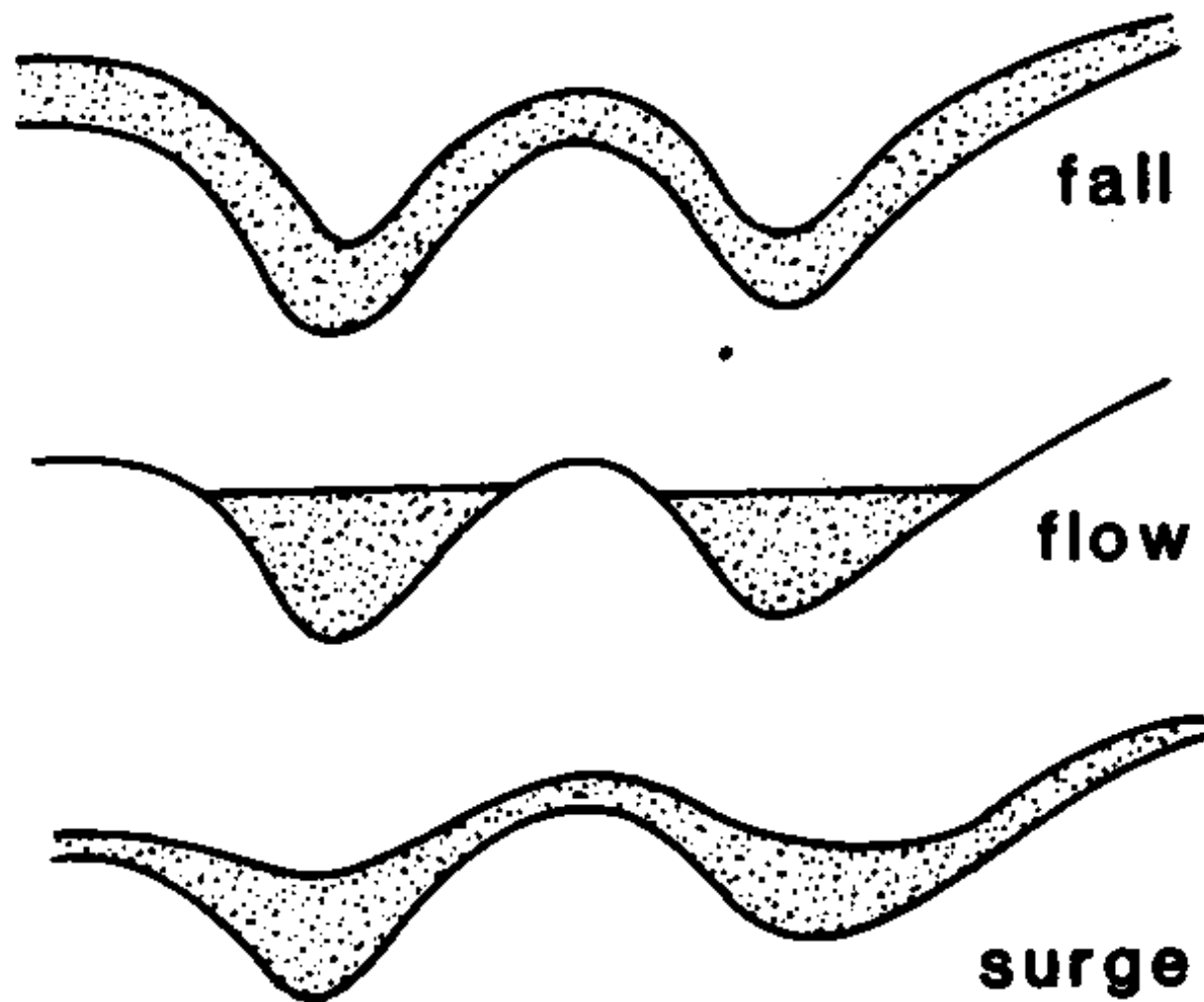


Fig. 10.7 Sketch of typical geometry of volcaniclastic-fall, flow and surge deposits: mantle bedding, valley-fill and topographic drape, respectively. After Suthren (1985).

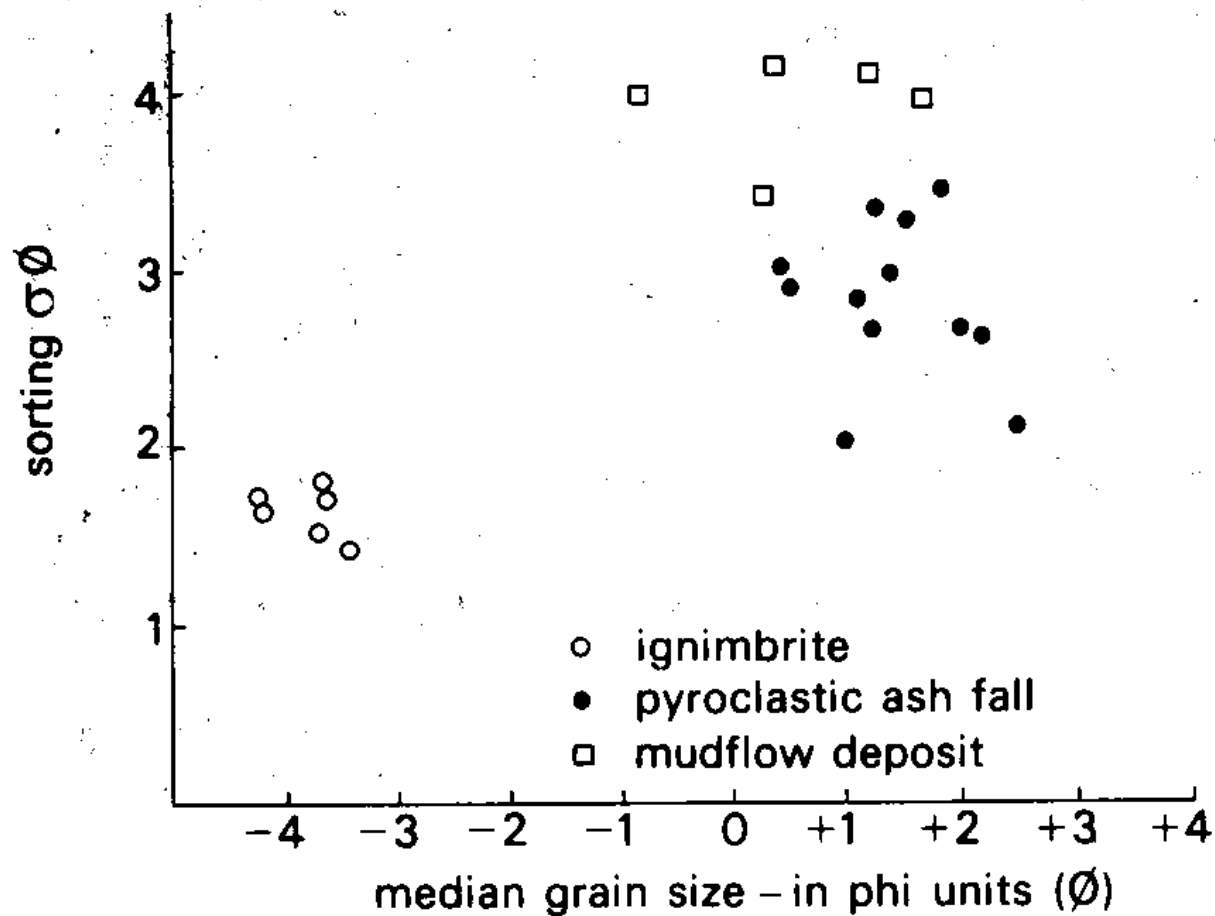


Fig. 10.6 An illustration of the use of grain-size parameters to distinguish between volcanoclastic sediments of different origin. Median grain-size/sorting scatter diagram for ignimbrite, pyroclastic-ash fall and mudflow deposits of the Minoan eruption (1470 bc). Santorini, Greece. After Bond & Sparks (1976).

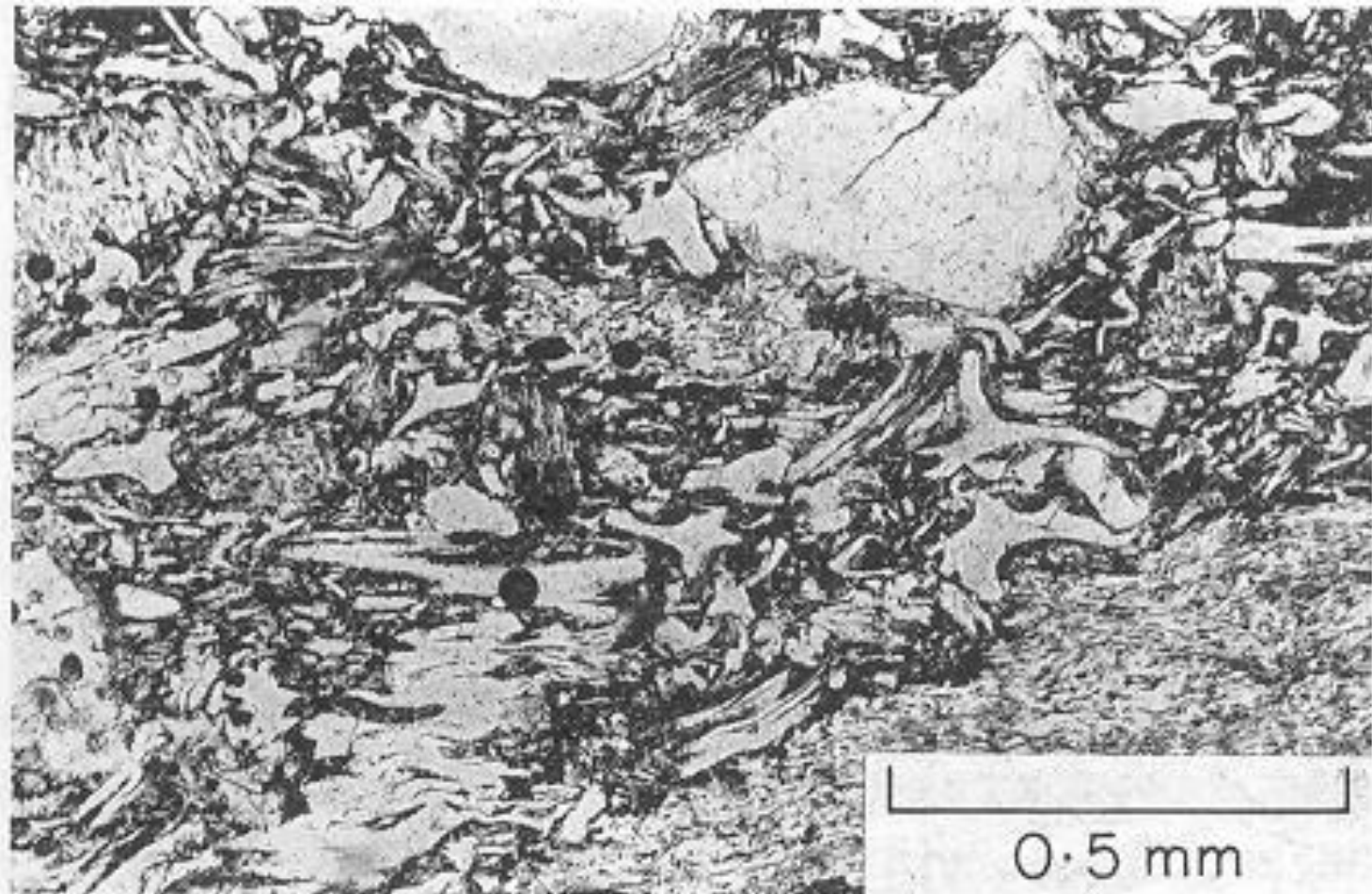


Fig. 10.1 Glass shards with characteristic broken-bubble-wall shape, broken crystals and streaked devitrified glass, called fiamme (lower right). Plane-polarized light. Ignimbrite, Tertiary. New Zealand. Courtesy of Hugh Battney.

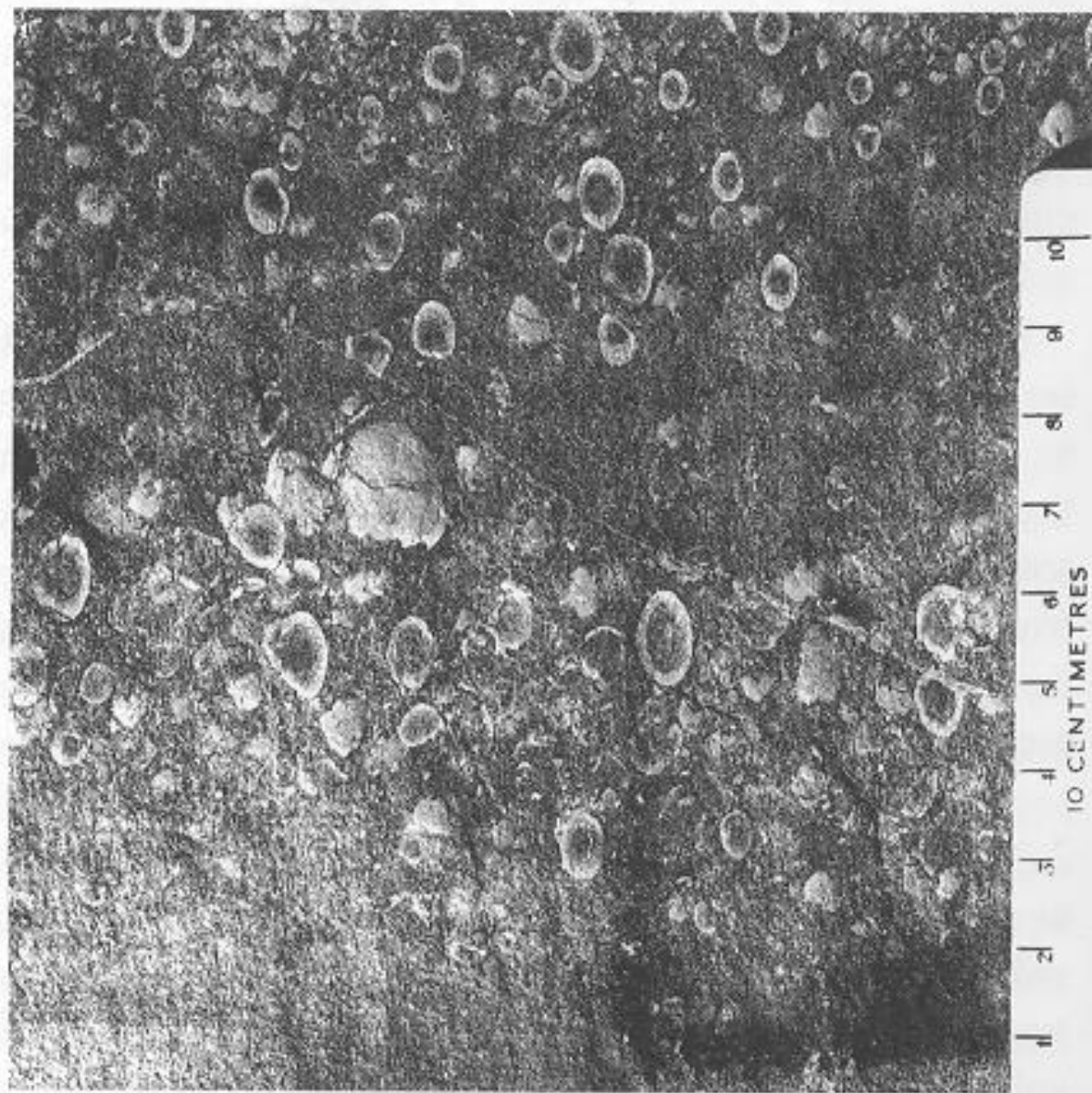
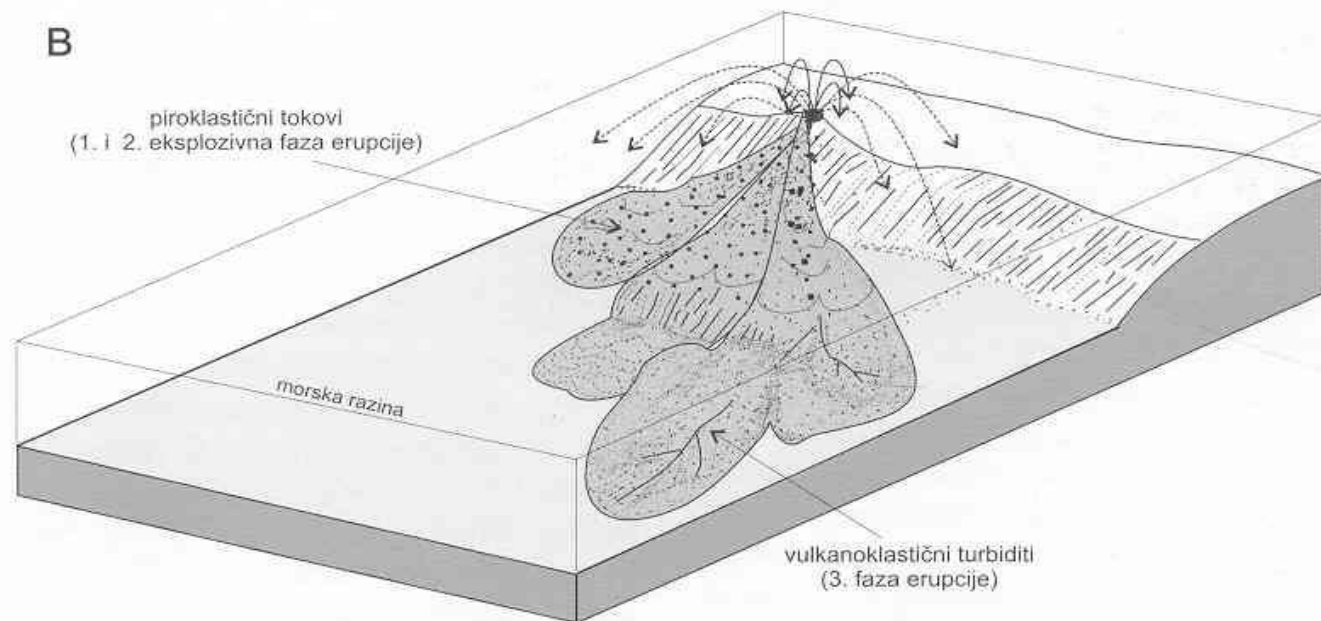
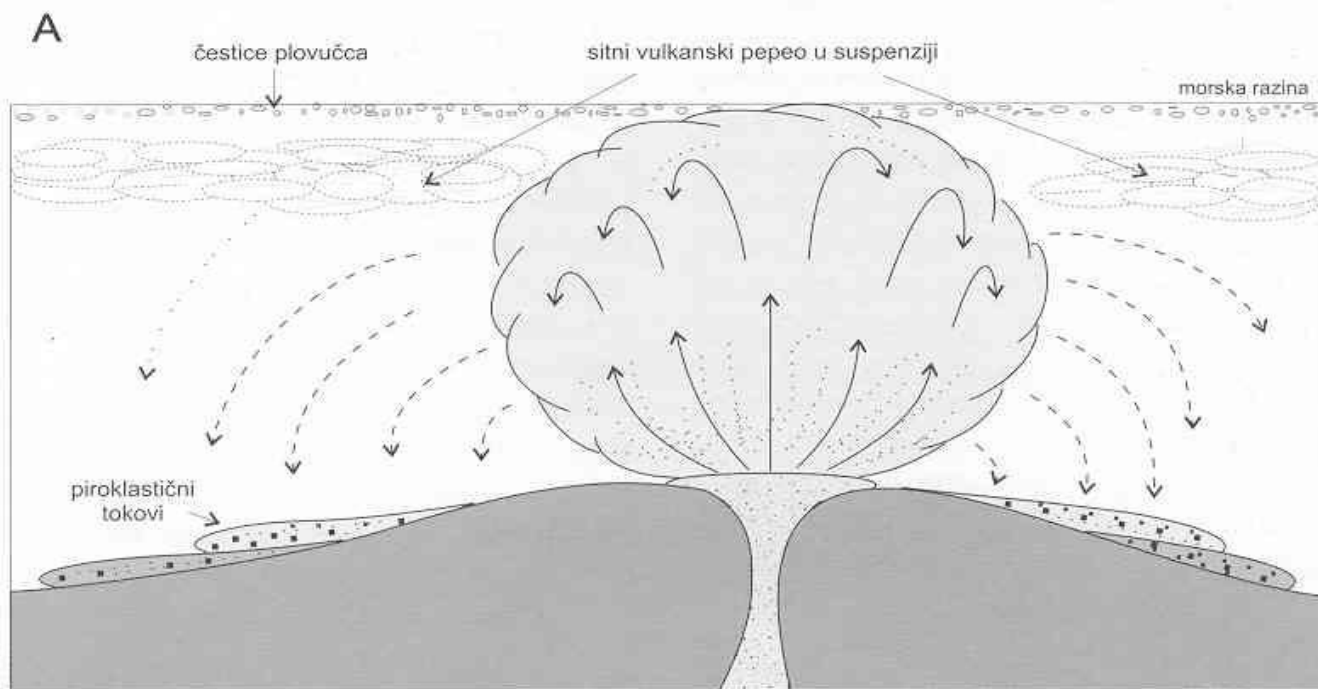


Fig. 10.2 Accretionary lapilli. Borrowdale Volcanic Group, Ordovician. Cumbria, NW England.





Gdje sve nastaju sedimenti, odnosno sedimentne stijene?

- ❑ Sedimentni okoliši variraju od onih u kojima prevladava erozija i transport, do onih gdje prevladava taloženje.
- ❑ Glavnina procesa trošenja i erozije, kojima se sedimentna zrna i ioni oslobađaju u otopinu, odvija se u kontinentalnim područjima, a klima, lokalna geologija i reljef određuju vrstu i količinu rastrošenog materijala.
- ❑ Glavni kontinentalni taložni okoliši su riječni, ledenjački i jezerski, te eolska pješčana mora u pustinjama.
- ❑ U rubnim marinskim okolišima, taloženje se odvija u deltama, lagunama, na plimnim ravnicama, sabkhama, plažama i barijernim otocima.
- ❑ Talloženje u marinskim okolišima odvija se na plitkim šelfovima i u epikontinentalnim morima, a u batijalno-abisalnim područjima odvija se pelagička, hemipelagička i turbiditna sedimentacija.
- ❑ U svim tim okolišima možemo naći razne tipove sedimentnih stijena. Mnoge od njih imaju karakteristična obilježja koja mogu poslužiti za prepoznavanje njihovih starijih ekvivalenata

Kontinentalni i prijelazni okoliši taloženja:

- pustinjski i eolski
- glacijalni
- aluvijalni (riječni)
- jezerski i močvarni
- deltni



Primjer prepletene rijeke (aluvijalni okoliš taloženja).

Morski okoliši taloženja:

- obalni okoliši
- plitkomorski okoliši taloženja (karbonatne platforme, šelf)
- dubljevodni i pelagički okoliši



Primjer plitkomorskog okoliša (koraljni vapnenci). Dubina 8m. Bahami. Slika reuzeta iz Plummer, Mcgeary & Carlson (2001): Physical Geology

Tablica 1.2 Shema načina kako prepoznati i opisati sedimentnu stijenu na temelju njezina uzorka

Istraži boju, strukturu, sastav, sedimentne teksture i fosile u stijeni, a zatim odredi vrstu sedimentne stijene.

Na temelju dovoljno dokaza, protumači taložni okoliš i dijagenezu sedimenta

Boja

Boju bi trebalo lako prepoznati. Ona obično odražava sadržaj organske tvari (s porastom organske tvari boja je siva do crna) i oksidacijskog stanja željeza: Fe^{2+} , prisutan u mineralima glina (npr. klorit) i mineralima željeza (npr. berthierin-chamosit) daje zelenu boju; Fe^{3+} , prisutan u mineralima željeza, daje crvene (hematit) i žućkastosmeđe boje (goethit-limonit). Neki sedimentni minerali mogu imati specifičnu boju, kao što je bijela kod čistog anhidrita i gipsa

Struktura

Odredi veličinu zrna pomoću džepne lupe; prouči oblik zrna: jesu li zaobljena ili uglati? Prouči sortiranost čestica, je li dobra ili loša? Utvrdi vrstu kontakata među zrnima (ukoliko su vidljivi), te ima li ikakve preferirane orijentacije zrna (sklop zrna)

Sastav

Prepoznaj sastav sedimenta pomoću džepne lupe

Je li to pješčenjak? - sastavljen od kvarca, feldspata, fragmenata stijena. Ukoliko jest, je li to kvarcni arenit, litični arenit, arkoza ili grauvača (četiri glavne vrste pješčenjaka)?

Je li to vapnenac (u dodiru s kiselinom dolazi do šištanja i pjenušanja)? - sastavljen od bioklasta (fosili), ooida, peloida.

Ukoliko jest, je li tipa *grainstone*, *packstone*, *wackestone*, *mudstone* ili *boundstone*?

Je li to dolomit (dolomitizirani vapnenac, slabo šišti)? - kristalna građa, slabo sačuvani fosili i teksture, boja blijedosmeđa do boje kože

Je li to pelitni sediment? Ukoliko jest, je li cjepljiv (šejl) ili nije cjepljiv (muljnjak)? Ima li nodula? Kakav im je sastav?

Je li to konglomerat? Odredi je li monomiktni ili polimiktni (na temelju sastava klasta), ortokonglomerat ili parakonglomerat (na temelju strukture)

Manje česte sedimentne stijene su evaporiti (mogu biti slanog okusa ili su mekani), rožnjaci (tvrdi su i iverastog loma) i željezovite sedimentne stijene (crvene su ili zelene boje, teške su i oolitične)

Sedimentne teksture

Traži teksture kao što su slojevitost, laminacija, kosa slojevitost, kosa laminacija, *parting* lineacija, teksture na donjim slojnim plohama, izrované jame, nodule, stiloliti, itd.

Fosili

Ukoliko ih ima (možda će trebati džepna lupa da ih se uoči) pokušaj ih prepoznati do nivoa stabla (i detaljnije ako je moguće).

Također utvrdi kakva im je očuvanost (ljuštare su cijele ili spojene, razlomljene, izbušene, otopljene, itd.)

Tumačenje

Na temelju svih prikupljenih dokaza, predloži o kojoj vrsti stijene je riječ, a po mogućnosti i taložni okoliš; vjerojatno će se pojaviti nekoliko alternativa. Objasni dijagenezu stijene: cementacija, kompakcija, zamjena, itd., kao i efekte dijageneze blizu površine sedimenta u odnosu na dijagenezu na većoj dubini zatrpavanja
