



Univerzitet u Beogradu  
Matematički fakultet  
Katedra za astronomiju



## Vulkanizam u Sunčevom sistemu

Predmetni profesor:  
dr Olga Atanacković

Student:  
Ana Mitrašinović

## Sadržaj

1. Uvod.....	3
2. Izvori Zemljine energije i njena unutrašnja struktura.....	3
3. Konvektivno strujanje astenosfere i tektonika ploča.....	4
5. Magma, lava i osnovni oblici vulkanskih erupcija.....	6
6. Razlikovanje vulkana po aktivnosti.....	7
7. Pojavni oblici vulkana.....	8
8. Vulkanske erupcije na Zemlji.....	9
9. Vulkanizam na Mesecu i Merkur.....	9
10. Vulkanizam na Veneri.....	11
11. Vulkanizam na Marsu.....	12
12. Vulkanizam na satelitu Io.....	13
13. Vulkanizam na drugim satelitima.....	14
14. Literatura.....	15

# 1. Uvod

Na pitanje zašto planine izbacuju plamen stari narodi odgovarali su mitovima. Za Grke uzrok je bio Hefest, sin Zeusa i Here, kovač opreme, oruđa i oružja za bogove, čije su kovačnice bile u vulkanima. Kod Rimljana, to je bio Vulkan, sin Jupitera i Junone, bog vatre i vulkana koji je živio u Etni i tamo izrađivao munje za Jupitera i heroje. Po njemu je i današnja nauka koja se bavi ovim i sličnim pitanjima, vulkanologija, dobila ime. To je nauka koja se bavi vulkanima, magmom, lavom i drugim povezanim geološkim, geofizičkim i geohemijskim pojavama<sup>[3]</sup>. Bolje razumevanje ovih fenomena i njihovo predviđanje, što je jedan od primarnih ciljeva vulkanologije, značajno je ne samo zbog toga što oni predstavljaju veliku opasnost, već i zbog toga što čine posebne geološke resurse i specifične ekosisteme i igraju veliku ulogu u oblikovanju kako Zemljine površine, tako i površina stenovitih planeta i satelita, jer se vulkanska aktivnost, osim na Zemlji, javlja i tamo. Pod pojmom *vulkanizam* podrazumevaju se pojave koje se odnose na stvaranje magme u Zemljinoj unutrašnjosti, njeno kretanje i izbijanje na površinu. Sve te pojave posledica su unutrašnje toplote i vezane su za tektonske pokrete, preciznije – za pukotine nastale u toku tektonske aktivnosti.

## 2. Izvori Zemljine energije i njena unutrašnja struktura

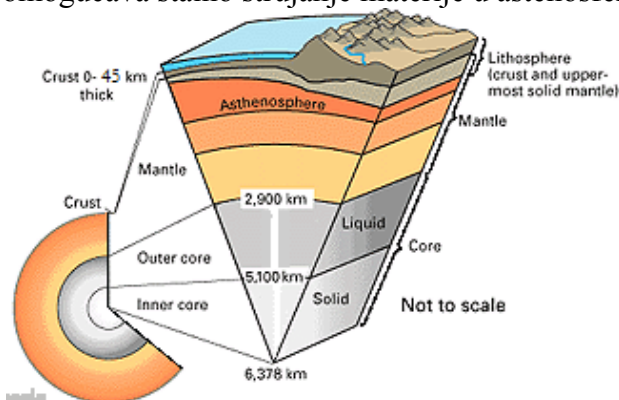
Geodinamiku – kretanje tektonskih ploča i katastrofične posledice tog kretanja, zemljotrese i vulkane, omogućavaju izvori planetine toplotne energije. Mehanizmi stvaranja te energije mogu biti različiti.

- 1) Sudarima sa meteoritima, asteroidima i kometama koje se kreću velikim brzinama, Zemlja dobija njihovu kinetičku energiju pretvarajući je u toplotnu.
- 2) Akrecioni procesi u toku formiranja planete doveli su do jačanja gravitacione sile što je uticalo na to da planeta gravitacionim sažimanjem smanji svoju zapreminu uz oslobađanje energije. Ta oslobođena gravitaciona energija prelazi u toplotnu, koja se veoma sporo provodi kroz stenoviti materijal, pa i danas predstavlja značajan izvor planetine toplotne energije.
- 3) Radioaktivni elementi u Zemljinoj unutrašnjosti su nestabilni i vremenom se raspadaju u stabilnije elemente uz oslobađanje energije. U početnim fazama Zemljine evolucije radioaktivni raspadu su bili češći (npr.  $Al^{26}$  ima kratak period poluraspada i gotovo se sav potrošio), ali se i danas javljaju.

Zemljinu unutrašnjost možemo grubo podeliti na četiri različita dela<sup>[2]</sup>:

- 1) Unutrašnje jezgro radijusa oko 1280km (*Inner core, slika 1*) sastoji se uglavnom od gvožđa u čvrstom stanju i primesa nikla.
- 2) Metalno spoljašnje jezgro, debljine oko 2200km (*Outer core, slika 1*), sastoji se uglavnom od tečnog gvožđa i primesa sumpora.
- 3) Mantija ili omotač, debljine oko 2800km (*Mantle, slika 1*), sastoji se od stenovitog materijala.
- 4) Kora je sastavljena uglavnom od granita i silikata i može biti okeanska i kontinentalna.

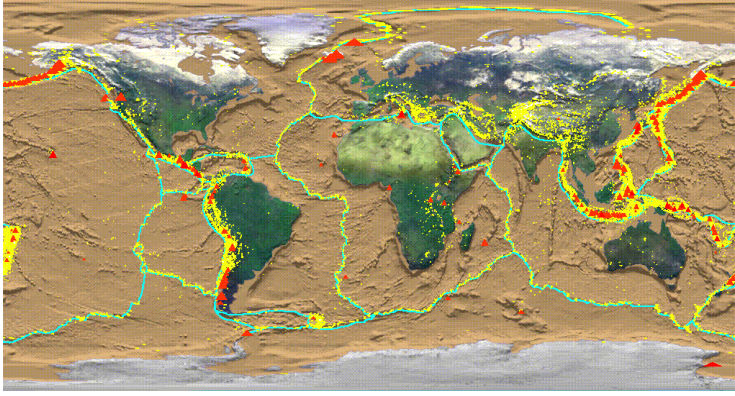
Kontinentalna kora ima debljinu od oko 45km i pretežno je od granita. Okeanska kora je gušća od kontinentalne, debljine oko 8km i sastoji se pretežno od bazaltnih stena. Ispod kore se nalazi mantija ili omotač čiji gornji sloj zajedno sa korom čini litosferu debljine od oko 100km. *Litosfera* je čvrsti deo Zemlje. Gornji deo omotača, neposredno ispod litosfere, nalazi se u nešto tečnijem stanju jer u njemu vladaju veće temperature i zove se *astenosfera*. Litosfera nije jedinstvena ploča nego je izdvojena u nekoliko većih i više manjih ploča koje su sve u stanju izostazije – plutanja na tečnijoj astenosferi. Kretanje litosfernih ploča omogućava stalno strujanje materije u astenosferi.



**Slika 1:**

Unutrašnja struktura Zemlje.

Astenosfera, sloj ispod litosfere, proteže se od 100km do oko 350 km ispod površine.



**Slika 2:**

Zeleno-plavom linijom označene su granice tektonskih ploča. Žutom bojom na slici, obeležena su područja gde se najčešće javljaju zemljotresi, dok su crvenom bojom označena mesta na kojima se nalaze aktivni vulkani.

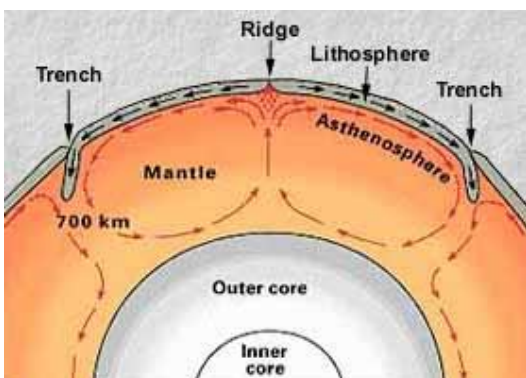
(izvor: NASA)

### 3. Konvektivno strujanje astenosfere i tektonika ploča

Prenos energije se kroz Zemljinu unutrašnjost vrši na više načina. Jedan od njih je prenos energije kondukcijom ili provođenjem, ali je taj proces jako spor i ne daje objašnjenja za pojave na površini. Drugi način, konvektivno strujanje materijala u astenosferi jedan je od osnovnih *motora* u pomeranju litosfernih, tektonskih ploča. Istopljeni stenski materijal se penje u hladnije delove, tamo se hladi predajući energiju okolini, postaje gušći i tone tj. vraća se ka unutrašnjosti (slika 3).

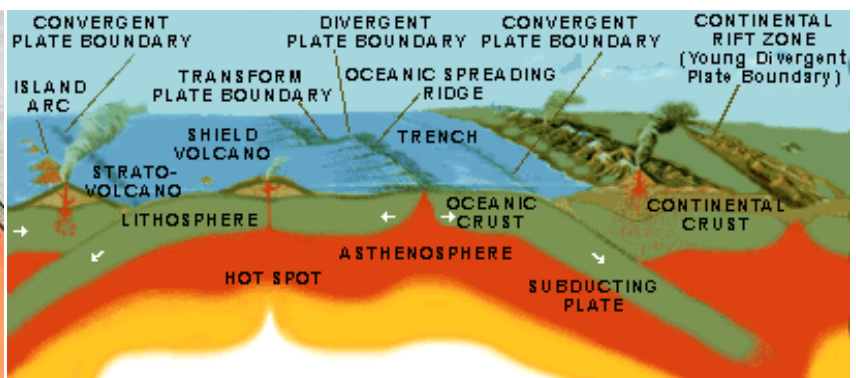
Posebna sfera planete Zemlje u kojoj je manifestacija tektonskih pokreta najintenzivnija i gde su tektonske strukture najočiglednije zove se tektonosfera<sup>[2]</sup>. Ona obuhvata litosferu i astenosferu. Tektonski pokreti mogu po dinamici biti spori, brzi, periodični itd. a po kinematici vertikalni, horizontalni, silazni, talasni... Tektonske ploče u svom kretanju interaguju jedna sa drugom: sudaraju se, udaljavaju, smiču jedna pored druge. U zavisnosti od tipa interakcije razlikujemo tri tipa granica<sup>[2]</sup>:

- 1) Divergentni tip – ploče se udaljavaju. Može se javiti ili na okeanskoj ili na kontinentalnoj kori. (*Divergent plate boundary, slika 4*)
- 2) Konvergentni tip – ploče se sudaraju. Može se javiti kod oba tipa tektonskih ploča (okeanskih i kontinentalnih). Ako se okeanska kora, kao teža i gušća, podvlači pod kontinentalnu (proces se zove subdukcija) izdvajaju se zone subdukcije. Zone subdukcije se, takođe, mogu javiti i na granici dve okeanske tektonske ploče. (*Convergent plate boundary, slika 4*)
- 3) Transformni tip – jedna ploča se smiče pored druge. (*Transform plate boundary, slika 4*)



**Slika 3:**

Crvenim strelicama označen je put koji stenski materijal prelazi konvektivnim strujanjem. Crnim strelicama označeno je kretanje tektonskih ploča uzrokovano konvektivnim strujanjem.



**Slika 4:**

Tipovi granica tektonskih (litosfernih) ploča. Takođe su predstavljene posledice tektonskih pokreta: *stratovolcano, shield volcano, island arc, trench...* (izvor: US Geological Survey)

## 4. Podela vulkanske aktivnosti prema mestu pojavljivanja

Vulkanska aktivnost karakteristična je za divergentni (kod okeanskih ploča) (a) i konvergentni (b) tip granice, mada se može javiti i unutar granice jedne tektonske ploče (c)<sup>[2]</sup>.

(a) Kako se okeanske tektonske ploče udaljavaju kod divergentnog tipa granice, vrela materija iz astenosfere se *penje* da popuni praznine u litosferi. Izdizanje ovog materijala proizvodi termalni potisak što je uzrok pojavljivanja visokih grebena unutar okeanskih ploča. Vreo materijal iz astenosfere izdizanjem zagreva litosferski materijal čije dekompresiono topljenje proizvodi bazaltnu magmu. Jezera bazaltne magme stvaraju se u komorama magme u kori, odakle se ona povremeno odvodi vertikalnim pukotinama koje omogućavaju njeno brzo provođenje do površine. Erupcije nastale na ovaj način tipične su procepne erupcije. Bazalt koji biva izbačen tom prilikom može da stvori ogromna podvodna polja lave. Očekivano, lava se u ovim donjim slojevima vode brzo hladi pa stvara karakteristične loptaste strukture koje zovemo *bazaltnim jastucima* (slika 5). Na osnovu brojnih hidrotermalnih otvora može se zaključiti da se srednjeokeanski grebeni sastoje od materijala na visokim temperaturama. Hidrotermalni otvori nastaju od vode na dnu koja prolazi naniže kroz pukotine, gde se zagreva na užarenim stenama iznad komora magme. Ove tople termalne vode zatim se penju natrag kroz gornje slojeve kore odakle *kupe* silikate i brojne metale iz bazaltne lave. Vreli izvori ovih voda na morskom dnu liče na tamne dimnjake (slika 6). Nakon što bazaltna lava izbije na površinu, ona se, manje-više neprekidno milionima godina, konstantno nagomilava na ivicama mesta razdvajanja tektonskih ploča, hladeći se pri tom u čvrsti bazaltni sloj. Ovakav proces stvara novu okeansku koru koja je, očigledno, najmlađa blizu grebena.

### Slika 5:

Loptaste strukture, *bazaltni jastuci*.

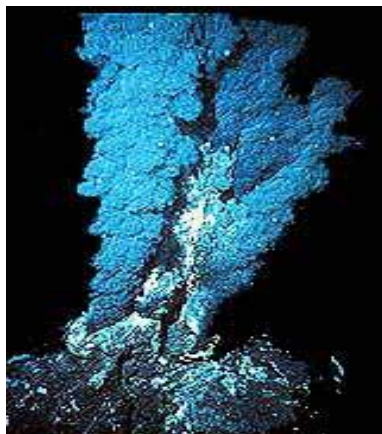
(izvor: National Oceanic and Atmospheric Administration)



### Slika 6:

Vreli izvor vode, obogaćen silikatima i metalima iz bazaltne lave, na morskom dnu što liči na dimnjak.

(izvor: National Oceanic and Atmospheric Administration)

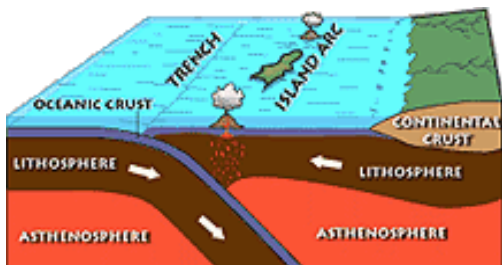


(b) Najaktivniji vulkanski pojas na Zemlji je Vatreni prsten Pacifika (*Ring of fire*, subdukciona zona oko Pacifika, slika 9). Okeanska kora kao gušća i teža, podvlači se pod kontinentalnu dospevajući u Zemljin omotač. Ovakav proces zove se subdukcija a zone u kojima se on odvija zovu se zone subdukcije. Kako se okeanska kora savija ispod površine, stvara se velika linearna depresija koju zovemo okeanski rov. Rovovi nastali na ovaj način su najdublje geomorfološke strukture na Zemlji. Najdublji dostiže 11km ispod površine mora, zove se Marijanski rov i nalazi se duž zapadne granice Vatrenog prstena Pacifika.

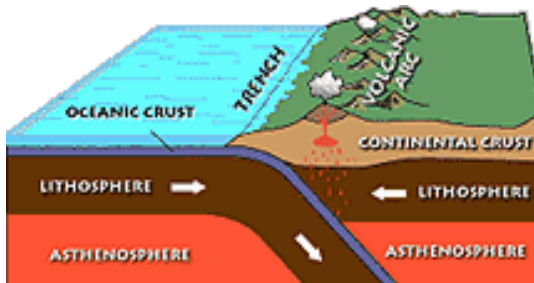
Deo tektonske ploče, koja se savija i podvlači pod drugu tektonsku ploču u procesu subdukcije, sadrži značajan deo površinske vode. Kada ploča dostigne dubinu sa dovoljno visokom temperaturom i pritiskom, voda se *oslobađa* i prelazi u omotač zagrevajući ga i topleći. Materijal iz omotača prelazi u magmu, koja se izdiže stvarajući linearni pojas vulkana paralelan okeanskom rovu. Ovakav lanac vulkana zovemo ostrvski luk (*Island arc*, slika 4, slika 7) ako se jedna okeanska tektonska ploča podvlači pod drugu i vulkanski luk (*Volcanic arc*, slika 8) ako se okeanska tektonska ploča podvlači pod kontinentalnu. Vulkani koji nastaju u subdukcionim zonama su tipični stratovulkani (*Stratovolcano*, slika 4). Mladi ostrvski lukovi su pretežno bazaltni dok u onim starijim vulkanskim lukovima preovladava andezit. (Bazaltne stene nastaju hlađenjem i kristalizacijom magme koja sadrži manje silikata, manje je viskozna i veće je temperature od one magme čijim hlađenjem i kristalizacijom nastaju andezitne stene.)

(c) Područja na kojima se javljaju vulkani a nalaze se duboko unutar granica tektonskih ploča zovu se *vruće tačke* (*Hotspot*, slika 4, slika 12). Pretpostavlja se da se većina njih nalazi iznad perastih struktura neuobičajeno užarene materije u omotaču (slika 11). Pokazalo se da ovakve strukture u omotaču nastaju u njegovim nižim delovima pa se izdižu konvekcijom. Eksperimentima se kasnije utvrdilo da se one izdižu kao plastično deformisana masa koja ima loptastu *glavu* na koju se nadovezuje dug, uzak *rep*. Kako *glava* (u

prečniku iznosi 500-1000km) doseže do litosfere, ona se širi i deformiše u oblik sličan pečurki. Smanjivanjem pritiska ove materije mogu nastati ogromne količine bazaltne magme. Tektonska (litosferna) ploča se kreće iznad neke od tih *perastih* struktura koje su fiksirane. Izbijanjem magme na površinu nastaje sistem vulkanskih ostrva od kojih su vulkanski aktivna samo ona koja se trenutno nalaze direktno iznad te strukture, dok su ona dalja od njih, u smeru kretanja tektonske ploče, neaktivna i starija. Tipičan primer ovog mehanizma su Havaji (slika 10).



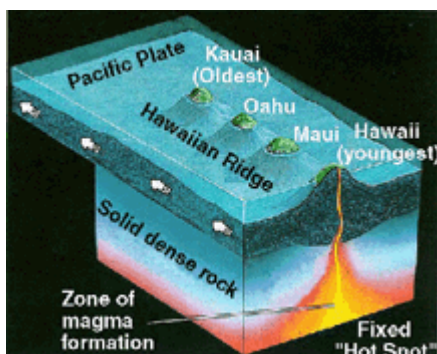
**Slika 7:** Ostrvski luk – Island arc; strelicama su obeleženi smerovi kretanja okeanskih tektonskih ploča.



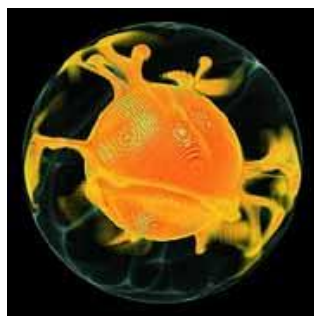
**Slika 8:** Vulkaniski luk – Volcanic arc. Nastaje subdukcijom okeanske tektonske ploče pod kontinentalnu.



**Slika 9:** Vatreni prsten Pacifika – Ring of fire, subdukciona zona oko Pacifika.



**Slika 10:** Model koji pokazuje stvaranje lanca Havajskih ostrva iznad fiksirane vruće tačke. (izvor: US Geological Survey)



**Slika 11:** Peraste strukture magme u omotaču.



**Slika 12:** Vruće tačke – Hotspots, označene crvenim tačkama.

## 5. Magma, lava i osnovni oblici vulkanskih erupcija

Izbacivanje lave, tefre (pepeo, lapili, vulkanske bombe i vulkanski blokovi) i raznih gasova iz vulkana zovemo **vulkanskom erupcijom**<sup>[3]</sup>.

Otopljeni stenski materijal koji se još nije izlio na površinu Zemlje zove se **magma**. Tokom erupcije ona se potiskuje u Zemljinu koru i njenim očvršćavanjem nastaju dubinske (intruzivne) magmatske stene, magmatiti. Ona može sadržati mehurove gasa i kristale i predstavlja kompleksni visokotemperaturni fluid. Temperature većine magmi se kreću u rasponu od 650 do 1300 stepeni celzijusa, mada se retko mogu javiti i one ispod 600 i iznad 1600 stepeni celzijusa. Hemijski sastav magme može evoluirati frakcionom kristalizacijom, kontaminacijom i mešanjem magmi.

Kada se vulkanskom erupcijom magma izbaci na površinu, taj materijal zovemo **lava** a njenim hlađenjem i očvršćavanjem nastaju izlivne (efuzivne) magmatske stene - vulkaniti. Pri izbijanju lave na površinu, temperatura joj se obično kreće u rasponu od 700 do 1200 stepeni celzijusa, a viskoznost joj je oko 100 hiljada puta veća od viskoznosti vode. Sastav lave varira između krajnje bazne (45-50% silicijuma) i krajnje kisele (70-75% silicijuma). Često sadrži i velike kristale, uronjene u finu masu koja se sastoji od mikroskopskih minerala. Najbaznije stene, bazalti, crne su boje i sadrže minerale sa malim procentom silicijuma, olivin na primer. Kiselije stene, kao što je andezit, sive su boje i sadrže dosta ortoklasa. Najkiselije stene, kao što je riolit, imaju svetlu boju i sadrže dosta kvarca.

Vulkanolozi su napravili nekoliko klasifikacija vulkanskih erupcija.

U zavisnosti od viskoznosti lave i jačine eksplozivnih fenomena, razlikujemo kod kontinentalnih vulkana nekoliko tipova vulkanskih erupcija. Svi oni dobijali su nazive uglavnom po vulkanima kod kojih su zabeležene takve erupcije. Havajski tip erupcija je najslabiji. Strombolijski tip (po vulkanskom ostrvu Stromboli u južnoj Italiji) stvara neprekidne izlive lave i piroklastične tokove (mešavine vrelog gasa i stenja). Vulkanski tip (po ostrvu Vulkano u Italiji, trenutno je aktivan vulkan ovog tipa na primer Sakurajima u Japanu) ima snažna izbacivanja viskozne lave, gasa i pepela. Jači tip erupcije je pelejanska (naziv dobila po Mount Pelee na Karipskom ostrvskom luku) erupcija (sa veoma viskoznom užarenom lavom i snažnim izlivom), potom plinijska (ili vezuvska, po Vezuvu u Italiji). Merilo snage erupcije je indeks vulkanske eksplozivnosti.

Vulkani mogu izbacivati različite tipove magmi. Po kiselosti razlikujemo<sup>[2]</sup>:

- 1) Kisela magma, sa sadržajem silicijuma preko 63% je najopasnija jer ima veliku viskoznost i teži da zarobi gasove koji su prisutni što dovodi do toga da magma izbija pod izuzetno velikim pritiscima i dovodi do stvaranja stratovulkana, koji su konusni sa malim kraterom i za koje je karakteristična plinijska erupcija. Posledice ovih erupcija su katastrofalne. Stvaraju se piroklastični tokovi, razvijaju se temperature do 1200 stepeni celzijusa usled kojih ovi tokovi prže sve pred sobom a formiraju slojeve koji mogu biti i po nekoliko metara debljine. Vulkanski pepeo koji izbace može preći velike udaljenosti.
- 2) Magma sa 52-63% silicijuma je intermedijarna i obično se javlja iznad zona subdukcije.
- 3) Bazna magma sadrži 45-52% silicijuma a uz to i povećani procenat magnezijuma i gvožđa i mnogo je manje viskozna od kisele magme, a sama viskoznost joj zavisi od temperature. Može se javiti u više oblika: kao bazaltni *jastuci* iznad okeanskih grebena što formira novu okeansku i kontinentalnu koru, ili kao bazaltni platoi.
- 4) Magma sa manje od 45% silicijuma se retko javlja i zove se ultrabazna. Poslednja erupcija ovakve magme na Zemlji dogodila se u doba proterozoika.

## 6. Razlikovanje vulkana po aktivnosti

Aktivni vulkani redovno izbacuju lavu, pepeo, dim i druge materije. Kod vrlo aktivnih vulkana ovo se dešava gotovo neprestano. Ako do erupcije ne dođe tokom godina ili čak vekova, ali do njih može doći u budućnosti, radi se o uspavanom vulkanu. Ako pak do erupcije ne dođe desetinama hiljada godina, u pitanju je ugašen vulkan<sup>[3]</sup>. Moguće je, međutim, da se za vulkane za koje se smatralo da su ugašeni ispostavi da su zapravo uspavani jer u jednom trenutku dođe do erupcije. Tako se dogodilo sa Helgafelom (Hajmej, Island) 1973. godine.

Usavršavanje meteoroloških satelita, namenjenih osmatranjima i proučavanjima Zemlje, omogućilo je da se tokom poslednje decenije prošlog, XX veka, preciznije odredi koji vulkan je aktivan, koji ugašen, a koji samo uspavan. Infracrveni, toplotni senzori na meteorološkim, ali i na vojnim satelitima, mogu da zabeleže promenu temperature na pojedinim, manjim delovima Zemljine površine, a i da opaze "nadimanje" planine koje se teško može zapaziti sa Zemlje. Ako su takve promene primećene na padinama ili na vrhu neke planine, onda je to siguran znak da se u njenoj unutrašnjosti, iako je dotad smatrana mirnom planinom ili ugašenim vulkanom, gomilaju usijana lava, pepeo, prašina i gasovi. Planina se, iz kategorije ugašenih vulkana, seli među uspavane vulkane. Ona još nije aktivni vulkan, ali bi uskoro mogla da eksplodira i da to bude. Precizna merenja temperature i kontrola "nadimanja" planine, uz poznavanje njenog geološkog sastava pružaju mogućnost za prognoziranje erupcije i za određivanje stepena opasnosti. Pojedini naučnici predlažu da se znatno poveća broj osmatračkih satelita i tako obezbede podaci potrebni za preciznije predviđanje erupcija vulkana.

## 7. Pojavni oblici vulkana

Najčešća predstava o vulkanu je da je on kupastog oblika sa otvorom u sredini (krater, ždrelo ili grotlo) preko koga je povezan sa žarištem. Međutim, to su karakteristike samo jednog oblika vulkana, kupastog, a mi razlikujemo još dva osnovna tipa: štitaste i stratovulkane.

Osnovni delovi vulkana su vulkanska kupa i krater<sup>[2]</sup>. Vulkanska kupa je uzvišenje nastalo stalnim nagomilavanjem izbačenog vulkanskog materijala oko kratera (otvora) na vrhu. Krater je otvor ili depresija na vrhu vulkanske kupe kroz koji dolazi do izlivanja ili eksplozivnog izbacivanja lave i piroklastičnog materijala. Kod nekih vulkana (aktivni vulkan Sv. Helena u Kaskadnom vencu, Vašington) krateri su širi i ovalni i takav otvor zovemo kaldera. Kaldere nastaju eksplozivnim uništavanjem vulkanske kupe. Nakon intenzivne eksplozije dolazi do naglog izbacivanja veće količine magme koja je bila pod većim pritiskom, što dovodi do urušavanja vulkanske kupe.

Vulkanski krater je povezan sa komorom magme pomoću glavnog (dovodnog) kanala i ždrelo (prošireni deo tog kanala). Otvor kroz koji dolazi do izbacivanja vulkanske pare i gasova zove se fumarola. Fragmenti koji su izbačeni u toku erupcije zovu se piroklastiti ili piroklastični materijal. Veličina tih fragmenata može varirati od malog zrna (vulkanski pepeo i prašina) do krupnog zrna (vulkanske bombe).

**Kupasti** vulkani su najčešći vulkani (Mauna Kea, na primer). Većina vulkana ovog tipa spada u najmanje, sa prosečnom visinom manjom od 300m (Mauna Kea je izuzetak jer ima visinu od preko 4000m). Gotovo celi su građeni od izbačene bazaltne lave. Imaju strme padine, do oko 35 lučnih stepeni, mada oni stariji erodirani imaju nagib od 15 do 20 lučnih stepeni. U odnosu na svoju veličinu, kupasti vulkani imaju veliki krater. Kod većine njih dođe do samo jedne erupcije. Izuzetak je Cerro Negro, u Nikaragvi (*slika 13*), koji predstavlja najaktivniji kupasti vulkan na Zemlji.

**Stratovulkani** (ili kompozitni) su najopasniji tip vulkana. Strane pri dnu su blage a sa porastom visine su sve strmije. Krater je obično jako mali. Najpoznatiji vulkani ovog tipa na zemlji su Mount Fuji u Japanu, Mount Mayon na Filipinima (*slika 14*) i Mount Agua u Gvatemali. Međusobno se vulkani ovog tipa više razlikuju od kupastih jer nastaju kao posledica više erupcija različitog tipa. Kod nekih od njih javlja se i kaldera. Iako su najčešće sačinjeni od andezitnih stena, njihov sastav takođe može da varira. Mount Fuji, na primer, sastavljen je uglavnom od bazaltnih stena, dok na Sv. Heleni dominira andezit. Najčešće se javljaju u subdukcionim zonama.

**Štitasti** vulkani su široki, niski, u prečniku od nekoliko pa do 100km (Mauna Loa, na primer, na Havajima, *slika 15*). Visina je obično oko jedne dvadesetine njihove širine. Pri dnu su jako malog nagiba (oko 2-3 lučna stepena), pri sredini su nešto strmiji (oko 10 lučnih stepeni nagiba) a onda zaravnjeni na vrhu. Takav oblik posledica je slabih erupcija bazaltne lave male viskoznosti. Iako uglavnom nastaju na isti način, havajskim erupcijama, međusobno mogu dosta da se razlikuju. Na Islandu su jako mali (oko 15km u prečniku) i skoro savršeno simetrični, dok se oni na Havajima protežu hiljadama kilometara. Štitasti vulkani na Galapagosu (*slika 16*), na primer, imaju veoma strme sredine svojih strana, nagib je veći od 10 lučnih stepeni, dok se na vrhu javljaju kaldere zbog čega se razlikuju od svih drugih štitastih vulkana.



**Slika 13:**  
Cerro Negro, Nikaragva.

**Slika 14:**  
Mount Mayon, Filipini.



**Slika 15:**

Mauna Loa, Havaji, pogled iz satelita.



**Slika 16:**

Štitasti vulkani na Galapagosu.



## 8. Vulkanske erupcije na Zemlji

Vulkani su izazivali katastrofe u kojima su stradale stare civilizacije i savremene kulture, od Vezuva (Pompeja) i Strombolija u Italiji, preko Pinatuba u Indoneziji i Fudžijame u Japanu, do Popokatepetla u Meksiku, ali vulkanske erupcije su u nedavnoj istoriji ipak izazvale manje žrtava od zemljotresa i uragana<sup>[3]</sup>. Erupcija vulkana Tambore na indonežanskom ostrvu Sumbava 1815. godine najveća je erupcija u istorijsko doba. Do erupcije planina Tambore bila je visoka oko 4.000 metara, a danas samo 2.850 metara. Prečnik vulkana na nivou mora iznosi 60 kilometara, a krater je dubok 1.110 metara i ima prečnik 6 kilometara. Erupcija je u vazduh izbacila 150 kubnih kilometara vulkanskog materijala, a visina eruptivnog stuba iznosila je 44 kilometra. Velike količine vrelog vulkanskog materijala pale su u okean, što je izazivalo dodatne eksplozije. Pepeo je padao i 1.300 kilometara daleko od vulkana. U centralnoj Javi i na Kalimantanu, udaljenim oko 900 kilometara od kratera, pao je pepeo debeo jedan centimetar. Pretpostavlja se da je neposredno od erupcije nastradalo oko 10.000 ljudi, a još 82.000 stradalo je od posledica - gladi i bolesti. Erupcija Tambore izmenila je vremenske prilike tako da su krajem leta i početkom jeseni dnevne minimalne temperature na severnoj hemisferi bile neuobičajeno niske.

Materijal izbačen vulkanskim erupcijama formira nove topografske formacije, blago zaobljena brda, planine strmih padina, zaravnjene plate, visoravni ili ostrvima dodaje nove kvadratne kilometre teritorije. U jednonedeljnom izlivanju lave iz vulkana Kilauea na Havajima 1983. godine, stradalo je oko 200 zgrada i nestalo je 13 kilometara puta. Lava je stigla do mora i formirala nekoliko velikih poluostrva a u vodi je pripremila "temelje" za nove teritorije. Naučnici su erupciju opisali kao "najspektakularniji izliv lave u nekoliko poslednjih vekova", a hiljade turista posmatrale su nastajanje novog kopna u sudaru vatre i vode, minijaturnoj verziji onih praiskonskih sudara u kojima su nastajali kontinenti. Pored Havaja, vulkani danas menjaju pejzaže na severozapadu SAD, na Siciliji gde je aktivna Etna, na Kamčatki, ruskom Dalekom istoku i u manjoj meri svuda tamo gde postoje aktivni vulkani. Na ranoj Zemlji aktivni vulkani postojali su svuda, u svakom kutku planete, a erupcije su bile neprekidne i snažne. Milionima godina vulkani su neprekidno i radikalno menjali Zemljinu topografiju, a prema jednoj analizi 80 odsto kopna koje danas postoji nastalo je erupcijama vulkana. Prema američkom Smitsonijan institutu, tokom poslednjih 10.000 godina, iznad površine mora bilo je aktivno 1.511 vulkana, a istorijski zapisi govore da je 539 vulkana, jednom ili dvema većim erupcijama, zasulo širu okolinu, a nekad i ogromne oblasti, pepelom "koji je padao poput jake kiše" ili je "danima, nedeljama i mesecima ostajao visoko u atmosferi".

## 9. Vulkanizam na Mesecu i Merkuru

Mesec (*slika 17, prikazane su svetla i tamna strana*), kao Zemljin jedini prirodni satelit, je najbliže nebesko telo, na prosečnoj udaljenosti 384400km. Ruska Luna 2 se prva meko spustila na Mesec 1959. Deset godina kasnije, prvi čovek je kročio na Mesec. Godine 1994. misijom Clementine precizno je mapirana Mesečeva površina, kao i ponovo 1999. godine sa Lunar Prospectorom.

Mesec ima oko 70km debelu bazaltnu koru koja vodi poreklo od gušćeg materijala iz omotača u ranoj fazi nastanka Meseca<sup>[2]</sup>. Nasuprot tome, najstarije stenje na Zemlji je retko starije od 3 milijarde godina. Uočavaju se dve osnovne vrste terena na Mesecu: stare visoravni (svetli regioni) koje čine oko 83% površine i mlađa Mesečeva *mora* (tamni regioni) koja čine preostalih 17% površine. Visoravni sa mnogo kratera prekrivene su slojem regolita, mešavine fine prašine i usitnjenih ostataka meteorita iz sudara. Ispod regolita, dominiraju dva tipa stena u kori:

- 1) Breča (*slika 18*) – koherentna stena od izlomljenih i stopljenih fragmenata
- 2) Anortosit (*slika 19*) – najzastupljenija stena u visoravnima, bazaltnog porekla



**Slika 17:**  
Svetla i tamna strana Meseca.



**Slika 18:**  
Breča



**Slika 19:**  
Anortosit

U poređenju sa visoravnima, Mesečeva mora (*slika 20* pokazuje tipičnu bazaltnu stenu iz mora) su mnogo tamnija i imaju relativno glatke površine. Svako se sastoji od ogromnih ploča bazaltne lave koja je istekla iz pukotina kratera koje su nastale prilikom jakih udara ali nije jasno da li su ti udari uzrokovali vulkansku aktivnost. Ukratko, ova široka polja lave su Mesečev ekvivalent bazaltnim predelima na Zemlji. Mora variraju u debljini od 1 do 4km.

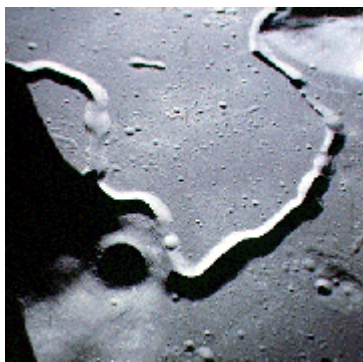
Fotografije velike rezolucije *mora* Imbrium pokazuju front toka lave koji se širi i do 1200km od svog izvora. Međutim, ovakve strukture karakteristične su samo za Imbrium jer druga *mora* uglavnom imaju glatke površine gde se tok ne može jasno razabrati, najverovatnije jer je kompozitan, sastavljen iz brojnih tankih slojeva. Tokovi lave u *morima* povezani su sa brojnim vulkanskim otvorima, u obliku kupole ili konusa. Kupolasti se obično nalaze u grupama, kružni su ili eliptični, po nekoliko kilometara u dužini i par stotina metara u visini. Bazaltni kupolasti vulkani na Mesecu su obično ekvivalent štitastim vulkanima na Zemlji. Nastanak njihovih relativno strmih padina nije sasvim jasan. Verovatno tome nije uzrok veoma viskozna bazaltna lava nego sam mehanizam njene erupcije koji može obuhvatati i kratke erupcije lave sa povremenim izbacivanjem pepela. Vulkani u obliku konusa su slični onima konusnim na Zemlji i pokazalo se da su povezani sa starijim sistemima pukotina.

Poznate i interesantne geomorfološke strukture koje se mogu naći u *morima* su uske vijugave doline, vijugavi rasedi. Njihova širina varira od nekoliko desetina metara do 3km, dok dužina varira od nekoliko kilometara do čak 300km. Mnogi su mogu naći u netipičnim kraterima. Najveći od njih, Hedli rased (*slika 21*), u okviru misije Apollo posetilo je 15 astronauta (*slika 22*). Iako je formiranje ovih raseda i dalje misterija, smatra se često da su nastali kao posledica toplotne erozije površine *mora*, usled izliva užarene, tečne lave slične onoj komatitnoj čije su erupcije na Zemlji bile pre više milijardi godina.

Površina Merkura jako je slična Mesečevoj, i u njegovim strukturama koje su nalik Mesečevim *morima* veruje se da postoje ili su postojali tokovi lave. Geomorfološke strukture koje bi mogle ukazivati na vulkansku aktivnost pronađene su u nekim kraterima. Na fotografijama dobijenim Marinerom 10, otkriveno je jedanaest vulkanskih kupola, uključujući i onu od 7km u prečniku i 1.4km visine blizu centra Odin Planitia-e. Odin Planitia je veliki basen na Merкуру, nazvan po nordijskom bogu Odinu 1976. godine od strane Međunarodne astronomske unije.



**Slika 20:**  
Bazalt iz mora



**Slika 21:**  
Hedli rased.



**Slika 22:**  
Hedli rased i misija Apollo

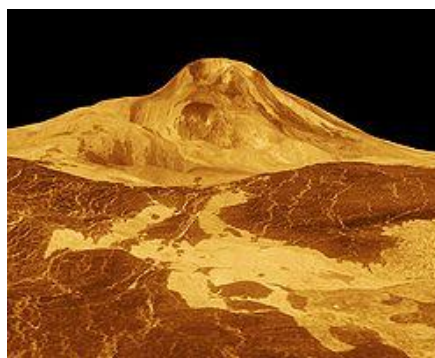
## 10. Vulkanizam na Veneri

Površinom Venere dominiraju geomorfološke strukture vulkanskog porekla, i ona je planeta Sunčevog sistema koja ima najviše vulkana<sup>[1]</sup>. 90% njene površine je od bazaltnih stena, a oko 80% površine je prekriveno reljefnim strukturama nastalim od lave što ukazuje da su vulkanske aktivnosti igrale značajnu ulogu u oblikovanju površine. Iako na površini ima oko 1600 vulkana, većina njih su odavno ugašeni i dugo se smatralo da na Veneri više nema vulkanske aktivnosti. Radarskim *posmatranjima* sondom Magellan otkriveni su indikatori relativno skore vulkanske aktivnosti na Venerinom najvišem vulkanu, Maat Monsu (*slika 24*) u vidu *tokova* pepela blizu oboda i na severnom krilu. Iako postoje indikacije da je Venera i dalje vulkanski aktivna, erupcije na Maat Monsu nisu potvrđene. Tek su u aprilu 2010. otkrivena tri aktivna vulkana što ukazuje na to da se površina Venere periodično menja novim tokovima lave<sup>[5]</sup>. Na Veneri se mogu naći štitasti vulkani i široki tokovi lave ali i neke neobične forme, kupole nalik na palačinke ili krpeljaste strukture (*slika 23*) kojih nema na Zemlji. Kupole nalik na palačinke dostižu do 15km u prečniku i nešto manje od 1km u visini i oko 100 puta su veće od kupolastih vulkana na Zemlji. One su povezane sa *koronama i tesarama* (ogromnim regionima veoma deformisanog materijala, savijenog ili razbijenog u više dimenzija koji su karakteristični samo za površinu Venere) i smatra se da su nastale od veoma viskozne lave bogate silicijumom. Krpeljaste strukture zovemo i kupolama sa *čupavim* granicama. Izgledaju kao kupole sa brojnim *nogama*. Smatra se da su prošli neke događaje u kojima su izgubili masu, kao klizišta na njihovim granicama.

Na Veneri, gde nema tektonskih ploča ni tečne vode na površini kao na Zemlji, vulkani su obično štitastog oblika<sup>[2]</sup>. Geomorfologija vulkana se na Veneri bitno razlikuje od one na Zemlji. Vulkan na Veneri mogu da budu široki stotinama kilometara ali su relativno ravni, sa prosečnom visinom od 1.5km. Još par jedinstvenih struktura na Venerinoj površini su *novae* (radijalna mreža nasipa ili grebena) i *paukolike strukture*. *Novae* nastaju erupcijom ogromnih količina lave, a nasipi koji su radijalno simetrični u odnosu na mesto izbijanja lave su verovatno nastali urušavanjem komora magme. *Paukolike strukture* podsećaju na paukovu mrežu sa nekoliko koncentričnih ovala okruženih kompleksnom mrežom radijalnih pukotina, sličnoj kao kod *novae*. Ne zna se da li je oko 250 poznatih ovakvih paukolikih struktura istog porekla ili su nastali različitim procesima.



**Slika 23:**  
*Krpeljasta struktura na Veneri.*



**Slika 24:**  
*Maat Mons*

## 11. Vulkanizam na Marsu

Mars, *crvena planeta*, dobila je ime po rimskom bogu rata. Sa prečnikom od 6794km, gotovo je upola manja od Zemlje. Kao i kod Zemlje, površina je prekrivena korom ispod koje je stenoviti, delimično tečni omotač. Stenoviti deo kore sastoji se od bazaltne lave. Iako je Mars verovatno bio tektonski aktivan rano u svojoj istoriji, ne postoje dokazi o skorašnjim horizontalnim geološkim aktivnostima sličnim pomeranju tektonskih ploča kod Zemlje<sup>[2]</sup>. Vulkanske aktivnosti na Marsu delimično su posledica aktivnosti u regionima sa zarobljenim *mehurovima* magme ispod površine. Nedostatak bočnog kretanja znači da ovi aktivni region (hotspots) ostaju na istom mestu u odnosu na površinu Marsa. Ovaj mehanizam uzrokuje regionalno uzdizanje površine kao i vulkanske aktivnosti regiona *Tharsis bulge* (ispupčenje Tharsis)<sup>[1]</sup>. Ogromni sistem kanjona *Valles Marineris* je istočno od Tharsis ispupčenja. Ova formacija se sastoji od brojnih kanjona čije dubine variraju od 2 km do 7 km, a sve to na potezu dugom 4500 km. Marineris kanjoni nisu nastali vodenom erozijom, već rastezanjem i pucanjem kore Marsa usled aktivnosti ispupčenja Tharsis. Međutim, postoje očigledni dokazi o prastaraj vodenoj eroziji na Marsu, koja datira iz doba pre oko 4 milijarde godina. Do danas su preduzete 23 naučne misije koje se odnose na Mars, uključujući tu preletanja i orbitiranja, kao i sletanja na ovu planetu. Prva ljudska tvorevina koja je sletela na Mars je Mariner 4 još davne 1965. godine, a zatim i Viking 1 1976, kao i Mars Pathfinder 1997. godine.

Vulkanske tvorevine na Marsu su slične po obliku, ali ne i po veličini onima koje imamo na Zemlji, i verovatno su nastale sličnim procesima na obe planete. Nasuprot vulkanskih tvorevina nađenih na Mesecu, marsovske vulkanske tvorevine mogu se naći na predelima veoma različite starosti. Stoga, vulkanska aktivnost je činila bitan deo marsovske istorije. Brojne vulkanske tvorevine mogu se naći u starijim visoravnima prošaranim kraterima, kao i u geološki mlađim vulkanskim zaravnima u njihovoj okolini. Međutim, najimpresivnije tvorevine vulkanskog porekla na Marsu vezujemo za ogromna uzdizanja terena na područjima platoa *Tharsis* i *Elysium*. Najspektakularnije vulkanske tvorevine na Marsu su izolovani, džinovski bazaltni štitasti vulkani zvani *Montes* (*Mons* u jednini), što je latinski naziv za planinu. Najveći među njima su četiri divovska vulkana povezana sa uzdignutim *Tharsis* regionom. Među njima, najveći Zemljin vulkan ovog tipa, *Mauna Loa*, deluje kao patuljak. Najveći u ovoj četvorci je *Olympus Mons* (slika 25). Taj vulkan je najveći u čitavom Sunčevom sistemu, sa prečnikom osnove od oko 600 kilometara i visinom od fantastičnih 25 km u odnosu na okolne ravnice. Ovakvi veliki bazaltni štitasti vulkani sastoje se od centralnog *kotla* (vulkanskog kratera) i blagih kosina koje se spuštaju pod uglom često manjim od 5 lučnih stepeni. Bokovi vulkana prošarani su radijalnim teksturama formiranim tokovima lave koja je isticala iz centra. Velike dimenzije ovih vulkana ukazuju na to da su verovatno nastali masivnim erupcijama tečnog bazalta tokom dugih vremenskih perioda. Slične erupcije na Zemlji povezane su sa tzv. *vrućim tačkama*. Međutim, na Zemlji se izvori magme vremenom pomeraju u odnosu na površinu planete zbog bočnog kretanja tektonskih ploča. Zbog odsustva ovakvog kretanja na Marsu upravo i postoji mogućnost formiranja kolosalnih vulkana gigantskih razmera tokom više miliona godina aktivnosti. Zanimljivo je zapažanje da je zapremina *Olympus Monsa* grubo rečeno ekvivalentna ukupnoj zapremini bazalta u havajskom morskom lancu planina. U poređenju sa džinovskim *Mons* vulkanima, *Tholi* i *Paterae* (slika 27 i slika 26) su mnogo manji vulkanski otvori. Vulkani tipa *Tholus* su kupaste vulkanske planine sa centralnim kraterom, i njihove strane su obično nešto strmije od strana *Mons* i *Patera* vulkana. *Patera* vulkani predstavljaju nepravilne skupine vulkanskih kratera blagih ivica, a okruženi su blagim padinama često nagiba manjeg od jednog lučnog stepena. Niži delovi bokova i *Tholi* i *Paterae* tipova su najčešće prekriveni ohlađenom *mlađom* lavom. Ovo nagoveštava da neki od ovakvih vulkana mogu u stvari biti i vrhovi štitastih vulkana, prekrivenih lavom zbog učestalih vulkanskih aktivnosti u ovim regionima. Neki vulkani ova dva tipa imaju talasaste kanale urezane u padine, verovatno kao posledica tokova vrela lave. Neki istraživači, međutim, pretpostavljaju da su ovakvi kanali nastali piroklastičnim tokovima. Erodirane padine mnogih vulkana tipa *Tholus* i *Patera* nagoveštavaju da su ovakvi vulkani češće nastajali piroklastičnim aktivnostima nego, nasuprot tome, masivnim eruptivnim tokovima kao kod *Mons* tipa vulkana. Snimci velike rezolucije sa *Mars Global Surveyora* otkrili su brojne kupaste strukture male veličine (prečnika manjeg od 250 m) nastalih na površini svežijih tokova lave. Međutim, ni jedna od ovih kupa ne predstavlja izvor ovih tokova lave. Slične vulkanske tvorevine na Zemlji nazivamo *rootless* (slika 28), u smislu da one ne predstavljaju izvore lave i ne nalaze se tačno iznad komora magme. Neki istraživači su mišljenja da ovakve strukture nastaju interakcijom istopljene lave sa izvorištima bogatim vodom. Ova ideja je privukla mnogo pažnje jer, ukoliko se pokaže tačnom, onda bi ovakve formacije predstavljale obeležja lokacija na kojima je bilo vode ili leda u vreme erupcija.

**Slika 25:**

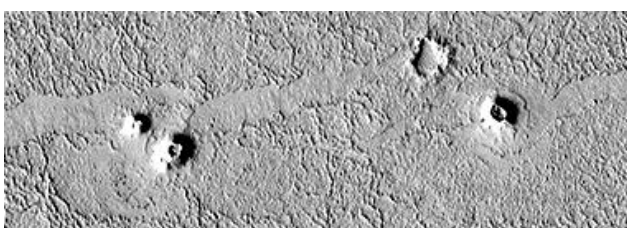
Olympus Mons, pogled odozgo.

**Slika 26:**

Apollinaris Patera

**Slika 27:**

Ceraunius Tholus

**Slika 28:**

Rootless, pogled odozgo.

## 12. Vulkanizam na satelitu Io

Io, najbliži mesec Jupitera, predstavlja vulkanski najaktivnije telo u Sunčevom sistemu<sup>[4]</sup>. Ovo je, pored Zemlje, jedino nebesko telo koje pokazuje vulkansku aktivnost velikih razmera. Prve slike pristigle sa *Voyagera 1* koji je prošao pored satelita Io 1979. godine zaprepastile su naučnu zajednicu otkrivajući burne vulkanske erupcije koje se uzdižu i do 260km iznad površine. Kako su dodatne slike pristigle sa *Habla* i *Galilea* (1996-2000), shvatili smo da ovo izuzetno telo prekriveno kraterima ima oko 70 aktivnih vulkana. Površina Ija prošarana je bojama, žutom, narandžastom, crvenom i crnom, otkrivajući brojne erupcije različitih materijala, od velikih izliva bazaltne lave do masivnih naslaga sumpora. Nedostatak udarnih kratera na površini ide u prilog teoriji o burnoj vulkanskoj aktivnosti ovog satelita. Ukupno 15 aktivnih erupcija je identifikovano na slikama iz misija *Voyager* i *Galileo*. Instrumenti kosmičkih letilica obezbedili su i dodatne važne informacije u vezi prirode ovih eksplozivnih erupcija. *Voyagerov* infracrveni interferometar-spektrometar (IRIS) je ukazao da većina aktivnih erupcija odgovara izuzetno toplim područjima Ijove površine. Podaci sa *Galileovog* NIMSa (Near-Infrared Mapping Spectrometer) pokazali su nam da većina ovih vrelih eksplozivnih erupcija izbacuje velike količine sumpordioksida, dok ostale erupcije izbacuju sumpor. Kao kontrast ovome, velike erupcije na Zemlji često izbacuju veliku količinu vode i ugljendioksida. Za razliku od površina većine drugih nebeskih tela, velike i česte vulkanske aktivnosti na Iju mogu proizvesti dramatične promene njegove površine tokom relativno kratkih vremenskih perioda. Obojena površina Ija je u najvećem delu sačinjena od vulkanskih ravnica nastalih tokovima lave iz različitih erupcija i vulkanskih naslaga u kojima dominiraju piroklastične čestice kondenzovanog *inja* sumpordioksida, sumpora i na pojedinim mestima tefre sa silicijumom<sup>[2]</sup>. Naslage crvene boje na Iju su najverovatnije mlade naslage piroklastičnih materijala bogatog sumpordioksidom, kondenzovanim gasom koji će najverovatnije već u roku od par godina promeniti boju u žutu ili belu. Svetlije obojeno *inje* sumpordioksida verovatno predstavlja područja sa grubljim zrnastim naslagama od crvenih naslaga sumpordioksida.

Tokovi, izlivi lave na Iju imaju mnogo istih karakteristika kao i bazaltni izlivi niske viskoznosti na Zemlji. *Amirani* i *Maui* izlivi lave su najduži poznati izlivi u čitavom Sunčevom sistemu.

Sastav lave delimično zavisi od temperature topljenja. Podaci sa *Galileovog* NIMS instrumenta ukazuju da je prosečna temperatura aktivne, tečne lave na Iju oko 1600 stepeni celzijusa. Postoje neke spekulacije da se nekim delom ova lava sastoji od tečnog sumpora. Sumpor, međutim, burno ključa na Ijovoj površini već na

oko 500 stepeni. Stoga, lava na Iju je pretežno silikatnog sastava. Lava visoke temperature na Zemlji je uglavnom takvog porekla da je bogata magnezijumom. Izuzetno visoke temperature lave na Iju ukazuju na to da su ultramafitskog sastava (manje od 45% čine silikati, pored njih sastoji se iz oksida magnezijuma i gvožđa i tamnijih minerala obogaćenih gvoždem i magnezijumom). Erupcije lave ovakvog sastava na Zemlji su bile retkost u novijoj geološkoj istoriji naše planete. Međutim, ovakve erupcije bile su česta pojava u najranijoj prošlosti Zemlje (periodi od pre oko 2 milijarde do 4.5 milijardi godina) kada je unutrašnja temperatura Zemlje bila znatno viša nego danas. Ova vrela, *ultramafitska* lava je toliko visoke temperature da topi druge tipove stena dok putuje ka površini planete. Termalna erozija nastala izlivima i erupcijama ovakve lave je verovatno uzrok nastajanja talasastih raseda kakve vidimo na Mesecu, dok ovakve formacije još uvek nisu uočene na Iju.

Žuti prsten na slici (*slika 29*) predstavlja ostatke naslaga vulkanskog kratera *Prometheus* koji je bio u aktivnom stanju preko 20 godina. Tokom ovog vremena, izvor erupcije se premestio 70 kilometara na zapad. Većina naučnika veruje da je izvor ove erupcije - otvor koji leži na zapadnom kraju tamnog toka lave sa slike. Međutim, postoje i mišljenja da je ovaj krater nastao i samim tokom lave preko gotovo zapaljive površine prekrivene materijalom bogatim sumpordioksidom.

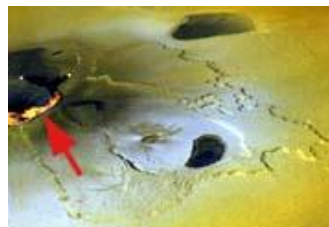
**Slika 29**



**Slika 30**



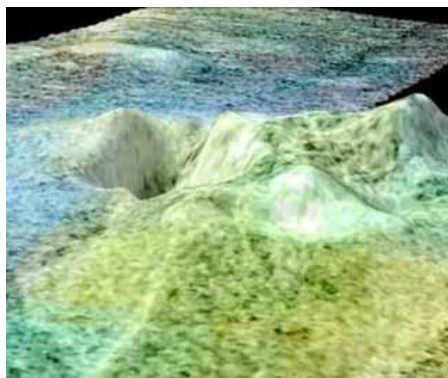
**Slika 31**



Tokovi lave takođe često menjaju izgled površine Ija. Spektakularan primer posledica velikih izliva lave prikazan je na dve fotografije (*slika 30*, *slika 31*), koje su nastale u vremenskom razmaku manjem od 3 meseca. One prikazuju erupciju i tok lave u području karakterisanom lancem džinovskih kratera nazvanom *Tvashtar Catena*. Fotografija iz novembra 1999. (*slika 30*) prikazuje erupciju koja proizvodi *vatrenu zavesu*, što je tipična tvorevina karakteristična za tip havajskih erupcija na Zemlji. Procep prikazan ovde je oko 40km dug, a *vatrena zavesa* se pruža oko 1.5km iznad površine. Čini se da je ova erupcija izvor toka lave u osnovi pukotine. Druga fotografija, iz februara 2000. godine (*slika 31*) pokazuje pomeranje vulkanske aktivnosti ka zapadu i nastajanje toka lave dugačkog preko 60km prilikom ovog pomeranja.

### 13. Vulkanizam na drugim satelitima

Saturnov satelit Enceladus ima gejzire koji izbacuju vodu, što je zabeleženo na fotografijama NASAine letilice Cassini-Huygens. Drugi Saturnov satelit, Titan je, moguće, takođe vulkanski aktivan<sup>[4]</sup>. Na osnovu vulkanske aktivnosti bi moglo da se objasni postojanje guste atmosfere. Cassini sonda je uočila planinu visoku 1500m na Titanu sa dubokim udubljenjem na vrhu i nečim što izgleda kao izbačeni materijal po okolnoj površini. Dugo se nagađalo da Titan ima vulkane, ali njegova neprozračna atmosfera je onemogućavala preciznija merenja i jasnija osmatranja. Na fotografiji (*slika 32*) iz 2010. godine vidi se vulkan na Titanu. Vulkanaska aktivnost se verovatno javlja i na Neptunovom satelitu Tritonu.



**Slika 32**

## 14. Literatura

- 1) <http://www.crystalinks.com/volcanoesplanets.html>
- 2) [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/index.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/index.html)
- 3) <http://www.volcanolive.com/science.html>
- 4) <http://europa.la.asu.edu/education/activities/voi/voi.pdf>
- 5) <http://www.universetoday.com/tag/volcanism/>