

# Interplanetarna navigacija

Kap. freg. Nikola Safonov, Zagreb

Uspesi na polju kozmonautike, ostvareni u poslednje vreme sa svemirskim vozilima — sa i bez posade — otkrivaju nove mogućnosti i stvaraju nade da će u bližoj budućnosti čovek stupiti na površinu našeg najbližeg suseda, na Mesec.

U vezi s tim nastaje i novo područje nauke — astro-navigacije i interplanetarna navigacija, koje se bitno razlikuju od navigacije na moru i u atmosferi (kod aviona). Osnovne razlike su:

1. pozicija svemirskog vozila mora se određivati sa tri koordinate, koje imaju ogromne dimenzije, a njihovo merenje zahteva veliku tačnost;

2. brzina vozila ne ovisi samo od snage raketnih motora, već i od udaljenosti od pojedinih nebeskih tela, a prvenstveno od Sunca (kod interplanetarne navigacije) zbog njegove velike gravitacije;

3. brzina vozila u odnosu na određeno nebesko telo, na primer Zemlju, stalno se menja jer se i ovo telo kreće u prostoru i to promenljivom brzinom;

4. ubrzanja i usporjenja vozila su veoma velika;

5. mesto polaska (na primer, Zemlja) i mesto dolaska (na primer, drugo nebesko telo) kreću se za vreme leta vozila.

Brod na otvorenom moru, vozeći između dve tačke, praktički se kreće celo vreme pravolinijski. Putanja svemirskog vozila je uvek kriva linija, obično zakrivljena u dve ravni. S obzirom na korišćenje pogona putanje mogu biti:

a) **aktivne**, koje nastupaju kada raketni motor vozila radi neprekidno tokom celog leta. Ovo je redovno povezano sa mogućnošću promene veličine potiska motora, tako da vozilo može menjati pravac i brzinu leta, a time i samu putanju. Aktivna putanja zahteva da vozilo ima velike zalihe goriva, što povećava težinu samog vozila ali je navigacija tačnija, jer let traje kraće vreme pa dejstvo pojedinih grešaka nije dugotrajno.

b) **pasivne**, nastupaju po prestanku rada raketnog motora, t. j. kada vozilo leti po zakonima nebeske mehanike. Potisak motora mora biti snažan, jer traje kratko vreme. Zavisno od brzine i pravca leta u momentu prestanka rada motora putanja može biti eliptična, hiperbolična ili parabolična. Veliki nedostatak pasivne putanje leži u tome što se zahteva vanredno velika tačnost u brzini i pravcu leta u momentu prestanka rada raketnog motora; u protivnom nastupaju veoma velike greške, koje dovode do ulaska vozila u pogrešnu pasivnu putanju, koja prolazi daleko od cilja leta;

c) **kombinovane**, koje se sastoje od aktivnih i pasivnih perioda. Ovakva putanja zahteva da vozilo nosi izvesnu količinu goriva, čime se povećava njegova težina. Ukoliko u prvom pasivnom periodu nastupe odstupanja od predviđene putanje, one se ispravljaju, s time da nije potrebno vraćanje na prvobitno planiranu putanju, već

se vozilo skreće u novu prema cilju. Vraćanje u prvobitnu putanju ne bi imalo smisla, jer zbog greške vozilo neće stići do svog cilja — nebeskog tela u planirano vreme, a to znači da će se i nebesko telo već pomaknuti sa prvobitne predviđene pozicije.

Iz ovih osnovnih podataka vidi se da su problemi interplanetne navigacije veoma složeni. Teško se može pretpostaviti da će se lansiranje vozila izvršiti sa takvom preciznošću, da će se ono kretati po planiranoj putanji. To znači da će biti potrebne korekture pravca leta (t. j. kombinovana putanja) ali se za to mora poznavati koliki je iznos greške. Odeđivanje grešaka bilo bi moguće elektronskim putem ali to ne daje dovoljnu tačnost. Stoga će se određivanje pozicija vršiti i pomoću automatskih uređaja u samom vozilu, koji rade na inercionom principu, pa su prema tome neovisni od komandi sa Zemlje. Očigledno da sve potrebne proračune za korekturu pravca leta mogu vršiti samo elektronski automatski računari. Iskustvo kozmonauta, ukoliko će se ovi nalaziti u vozilu, neće im pomoći, jer su čovječiji refleksi prespori, a orijentacija u svemiru, gdje se sva tela neprekidno kreću, je veoma složena i teška.

Pošto su već sada Mesec i Venera ciljevi dolaska pojedinih lansiranih svemirskih vozila, razmotriće se kakve su mogućnosti i uslovi leta do njih.

Dolazak na Mesec moguć je načelno preko dve različite putanje. Prvi način sastoji se u tome da se vozilo lansirano »direktno« prema tački sudara sa Mesecom. U stvari ova putanja nije pravolinijska već oblik hiperbole. Ovakvo lansiranje je prilično komplikovano. Pri brzini 11,08 km/sek, koliko je potrebno da se vozilo oslobodi gravitacije Zemlje, greška u brzini od svega 0,020 km/sek, t. j. 20 metara u sekundi dovodi do promašaja. Mala greška u pravcu lansiranja već vodi vozilo mimo Mesec i pretvara vozilo u veštački planetoid Sunca.

Let prema Mesecu može se ostvariti i po eliptičnoj putanji, čije jedno žarište je u centru Zemlje. Vozilo bi se kretalo kao Zemljin satelit po veoma izduženoj elipsi, koja seče putanju Meseca. Problem tačnosti lansiranja u ovom slučaju nije tako osetljiv. Pošto je brzina vozila na udaljenijem kraju elipse relativno mala, a vozilo ulazi u zonu gravitacije Meseca, mogu nastupiti sledeći slučajevi:

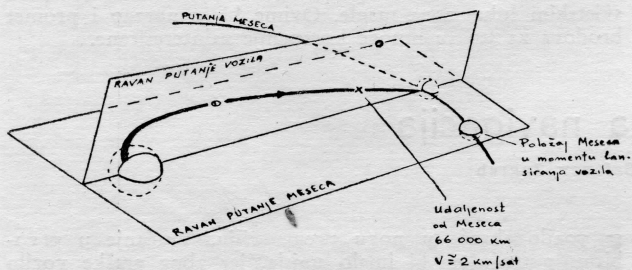
— vozilo će izvršiti jedan ili više obilazaka oko Meseca i konačno pasti na njegovu površinu,

— vozilo će izvršiti jedan ili više obilazaka oko Meseca, zatim će se udaljiti i ponovo krenuti prema Zemlji,

Od niza pokušaja (uspešnih i neuspešnih) letova svemirskih vozila prema Mesecu — ovo su takozvani »translunarni« letovi — dalje su izneti karakteristični slučajevi.

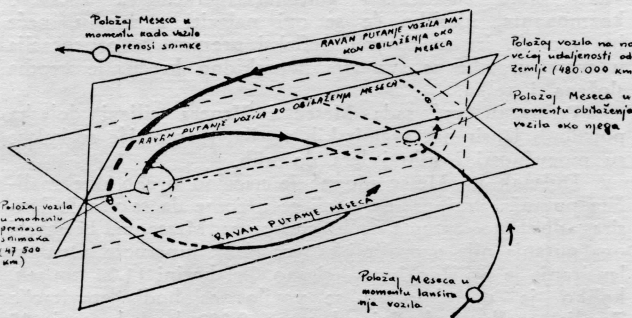
12. septembra 1959. godine u SSSR je lansiran LUNIK-2 sa zadatkom da pogodi Mesec. Vozilo je trebalo da izvrši »tvrdo« spuštanje na njegovu površinu, što znači da je

brzina pri dodiru tolika da se vozilo mora razbiti. Cilj leta nije bilo isključivo ispitivanje tačnosti vođenja radi postizavanja pogotka. Vozilo je sem toga nosilo uređaje za merenje magnetskog polja Meseca i Zemlje, kozmičkih zraka, radio-aktivnosti Meseca i Zemlje, intenziteta pojasa radijacije oko Zemlje, broja i veličine mikrometeorita itd. Težina vozila bila je 390,2 kg. 14. septembra 1959. godine vozilo LUNIK-2 pogodilo je površinu Meseca brzinom 3,3 km/sek. Putanja vozila bila je pasivna i »direktna«, pri čemu je brzina najpre opadala zbog gravitacije Zemlje. Ovo usporenje bilo je u početku naglo, a zatim sve slabije. Na daljini oko 66.000 km od Meseca počela je da prevladava njegova gravitacija i na ovoj prelaznoj tački je brzina vozila postigla svoju najmanju vrednost — 2 km/sek. Posle toga vozilo je počelo da se kreće ubrzano, t. j. počeo je »pad« na Mesec.



Slika 1. — Putanja vozila LUNIK-2 prema Mesecu

4. oktobra 1959. godine u SSSR je lansiran LUNIK-3 sa zadatkom da obide oko Meseca, snimi njegovu zadnju (sa zemlje nevidljivu) stranu, vrati se prema Zemlji i elektronskim putem prenese foto-snimke. LUNIK-3 težio je 278,5 kg. Putanja vozila izabrana je tako da ono prođe mimo Meseca na udaljenosti 6200 km i nastavi let do tačke udaljene 480.000 km od Zemlje. Odavde bi se vozilo kretalo prema Zemlji po putanji, koja je bila skoro eliptična. Prolaz mimo Zemlju radi prenosa foto-snimaka predviđen je na udaljenosti 47.500 km. Let LUNIK-3 izvršen je uspešno i tačno po planiranoj putanji.

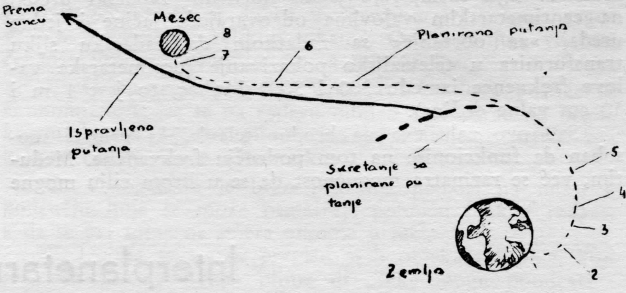


Slika 2. — Putanja vozila LUNIK-3 oko Meseca

SAD do sada nisu uspele da postignu slične uspehe u letovima prema Mesecu. Pre nekoliko godina izvršeno je više lansiranja prema programu PIONEER ali usled neispravnosti raketa vozila se nisu uspela osloboditi gravitacije Zemlje ili su prošla daleko mimo Meseca. U 1961. godini SAD ponovo pristupaju nizu lansiranja po programu RANGER. Prva dva vozila po ovom programu (RANGER-1 i RANGER-2) trebala su da budu ubačena samo u orbitu oko Zemlje ali ovi pokušaji nisu uspešni.

RANGER-3 lansiran je 26. januara 1962. godine. Let je trebao da obuhvata sledeće faze. Sa prvim stepenom rakete trebalo je vozilo skupa sa drugim (još neaktiviranim) stepenom rakete ući u kružnu putanju brzinom 8,050 km/sek oko Zemlje. Nakon kraćeg leta po pasivnoj putanji, koja bi služila za proveru elemenata kretanja vozila, aktivirao bi se drugi stepen rakete koji bi razvio brzinu 10,97 km/sek, potrebnu za oslobađanje od gravitacije Zemlje. Nakon što bi se utrošilo gorivo, drugi stepen je trebao da otpadne i vozilo bi ponovo ušlo u pasivnu putanju.

Neposredno pre dolaska do Meseca (na daljini 21 km od njega) vozilo je moralo izbaciti kapsulu (težine 25,5 kg) sa uređajima. Kapsula je snabdevena retro-raketama za kočenje koje bi smanjile brzinu pre momenta dodira sa površinom Meseca na svega 32,4 m/sek. Na ovaj način očekivalo se da će uređaji (seizmometar, 2 termometra, 2 akcelerometra, pomoćna elektronika, baterija, predajnik jačine 50 mW sa antenom, uređaj za unutrašnju regulaciju temperature) u kapsuli ostati neoštećeni pa će radio-putem prenositi merenja nakon spuštanja na Mesec.



Slika 3. — Putanja vozila RANGER-3  
1 — Mesto lansiranja, 2 — prestanak rada prvog stepena motora, 3 — prvi pasivni deo putanje, 4 — aktiviranje drugog stepena motora, 5 — prestanak rada drugog stepena motora, 6 — tačka prelaza u područje gde prevladava gravitacija Meseca, 7 — odbacivanje kapsule, 8 — mesto pogotka

Međutim let RANGER-3 nije se odvijao po planu. Najpre je otkazao predajnik komandnih signala, tako da je rad prvog stepena raketnog motora zaustavljen sa zakašnjenjem. Situaciju je donekle ispravio rezervni automatski uređaj u samom vozilu, koji je zaustavio ovaj motor ali ipak 1,5 (!) prekasno. Zbog toga je postignuta prevelika brzina, koja se nije mogla ispraviti ni time što je drugi stepen motora na komandu zaustavljen 7 sekundi pre vremena. Zbog ranije pomenutog kvara u radio-vezi bio je poremećen i rad ostalih uređaja u vozilu. RANGER-3 je prošao mimo Meseca na udaljenosti 36.700 km i pretvorio su u veštački planetoid, koji kruži oko Sunca (afel — najveća udaljenost 174 miliona kilometara, perihel — najmanja udaljenost od Sunca — 147 miliona kilometara).

Sledeći američki pokus bilo je lansiranje vozila RANGER-4 na dan 23. aprila 1962. godine. Vozilo je letelo tačno po planiranoj putanji tako da uopšte nisu bile potrebne korekture pravca leta. Međutim lansiranje je samo delimično uspešno. Nakon 9 sati leta prekinula se glavna radio-veza, tako da nikakvi podaci merenja nisu primljeni. Ujedno se pokvario radio-davač komandi na Zemlji, što je na kraju dovelo do skretanja vozila sa putanje zbog pogrešnih komandi. Pošto je ipak i dalje radila mala radio-stanica jačine 50 mW u kapsuli, to je let mogao biti praćen za Zemlje sve dok se vozilo nije približilo Mesecu na 171 km. Zatim je vozilo nestalo iza njegove zadnje strane gde je pogodilo površinu brzinom 9600 km/sat sa 1 sat zakašnjenja u odnosu na planirano vreme.

Let svemirskog vozila prema planetama Sunčevog sistema (takozvani »Interplanetarni« let) znatno se razlikuje od leta na Mesec.

Činjenica da se svi planeti okreću oko Sunca u istom pravcu i u približno istoj ravni, omogućava iskorišćenje brzine Zemlje, jer raketa poprima ovu brzinu. Međutim, osnovni faktor u smislu gravitacije postaje sada Sunce.

S obzirom da se već vrše pokušaji upućivanja svemirskih vozila prema Veneri, u daljem izlaganju biće objašnjeni problemi koji se odnose na takav let.

Venera spada u takozvane »unutrašnje« planete (kao i Merkur), t. j. one koji se nalaze između putanje Zemlje i Sunca. Ako bi se vozilo, lansirano sa Zemlje, kretalo istom brzinom kao i sama Zemlja, onda bi putanja tog vozila bila jednaka putanji Zemlje oko Sunca. Ukoliko se želi da se vozilo približi Suncu, t. j. da u svemiru »pada« prema Suncu — a to je slučaj ako se želi prići Veneri — mora se smanjiti brzina vozila u odnosu na Sunce.

To znači da se svemirsko vozilo mora lansirati takvom brzinom da se oslobodi gravitacije Zemlje i ujedno uđe u



polje gde prevladava gravitacija Sunca. Zatim se njegova brzina mora smanjiti i ono će početi da se približava Suncu. Zavisno od ovog smanjenja putanja vozila u svemiru biće više ili manje zakrivljena. Brzina kretanja Zemlje oko Sunca iznosi prosečno 29,70 km/sek. Ako bi se nakon izlaska vozila iz polja gravitacije Zemlje moglo svesti brzinu vozila na 0 km/sek, ono bi počelo da »pada« pravolinijski prema Suncu. Ovakvo kočenje za sada nije ostvarljivo i vozilo će pri smanjenju ispod 29,76 km/sek početi da se kreće prema Suncu po jednoj krivulji.

Pri letu na unutrašnji planet mora se odabrati takva brzina vozila, koja će uz što manji utrošak goriva raketa-kočnica, uvesti vozilo u putanju približavanja prema Suncu, s tim da ova putanja u određenoj tački seče putanju planeta na koga se mora vozilo spustiti.

Trajanje leta po takvim putanjama je prilično dugo. Pri brzini vozila u odnosu na Sunce 27,3 km/sek let do Venere bi trajao 146 dana, a pri brzini 21,1 km/sek — 59,9 dana.

Vozilo se pri lansiranju neće moći odmah ubaciti tačno u planiranu putanju, jer raketa tehnika još nije postigla savršenstvo u pogledu davanja planirane brzine i pravca leta. Zato će biti potrebno da se vozilo prati u letu, određuju popravke i pomoću komandi sa Zemlje ispravlja pravac leta. To znači da i vozilo mora imati male dopunske raketne motore i odgovarajuće gorivo za njih. Ispravke pravca leta vršiće se povremenim ukopčavanjem ovih dopunskih motora.

Da sada su izvršena tri pokusa lansiranja vozila prema Veneri.

12. februara 1961. godine lansiran je u SSSR veliki veštački satelit Zemlje, težine oko 6 tona. U njemu se nalazilo vozilo VENUSNIK-1 sa posebnim raketnim motorom za lansiranje iz satelita. Nakon što je satelit ušao u orbitu oko Zemlje iz njega je lansiran VENUSNIK-1. Ovo vozilo trebalo je sredinom maja 1962. godine da stigne do Venere, nakon leta u trajanju 97 dana. VENUSNIK-1 je trebao da prođe na oko 180.000 km od njene površine, dakle već u gravitacionom polju Venere. Vozilo je trebalo da prevali oko 270 miliona kilometara, a u momentu prolaza mimo Veneru bilo bi udaljeno od Zemlje oko 70 miliona kilometara. Naknadno je objavljeno da će VENUSNIK proći mimo Veneru na udaljenosti 100.000 km što znači da je njegova putanja ispravljena.

Međutim nakon nekoliko dana leta prekinula se radio-veza sa VENUSNIK-om i svi pokušaji da se ponovo uspostavi bili su bez uspeha. Prema tome vozilo je izvršilo zadatak, t. j. prošlo je mimo Veneru na planiranoj udaljenosti, ukoliko nije uništeno zbog slučajnog sudara sa meteorima (što je malo verovatno) ali rezultati za nauku nisu zadovoljavajući, jer sa VENUSNIK-a nisu primljeni podaci merenja, koja su izvršili uređaji u njemu.

U SAD je 21. jula 1962. godine lansirano vozilo MARINER-1, težine 200 kg. Ovo vozilo trebalo je da prođe mimo Veneru na udaljenosti 16.000 km i izvrši sledeće zadatke:

— odrediti strukturu atmosfere Venere i izmeriti njenu temperaturu,

— izmeriti podatke o interplanetarnim magnetskim poljima i magnetskom polju Venere,

— izmeriti intezitet raznih radijacija u svemiru i oko Venere,

— odrediti gustinu i raspored mikrometeorita u svemiru.

Putanja vozila MARINER-1 prikazana je na slici 4. Početkom decembra 1962. godine ono je trebalo da prođe između Venere i Sunca, u momentu kada bi udaljenost Zemlja — Venera iznosila 57 miliona kilometara.

Međutim, jednu minutu posle lansiranja sa Zemlje je raketa, koja je nosila vozilo MARINER-1, toliko skrenula sa planirane putanje da je morala biti uništena na komandu sa prateće stanice.

Ovaj neuspeh nije obeshrabrio Amerikance i već 22. januara 1962. godine, t. j. sutradan nakon MARINER-1, lansirano je vozilo istog tipa MARINER-2. Ono će se kretati po istovetnoj putanji i prevaliće 182 miliona kilometara do Venere. Putanja je nakon lansiranja toliko ostupala od planirane da bi MARINER-2 prošao mimo Veneru na udaljenosti 690.000 km. Stoga je na komandu sa Zemlje, osam dana nakon lansiranja, aktivirana dopunska raketa na samom vozilu, koja je toliko koregirala pravac leta da sada po proračunu će MARINER-2 proći na svega 14.000 km od Venere, t. j. za 2.000 km bliže od prvobitno planirane putanje. Vozilo je već prevalilo nekoliko desetaka miliona kilometara i veza sa njim odlično funkcioniše.

Dok se sada MARINER-2 nečujno kreće prema Veneri, čovečanstvo sa nestrpljenjem očekuje rezultate leta, koji treba da delimično skinu veo tajne sa Venere i njene atmosfere, oko čije strukture ima sada veliki broj nepotvrđenih teorija. Ujedno najveći svetski kapaciteti raketne i satelitske tehnike i dalje neumorno rade na usavršavanju novih, boljih vozila za prikupljanje podataka o svemiru i koja, konačno, treba da omoguće čoveku da stane na površinu Meseca, a kasnije i planeta.

Đoije pjesme B. M. Đopca

## Djevam ti zemljo

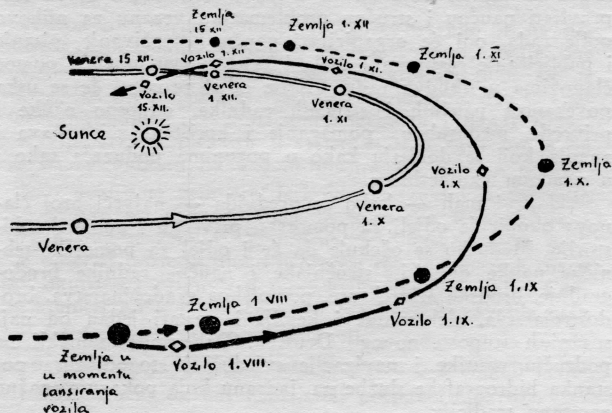
Pjevam Ti zemljo  
mного opievana  
jer i ja jedan  
slavljenik sam  
tvoj

Pjevam ti zemljo  
krolju zaljevana  
Mi krv smo lili  
po bespuću

tvom

## Uspomene

Uvečer  
kad umire dan  
gledam fotografije.  
Lik na papiru poznajem  
poznajem osmeh blag —  
i znam pejzaž.  
Znam drveće i gmlje  
i sve trave.  
Gledajući vas  
uspomene me gyle drage  
i nisam više sam.



Slika 4. — Putanja vozila MARINER-2