

JOHANNES KEPLER IN KEPLERJEVI ELEMENTI
=====

Matjaž Vidmar, S53MV

Kaj so to Keplerjevi elementi tirnice satelita, sem pred časom že pisal v našem glasilu. Ker pa je od številke 2/90 poteklo že dosti časa in se prvega letnika glasila nihče več ne spominja, sem se odločil, da tule malo bolj obširno ponovim opis onega kupa na videz nesmiselnih števil, ki jih objavljam v vsaki številki CQ ZRS.

Za začetek ne škodi malo zgodovine, saj Keplerjevi elementi niso od včeraj. Zgodba se začne pred več kot 400 leti, ko je danski astronom Tycho Brahe izdelal komplicirano merilno napravo za opazovanje gibanja planetov s prostim očesom na otoku Hven. Leta 1583 je Brahe s to napravo natančno izmeril gibanje planeta Marsa. Mladi nemški matematik Johannes Kepler mu je sicer poslal svojo prvo teorijo o gibanju planetov, vendar se ta ni kdovekako ujemala z Brahejevimi meritvami. Oba sta se srečala šele v Pragi, kjer je Kepler delal na dvoru cesarja Rudolfa II. Brahe je kmalu za tem umrl, Kepler pa je obdržal njegove rezultate meritev.

Po več napačnih začetnih domnevah je prišel Kepler do treh znanih zakonov o gibanju planetov, ki danes nosijo njegovo ime:

- (1) Tirnice planetov okoli Sonca so elipse, Sonce pa se nahaja v enem od gorišč elipse.
- (2) Ploščinska hitrost planetov (površina izseka elipse, ki ga planet opiše v enoti časa) je konstantna za vsak planet.
- (3) Kvadrati obhodnih časov planetov so v enakem razmerju kot kubi velikih polos elips.

S pomočjo teh spoznanj je Kepler sestavil tabele, iz katerih se je dalo razmeroma enostavno in hitro izračunati pretekle in prihodnje položaje planetov na nebu. Pri računih si je pomagal tudi z logaritmi, ki jih je ravno takrat izumil škot John Napier. Burna evropska zgodovina je Keplerja pregnala najprej v Linz in končno v Ulm, kjer je svoja spoznanja končno objavil leta 1627.

Keplerjevi zakoni so dobili pravo matematično razlago šele čez 60 let, ko jih je Isaac Newton razložil s svojim zakonom o težnosti. Od Newtonove razlage pa je moralo miniti še dodatnih 270 let, ko je bil leta 1957 izstreljen prvi umetni zemeljski satelit Sputnik, ki je praktično dokazal, da veljajo Keplerjevi zakoni tudi za vse Zemljine satelite,

ne glede na to, če so naravni ali umetni.

Keplerjevi elementi tirnice Zemljinega satelita so prikazani na sliki 5. Velikost, položaj in obliko tirnice opišemo s šestimi podatki, ki so lahko dolžine, koti ali pa neimenovana števila. Pred opisom posameznih Keplerjevih elementov se moramo seveda dogovoriti, kako jih merimo.

Astronomi običajno uporabljajo koordinatni sistem, kjer os "Z" sovpada z osjo vrtenja Zemlje. Ker se Zemlja vrtili, se pri opazovanju nebesnih teles izkaže silno neugodno, da bi preostali dve osi koordinatnega sistema, to je "X" in "Y", pritrčili na Zemljo. Os "X" zato usmerijo v pomladišče, to je točko na nebu, kjer se nahaja Sonce ob pomladanskem enakonočju, preostala os "Y" pa mora biti pravokotna na obe že določeni osi "X" in "Z". Položaj zvezde na nebu potem opišejo z rektascenzijo (nebesna zemljepisna dolžina) in deklinacijo (nebesna zemljepisna širina).

Umetni sateliti se večinoma nahajajo zelo blizu Zemlje in se hitro premikajo po nebu, zato opis z rektascenzijo in deklinacijo ne pride v poštev. Med najpomembnejše podatke tirnice satelita sodi naklon ravnine tirnice (inclination) glede na ekvatorialno ravnino, to je kot, ki ga označimo z malo črko "i".

Tirnica satelita prebada ekvatorialno ravnino v dveh točkah. Točko, kjer satelit prehaja v severni polprostor, imenujemo dvižni voz. Zasuk ravnine tirnice okoli osi "Z" opišemo z rektascenzijo dvižnega vozla (right ascension of ascending node), to je kotom, ki ga označimo z veliko grško črko "omega".

Tirnica satelita je v splošnem elipsa, čeprav se pri marsikaterem satelitu trudijo, da bi dosegli čimbolj krožno tirnico. Pri eliptični tirnici imenujemo apogej točko, ko se satelit najbolj oddalji od Zemlje ter perigej točko, ko se satelit najbolj približa Zemlji. Kot med dvižnim vozom in perigejem imenujemo argument perigeja (argument of perigee) in ga označimo z malo grško črko "omega".

Za opis velikosti in oblike elipse potrebujemo še dva podatka. Ta sta običajno velika polos (semi-major axis), ki ga označimo z malo črko "a" ter ekscentričnost (eccentricity), ki ga označimo z malo črko "e". Ekscentričnost je neimenovano število, kjer pomeni ekscentričnost nič krožnico, ekscentričnost 1 pa povsem ravno črto.

Končno potrebujemo še šesti podatek, to je čas (epoch time), ko se je satelit nahajal v znani točki elipse. Ker je gibanje satelita periodično in je obhodni čas točno poznan, čas opišemo s srednjo anomalijo (mean anomaly, oznaka "M"), to je podatkom, ki ima sicer kotne enote, vendar predstavlja le merilo za čas, saj nima enostavne geometrijske predstave.

Praktični Keplerjevi elementi vsebujejo oboje: čas v običajnih časovnih enotah ter srednjo anomalijo, iz katere lahko določimo, v kateri točki elipse se je nahajal satelit ob danem času. Razen tega se namesto velike polosi elipse običajno podaja obhodni čas oziroma frekvenca tirnice (število tirnic v enem dnevu ali po angleško mean motion). Obhodni čas in velika polos sta sicer tesno povezana s tretjim Keplerjevim zakonom, vendar so praktični računi točnejši, če navedemo obhodni čas in iz njega izračunamo veliko polos, ker so v obratni smeri računске napake večje!

Praktični Keplerjevi elementi vsebujejo še nekaj dodatnih števil. Ta lahko opisujejo motilne pojave, naprimer trenje z zemeljskim ozračjem s parametrom "decay". Pri umetnih satelitih lahko tudi preštejemo število tirnic od izstrelitve naprej, kar opisuje (pri računanju običajno nekoristno) število "revolution number".

Ker tirnice satelitov nekoliko odstopajo od razmeroma preprostih Keplerjevih zakonov zaradi raznih motilnih vplivov, kot so težnostne sile drugih nebesnih teles, nepravilnosti

težnostnega polja Zemlje (ki ni povsem okrogla), trenja z vrhnjimi plastmi ozračja, pritiska sončne svetlobe, delovanja raketnih motorjev na krovu itd, moramo v računalniške programe za izračun položaja satelitov vstavljati vedno sveže podatke. Pri večini satelitov je smiselno, da to storimo enkrat na mesec in le izjeme, kot je ruska vesoljska postaja MIR, potrebujejo še bolj sveže podatke.

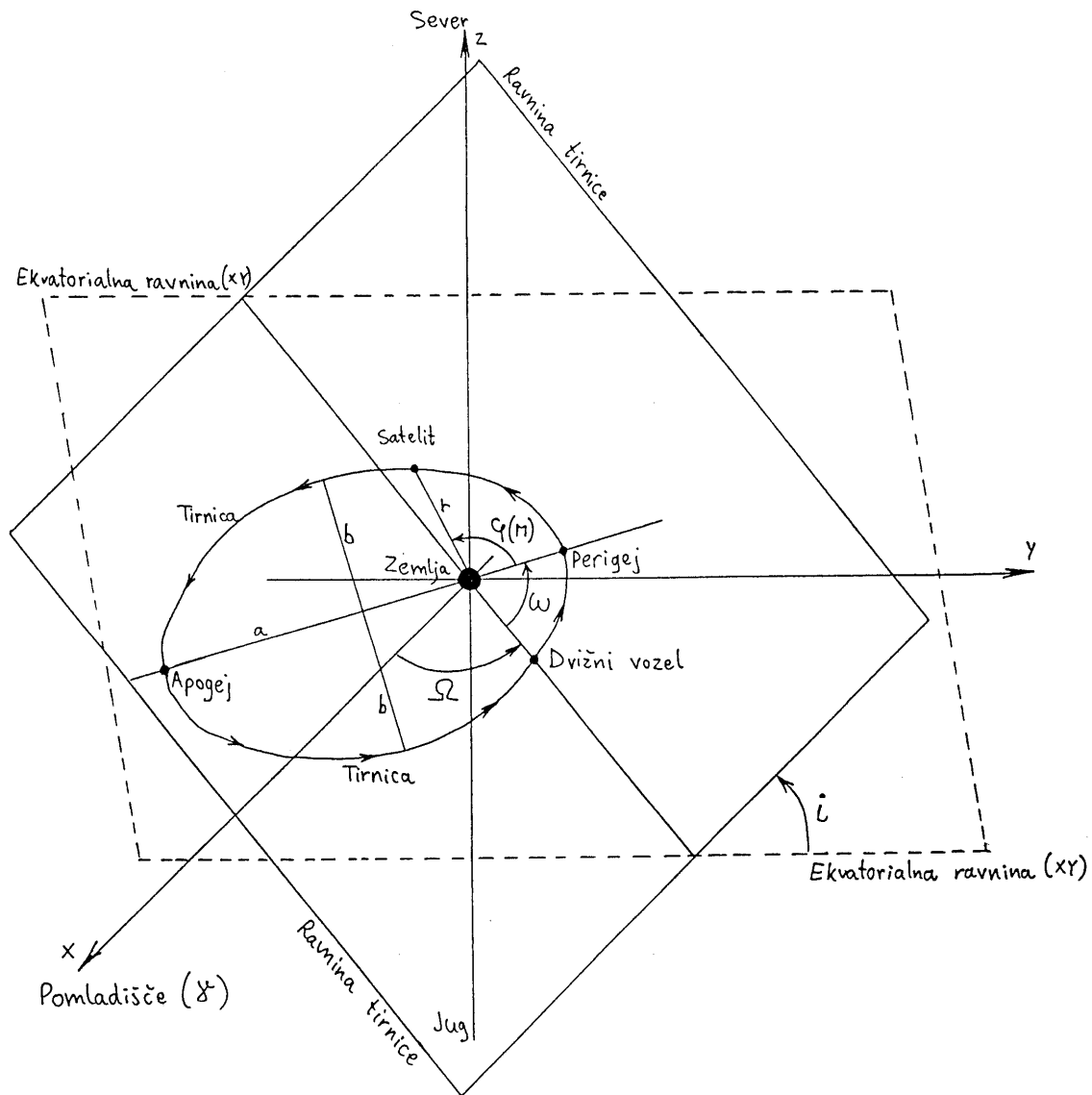
Sveže Keplerjeve elemente najlažje dobimo preko packet-radia v več različnih oblikah. Izvorna oblika podatkov je običajno v formatu "NASA-2-LINE", ki vsebuje vse podatke o tirnici satelita zgoščene v dveh vrsticah številčk, navodila za uporabo pa so običajno priložena. Bolj razsipna oblika podatkov je "AMSAT" format, kjer je vsaka veličina na dolgo in široko opisana. Skrčena oblika so podatki v formatu "UOSAT", kjer stlačimo vse podatke o določenem satelitu v eno samo vrstico na račun rezanja za nas običajno nepomembnih decimalčk.

Če se nameravate resno ukvarjati s sateliti, potem vam priporočam uporabo računalniškega programa, ki zna sam prečitati podatke v formatu "NASA-2-LINE", naprimer tiste, ki jih Jože S53SX redno pobira z Internet-a in nalaga na LJUBBS. Format "AMSAT" je manj pogost, predvsem pa se nekateri zanimivi sateliti ne prebijejo skozi AMSATovo "cenzuro". V glasilu CQ ZRS sicer objavljam le podatke v skrčenem formatu "UOSAT", saj nima nobenega smisla ročno pretipkavati gore nepotrebnih decimalčk.

Objavljeni Keplerjevi elementi v glasilu CQ ZRS so torej namenjeni bolj kot seznam živih oziroma zanimivih satelitov, saj je danes že težko najti resnega radioamaterja, ki ne bi premogel packet-radia. V tej številki glasila sem tudi nekoliko popravil imena satelitov, da sem jih uskladil z imeni v izvornih podatkih v obliki "NASA-2-LINE" v NORAD-ovih biltenih. V AMSAT-ovih biltenih lahko zato zasledimo iste satelite z nekoliko drugačnimi imeni!

Seznam slik:

Slika 5 - Keplerjevi elementni tirnice satelita.



- $i \equiv$ naklon tirnice (inclination)
- $\Omega \equiv$ rektascenzija dvižnega vozla (right ascension of ascending node)
- $\omega \equiv$ argument perigeja (argument of perigee)
- $M \equiv$ srednja anomalija (mean anomaly)
- $e \equiv$ ekcentričnost (eccentricity)
- $a \equiv$ velika polos (semi-major axis)

Slika 5. - Keplerjevi elementi tirnice satelita.