

INTRODUCERE

1. Scurt istoric al comunicațiilor prin sateliți

Se consideră că "era cosmică" a început odată cu lansarea primului satelit artificial al Pământului – *Sputnik I*, pe 4 octombrie 1957, de către fosta URSS (Uniunea Republicilor Sovietice Socialiste).

Sputnik I consta dintr-o sferă bine polizată cu diametrul de 58,5cm, cu masa de 83,6kg din care 51kg era masa bateriilor. Satelitul dispunea de 4 antene "baston" (de 2,4m și 2,9m), și emitea pe 20,005MHz și 40,002MHz semnale sub formă de impulsuri care se auzeau ca "beep, beep, ...". Transmișiile au durat 22 de zile și au permis urmărirea satelitului și culegerea unor informații valoroase privind structura și propagarea undelor radio în atmosfera înaltă. *Sputnik I* s-a deplasat pe o orbită eliptică cu perigeul la altitudinea de 223km și apogeul la 1450km; o rotație dura 101,5minute.

O lună mai târziu (3 nov. 1957) URSS a lansat *Sputnik 2* care transporta în spațiu prima ființă pământească – cățelușa *Laika*. A urmat *Sputnik 3* (15 mai 1958) lansat în scopuri științifice.

Lansarea sateliților *Sputnik*, deși nu era o surpriză pentru administrația SUA (președinte D. Eisenhower), a declanșat o adevărată psihoză a fricii în rândurile populației americane și chiar vest-europene care a perceput situația ca un avans nerecuperabil a URSS în domeniul explorării spațiului. Situația s-a agravat după insuccesul televizat al încercării de lansare din 6 decembrie 1957 a primului satelit american *Vanguard TV3* (1,36kg).

În replică, SUA au declanșat mai multe programe de cercetare spațială – sateliți, nave spațiale, rachete propulsoare și echipamente electronice și mecanice. Primul satelit american lansat cu succes a fost *Explorer 1* (31 ian.1958, 14kg, orbită eliptică) care a detectat prima centură de radiații Van Allen. În cadrul programului *Explorer* au fost lansați peste 90 de sateliți și seria continuă.

Astfel, în 1957 s-a declanșat ceea ce s-a numit *curșa spațială*, componentă esențială – și extraordinar de costisitoare, a *războiului rece* dintre cele două superputeri: URSS și SUA.

O bună perioadă, URSS a fost liderul întrecerii, mai ales după lansarea cu succes a primului om în spațiu – *cosmonautul Iuri Gagarin* care, în

capsula spațială *Vostok 1*, lansată pe 12 aprilie 1961, a executat 1,16 rotații în jurul Pământului în 103 minute, după care a aterizat cu o parașută. [Gagarin a murit în 1968 la 34 de ani într-un accident de avion.] Lansările au continuat cu G. Titov (6 august 1961), A. Nikolaev (11 august 1962), Valentina Tereșkova – prima femeie cosmonaut (16 iunie 1963).

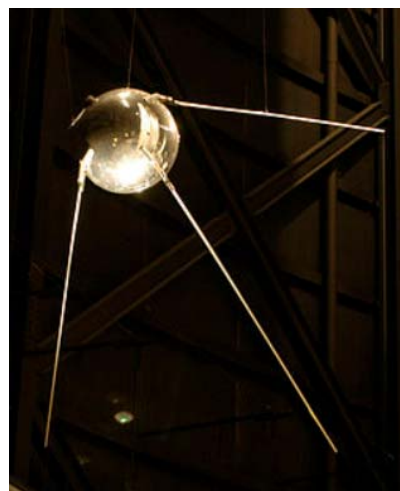


Fig. 1. *Sputnik I*. Fotografie după o replică din muzeu. (după Wikipedia)



Fig. 2. Satelitul *Explorer 1* (Wikipedia)



Fig. 3. Iuri Gagarin, primul cosmonaut și nava sa – *Vostok 1* (Wikipedia)

Competiția pentru câștigarea supremației în spațiu a continuat: pe 5 mai 1961 SUA au lansat capsula Mercury cu Allan Shepard la bord (ulterior acesta a comandat misiunea Apollo 14 și a asolizat pe Lună) într-un zbor suborbital. Abia în februarie 1962 SUA au lansat primul om în zbor orbital: John Glenn în nava spațială Friendship 7 care a amerizat în Atlantic după 3 rotații complete.

Un moment important în cursă a fost în primăvara lui 1961 când peședintele J.F. Kennedy a anunțat sprijinul total al administrației pentru programul Apollo și pentru NASA (*National Aeronautics and Space Administration* – agenție fondată în 1958 cu sarcina de a dezvolta programe civile – nu militare, de cercetare a spațiului cosmic); ținta concretă era "un american pe Lună înainte de 1970" [*"I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the Moon and returning him safely to the Earth", J.F. Kennedy, 25 mai 1961.*].

Intr-o primă etapă s-a realizat programul Gemini apoi, prin programul Apollo, s-a reușit lansarea unei expediții pe Lună în 1969. Au fost destule dezaastre dar, în decembrie 1968, în cadrul misiunii Apollo 8, primii 3 astronauți americani orbitează în jurul Lunii; SUA preluase conducerea în cursa spațială. În 16 iulie 1969, de pe Centrul Spațial Kennedy (Cape Canaveral Florida), SUA lansează misiunea Apollo 11 cu *Neil Armstrong* – comandant, *Michael Collins* și *Edwin "Buzz" Aldrin* – echipaj. Călătoria a durat 3 zile. Modulul de comandă *Columbia* s-a plasat pe orbită în jurul Lunii iar Armstrong și cu Aldrin au coborât pe Lună cu modulul lunar *Eagle*. Armstrong a devenit primul om care a pășit pe Lună, eveniment urmărit în direct pe mai mult de 500 milioane de receptoare TV. În ziua următoare, *Eagle* a decolat de pe Lună, s-a cuplat cu modulul de comandă și după 3 zile a amerizat în Atlantic. Expediția a avut un imens răsunet, a ridicat pe culmi prestigiul SUA, proclamate definitiv câștigătoare ale cursei spațiului și probabil a războiului rece – ceea ce s-a și întâmplat în 1991.

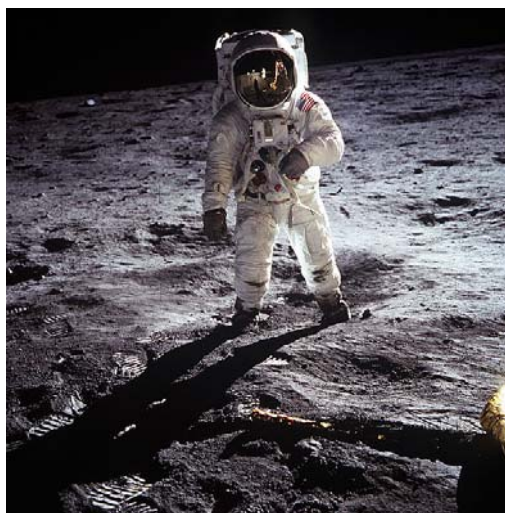


Fig. 4. Buzz Aldrin pe Lună, misiunea Apollo 11, 20-21 iulie 1969 (Wikipedia)

Au urmat, până în 1972, expedițiile Apollo 12, 14, 15, 16 și 17 (Misiunea Apollo 13 a fost ratată, dar modulul de comandă cu echipaj s-a întors Pământ după ce a înconjurat Luna).

În acest timp URSS s-a dovedit incapabilă să lanseze oameni pe Lună – pur și simplu sarcina depășea capacitățile științei și mai ales ale tehnologiei și industriei sovietice. Totuși, URSS a lansat mai multe expediții spre Lună, fără echipaj, în cadrul programului *Lunahod* (1969 – 1977). Astfel au fost depuși pe Lună *Lunahod 1* (1970) și *Lunahod 2* (1973) care erau de fapt vehicule robotizate (numite *rover*). După efectuarea unei game largi de cercetări, acestea au rămas pe Lună.



Fig. 5. Roverul lunar Lunahod 1 (Wikipedia)

Pe de altă parte, URSS s-a concentrat pe realizarea unor *stații spațiale orbitale*. Astfel, în 1971 au lansat primul laborator spațial cu echipaj *Salyut 1*, care dispunea de facilități de andocare a vehiculelor spațiale trimise pentru aprovizionare și schimbarea echipajelor. Au urmat stațiile *Almaz* și mai ales *Mir* (Pace). În 1981, pe stația *Salyut 6* a lucrat și cosmonautul român *Dumitru Prunariu*.

La rândul lor, SUA au lansat sațiile *Skylab* (1973) și *Freedom* (1980).

Spre deosebire de călătoriile spre Lună, construcția stațiilor orbitale s-a dovedit un program de viitor, realizarea acestora continuând și în prezent. Cea mai recentă realizare în domeniu este *Stația Spațială Internațională* (ISS) realizată în cooperare, în principal de către SUA și Rusia. Structura stației este modulară, primele componente au fost trimise în spațiu în 1998. Construcția s-a finalizat în 2000 și de atunci stația este permanent locuită de astronauți din 12 țări.

O etapă esențială în cucerirea spațiului cosmic din apropierea Pământului a constat în realizarea programului *Space Shuttle* (naveta spațială) inițiat în 1972 de către SUA. Prima navetă, numită *Columbia*, a fost lansată în 1981; programul a durat până în 2011.

Navetele spațiale sunt singurele vehicule spațiale care decolează și aterizează, putând fi reutilizate (*Columbia* a executat 27 de zboruri până când s-a dezintegrat la reintrare în atmosferă în 2003). Navetele, cu echipaje de 4 - 7 persoane și mărfuri de până la 22,7tone, au permis executarea unui număr impresionant de operații pe orbite, printre care: poziționări/recuperări de sateliți și alte instalații cosmice precum celebrul telescop *Hubble* (pus pe orbită de naveta *Atlantis* și reparat de 4 ori de către astronauți transportați de navete), transport de astronauți, echipamente și altele pentru stațiile orbitale etc.

Prima navetă a fost numită de media ca fiind "cel mai complicat obiect realizat de oameni". URSS, ca răspuns la programul american, a realizat navete în cadrul programului *Buran* (uragan). Deși navetele sovietice au funcționat (din 1984) în zboruri suborbitale (un singur zbor orbital în 1988), datorită costurilor devenite nesuportabile de economia sovietică, și apoi rusă, programul a fost suspendat în 1993

Un *satelit artificial* este un obiect construit de om plasat în mod intenționat pe o orbită. Există sateliți *geocentrici* – care orbitează în jurul Pământului, *heliocentrici* – care orbitează în jurul Soarelui precum și sateliți care orbitează în jurul unor *planete* (Marte, Venus, Jupiter și Saturn), a unor *sateliți naturali* (Luna) și a unor *asteroizi* (Vesta, Eros). Deși *stațiile orbitale* sunt tot sateliți artificiali, în mod curent, termenul satelit (artificial) se referă la sisteme fără echipaj.

În prezent există circa 8300 de obiecte artificiale care orbitează în jurul Pământului; circa 3000 dintre acestea sunt *deșeuri spațiale* (sateliți și rachete scoase din uz, părți componente etc.).

Ideea lansării sateliților artificiali cu ajutorul rachetelor precum și bazele teoretice ale propulsiei reactive au fost elaborate de *Konstantin Țiolkovski* (1857 – 1935) și publicate în cartea "*Propulsia cu dispozitive reactive*". În domeniul propulsiei reactive au mai adus contribuții importante americanul *Robert H. Goddard* (1882 – 1945) și germanul *Hermann Oberth* (Sibiu 1894 – 1989, Nuremberg). Primele rachete utilizate în practică au fost realizate sub conducerea lui *Werner von Braun* în Germania (rachetele V2 cu care a fost bombardată Londra în al II-lea Război Mondial) și apoi în SUA (rachetele Saturn din programul Apollo și altele) și a lui *Serghei Korolyov* în URSS (rachetele cu care au fost lansați primii sateliți Sputnik, primele stații cu oameni la bord, primele rachete spre Lună și altele).



Fig 6. L. Popov și D. Prunariu (Wikipedia)



Fig 7. Stația Spațială Internațională văzută de pe naveta Endeavour (Wikipedia)

Ideea utilizării sateliților pentru telecomunicații a fost prezentată de K. Tjolkovski în cartea sa și apoi de Artur C. Clark (scriitor de literatură științifico fantastică). În 1945, într-un articol publicat în *Wireless World*, Clark demonstrează că, folosind numai trei sateliți geostaționari, se pot asigura radiocomunicații practic între oricare puncte de pe Pământ.

Sateliții artificiali se împart în două categorii mari: pentru aplicații militare și pentru aplicații civile; aceștia din urmă sunt de două feluri: sateliți pentru aplicații științifice și sateliți pentru aplicații comerciale

Sateliții științifici sunt de multe tipuri, printre care:

- sateliți pentru cercetări astronomice (purtătorul telescopului Hubble, de exemplu);
- sateliți pentru cercetări geografice și geologice;
- sateliți de observare a Pământului, de exemplu pentru studiul vremii, a mediului, pentru cartografiere etc.;
- sateliți cu echipaj la bord, numiți de obicei stații spațiale.

Sateliții pentru aplicații comerciale sunt:

- sateliți pentru comunicații (pentru radio-legături și pentru radiodifuziune audio și TV);
- sateliți pentru navigație;
- sateliți pentru aplicații specifice, cum sunt: pentru meteorologie, pentru telemonitorizare și observare din spațiu a ceea ce se petrece pe Pământ (de exemplu starea conductelor de petrol și gaze, a pădurilor și recoltelor, mari incendii și inundații etc.).

În prezentul curs vor fi prezentate problematicile sateliților pentru comunicații și pentru navigație.

O scurtă istorie a sateliților pentru comunicații poate fi interesantă.

Prin 1960 se ajunsese aproape de o criză în domeniul telecomunicațiilor la mare distanță: cablurile transoceanice nu puteau asigura decât legături cu viteză mică (telegrafie și audio pe puține canale, din cauza inductanțelor și capacităților enorme ale cablurilor electrice) iar legăturile radio pe distanțe mari se puteau face numai în unde lungi și medii (sub circa 2MHz), din nou în condiții de bandă limitată deci cu viteză mică; despre transmisiuni video, nici vorbă nu putea fi.

Pe sol se foloseau sisteme de radiorelee, formate din stații terminale de emisie și recepție între care se intercalau stații intermediare (la intervale de 30 – 60km) pentru recepția și retransmisia mesajelor. Sistemele foloseau microunde – la acea vreme unde de RF cu frecvențe între 140 – 170MHz și circa 450MHz (mai târziu peste 2,4GHz), ceea ce permitea transmisii de bandă largă, de exemplu video. Limitările acestor sisteme sunt evidente.

În această perioadă tehnologia sateliților artificiali s-a dovedit utilizabilă (lansările din 1957 și 1958) pentru a pune pe orbite obiecte de zeci și sute de kg. Ca urmare, ca primă aplicație civilă a sateliților s-a impus ideea utilizării acestora pentru telecomunicații folosind unde radio, la început în UIF (0,3 – 3GHz), apoi și în SIF (peste 3GHz) care permit transmisii de bandă largă, deci cu viteză mare¹.

Primii sateliți artificiali erau prevăzuți cu sisteme de telecomunicații radio pentru primirea comenzilor și transmiterea valorilor unor parametri de zbor și de mediu, dar nu pentru a asigura radio-legături între corespondenți, nu erau sateliți pentru comunicații

Posibilitatea utilizării sateliților pentru comunicații a fost întrevăzută cu mult înaintea lansării primilor sateliți, încă de prin 1920. Important s-a dovedit un articol publicat de Arthur

¹ Conform legii lui Shannon, capacitatea unui canal (C) adică valoarea maximă a vitezei de transmisie fără erori (în biți/secundă) este: $C = B \log_2(1 + S/N)$, unde B (Hz) este lărgimea benzii canalului, S (W sau V^2) este puterea medie a semnalului util iar N (W sau V^2) este puterea medie a zgomotului aditiv [S/N este raportul semnal – zgomot].

C. Clarke¹ în *Wireless World*, în care arată că folosind numai trei sateliți plasați pe orbită geostaționară se pot asigura radiocomunicații între două puncte situate aproape oriunde pe Pământ.

Primul satelit utilizat (și) ca releu² pentru telecomunicații a fost SCORE, lansat în 1958; acesta utiliza un magnetofon cu bandă pentru a înregistra și retransmite mesaje vocale. Primul satelit utilizat exclusiv pentru telecomunicații a fost Echo 1, un simplu balon (30m în diametru) reflector pentru undele radio, lansat de NASA³ în 1960. Procedul nu a dat rezultate astfel încât sateliții simpli reflectori nu au mai fost lansați. [S-a încercat folosirea Lunii ca reflector de unde radio dar rezultatele au fost slabe datorită enormei distanțe față de Pământ (cca. 370.000km) și a energiei imense necesare pentru transmisie.] În perioada 1958 – 1964 SUA au lansat mai mulți sateliți experimentali pentru telecomunicații (SCORE, Courier 1B, Echo, Telstar, Relay, Syncom), pe orbite circulare (inclusiv geostaționare). În aceeași perioadă (1960 - 1965) URSS a pus în practică programul MOLNYA (trei sateliți de telecomunicații pe orbite puternic eliptice, înclinate față de ecuator, care să acopere imensul teritoriu al țării) și mai târziu programul similar Tundra.

Experiența acumulată a permis realizarea primelor rețele de telecomunicații prin sateliți comerciale.

Un eveniment important a fost lansarea, în 1965, a satelitului INTELSAT⁴-1, numit și Early Bird, primul dintr-o serie care continuă și azi. Early Bird a fost primul satelit care a asigurat conexiuni directe și practic instantanee peste Atlantic, pe canale telegrafice, telefonice și TV. Proiectat pentru 18 luni, a funcționat bine timp de patru ani; nu mai este folosit din 1969 dar a fost reactivat pentru scurt timp în 1990 - și a funcționat!

De atunci s-au lansat mii de sateliți pentru comunicații; câteva sute sunt operaționali, acoperind practic întreg globul pământesc.

Un rol esențial în dezvoltarea serviciilor de comunicații prin sateliți l-au jucat organizațiile interguvernamentale, dintre care importante sunt INTELSAT, INMARSAT⁵ și EUTELSAT⁶, toate privatizate după 2000. În prezent, în afara acestora există câteva zeci de organizații private și guvernamentale care activează în domeniu, printre care: INTERSPUTNIK (1971), ARABSAT (1976), ANIK (pentru Canada), PALAPA (Indonezia).

Fig. 8. Intelsat 1 Early Bird (Wikipedia)

¹ (Sir) **Arthur C. Clarke** (1917 – 2008) britanic, celebru autor de literatură științifico – fantastică (SF), inventator, futurolog.

² **releu** (de telecomunicații) - stație intermediară care recepționează mesaje de la o stație emițătoare, le amplifică și le transmite către o altă stație, receptoare.

³ **NASA** - National Aeronautics and Space Administration (Administrația Națională pentru Aeronautică și Spațiu), este o agenție a guvernului SUA creată în 1958, responsabilă pentru programele spațiale civile și pentru cercetări aeronautice.

⁴ **INTELSAT** – International Telecommunications Satellite Organization, consorțiu internațional, interguvernamental (1964 – 2001) apoi privat (2001 – prezent), administrează o flotă de peste 50 sateliți de comunicații și deservește peste 200 de țări.

⁵ **INMARSAT** - International Maritime Satellite Organization, companie fondată în 1979 ca organizație interguvernamentală, privatizată în 1999 (și-a schimbat numele în International Mobile Satellite Organization dar a păstrat acronimul INMARSAT). Compania asigură servicii de comunicații pentru nave maritime și aeriene.

⁶ **EUTELSAT** - European Telecommunications Satellite Organization, fondată în 1977 ca organizație interguvernamentală pentru dezvoltarea și operarea comunicațiilor prin satelit în Europa; privatizată în 2001.



Până prin 1990, comunicațiile prin sateliți nu au avut concurent în domeniul telecomunicațiilor la mare distanță, atât cele de tip punct – punct (point-to-point) cât și cele de tip punct – multipunct, adică radiodifuziune (broadcasting) audio și TV.

Prin 1980 s-a introdus fibra optică pentru telecomunicații. Deoarece banda semnalelor transmisibile prin fibră optică este foarte mare (tipic 10 - 40GHz, mai rar 100GHz, experimental peste 400GHz), prin astfel de canale se pot transmite debite foarte mari (Tb/s^1), mult mai mari decât cele realizabile prin canalele de satelit (tipic 0,1 – 5Gb/s). După 2000 s-a realizat și o reducere drastică a costurilor de instalare și exploatare a sistemelor cu fibră optică², astfel încât, în domeniul comunicațiilor punct – punct la mare (și la mică) distanță, acestea au luat locul sistemelor cu sateliți; acestea din urmă rămân însă fără concurent pentru comunicațiile punct – multipunct și multipunct – punct.

Dezvoltarea comunicațiilor prin sateliți poate fi etapizată astfel³:

1945 – 1960, etapa imaginarii, în care câțiva cercetători și scriitori au prevăzut utilitatea și posibilitatea realizării comunicațiilor cu sateliți.

1960 – 1970, etapa creației, în care au apărut mai multe organizații precum NASA – pentru cercetarea și utilizarea spațiului cosmic, precum INTELSAT – pentru realizarea comunicațiilor prin sateliți și în care s-au pus la punct tehnicile de punere pe orbită a variate tipuri de sateliți precum și tehnologiile de comunicare cu acestea.

1970 – 1980 este etapa comercializării: comunicațiile prin sateliți devin o afacere comercială, apar companii private pentru exploatarea sistemelor de sateliți, pentru comunicații în primul rând dar și pentru alte aplicații civile (de exemplu prospecțiuni).

1980 – 1990, etapa liberalizării, în care reglementările privind sistemele de telecomunicații din multe țări devin mult mai laxe, permițând apariția unei piețe libere, mondiale. În locul numeroaselor reglementări naționale apar reguli la nivel global.

1990 – ... etapa privatizării majorității organizațiilor interguvernamentale care exploatează sisteme de comunicații prin sateliți dar și a celor care produc și pun pe orbită sateliți.

În prezent, peste 1200 de sateliți sunt utilizați în scopuri comerciale în cadrul unei piețe de peste 60 miliarde de dolari SUA pe an.

¹ Tb/s – Terabit/secunda – 10^{12} bit/s

² Apariția amplificatoarelor optice (amplifică semnalele luminoase direct, fără conversie luminos – electric – luminos) a permis realizarea cablurilor foarte lungi, transoceanice.

³ Evans, B.G., editor, "Satellite Communication System", 3rd Edition, IET Telecommunications Serie 38, 2008, UK