

Sl. 21. Sušionik s funkcijski neovisnim bubnjevima. 1 posuda s mokrom tvari, 2 raspršivač, 3 bubanj, 4 uređaj za skidanje suhe tvari noževima za struganje, 5 transporter suhe tvari

funkcijski neovisni bubnjevi (sl. 21) uronjeni su u posudu s mokrim materijalom, ili se on na njih štrca raspršivačima. Bubnjevi se vrte u međusobno suprotnom smjeru i dovoljno su razmaknuti, pa sušenje na jednom bubnju nema utjecaja na sušenje na drugome. Pomoću noževa za struganje osušeni se proizvod skida s bubnja u obliku filma, ljustica, pahulja ili praha.

Sušionik s bubnjevima zatvoren u zabrtvljeno kućište upotrebljava se i za sušenje pod sniženim tlakom.

Cilindarski sušionik. Za sušenje materijala u obliku koherentnih traka, u prvom redu tekstilnog materijala, upotrebljavaju se cilindarski sušionici. U sušioniku s vrućim zrakom ili vodenom parom materijal se zagrijava izravno, dok se neizravno, prijenosom topline kondukcijom, materijal zagrijava u dodiru sa zagrijanom površinom metalnih valjaka (v. *Apertura*, TE 1, str. 318).

Rotacijski sušionik s neizravnim grijanjem. Plašt najjednostavnijega takva sušionika zagrijava se izvana prilikom rotacije u ložišnoj komori. Složeniji sušionici imaju dva koaksijalna valjka, od kojih vanjski služi za sušenje, a unutrašnji za grijanje vrućim plinovima. Česti su i rotacijski sušionici s grijalica od jednoga ili više snopova cijevi za struganje vrućih plinova ili vodene pare.

Vakuumski sušionik može biti građen u obliku komore priključene na uređaj za stvaranje podtlaka, s policama dvostrukih stijenki za mokri materijal i njegovo grijanje. Police se griju različitim prenosivcima topline, obično strujom vruće vode ili vodene pare. Materijal se unosi u sušionik i vadi iz njega ručno. Sušenje u komornim vakuumskim sušionicima s policama dosta je polagano, pa se primjenjuje uglavnom za sušenje malih šarži lijekova i finih kemikalija te temperaturno osjetljivih ili lako oksidabilnih tvari.

Osim komornih vakuumskih sušionika, vakuumski sušionici mogu biti i u obliku velikog valjka u kojemu materijal

ne miruje, već se miješa rotacionim mješalima ili prevrće uređajem za prevrtanje (sl. 22). Sušionik je priključen na uređaj za stvaranje podtlaka, a zagrijava se strujom vodene pare kroz plašt dvostrukih stijenki. Vakuumski sušionici posebno su prikladni za sušenje tvari iz kojih se uklanjaju organska otapala, jer se ona mogu lako hvatati.

Sušionik za sušenje sublimacijom. Sušenje tvari sublimacijom posebna je vrsta vakuumskog sušenja koje se naziva i sušenje smrzanjem ili liofilizacija. Vlažni se materijal suši u smrznutom stanju pri temperaturi $\sim -30^\circ\text{C}$ i pri sniženom tlaku ($\sim 10^{-2}$ bar), tako da se vlaga smrznuta kao led uklanja sublimacijom (v. *Sublimacija*). Prednost su sušenja sublimacijom niske temperature pri kojima se materijal kemijski i biološki uglavnom ne mijenja, a uz to je moguć i rad u sterilnim uvjetima. Nedostatak je takva sušenja složenost tehničke aparature, što njegovu primjenu ograničuju na sušenje vrijednih i skupih namirnica te na sušenje specijalnih spojeva i proizvoda, npr. bioloških i farmaceutskih. (Više o opisu aparature i načinu rada v. *Konzerviranje hrane*, TE 7, str. 278).

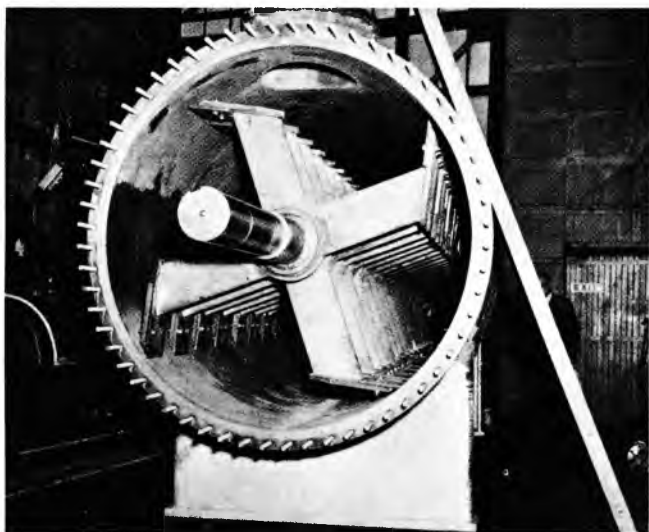
Sušionik s infracrvenim zračenjem. To je tip sušionika s neizravnim grijanjem jer se energija potrebna za zagrijavanje prenosi elektromagnetskim zračenjem, koje se tek apsorpcijom u materijalu pretvara u toplinu. Pretežan se dio tog zračenja nalazi u infracrvenom spektralnom području (v. *Elektrotermija*, TE 5, str. 185; v. *Grijanje*, TE 6, str. 281). Sušionik s infracrvenim zračenjem najprikladniji je za sušenje površina i tankih slojeva, pa se upotrebljava za sušenje tekstila (v. *Apertura*, TE 1, str. 319), papira i naliča od lakova i boja (v. *Lakovi i boje*, TE 7, str. 457).

Sušionik s dielektričnim zagrijavanjem. Poznato je da se neki vodiči i izolatori mogu zagrijavati ako se nalaze između kondenzatorskih ploča povezanih s generatorom visokih frekvencija. Zagrijavanje se temelji na pojavi da se molekule s permanentnim dipolom pobuđuju na titranje u visokofrekventnom električnom polju, a primljena energija elektromagnetskog zračenja prelazi u toplinu (v. *Elektrotermija*, TE 5, str. 191).

Dielektrično se zagrijavanje najviše primjenjuje upravo za sušenje. Prednost mu je što se materijal zagrijava mnogo više na vlažnim nego na suhim mjestima zbog visoke relativne dielektričnosti vode. Zato se, npr., unutrašnjost drveta može sušiti brže od površinskog dijela, čime se izbjegava njegovo savijanje i pucanje. Dielektrično je zagrijavanje skupo pa se primjenjuje uglavnom samo za sušenje plemenita drva, skupih vrsta papira, većih keramičkih predmeta, namirnica osjetljivih prema povišenoj temperaturi i sl.

LIT.: F. Bošnjaković, *Nauka o toplini*. Tehnička knjiga, Zagreb 1976. – R. B. Keey, *Introduction to Industrial Drying Operations*. Pergamon Press, Oxford 1978. – A. S. Foust, L. A. Wenzel, C. W. Clump, L. Maus, L. B. Andersen, *Principles of Unit Operations*. John Wiley & Sons, New York-London 1980. – W. R. A. Vauck, H. A. Müller, *Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik*. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1988. – B. И. Муштаев, В. М. Ульянов, *Сушка дисперсных материалов*. Химия, Москва 1988.

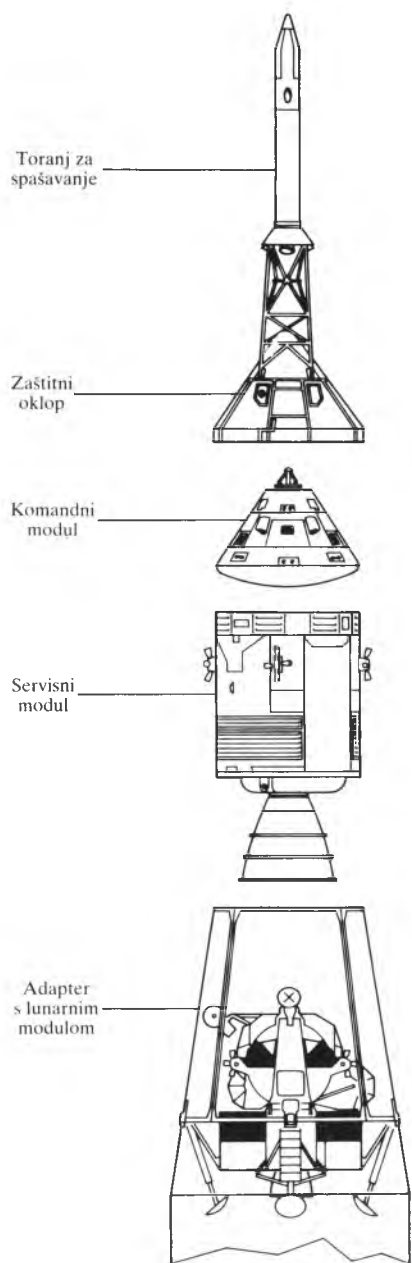
B. Tripalo Ž. Viličić



Sl. 22. Unutrašnjost rotacijskog vakuumskog sušionika s uređajem za prevrtanje i noževima za struganje materijala

SVEMIRSKJE LETJELICE, svemirski, upravljivi brodovi s ljudskom posadom kojima je zadatak da prenesu čovjeka na druga nebeska tijela (u prvom redu na Mjesec) i da postave u putanju oko Zemlje umjetne Zemljine satelite, s tim da se mogu više puta lansirati sa Zemlje (svemirske letjelice u užem smislu).

Američki svemirski program Apollo. Glavni je zadatak toga programa čovjekov let na Mjesec, spuštanje na njegovu površinu i povratak na Zemlju. Program je započeo 1961, s tim da se do kraja toga desetljeća taj pothvat izvede pod nazivom *Apollo*. Za njegovo je izvršenje projektirana raketa nosilica *Saturn V* i svemirski brod *Apollo* mase 43,8 t. Brod

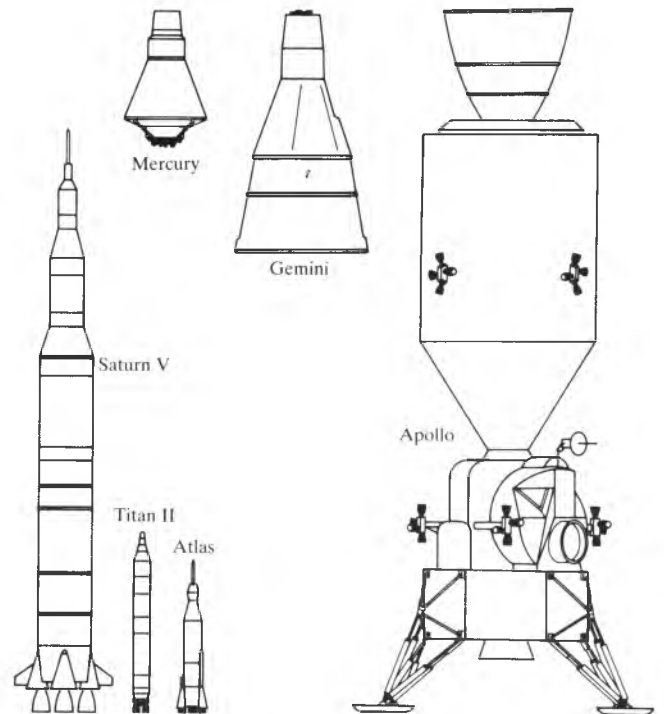


Sl. 1. Sastavni dijelovi svemirskog broda Apollo

se sastojao od tri modula: komandnog modula s kabinom za tri astronauta, servisnog modula s pogonskim sustavom i lunarnog modula u kojem bi se dva člana posade spustila na Mjesec i u njemu se vratila u putanju oko Mjeseca (sl. 1). Prva dva modula čine *matični brod*. Raketa Saturn V (sl. 2) najveća je do sada izgrađena trostupanjaska raketa mase ~2800 t, visoka 111 m. Takva raketa može ubaciti u putanju oko Zemlje, na visinu od 500 km, koristan teret od 127 t, a u putanju oko Mjeseca teret od 45 t. Lunarni modul je dvostupanjaska letjelica za *meko* spuštanje na Mjesečevu površinu. U njezinu gornjem stupnju astronauti se vraćaju u putanju oko Mjeseca i tamo se spajaju s matičnim brodom. Lunarni je modul visok 7 m, a s raširenim nogarima je širok 9,5 m (sl. 3).

Pripreme za čovjekov let na Mjesec. Nakon uspješnih pripremnih lansiranja u putanju oko Zemlje lansiran je svemirski brod *Apollo 7* sa tri astronauta (u listopadu 1968). Let je trajao 11 dana uz 163 obilaska oko Zemlje.

Krajem 1968. svemirski je brod *Apollo 8* sa tri astronauta obletio Mjesec deset puta, a početkom 1969. lansiran je *Apollo 9* sa tri astronauta, sa svrhom da se ispita funkcioniranje lunarnog modula u putanji oko Zemlje. Glavni pokus za



Sl. 2. Usporedba triju tipova američkih raketa (Saturn V, Titan II i Atlas) i triju svemirskih brodova s ljudskom posadom (Apollo, Gemini i Mercury)

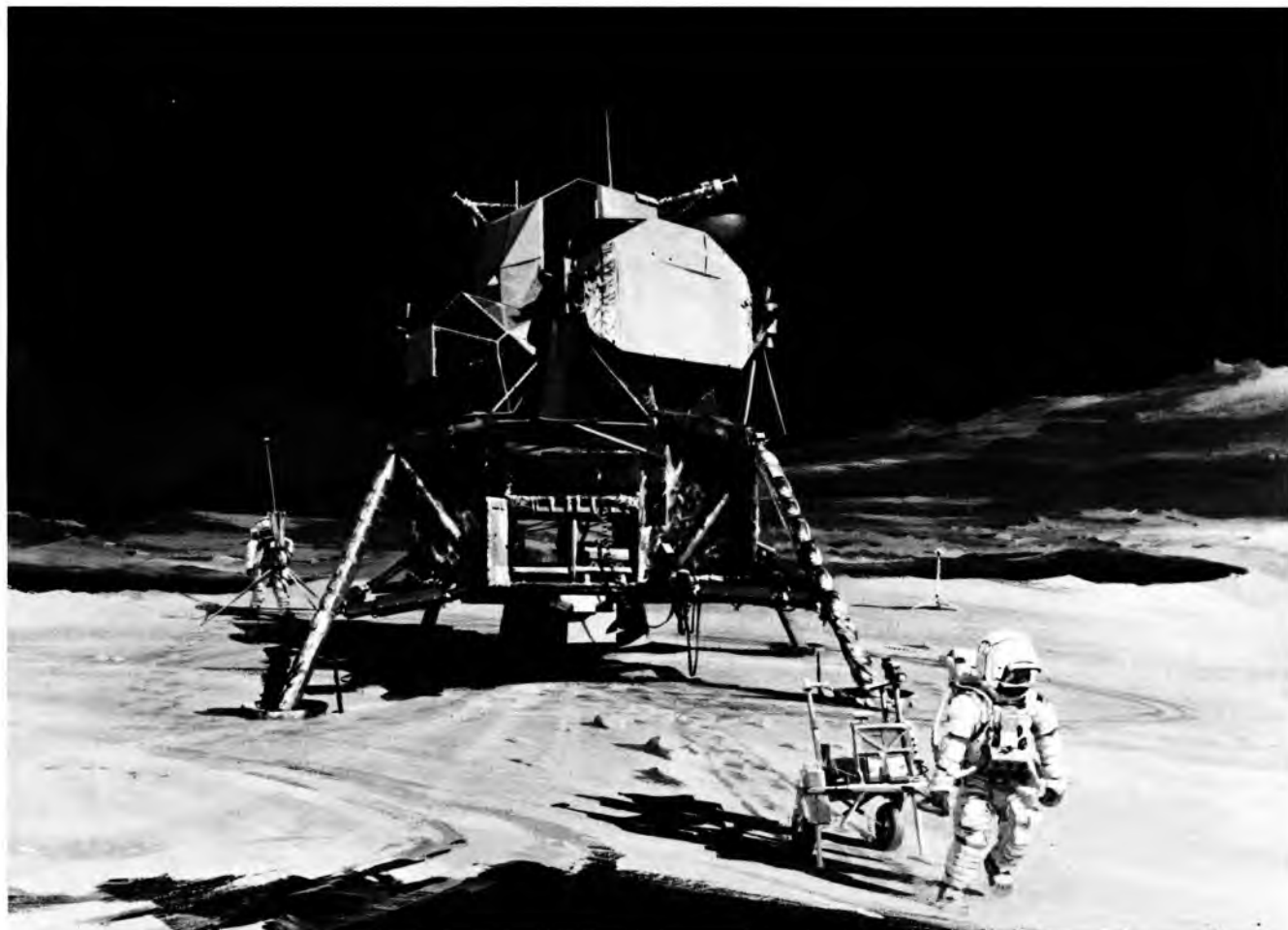
čovjekovo spuštanje na Mjesec izveden je letom svemirskog broda *Apollo 10* (u svibnju 1969), koji je sa tri astronauta obišao Mjesec 31 put. Za vrijeme toga kruženja lunarni se modul sa dva astronauta spustio do visine od 15 km iznad Mjesečeve površine, a zatim se vratio i opet spojio s komandnim brodom.

Prvi ljudi na Mjesecu. Prvo iskrcavanje na Mjesec (20. srpnja 1969) izvršeno je letom svemirskog broda *Apollo 11*. Lunarni modul sretno se spustio na površinu Mjeseca s astronautima Neilom Armstrongom i Edwinom Aldrinom. Prvi od njih, nekoliko sati nakon spuštanja lunarnog modula, bio je prvi čovjek koji je zakoračio na Mjesec (sl. 4). Taj je događaj prenosila televizija širom svijeta. Astronauti su se uspješno vratili na Zemlju s uzorcima Mjesečeva tla (21 kg).

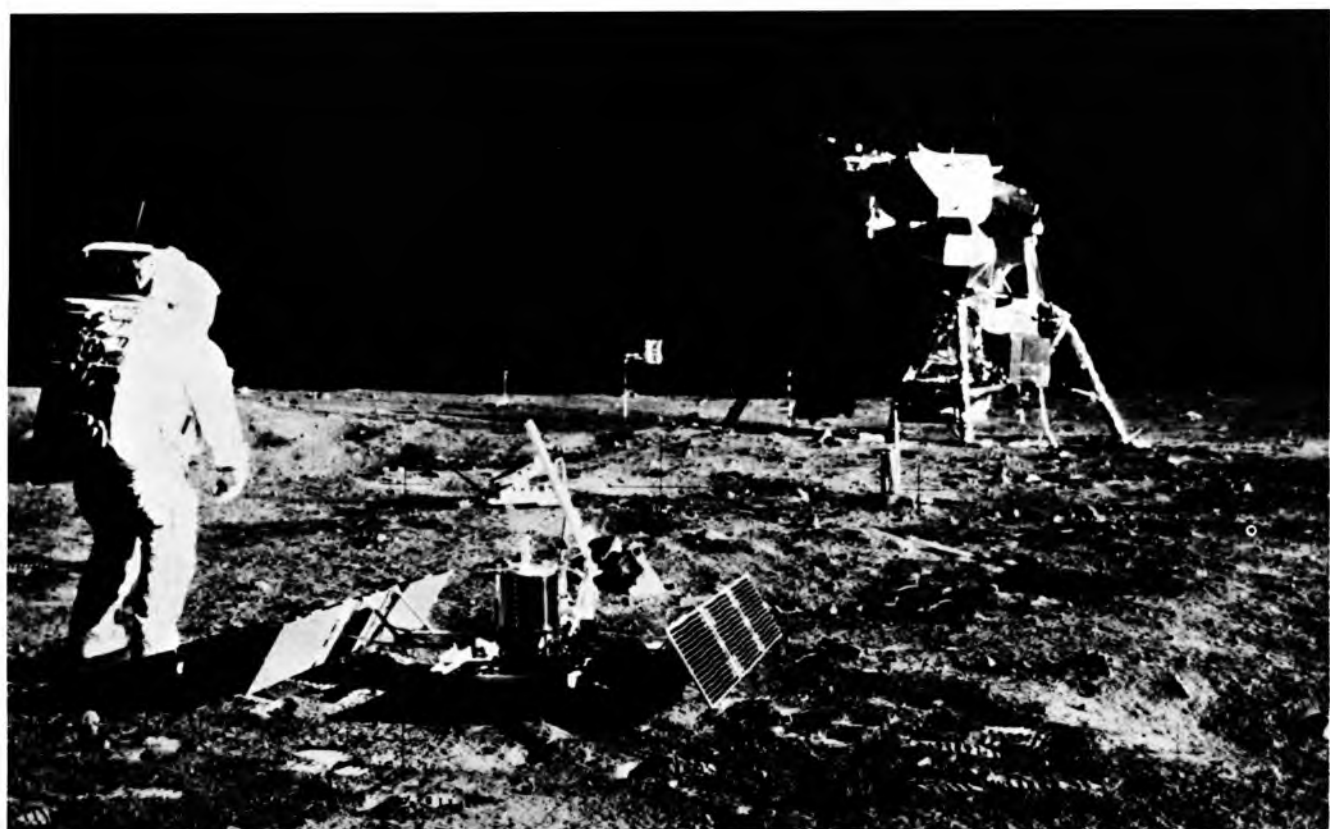
Ostale ekspedicije na Mjesec. Druga ekspedicija (*Apollo 12*, studeni 1969) prišla je sondi *Surveyor 3*, koja se prije dvije i pol godine spustila na Mjesec, i s nje demontirala opremu (među ostalim televizijsku kameru), da bi se na Zemlji moglo proučiti djelovanje prilika na Mjesecu na takvu opremu. Astronauti su boravili na Mjesecu nešto više od 31 sat. Treća se ekspedicija (*Apollo 13*, travanj 1970) nije uspjela spustiti na Mjesec zbog kvara na matičnom brodu, pa se nakon oblijetanja Mjeseca vratila na Zemlju. Trojica astronauta bili su skoro izgubljeni u svemiru, jer su ostali bez potrebne rezerve kisika i električne energije na udaljenosti od Zemlje većoj od $230 \cdot 10^3$ km.

Četvrta, odnosno treća uspješna ekspedicija na Mjesec (*Apollo 14*, siječanj 1971) imala je glavni zadatak da pribavi uzorke Mjesečeva tla iz brdovitog područja Fra Mauro, koje se nalazi ~115 km sjeverno od Mjesečeva ekvatora, a koje je s geološkog stajališta posebno zanimljivo. Astronauti su imali mala aluminijska kolica na dva gumena kotača (sl. 3) za prijevoz opreme (kamere, alat i vrećice za uzorke Mjesečeva tla). Ukupni boravak astronauta na Mjesecu trajao je 34 sata. Prilikom *šetnja* po Mjesecu astronauti su se udaljili od lunarnog modula ~1000 m (sl. 5).

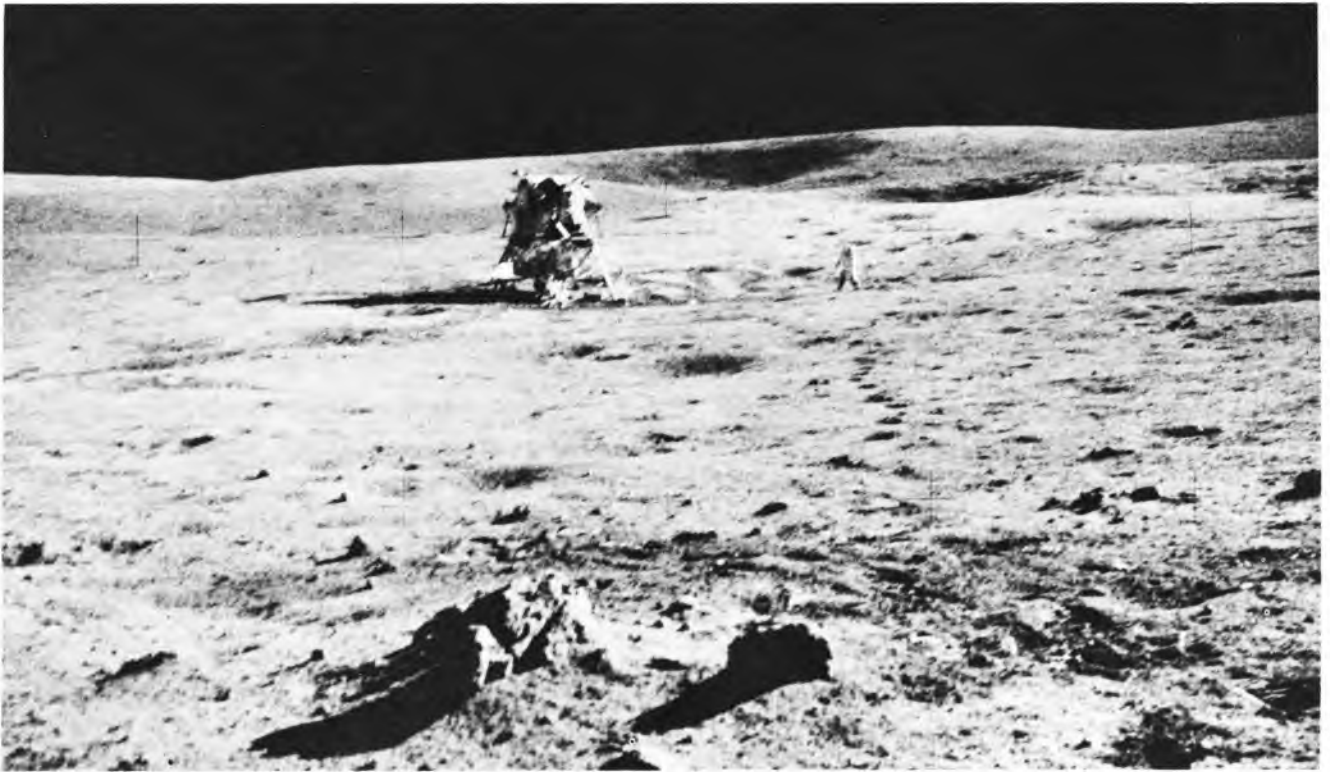
Četvrta uspješna ekspedicija (*Apollo 15*, srpanj 1971) imala je zadatak da istraži površinu Mjeseca na mnogo širem području oko mjesta aluniranja. Astronauti su proboravili na Mjesecu 67 sati i za to vrijeme obavili u Mjesečevu *džipu* (sl. 6) tri vožnje, koje su trajale ~20 sati. Oni su se udaljili nekoliko kilometara od mjesta aluniranja i prikupili 77 kg



Sl. 3. Crtež lunarnog modula svemirskog broda Apollo 14 na Mjesecu



Sl. 4. Čovjek koji je prvi zakoračio na Mjesec (Neil Armstrong)



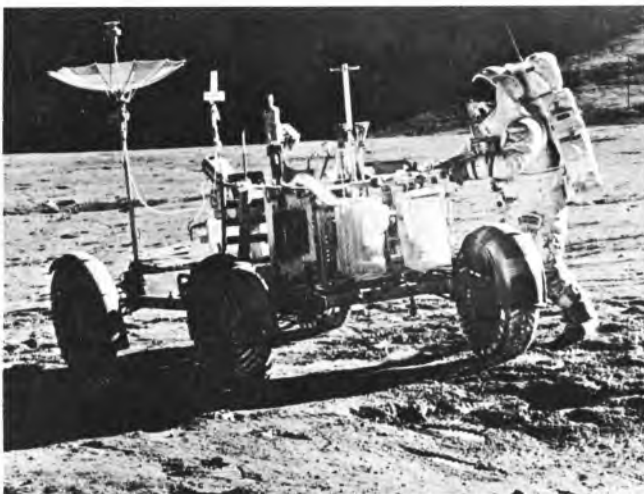
Sl. 5. Površina Mjeseca (u pozadini lunarni modul svemirskog broda Apollo 14)

uzoraka Mjesečeva tla. Uzlijetanje gornjeg dijela lunarnog modula prvi put je neposredno televizijski prenošeno.

Peta uspješna ekspedicija (*Apollo 16*, travanj 1972) imala je zadatak da istraži područje oko Descartesova kratera. Imali su na raspolaganju Mjesečev džip na kojem su izvršili tri vožnje u trajanju od ~20 sati.

Šestom uspješnom ekspedicijom (*Apollo 17*, prosinac 1972) završen je program *Apollo*. Područje istraživanja bila je 11 km široka vulkanska dolina između dva planinska masiva, a svrha mu je bila da se na osnovi prikupljenih podataka bolje upozna evolucija Mjeseca. Astronauti su na Mjesecu proboravili 75 sati i na Mjesečevu džipu su u tri maha prevalili ~38 km.

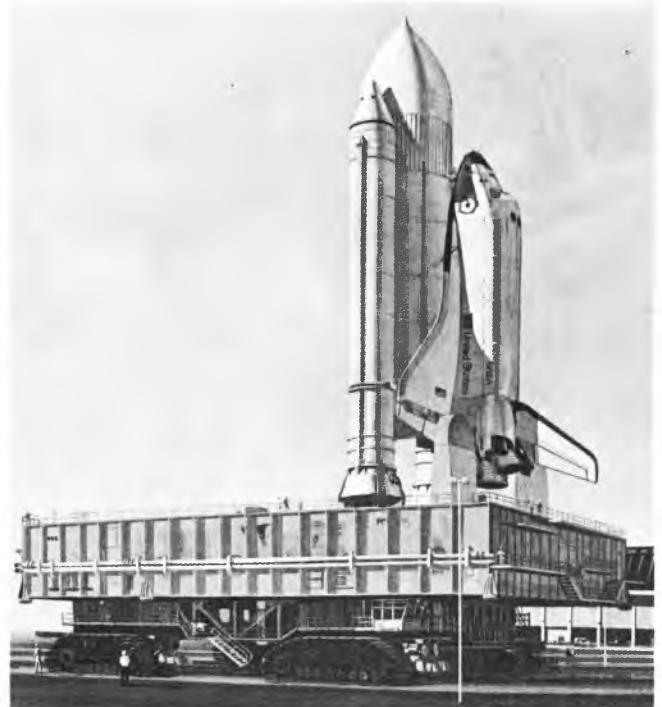
Svemirske letjelice tipa Space shuttle. Početkom 1981. godine započelo je novo poglavlje čovjekova leta u svemir. Umjesto dotadašnjega *jednosmjernog* putovanja raketama nosilicama na relaciji Zemlja–svemir, izgradnjom je američke svemirske letjelice *Space shuttle*, koja je osposobljena za višekratnu upotrebu na relaciji Zemlja–svemir–Zemlja, omogućen čest i ekonomičan dolazak u putanju oko Zemlje. To



Sl. 6. Mjesečev džip na Mjesecu (ekspedicija Apollo 15)

je kombinacija rakete i aviona koja se iz putanje oko Zemlje vraća poput jedrilice na aerodromsku pistu, a nakon kraćeg vremena može se ponovno lansirati u svemir. Space shuttle je svemirska letjelica koja vozi aho-tamo, a u nas se naziva i svemirski taksi ili *svemiroptov*.

Space shuttle je dug 56 m, a prilikom starta sastavljen je od 24 m dugoga orbitalnog dijela (*orbitera*) sa tri raketna motora, velikoga valjkastoga vanjskog spremnika za tekuće gorivo i od dviju dodatnih raketa sa čvrstim gorivom (sl. 7). Orbiter može primiti sedam članova posade i koristan teret do 29500 kg. Od toga se tereta 15000 kg može vratiti na Zemlju.



Sl. 7. Letjelica Space shuttle za vrijeme prijevoza na lansirnu rampu



Sl. 8. Space shuttle; odvajanje pomoćnih raketa (visina ~46 km, brzina ~5000 km/h)



Sl. 9. Space shuttle; odvajanje vanjskog spremnika za gorivo



Sl. 10. Ulazak orbitera u putanju oko Zemlje (visina ~185 km, brzina ~28300 km/h)



Sl. 11. Ulazak orbitera u Zemljinu atmosferu (visina ~122 km, brzina ~26800 km/h)

Uzlijetanje i slijetanje obuhvaća sljedeće faze:

a) na startu se pale tri glavna raketna motora orbitera i dvije pomoćne rakete sa čvrstim gorivom, a cijela se letjelica podiže okomito;

b) na visini od ~46 km automatski se odvajaju pomoćne rakete (sl. 8), koje se postepeno usporavaju, da bi se padobranima spustile u Atlantski ocean odakle će ih otegliti na ponovno punjenje gorivom;

c) nakon toga se odvajaju prazni vanjski spremnik goriva duljine 47 m (sl. 9), koji kreće na svoj vatreni put u vode Pacifika. To je jedini dio letjelice koji se više ne upotrebljava za sljedeći let;

d) na visini od ~185 km orbiter ulazi u putanju oko Zemlje brzinom od ~28300 km/h (sl. 10); kruženje oko Zemlje može trajati 7·30 dana;

e) pri povratku na Zemlju ulazi u atmosferu na visini od ~122 km (sl. 11);

f) slijeće na Zemlju poput jadrilice, s akcionim polumjetrom od ~2000 km, a brzina mu pri dodiru piste iznosi ~320 km/h (sl. 12).



Sl. 12. Ateriranje orbitera Columbia

Pripreme za prvi let letjelice Space shuttle. U pripremoj fazi obavljeno je osam letova u kojima je letjelicu nosio modificirani avion *Boeing 747* (sl. 13). Svrha je tih letova bila da se provjeri sposobnost toga aviona da ponese letjelicu na visinu od ~7000 m i da se zajedno s njome spusti na aerodromsku pistu. Nakon tih uspješnih letova izvršen je u kolovozu 1977. prvi uspješni samostalni let orbitera, koji je nazvan *Enterprise*. Avion-nosač mase ~200 t uzletio je noseći letjelicu mase ~70 t. Na visini od ~6700 m letjelica se odvojila od aviona Boeinga 747 i prvi put se našla slobodna u zraku te je kao jadrilica letjela planirajući kroz atmosferu. S visine od ~2700 m započelo je pravocrtno spuštanje na tlo isušenog jezera u Južnoj Kaliforniji.

Zatim je uspješno izvršen i drugi samostalni let orbitera *Enterprise*.



Sl. 13. Avion Boeing 747 s orbiterom Enterprise u letu

Orbiter Challenger stradao je zbog eksplozije jedne od raketa prilikom lansiranja 28. siječnja 1986, kad je poginulo svih 7 članova posade.

D. Bazjanac

SVODOVI, masivni zasvođeni stropovi koji prekrivaju neki prostor, preuzimaju i prenose nepokretna i pokretna opterećenja, a opiru se o obodne zidove, lukove i stupove. Osim za stropove, svodovi su se u konkavnom obliku upotrebljavali i za temeljenje. Između svoda i luka nema bitne razlike, jer je luk zapravo bačvasti svod male duljine koji prekriva otvor u zidu.

Prema obliku svodovi mogu biti cilindrični, kad su svodne plohe dijelovi valjka ili tijela slična valjku, i sferni, kad su svodne plohe dijelovi kojega rotacijskog tijela, npr. kugle, elipsoida, paraboloida i dr. Rjeđe su svodne plohe dijelovi koničnih, konoidnih i posve nepravilnih zakrivljenih ploha.

Svodovi su se kao masivni stropovi postepeno razvili od bačvastog svoda skromnih raspona u Mezopotamiji i Egiptu do velebnih konstrukcija u rimskoj i bizantskoj arhitekturi, te poslije u romanici, gotici i renesansi. Danas se rijetko primjenjuju u zgradarstvu, jer su ih postepeno u XIX. i početkom XX. st. istisnule čelične i armiranobetonske konstrukcije. U XX. st., međutim, pojavljuju se ponovno svodovi u obliku tankostijeni armiranobetonskih ljušaka (v. *Ljuske*, TE 7, str. 623), koji su po izgledu slični starim svodovima, ali se u konstrukcijskom pogledu bitno od njih razlikuju.

Prema konstrukciji i materijalu razlikuju se *a*) zidani svodovi, izgrađeni od prirodnog ili umjetnog kamena povezanog mortom, *b*) lijevani svodovi, izgrađeni lijevanjem betona i *c*) kombinacija zidanih i lijevanih svodova (gdje je dio zidan, a međuprostor zaliven).

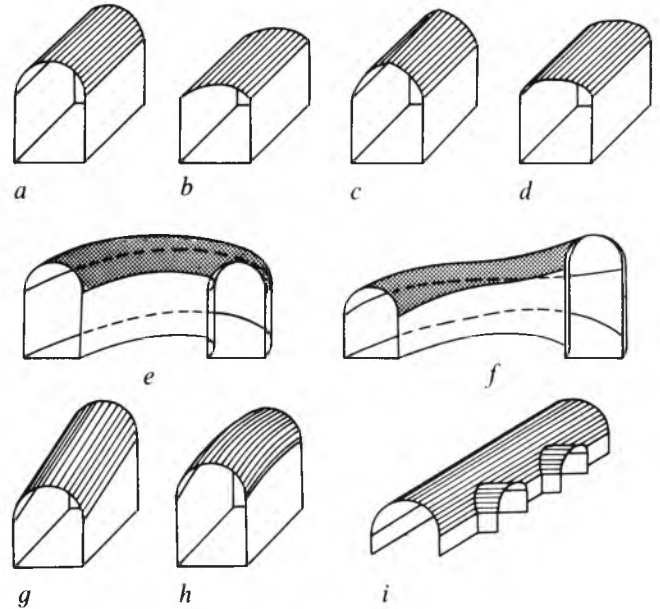
Opterećenje se svodova prenosi koso na uporišne zidove. Horizontalne komponente tog opterećenja (postrani potpisci) preuzimaju dovoljno jaki zidovi, po potrebi pojačani uporišcima (*kontraforima*), ili ugrađene čelične spone (*zatege*).

Svodovi su se redovito gradili nakon što je zgrada bila pokrivena i zaštićena od kiše, a uporišta su svodova već bila pripravljena u toku zidanja zidova. Uporište može biti usječeno u zid što oslabljuje zid, ili se svod, što je povoljnije, opire o istaknute opeke koje se ugrađuju istodobno s gradnjom zida. Svod se gradi od uporišta koje se naziva petom.

Svod se gradi na punim ili djelomičnim oblučilima. Oblučilo se sastoji od oplata izrađene od dasaka ili letava, koje čine donju plohu svoda, zatim od obluka od zbijenih dasaka ili platica koje se režu prema obliku svoda i na koje se pribija oplata, te konačno od skele sagrađene od stupova, greda i kosnika, koja nosi i podupire obluku. Između oblučila i skele ulazu se drveni klinovi ili se stupovi stavljaju u posude s pijeskom, da bi se oblučilo moglo postaviti točno na predviđenu visinu i da bi se, nakon što se svod sagradi, oblučilo moglo lako spustiti i rastaviti. Oblučilo mora imati stanovito nadvišenje radi kompenziranja kasnijeg slijeganja svoda. U zgradarstvu su se obično gradili svodovi od obične ili lake opeke u cementnom ili produžnom mortu, dok su se svodovi većih građevina gradili od klesanog i lomljenog kamena. Reške na hrptu svoda naknadno su se zalijevale rijetkim cementnim mortom, a uglovi između svoda i uporišnih zidova izdavalu su se opekama ili ispunjali betonom, da bi se pri većem opterećenju spriječila deformacije svoda i otvaranje rešaka. Ako iznad svoda dolazi ravan pod, on se izravna nasipavanjem što laganijim i sušim materijalom.

Vrste svodova. Postoji više vrsta i podvrsta svodova. To su bačvasti, samostanski, koritasti, zrcalni, križni, mrežasti, lepezasti i kupolasti svodovi.

Bačvasti svod. Dio valjka svodna je ploha bačvastog svoda. Prema obliku čelne linije bačvasti svod može biti pun (polukružan, sl. 1a), plosnat (segmentan, sl. 1b), šiljast (sl. 1c), ovalan (sl. 1d) i sl., a prema obliku osi svod može biti ravan (sl. 1a do d), zavojit (prstenast, sl. 1e), spiralan (sl.



Sl. 1. Bačvasti svodovi. *a* puni (polukružni), *b* plosnati (segmentni), *c* šiljasti, *d* ovalni, *e* puni zavojiti (prstenasti), *f* puni spiralni, *g* puni kosi, *h* puni savijeni bačvasti svod, *i* bačvasti svod s lunetama

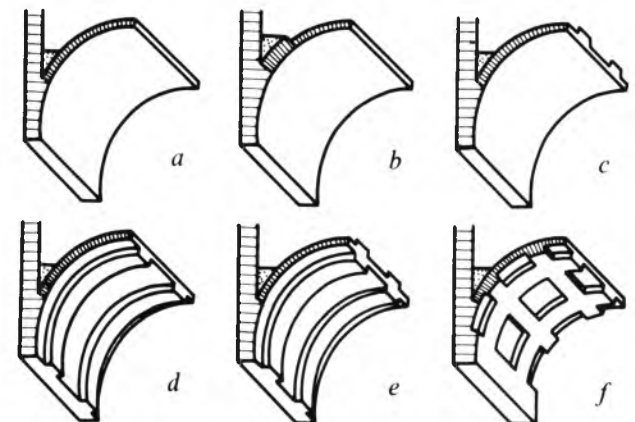
1f) i sl. S obzirom na položaj osi svoda prema čelnoj plohi svod je okomit (sl. 1a do d), kos (sl. 1g) i savijen (sl. 1h).

Bačvasti se svod upotrebljavao u zgradarstvu za presvođivanje uskih i dugih prostorija, a u građevinarstvu za presvođivanje kanala, propusta, mostova i tunela.

Rasvjeta prostora presvođenog bačvastim svodom najjednostavnija je preko čelnih ploha. Ako se otvori za rasvjetu moraju predvidjeti u uporišnim zidovima te ako zasijecaju u plohu svoda, potrebno je nad otvorom probiti donji dio svoda i otvor presvođiti malim svodovima (*lunetama*, sl. 1i) različitih oblika.

Debljina polukružnoga bačvastog svoda do raspona od 4 m iznosi 1/2 opeke (sl. 2a) za normalno opterećenje. Za veće raspone i veća opterećenja potrebno je svod pojačati, pa se podebljava dio svoda (sl. 2b) ili cijeli svod. Svod se, osim toga, pojačava i lukovima. Lukovi se grade ili na gornjoj strani svoda (sl. 2c) i ne vide se u prostoriji, ili kao vidljiva rebra na donjoj strani svoda (sl. 2d) koja se nastavljaju na zidu kao pilastri ili leže na konzolama kao uporištima. Još se veće pojačanje postiže lukovima s gornje i s donje strane svoda (sl. 2e). Ako se lukovi postavljaju s donje strane i povežu uzdužnim rebriima usporedno sa svodnom osi, nastaje kasetirani bačvasti svod (sl. 2f).

Svod se gradi u uzdužnim, prstenastim ili kosim prstenastim slojevima. Kad se gradi u uzdužnim slojevima, pojedini



Sl. 2. Pojačanje bačvastog svoda. *a* nepojačan bačvasti svod, *b* bačvasti svod pojačan u donjem dijelu, *c* pojačan rebriima s gornje strane, *d* pojačan rebriima s donje strane, *e* pojačan rebriima s gornje i donje strane, *f* kasetirani bačvasti svod