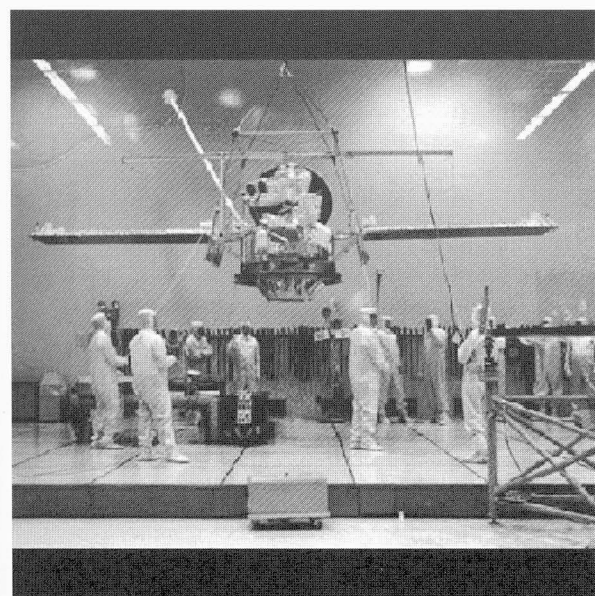


GEOLOGIJA TERESTRIČKIH PLANETA I MJESECA SUNČEVOG SUSTAVA

Tomislav MALVIĆ i Dražen BALEN

Pročitavši naslov vjerojatno se većina zapitala može li se govoriti o geologiji na drugim planetima. Strogo gledano grčka riječ "gea" znači Zemlja, a "logos" riječ te se geologija definira kao znanost o građi, dinamici i razvitku Zemlje (*Herak, 1990*) koja u stvari ne "pokriva" druge planete, ma koliko slični bili. Ipak gledajući područja djelovanja i polja izučavanja geologije, te građu i postanak svih terestričkih planeta i mjeseca te u nedostatku boljeg rješenja, a već prema ustaljenoj praksi drugih autora, pojam geologije koristiti ćemo i za ostale terestričke planete i mjesece, odnosno objekte koji svojom građom i oblicima podsjećaju na Zemlju.

1. Međuplanetarne misije



Slika 1: Sastavljanje letjelice Mariner 10

U terestričke planete, u granicama unutarnjeg dijela sustava našega Sunca, ubrajaju se Merkur, Venera, Mars i naravno Zemlja. Ponekad je zbog svoje veličine i sastava Mjesec također svrstan u tu skupinu, no češće se kategorizira zajedno s ostalim mjesecima planetarnih sustava. Uz terestričke

planete možemo ubrojiti i veće pratiocice plinovitih divova vanjskog dijela Sunčeva sustava - Jupitera i Saturna. Prvi detaljni podaci o planetima počeli su pristizati nakon lansiranja automatskih međuplanetarnih letjelica. Svaka nova misija bila je opremljena sve boljim uređajima tako da je prikupljeno obilje podataka i snimaka. Značajne misije su do sada lansirale samo SAD i nekadašnji Sovjetski Savez, a danas im se pridružuju misije zemalja EU i Japana. Slike u ovome tekstu preuzete su uglavnom s Internet stranica NASA-e. Prve letjelice poslane u istraživanje unutarnjih planeta bile su *Mariner* i *Viking* (**slika 1**). *Mariner 10* bila je zadnja letjelica svoje serije koja je 1974. godine na Veneri prvi put snimila kretanje gustoga oblačnog sustava iznad površine planete. Nastavljajući svoj let dalje pored Merkura snimljena je oko polovice njegove površine, otkrila postojanje tanke atmosfere i izmjerila magnetsko polje. Misija *Viking* upućena je prema planetu koji je pobudio najviše ljudske pažnje - Marsu. Dvije letjelice snimljena je površina, izmjerne meteorološke i fizikalne pojave, a spuštene su i sonde na sam planet.

Promjenom prioriteta u svemirskim agencijama bespilotno istraživanje spomenutih planeta nastavljeno je tek nakon dvadesetak godina dvjema misijama na Mars: *Mars Pathfinder* i *Mars Global Surveyor* (**slika 2**) lansiranim 1996.



Slika 2: Lansiranje Mars Global Surveyora raketom-nosačem Delta II

Objekte su misije bile opremljene mnogo brojnijom i kvalitetnijom opremom od prethodne, a površina je istražena samohodnim vozilom koji je analizirao mnoštvo uzoraka stijena s površine.

2. Planeti

2.1. Merkur

Prije misije *Mariner 10* Merkur je smatran samo pustom, kamenom kuglom toliko blizu Suncu da se smatrala "paklom" na dnevnoj strani. No, daljinskim snimkama i mjerenjima otkrivena je površina nalik Mjesečevoj, a unutrašnjost nalik Zemljinoj.

Merkurova gustoća je poslije Zemljine najveća, što upućuje na postojanje željezne jezgre koja zauzima preko 3/4 radijusa (veća od Zemljine). Na njoj leži lakša silicijska kora čija je površina izbrazdana brojnim udarnim kraterima. Velika područja pokrivena su golemim izljevima lave koja su poput sličnih mjesečevih područja nazvana morima, no ona nisu tako prostrana kao na Mjesecu.

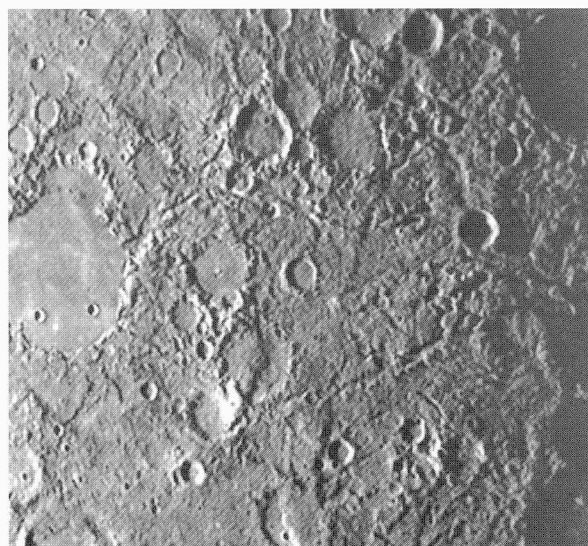
Usprkos velikoj blizini Sunca planet je okružen atmosferom, najvećim dijelom od helija, porijeklom od solarnih vjetrova, milijun puta rjeđom od Zemljine. Zbog te blizine na Merкуру su razlike temperaturi između dnevne i noćne strane najveće. Na sunčanoj strani temperatura doseže 425 °C, a na noćnoj pada do -175 °C. Temperaturni ekstremi posebno su izraženi zbog spore rotacije planeta čiji dan traje 58,65 Zemljinog pa se površina ima vremena zagrijavati i hladiti. Izmjereno slabo magnetsko polje ukazuje da je rotacija jezgre možda još uvijek aktivna, a možda se radi tek o ostatku magnetskog polja nastalog u ranoj fazi oblikovanja Merkura.

Od geoloških osobitosti na površini planeta otkrivene su goleme pukotine dužine i do nekoliko stotina kilometara koje predstavljaju rasjede po kojima su se dijelovi kore navlačili i podvlačili u vrijeme hlađenja i sažimanja planeta. Izračunato je da je iznos kontrakcije bio od 1 do 2 km (*Press & Siever, 1978*). Takva dinamika postojala je u prvoj fazi stvaranja planeta, a danas je to tektonski "mrtav" planet. Kao i kod ostalih "zemaljskih"

planeta i mjeseca, posebno onih bez atmosfere i bez erozije, površina Merkura snažno je izbrazdana meteoritskim kraterima. Postanak većine njih povezan je s razdobljem intenzivnog bombardiranja vezanog uz prvih 1-2 milijarde godina postojanja Sunčevog sustava.

Za Merkur možemo reći da je to svijet kratera, koji se morfološki i veličinom razlikuju, a njihov raspored i strukture se mogu pratiti u prostoru i vremenu. Područja unutar kratera (engl. *intracrater plains*) su tipična za Merkur kao i navlake. Starost površinskih značajki Merkura odgovara približno istim pojavama na Mjesecu (4 milijarde godina), a maksimum vulkanske aktivnosti se odvijao prije 3,9 milijardi godina. Danas nema zamjetne vulkanske aktivnosti. Površina Merkura je prekrivena regolitom (silikatni materijal izbačen na površinu udarom meteorita).

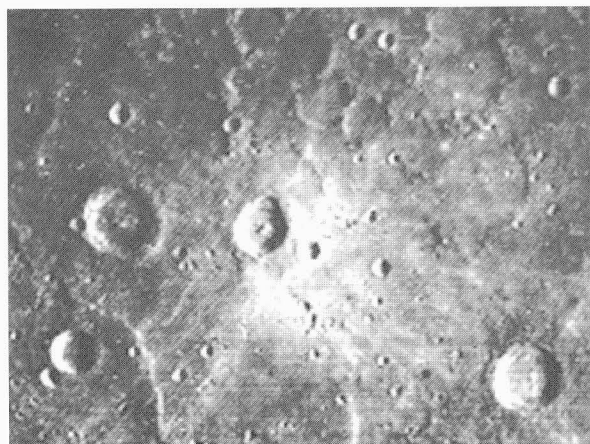
Primjer brežuljkaste, kraterima izudarane i (rasjedima?) ispresijecane površine prikazan je na **slici 3**. Snimljeni teren predstavlja antipodnu točku velikom *Caloris* bazenu tako da je najvjerojatnije velik udar meteora u tome području uzrokovao snažno gibanje kore u snimljenom području, njeno mjestimično izdizanje i rasjedanje.



Slika 3: Snimak brežuljakstog područja Merkura površine oko 800 km²

Sličnost Merkurove i Mjesečeve površine lijepo se uočava na **slici 4** na kojoj je, u središnjem dijelu, prikazan jedan krater oko 10 km u promjeru. Na istoj slici, u gornjem

lijevom kutu, uočava se zaravnjeno (tamnije) područje s tek nekoliko manjih kratera. Vjerojatno je taj dio površine prekrrio i zaravnio tok lave.



Slika 4: Snimak kratera na površini Merkura

2.2. Venera

Venera je po većini svojih fizikalnih parametara (masi, promjeru, gustoći, gravitaciji i udaljenosti od Sunca) najsljednija Zemlji. No, uvjeti na površini i u atmosferi oslikavaju jedan potpuno različit, strani i krajnje negostoljubivi planet.

Podaci o Veneri prikupljeni su američkim misijama *Mariner 2* i *10*; zatim se *Venera 7* spustila na površinu i emitirala podatke 23 minute tijekom spuštanja, a *Venera 9* je poslala sliku s površine i podatke o tlaku od 90 atmosfera i temperaturi od 480 °C.

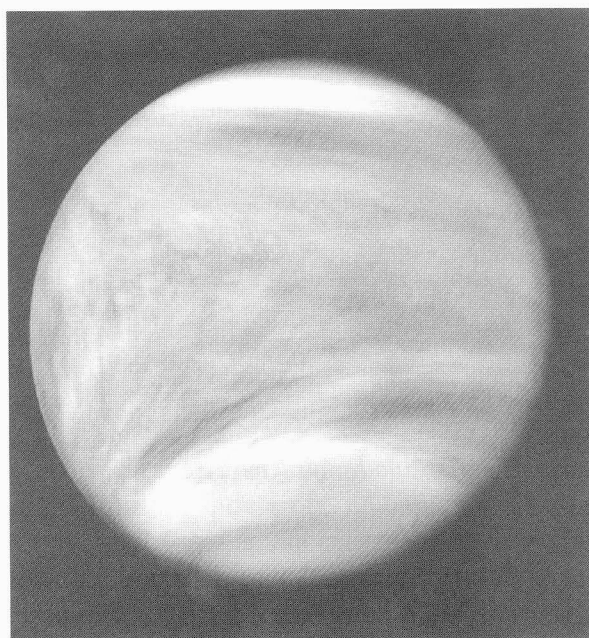
Te podatke dopunile su letjelice *Venera 13*, *Pioneer Venus 2*, ruske letjelice u prolazu pored Venere te *Magellan* koji drži rekord u količini podataka prikupljenih svemirskom letjelicom.

Venerina atmosfera (slika 5) je gusta smjesa plinova čiji je pritisak 90 puta veći od Zemljine. Dominira ugljični dioksid s udjelom većim od 95 %, a ostatak čini dušik (3 %), vodena para i tragovi još nekoliko plinova. Zahvaljujući takvom sastavu atmosfere aktivan je efekt staklenika u svome najboljem izdanju. Sunčeva energija koja dopiye na površinu planete ne reflektira se nazad u svemir te se površina planeta zagrijala na vrlo visoku temperaturu koje dosižu 480 °C, a niti na noćnoj strani nije puno niža. Gustom atmosferom

"plove" oblaci sačinjeni od para vrlo otrovne i korozivne sulfatne kiseline čime Venera postaje mjesto gdje je teško spustiti i automatske sonde, a kamoli ljudsku posadu.

Zbog guste atmosfere površina Venere snimljena je radarom. Njen najveći dio je brežuljkasti (oko 70 %), a manji dio otpada na zaravni prekrivene izljevima lave (20 %) i planine, odnosno vulkane (10 %) (*Press & Siever, 1978*).

Veneru karakteriziraju visočja *Ishtar* i *Aphrodite Terra* sastavljena od nekoliko vulkanskih masiva odvojenih pukotinama i slijevovima (platoi) lave. *Maxwell Mts.* predstavlja najviši vrh, 11 km iznad srednjeg radijusa (nulte ravnine) i 8,2 km iznad podnožja. Cijela površina Venere je obilježena vulkanizmom.

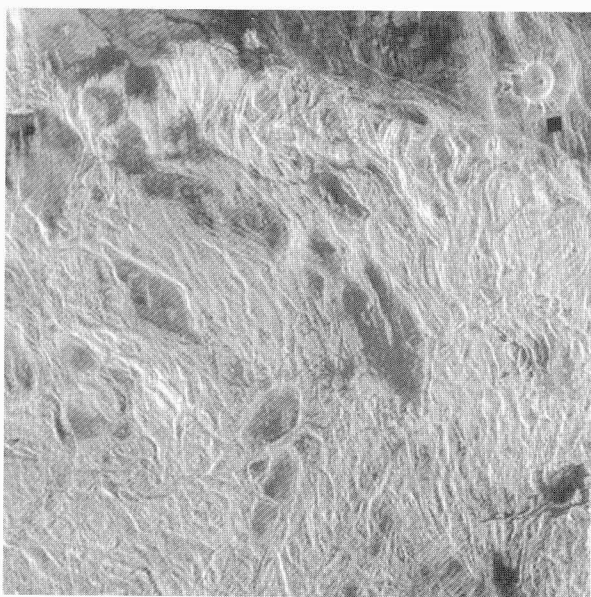


Slika 5: Prikaz neprozirne atmosfere Venere

U gorskim područjima vidljive su crte koje podječaju na rasjedne, a svojim položajem upućuju da je pomacima kore uz njih uzrokovano izdizanje, odnosno spuštanje okolnih dijelova terena. Također su uočene ekstenzijske doline u područjima gdje se kora razdvojila, a lava preplavila površinu. I na površini Venere česti su otisci udara meteorita, no gusta i turbulentna atmosfera uzorkuje česte promjene u izgledu površine (eroziju). Fotografije svemirskih letjelica otkrivaju obilje morfoloških pojava kod vulkana poput

parketastih slijevova (*tesserae*), kružnih vulkanskih struktura nalik paukovim mrežama (*arachnoids*) i eksplozivnim vulkanima (*pancakes*) - Moore (1999).

Takav rasjednut teren s brojnim jarcima i grebenima predstavlja *Alpha Regio*. Dimenzije struktura na **slici 6** kreću se između 10 i 60 km, a prosječna visina oko 4 km u odnosu na Venerinu nultu ravninu. Tamnija niža područja vjerojatno su ispunjena lavom. Svjetle točke na ravnicama predstavljaju vulkane (kao u gornjem desnom kutu). Rasjedni sustavi pružaju se u svim smjerovima.



Slika 6: Snimak područja Alpha Regio

Gravimetrijski podaci pokazuju da su planinski lanci izgrađeni od lakših dijelova kore koji "plutaju" na gušćem omotaču (poput kontinentalne kore na Zemlji, odnosno pravila izostatske kompenzacije - Herak, 1990). Ipak na Veneri nije dokazano pomicanje dijelova kore što je slučaj na Zemlji (tektonika ploča), tako da se većina dinamike planete odrazila kroz vulkansku aktivnost. Zbog toga što Venerina tanka kora ne klizi po omotaču kao na Zemlji, kada se formira vulkan iznad vruće točke on ostaje na istom mjestu dug period vremena.

Upitno je posjeduje li planet značajniju željeznu jezgru, jer oko njega nije izmjereno magnetsko polje.

Na **slici 7** radarom je snimljen sustav tokova lave (svijetlija područja) koji su na kraju stvorili cijeli bazen (površine oko 100.000 km²) vidljiv u donjem desnom kutu slike. Paralelno tokovima pruža se od sjeverozapada prema jugoistoku planinski lanac. Izvor lave bio je vulkan *Corona Derceto* smješten izvan slike oko 300 km na zapad. Izbočene pruge koje se poprečno pružaju preko slike posljedica su obrade slike.



Slika 7: Područje s tokovima i "bazenom" ohlađene lave

Zadnja slika površine Venere u tekstu (**slika 8**) ocrta dio područja nazvanog *Ovda Regio*. Jasno se ocrtavaju sustavi dolina i grebena pružanja sjeveroistok-jugozapad, a prosječno su međusobno udaljeni 10-20 km. Postanak im je vjerojatno povezan sa snažnim stresom okomitim na pružanje struktura. Središnja dolina, ujedno najveća, ispunjena je crnim materijalom koji vjerojatno predstavlja velike količine lave. Geološka složenost cijelog područja upućuje na višestruke i brojne tektonske deformacije toga područja.

Glavna Venerina nepoznanica vezana je uz postanak tako različite atmosfere od Zemljine, iako se radi o (astronomski) vrlo sličnim planetima. Prva je mogućnost da je Venera upravo toliko bliže Suncu da je izašla iz "pojasa života" te pojačano zagrijavanje nije dopustilo kondenzaciju vode u oceane i vezivanje ugljičnog dioksida unutar taložnih stijena (karbonata). Druga pretpostavka može uključiti postojanje jednog ili više oceana na površini Venere u njejoj davnoj prošlosti, ali

zahvaljujući nekoj klimatskoj katastrofi oni su isprarili i započeo se razvijati efekt staklenika koji je na kraju doveo do današnjega stanja.



Slika 8: Snimka područja Ovda Regio

2.3. Mars

Mars se još, zbog svoje karakteristične boje, naziva Crvenim planetom. To je planet koji je potaknuo najviše ljudskih fantazija i nada u vezi postojanja života izvan Zemlje, koje tinjaju još i danas, a novi poticaj dobivaju eksperimentima s genetski modificiranim biljkama koje bi trebale u doglednoj budućnosti teraformirati Mars (izvješće *NASA Science News: Jellyplants on Mars*; http://science.nasa.gov/headlines/y2001/ast01jun_1.htm).

Razmišljanja o životu na Marsu uzela su maha razvojem teleskopa i promatranjem površine toga planeta, posebno kada je u drugoj polovici 19. stoljeća talijanski astronom *Giovanni Schiaparelli* uočio oblike koji su neodoljivo podsjećali na umjetne kanale. Maštom i uvjerenosti *dr. Percivala Lowella* razvila se teorija da tim tvorevinama jedna izumiruća vrsta pokušava spasiti svoj opstanak tako da u golema pustinja područja svoga planeta dovodi vodu s jedinih mjesta gdje se još zadržala - s polova. Takav romantični prikaz se vremenom nažalost izgubio, ali su ostale mnoge dobre ZF priče inspirirane tadašnjim vjerovanjem.

Mars je manje gustoće od Zemlje, a karakterizira ga rijetka atmosfera koja ne podržava zemaljske oblike života niti oceane. Promjer Marsa nešto je manji od polovice Zemljinoga. Podaci o Marsu prikupljeni su letjelicama *Mariner 4* i *9*, *Viking 1* i *2*, *Mars*

Pathfinder, *Global Surveyor* i analizom meteorita porijeklom s Marsove površine nađenim na Zemlji.

Na Marsu je lako uočljiva izmjena godišnjih doba, a temperature se kreću u dosta širokom rasponu za ljudska mjerila, dijelom i zbog vrlo eliptične putanje planeta. Prosječna temperatura je -23°C , no na polu se zna spustiti i do -130°C , dok se na ekvatoru može popeti do 30°C . Na polovima se nalaze ledene kape koje se u ljetnim mjesecima smanjuju, a u zimskim rastu. Polarne kape su različitog sastava od kojih je gornji dio sezonski i ovisan o promjenama temperature, a donji stalan. Tako se sjeverna polarna kapa sastoji od vodenog leda (H_2O) dok je južna uslijed oštrije zime sastavljena od vode (H_2O) u donjem dijelu i zimi od ugljičnog dioksida (CO_2) u gornjem dijelu. To vezivanje ugljičnog dioksida u led uzrokuje pad atmosferskog pritiska što opet pokreće vjetar i uzrokuje dalje morfološke promjene na površini Marsa.

Atmosfera je najvećim dijelom sastavljena od ugljičnog dioksida, uz nešto dušika i tragove kisika, argona, ugljičnog monoksida i vodene pare. Nebom, kao i na Zemlji, "plove" oblaci, a površinom često vitlaju vrlo jake i dugotrajne oluje s brzinom vjetra oko 270 km/sat podižući sitne čestice u više slojeve atmosfere koje tamo ostaju tjednima.

Uz Zemlju, Mars ima geološki najzanimljiviju površinu, s objektima često očaravajućih dimenzija. Geološke strukture nastale su udarima meteorita, vulkanima, tektonikom, ali i erozijom vodom, vjetrom i ledom. No, kako erozija nije tako snažna kao na Zemlji, a nema niti gibanja ploča litosfere, starost stijena i sedimenata na površini Marsa puno je veća od onih na Zemlji.

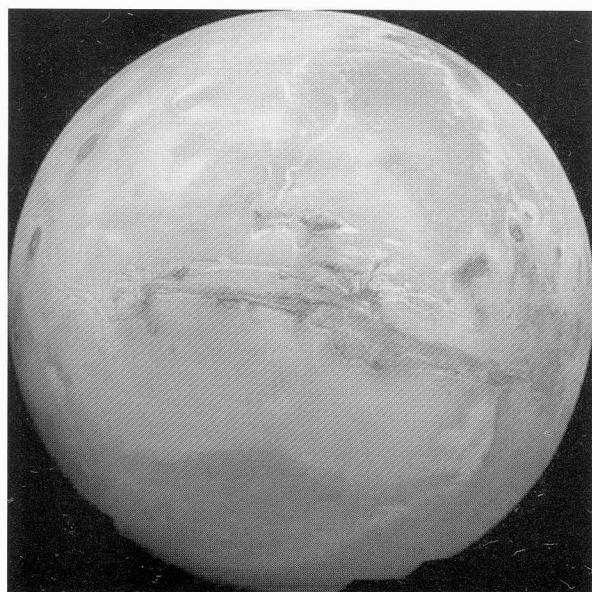
Najizraženija vulkanska pojava je *Olympus Mons* štitasti (engl. *shield*) vulkan čija je geneza, ali ne i veličina, usporediva s havajskim vulkanima istog tipa: *Mauna Loa* i *Mauna Kea*.

Najveći vulkani leže u područjima *Tharsis* i *Elysium* dok se manji vulkani nalaze takoreći posvuda.

Masiv *Tharsis* pruža se u dužini oko 4000 km s visinom od 10 km. Sustav kanjona *Valles*

Marineris nadmašuju svaku sličnu tvorevinu u cijelome Sunčevom sustavu, dužine isto 4000 km, a dubine 2-7 km. Na južnoj polutki udarni krater *Hellas Planitia* dubok je više od 6, a promjera 2000 km.

Jedna od najočaravajućih geoloških struktura je spomenuta *Valles Marineris* (slika 9), ogromni sustav kanjona, koji se pruža od *Noctis Labyrinthus* lučnog sustava grabena na zapadnoj strani, pa do terena kaotičnog izgleda površine na istoku.



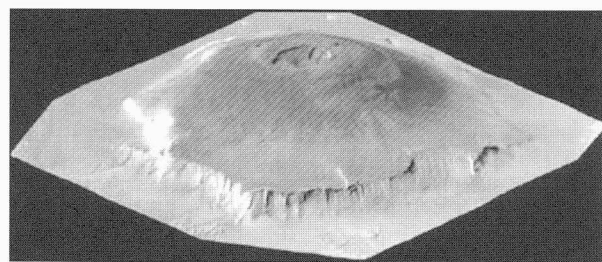
Slika 9: Obrisi Valles Marineris na Marsovom disku

Brojna drevna rječna korita pružaju se upravo od istočnog i središnjega dijela *Valles Marineris* prema sjeveru (Newcott, 1998). Na krajnjem zapadu slike, u području *Tharsis*, vide se tri tamne točke koje predstavljaju vulkane čija se visina kreće od 18 do 25 km.

Izgled površine vrlo je različit na južoj i sjevernoj polutki. Južna polutka velikim dijelom je prekrivena udarnim kraterima, starim i nekoliko milijardi godina, tako da izgledom podsjeća na Mjesec. Dva najveća "bazena" (kratera) nazvana su *Hellas* i *Argyre*, a okružuju ih planinski lanci formirani od materijala izbačenog prilikom eksplozije. Veliki dijelovi na južnoj hemisferi prekriveni su pješčanim dinama.

Sjeverna Marsova polutka puna je obilježja Marsovskog vulkanizma, za koji se pretpostavlja da je u ranoj fazi "života" planeta

bio vrlo aktivan. Vjerojatno su i danas još neki vulkani aktivni. Velik dio površine prekriven je lavom, a jedna od teorija govori da su tolike količine lave mogle prodrijeti iz unutrašnjosti planeta samo kao posljedica katastrofalnog sudara s ogromnim meteorom u ranoj fazi stvaranja planeta. Jedno od najprepoznatljivijih obilježja marsove površine sigurno je vulkan *Olympus Mons*, najveći u Sunčevom sustavu (slika 10). Promjer baze mu je 600 km, kaldere 80 km, a visina 25 km. Takve ogromne dimenzije posljedica su najvjerojatnije stalnog izvora topline i magme kroz jako dugo razdoblje. Ako se kao primjer uzme Zemlja, tamo je životni vijek vulkana najviše nekoliko stotina tisuća godina. Zatim se oni gasu zbog pomicanja tektonskih ploča i udaljavanja od izvora magme. Na Marsu nema tektonike ploča pa tamošnji vulkani permanentno stoje iznad svojih "izvora" magme i mogu biti aktivni milijardama godina, a aktivnost im može zamrijeti samo kao posljedica sveopćeg hlađenja cijeloga planeta i njegove unutrašnjosti. Analizom vulkanskih stijena s površine Marsa u okviru *Mars Pathfinder* programa (Balen, 1997) određeno je da se najvećim dijelom radi o bazaltu. Uzorci ostalih stijena ukazali su pak na stijene bogate silicijem, poput stijena kontinentalne kore. *Pathfinder* misija otkrila je i postojanje starih rječnih korita, poplavnih ravnica, silta i vulkanskih stijena u rasponu sastava od bazalta do andezita što je postavilo nova pitanja o genezi i eventualnom postojanju tektonike ploča. Kora na Marsu je debela 15-20 km iznad omotača, a postojanje jezgre je upitno.

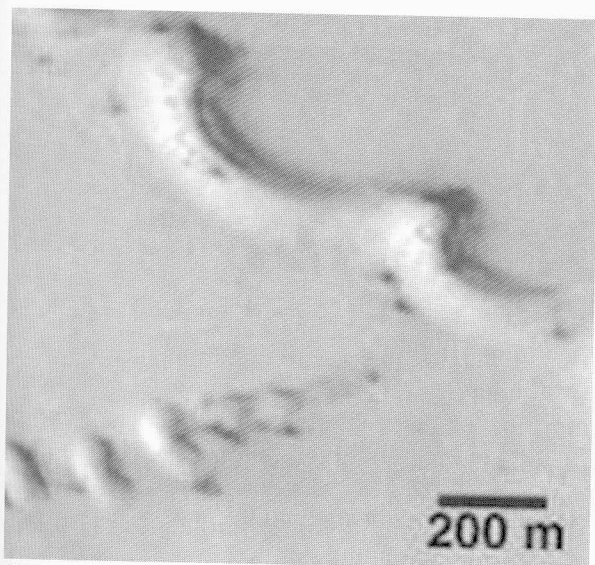


Slika 10: Vulkan Olympus Mons

Jedno od najvećih pitanja vezano uz Mars je postojanje vode. Osim na Zemlji, nigdje drugdje voda nije otkrivena u tekućem

stanju i dovoljnim količinama da bi se mogao razviti život kakav mi poznajemo. No, Mars je planet koji obiluje dokazima o postojanju tekuće vode u svojoj prošlosti. Danas na površini postoje ogromne količine pijeska koji je mogao nastati jedino djelovanjem vode. Djelovanjem vjetra oblikovane su pješčane dine, a čestice pijeska tako prenošene erodirale su stijene na površini (Newcott, 1998).

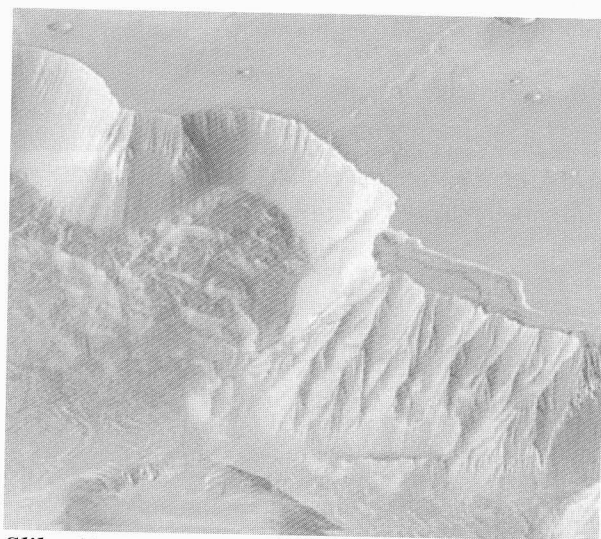
Lijepi oblici dina na površini vide se na **slici 11.**, koju je snimio *Mars Global Surveyor* na sjevernoj polutki blizu pola. Tamne mrlje su mjesta gdje se dio leda, zbog topline, vjerojatno otopio.



Slika 11: Dine snimljene tijekom misije Mars Global Surveyor

Gdje je ta voda danas? Najveći dio nje zamrznut je u polarnim kapama, posebno sjevernoj koja je veća i pretežno sadrži smrznutu vodu (južna sadrži uglavnom ugljični dioksid). Smatra se da se dio vode povukao u podzemlje, gdje bi čak mogao biti i u tekućem stanju. Ispitivanja čestica prašine ukazala su na postojanje magnetičnog materijala mikronskih dimenzija. To znači da sadrži minerale željeza, koji su vjerojatno isprani djelovanjem podzemne vode i istaloženi na površinu. Na nekim snimkama dijelova terena s posebno izraženim reljefom (kanjoni, rasjedni kontakti) jasno je uočena slojevitost, koja ukazuje na postojanje vodene, odnosno taložne sredine.

Na **slici 12** prikazan je računalom konstruiran topografski model iz načinjenih snimaka. Radi se o području *Ophir Chasma* smještenog u središnjem dijelu golemog kanjonskog sustava *Valles Marineris*. Prikazana površina prekriva 40.000 km², a dubina prikazanog kanjona je oko 6 km. Na liticama se jasno uočavaju tragovi vodenih tokova, a u središnjem dijelu zona obilno istaloženog, kaotičnog materijala (*slumpovi*, breče?) što je vrlo nalik procesima na podzemskim bazenima ili deltnim lepezama na Zemlji.



Slika 12: Kanjon u području Ophir Chasma

Drugi primjer erozije i sedimentacije vidi se na **slici 13**.

U podlozi se vidi stari udarni krater, a okolni materijal u to vrijeme bio je izložen eroziji. Zatim je uslijedilo taloženje novih sedimenata, ovdje prikazanih svijetlijom bojom, čija je erozija uzrokovala stvaranje grebena i dolina.

Sve navedeno prikazuje kako je Mars i danas još vrlo "živ" planet na kojem su aktivni mnogi geološki procesi poput onih na Zemlji. Čak se može pretpostavljati o postojanju tekuće vode u podzemlju, na takvim geografskim širinama i dužinama gdje bi temperatura u podzemlju mogla biti između ledišta i vrelišta vode. Tada bi puno vjerojatnije tamo bilo pronaći jednostanične organizme nalik zemaljskim nego li očekivati biološku sterilnost.



Slika 13: Primjer višestrukog taloženja i erozije na Marsovoj površini

3. Zemljin Mjesec i mjeseci vanjskih planeta

3.1. Mjesec

Najuočljivije značajke su tamne ravnice (mora) i krateri koji su posljedica meteoritskih bombardiranja prije 4,5-3,85 milijardi godina. Nastala područja je ispunila lava iz dubina. Slijevovi lave su naglo prestali prije 3,2 milijarde godina i odonda Mjesec pokazuje malo aktivnosti osim nastanka pokojeg impaktnog kratera i manjih oslobađanja plinova iz kore (*Transient Lunar Phenomena*).

Zemljinom pratiocu posvetiti ćemo više pažnje u budućim brojevima Vijesti.

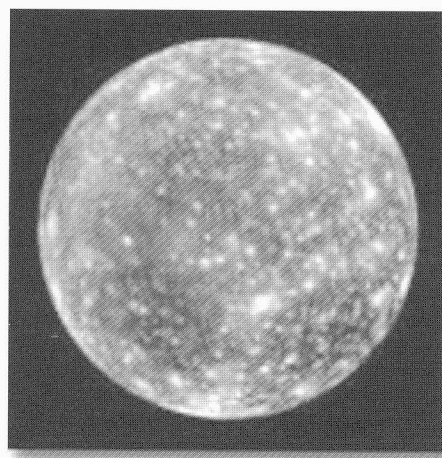
3.2. Jupiter

Iako Jupiter i Saturn pripadaju plinovitim divovima njihovi mjeseci su po dimenzijama, građi i sastavu ustvari ekvivalenti terestričkim planetima. Podaci o njima dolaze nam iz misija *Voyager 1* i *2*, *Pioneer 10* i *11*, *Ulysses*, *Galileo* i *Hubble Space Telescope* (HST).

Tablica 1: Jupiterovi Galileanski mjeseci

Mjesec	Promjer u km	Gustoća g/cm ³
Io	3660	3,55
Europa	3130	3,04
Ganymed	5268	1,93
Callisto	4806	1,81

Jupiter ima brojnu satelitsku pratnju (16 ili više mjeseca) a četiri najveća pratioca otkrio je *Galileo* 1610 g. te prema njemu imaju zajedničko ime Galilejevi mjeseci (*Galileans*). Poimence to su Io, Europa, Ganymed i Callisto. Ganymed i Callisto su veći od našeg Mjeseca, Ganymed čak i od Merkura. Io i Europa su približne veličine Mjeseca.



Slika 14: Površina mjeseca Callisto

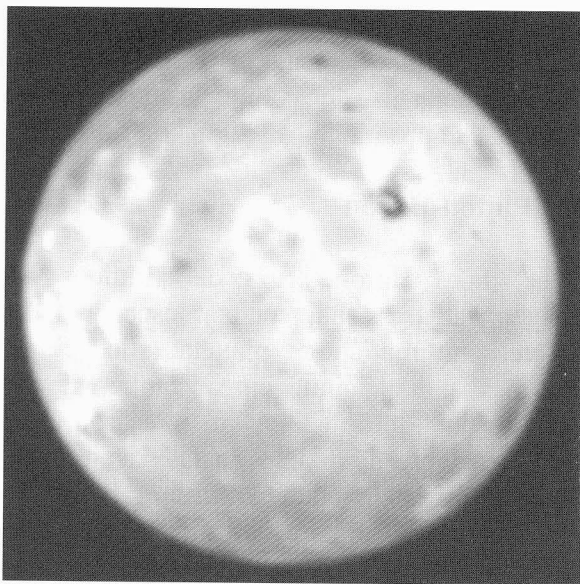
Callisto (**slika 14**) je vanjski od Galilejevih mjeseca, ima ledenu koru ispresjecanu kraterima debelu do nekoliko stotina kilometara ispod koje dolazi zona mekanog djelomično rastaljenog leda i vode koja okružuje silikatnu jezgru. Nema znakova tektonske aktivnosti. To je možda i najviše kraterima obilježeno tijelo u Sunčevu sustavu.

Ganymed je nešto gušći i pokazuje znakove tektonske aktivnosti i slabo magnetsko polje što ukazuje na prisutnost metalne jezgre.

Europa ima glatku ledenu površinu ispresjecanu brojnim sustavima pukotina i rasjeda te je gotovo u potpunosti bez kratera.

Prema nekim teorijama kora leži iznad oceana tekuće vode.

Io (slika 15) je poseban svijet s aktivnim vulkanima (Balen, 1998) i sumpornim spojevima na površini. Erupcije Iovih vulkana danas se redovito prate HST-om.



Slika 15: Površina mjesece Io

Prema jednoj od teorija Iova kora je smjesa sumpora i sumpornog dioksida četiri kilometra debela koja je kruta u gornjem kilometru. Toplina oslobođena iz unutrašnjosti pokreće erupciju smjese sumpora, sumpornog dioksida i sumpordioksidnog "snijega". Temperatura takve lave doseže 500 °C, a prosječna temperatura na površini Ioa je -150 °C.

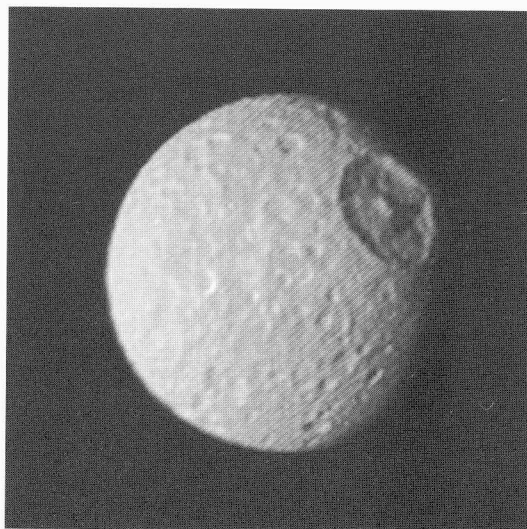
U stvari Iova aktivnost je pokretana međusobnim gravitacijskim djelovanjem Jupitera i drugih Galilejanskih mjesece što uzrokuje ekscentričnu putanju i plimna naprezanja.

Io je vulkanski najaktivnije područje u Sunčevom sustavu. Površinom dominiraju vulkani prvenstveno sroliki *Pele* i aktivni *Loki* i *Prometheus*. Konstantna aktivnost znači da je površina podložna značajnim promjenama koje su zabilježene u razlikama između slika snimljenih sondama *Voyager* i *Galileo*, te HST-om i infracrvenim snimkama sa Zemlje.

3.3. Saturn

Saturn sa svojih 16 pratilaca također je zanimljiv i s geološkog stajališta. Podaci nam dolaze od sonde *Pioneer 11*, *Voyager 1* i 2, *Huygens* i *Cassini* te snimkama HST-a.

Najveći pratilac Titan s promjerom od 5150 km je uz Ganymed najveći satelit Sunčevog sustava, veći čak i od planeta Merkur. Titan posjeduje gustu atmosferu koja se sastoji 90 % od dušika i manjim dijelom od metana i stijenovitu koru oko koje su ili omotač tekuće vode s amonijakom i metanom ili slojevi leda. Ispod guste atmosfere krije se zasad nepoznata površina na kojoj vlada pritisak 1,5 puta veći nego na Zemlji. Površinska temperatura je -165 °C što je blisko trojnoj točki metana, stoga je moguće postojanje metanskih oceana, a radarske snimke pokazuju da postoji i "kopno".



Slika 16: Saturnov satelit Mimas čijom površinom dominira krater Herschel

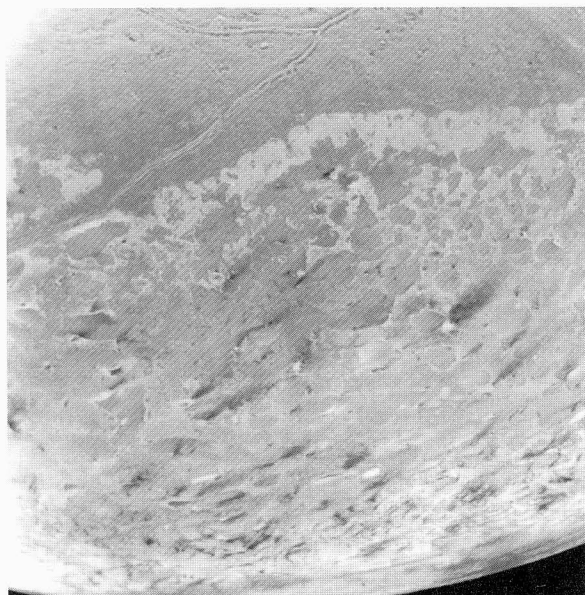
Veći ledeni sateliti (oko 1500 km u promjeru) su Rhea, Iapetus (s dvije polutke vrlo različitog albeda) te nešto manji (1100 km u promjeru) Diona i Tethys kojeg obilježava 2000 km dug jarak od pola do pola. Sastavljeni su od smjese stijena i leda iako Tethys ima gustoću jedva veću od vode tako da su stijene podređeni sastojak u sastavu tog mjesece.

Površina im je obilježena kraterima. Kod nešto manjeg Saturnovog pratioca Mimas (slika 16) krater *Herschel* širine 130 km zauzima 1/3 promjera samog satelita.

3.4. Uran

Uran okružuje 15 satelita. Četiri veća - Ariel, Umbriel, Titania i Oberon (1100 do 1500 km u promjeru) sastoje se od smjese stijena (50-55 %) i leda i gušći su od Saturnovih ledenih pratilaca. Površina im je od leda više-manje izbrazdana kraterima. Unutrašnjost kratera je tamnija i pretpostavlja se da predstavlja smjesu leda i ugljika iz unutrašnjosti. Na Titaniji zamjetni su ledeni klifovi, te razgranate i povezane doline. Ti mjeseci ne posjeduju atmosferu. Ariel i Titanija pokazuju tragove značajne tektonske aktivnosti i tragove pomlađivanja kore.

3.5. Neptun



Slika 17: Južna polarna kapa Tritona prošarana tamnim crtama koje su vjerojatno rezultat nedavne gejijske aktivnosti

Od Neptunovih osam satelita najzanimljiviji je Triton (2705 km u promjeru) čija je površina pokrivena kružnim depresijama, a modificirana je "poplavama", taljenjem, rasjedanjem i urušavanjem. U sastavu Tritona prevladavaju stijene nad ledom, temperatura se spušta do -236°C a

atmosfera se sastoji od dušika i metana. Na površini dominira vodeni led, dušik i metanski led. Opaženi su gejziri (sastav je dušik; slika 17) čije porijeklo se veže uz sloj tekućeg dušika 20-30 m ispod površine.

Oslobađanjem pritiska dolazi do eksplozije dušika (pojava nalik gejziru). Površina Tritona je zaravnjena jer metanski i dušikov led nisu dovoljno kruti da zadrže reljef, a sve promjene su sezonskog tipa.

3.6. Pluton-Haron

Iako Haron kruži oko Plutona kao mjesec, radi se o najvećem mjesecu obzirom na veličinu matičnoga planeta (sljedeći par, obzirom na veličinu, čine Zemlja-Mjesec). Zato se par Pluton (2324 km) – Haron (1270 km) često promatra kao sustav dvaju malih planeta koji kruže jedan oko drugog.

Gustoća im je dva puta veća od vode što ukazuje na značajan udio stijena u građi planeta. Pretpostavlja se silikatna jezgra s debelim omotačem leda. Postoji tanka atmosfera (metan i dušik) koja se povremeno u potpunosti zaledi. O tom sustavu znamo vrlo malo i tako će ostati sve dok prve letjelice ne dosegnu te tajnovite planete.

Zahvala

Slike su preuzete s internet stranica NASA-e i *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* i upotrijebljene prema njihovim pravilima (*JPL Image Use Policy*). Slika 5 preuzeta je s adrese <http://sed.seds.lpl.arizona.edu/nineplanets/nineplanets/pxvenus.html>. Slike 16 i 17 preuzete su s adrese www.solarviews.com.

Literatura:

- BALEN, D. (1997): *Osvrt na petrološki dio misije "Mars Pathfinder 97"*. Vijesti Hrvatskoga geološkog društva, 34/2, 93-99.
- BALEN, D. (1998): *Vulkanska aktivnost na Jupiterovom mjesecu Io*. Vijesti Hrvatskoga geološkog društva, 35/1, 13-14.

- HERAK, M. (1990): *Geologija* (5. izdanje). Školska knjiga, p. 433, Zagreb.
- MOORE, P. (1999): *Atlas of the Universe*. George Philip Ltd., p. 288, London.
- NEWCOTT, W., R., (1998): *Return to Mars*. National Geographic, National

- Geographic Society, vol. 194, no. 2, p. 2-29, Washington.
- PRESS, F. & SIEVER, R. (1978): *Earth* (chapter 22). WH Freeman and Co., p. 548-560, San Francisco.

PRIKAZI KNJIGA, ČASOPISA I RAČUNALNIH PROGRAMA

NOVA KNJIGA PROF. DR. JOSIPA TIŠLJARA "SEDIMENTOLOGIJA KARBONATA I EVAPORITA"

Igor VLAHOVIĆ i Ivo VELIĆ

Obim: X+375 str., 125 ilustracija.

Izdavač: Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 2001.

Naklada: 500 kom.

Prof. dr. sc. Josip Tišljara do sada je napisao tri knjige: "Petrologija sedimentnih stijena" (Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1987), "Sedimentne stijene" (Školska knjiga, 1994) i "Petrologija s osnovama mineralogije" (Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1999). U četvrtoj knjizi u potpunosti se posvetio svojoj užoj specijalnosti, karbonatnoj sedimentologiji.

Karbonatna sedimentologija jedna je od grana geologije koja je u proteklih tridesetak godina doživjela izuzetan napredak. Stoga će ova knjiga, u kojoj je detaljno, s mnoštvom primjera s hrvatskih karbonatnih terena, vrlo jasnim jezikom i ravnomjerno, obuhvaćeno tako široko znanstveno područje nekima biti početnica, nekima priručnik za svakodnevnu uporabu, a nekima izvor detaljnih informacija za rješavanje brojnih problema kojima praktični rad u karbonatima obiluje.

Knjigu "Sedimentologija karbonata i evaporita", recenzirali su *akademik Vladimir*

Majer, dr. sc. Ivo Velić i dr. sc. Igor Vlahović, izdavač je Institut za geološka istraživanja - za izdavača *mr. sc. Đuro Benček*, dok su je pripremili glavni urednik *dr. sc. Ivo Velić* i tehnički urednik *dr. sc. Igor Vlahović*.

Knjiga sadrži 375 stranica podijeljenih u tri dijela.

I. dio obuhvaća 160 stranica teksta i grafičkih priloga o:

- *definiciji i podjeli karbonatnih stijena* - vapnenaca i dolomita, lapora i marlita, breča i konglomerata i vapnenačkih pješčenjaka;
- *mineralnom sastavu vapnenačkih taloga i vapnenaca* - fizikalnim, kemijskim, biološkim i geološkim uvjetima postanka vapnenačkih taloga, glavnim regulatorima taloženja karbonata u plitkim i dubokim morima, obrocima taloženja karbonata; primarnim strukturnim sastojcima vapnenaca;
- *klasifikacijama vapnenaca* - kako Dunhamovoj s dopunama Embrya & Klovana i Folkovoj, tako i o slatkovodnim, terestičkim i korastim vapnencima;
- *dijagenezi vapnenaca* - diagenetskim procesima i područjima, otapanju i transformaciji nestabilnih karbonatnih minerala, mikritizaciji, cementaciji i tipovima cemenata, rekristalizaciji, silicifikaciji, anhidritizaciji, te diagenetskim procesima na većim dubinama prekrivanja;
- *dolomitizaciji i dolomitima* - kemijskim, fizikalnim i petrološkim uvjetima postanka dolomita, ranodijagenetskoj dolomitizaciji po raznim modelima, kasnodijagenetskoj dolomitizaciji i dolomitizaciji na većoj dubini